



## 가정용 연료전지 전력변환장치 전자파적합성 성능 평가 연구

최영주\* · †남태호 · 이은경 · 이덕권 · 이정운 · 이승국 · 문종삼

한국가스안전공사 가스안전연구원

(2017년 11월 6일 접수, 2017년 12월 14일 수정, 2017년 12월 15일 채택)

## A Study on Electromagnetic Compatibility Performance Evaluation of Power Conditioning System for Residential Fuel Cell

Young-Joo Choi\* · †Tae-Ho Nam · Eun-Kyung Lee · Duk-Gwon Lee

Jung-Woon Lee · Seung-Kuk Lee · Jong-Sam Moon

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

(Received November 6, 2017; Revised December 14, 2017; Accepted December 15, 2017)

### 요약

신재생에너지 중 태양 및 풍력에너지는 자원의 제어가 쉽지 않아 불규칙적인 전력을 생산하여 계통연계 시 불안정하다. 하지만 연료전지 시스템의 경우, 제어가능한 자원인 수소에너지를 기반으로 일정한 주파수와 전력을 생산하며 계통연계 시 좀더 안정적이다. 이와 같은 연료전지 시스템을 가정에서 사용하기 위해서는 전력변환장치의 안전성능이 중요하며 그 중 전자파적합성 성능 평가 방법이 중요하게 여겨진다.

본 연구에서는 연료전지 전력변환장치 성능평가 항목 중 전자파적합성의 국제규격과 국내 인증 기준 KGS AB934 PC53과 비교 분석하여 전원주파수 자계내성 시험의 도입 가능성을 검토하였다. 또한 실증 평가를 실시하여 성능 평가 보조 지표로 활용 가능한 정량적 데이터 확보에 대해 연구하였다.

**Abstract** - Solar and wind energy among the renewable energy produce irregular power because resource is difficult to control. When connected to grid have unstable. However, when the fuel cell system is connected to grid more stable because regular frequency and output power based on controllable hydrogen energy. To using fuel cell system in the household, it is important that the safety performance of power conditioning system(PCS) and it is important that evaluation method of electromagnetic compatibility(EMC).

In this study, we consider that introduce power-frequency magnetic field immunity test before analyzed that compare with the EMC of the international standards and KGS AB 934 PC53. Also, we conduct that actual assessment and study on available the quantitative analysis as using complementary indicator.

**Key words** : residential fuel cell, fuel cell PCS, EMC, power-frequency magnetic field immunity test

### 1. 서론

전 세계적으로 친환경 에너지를 위하여 다양한 신재생에너지 개발에 투자가 이루어지고 있다. 특히 Fig.1.에서 나타낸 바와 같이 2016년 세계 신재생에너지 투자 증가율은 풍력발전과 태양광발전이 주도하였다.[1]

신재생에너지로 생산된 전력량 역시 풍력과 태양광이 많은 양을 차지하였다. Fig. 2.와 같이 2003년부터 2013년까지 10년간 세계적으로 풍력과 태양광이 전 세계 신재생에너지 발전량 중 가장 많은 비중을 차지하고 있다. 국내의 경우에도 풍력과 태양광이 많은 비중을 차지하나 국내 발전량이 차지하는 비중은 매우 적다. 2003년부터 2013년까지 10년간 국내 신재생 에너지 발전량은 4.251 GW로 전 세계 용량의 0.27%를 차지하였다. [2]

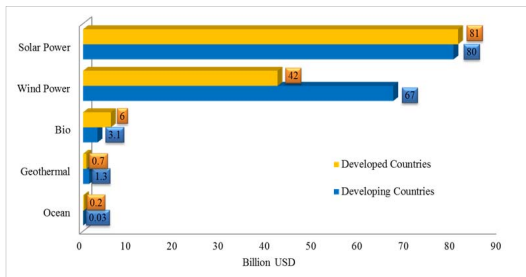
국내외적으로 신재생에너지 발전의 많은 비중을

†Corresponding author:taehonam@kgs.or.kr

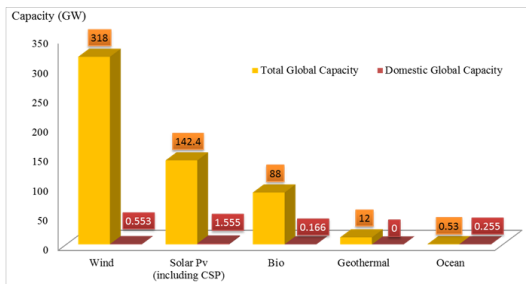
Copyright © 2017 by The Korean Institute of Gas

차지하고 있는 태양과 풍력에너지는 무한한 자원을 기반으로 전력 생산을 위한 연료들의 생산 비용이 들지 않는다는 장점이 있다. 하지만 무한한 자원인 태양과 바람은 인위적 혹은 시공간적으로 제어할 수 없어 지역에 따라 편차가 크다. 이 때문에 태양 및 풍력에너지로 생산되는 전력과 주파수는 불규칙하여 계통연계 시 불안정한 단점을 갖고 있다.

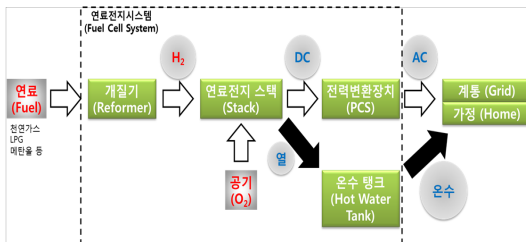
반면, 연료전지는 연료전지 스택에서 생성된 직류 전기가 전력변환장치(Power Conditioning System,



**Fig. 1.** Global investment in renewable energy by technology, developed and developing countries.



**Fig. 2.** Graph that compare between domestic and global renewable capacity for electricity generation.



**Fig. 3.** Schematic of residential fuel cell system.

PCS)에서 교류 전력으로 변환되어 계통에 연계되거나 가정에 공급하여 사용한다. 이 연료전지시스템은 제어가 가능한 수소에너지를 기반으로 하여 일정한 주파수와 전력을 생산하므로 태양광과 풍력의 계통 연계보다 안정적인 출력을 갖게 된다. 또한 발전으로 얻은 열과 물은 온수 및 보일러로 사용가능하다.

가정용 연료전지시스템을 Fig. 3.과 같이 도식화 하였다. 연료전지 시스템은 크게 연료개질기(Reformer)와 연료전지스택(Stack), 전력변환장치(Power Conditioning System, PCS), 온수 저장 탱크(Hot water tank)로 구분할 수 있다. 개질기는 천연가스, LPG, 메탄올 등의 연료를 수소로 바꾸어 스택에 공급할 수 있게 해주며 연료전지 스택은 수소연료의 화학에너지를 전기에너지로 바꾸어 직류 전력(DC power)을 생산하는 발전원이며, 발전 중에 생성된 열은 온수탱크로 전달되어 온수를 가정에 공급하게 된다. 스택에서 생성된 직류 전력은 가정에서 사용할 수 없기 때문에 전력변환장치를 통해 교류 전력(AC power)으로 변환한다. 이 전력은 계통에 연계되어 한국전력(이하 한전)에 공급하거나 가정에서 사용하게 된다.

일본은 열(온수)과 전력 시스템을 결합한 가정용 연료전지 시스템을 2020년까지 1.4백만개를 설치할 예정이다. 상기 시스템은 겨울과 같은 날씨에 요구되는 온수를 충분히 만족시킬 수 없기 때문에 보조 보일러가 필요하다. 그러므로 온수와 전력 발전 사이의 균형은 이 시스템의 핵심이다.[3]

여러 장점을 갖고 있는 가정용 연료전지 시스템은 가정 및 상업지역에서 사용될 수 있기에 무엇보다 안정성능이 중요하다. 특히, 국내의 전자기기 제조업체들 및 사용자들은 전자파에 관한 안전성능을 중요하게 생각한다. 연료전지 시스템 내에 사용되는 전자기기 중 전력변환장치 또한 전자파적합성과 관련하여 많은 연구가 되고 있으며, 가정용에서 안정적으로 사용할 수 있는 기준 마련이 시급하다.

본 연구에서는 가정용 연료전지 시스템 내에 설치되는 전력변환장치의 안전성능 평가항목 중 전자파적합성에 대한 국제 규격과 전력변환장치의 국내 규격인 한국가스안전공사의 'KGS AB934 PC53 - 연료전지 전력변환장치 성능 인증 기준'을 비교 분석하여 신규 도입이 가능한 평가항목의 실증 시험을 통해 도입 방향을 검토하였다.

## II. 전력변환장치 안전성능평가 기준 분석

신재생에너지의 계통연계를 위한 전력변환장치 기준이 마련은 되고 있으나 태양광과 풍력발전에 관한 비중이 크다. 해외에서의 가정용 연료전지 전력

변환장치의 안전성능평가 기준은 대부분 태양광 발전용 전력변환장치의 기준을 따라가는 추세이다.

미국은 전기전자제품을 자국에 판매할 때 UL(Underwriters Laboratory)인증을 받아야 한다. 전력변환장치에 해당되는 인증 기준은 UL1741 : Standard for Inverters, Converters, Controllers and Interconnection System Equipment for Use With Distributed Energy Resources 이다. UL1741은 하드웨어 관련한 안전성능평가를 중심으로 검증하며 소프트웨어의 인증 또한 따로 존재한다.[4, 5]

유럽에서는 CE(Communaute Europeenne)인증을 실시하고 있다. CE인증의 안전성능평가 항목은 CENELEC(Committee European de Normalisation Electrotechnique)에서 제정한다. 주로 IEC규격에 부합한 EN규격을 제정하여 실시 중이다. 가정용 연료전지 전력변환장치에 적용되는 규격은 EN 62477-1 : Safety requirements for power electronic converter systems and equipment - Part 1: General과 EN 62109-2 : Safety of power converters for use in photovoltaic power systems - Part 2: Particular requirements for inverters로 EN 62477-1은 태양, 풍력, 조력, 파력, 연료전지 등의 에너지원의 전력변환시스템의 안전성능 평가항목이 명시되어있고, EN 62109-2의 경우, 태양광 발전의 전력변환장치의 안전성에 다루며, 풍력 및 기타 대체 에너지원 모두를 대상으로 하고 있다.

일본은 연료전지가 가장 활발히 공급되는 나라로 일본공업규격(Japanese Industrial Standards, JIS)에서 규격을 제정하고 있다. 일본은 JIS C 8826 - Testing Methods of Power Conditioners for Grid Interconnected Small Fuel Cell Power Systems를 통해 소형 연료전지의 계통연계형 전력변환장치 성능평가 방법에 대한 기준을 설정하였다.[5]

국내 연료전지 전력변환장치 성능인증기준은 한국가스안전공사의 'KGS AB934 PC53 : 연료전지 전력변환장치 성능인증기준'과 IEC 규격을 부합한 KS C IEC 62477-1과 KS C IEC 62109-2 도 가정용 연료전지 전력변환장치 성능평가에 적용가능하다.

KGS AB934 PC53의 안전성능평가항목은 대부분 해외 기준과 유사하며, 차이점으로는 전자파적합성이 포함되어 있는 반면 국외 규격들은 전자파적합성 기준을 따로 제정하고 있다. 또한 국제규격 및 미국, 유럽 인증은 기계적인 위험에 대한 보호성능과 살수성능, 온도, 유출, 화재 및 물리적인 안전 기준들이 상세히 적혀있다. 이는 전력변환장치를 포함한 시스템에 관한 규격이기에 전력변환장치 인증 기준인 한국가스안전공사의 규격에는 전기적인 안

전성능을 주로 다루었으며, 해외 규격들은 보다 물리적인 보호성능이 중시되어 있다.

### III. 전력변환장치 전자파적합성 기준 분석

전기전자제품들은 강한 전자파로부터 영향을 받아 기기들이 오동작하거나 품질저하 등이 발생하는 등 전자파 역기능에 취약해 질 수 있다. 이런 전자파 역기능에 따른 피해를 줄이기 위해 전자파 적합성 (EMC, Electromagnetic Compatibility)에 대한 제도적·기술적 대책이 점점 더 많이 요구되고 있다. EMC는 제품에서 나오는 노이즈를 측정하는 EMI (Electro Magnetic Interference, 전자기 방해) 와 제품의 전자파내성을 측정하는 EMS (Electro Magnetic Susceptibility, 전자기 감응성)로 구분할 수 있다.

가정용 연료전지 전력변환장치에 적용 가능한 국내의 전자파적합성 기준 현황 및 평가항목을 분석하였으며, 적용 가능한 국제 규격은 Table 1.과 같다.

IEC 61000-6-1은 EMC 내성 요구조건을 위한 규격으로 주거용, 상업용 및 경공업 환경에서 사용하기 위한 전기 및 전자 기기에 적용되며, IEC 61000-4 series 규격은 전기와 전자 제품(기기 및 시스템)의 전기자기 환경 내 시험 및 측정 기술을 나타낸다.

CISPR((International Special Committee on Radio Interference)은 IEC 산하 기구로, CISPR 14 series는 가정용 전기기기, 전동공구 및 유사 기기의 전자파적합성 요구조건을 명시하고 있다. CISPR 14-1은 전자파 방출에 관한 측정 항목을 명시하며, CISPR 14-2는 전자파 내성에 대한 측정 항목을 나타낸다.

유럽에서는 EU 이사회 지침의 요구사항 2014 / 30 /

**Table 1.** Domestic and overseas EMC standards of PCS for residential fuel cell

Nation	Supervisor	Code	Remark
International	IEC	IEC61000-4-X	
		IEC61000-6-X	
	CISPR	CISPR 14-1	
		CISPR 14-2	
Japan	JIS	JIS C 8825:2013	
EU	CENELEC	2014/30/EU Directive	EN 61000-4 EN 61000-6
Korea	KGS	KGS AB934 PC53	

EU로 전자파적합성 인증을 실시하고 있다. 이 지침 내 성능평가는 IEC 국제 규격을 따라간다.

일본에서는 JIS C 8825 - Electromagnetic compatibility(EMC) for small fuel cell power systems 을 통하여 소형 연료 전지 시스템의 전자파 적합성 평가 항목을 규정하고 있다. 이 규격은 연료전지 시스템의 전자파 방출 및 내성 모두 측정하며 IEC 국제 표준의 시험 사항을 따르고 있다.

한국가스안전공사의 KGS AB934 PC53의 4.13항은 전자파적합성 성능평가기준을 명시하고 이 또한 IEC 및 CISPR 국제 규격의 시험사항을 따르고 있다.

Table 2.에 나타난 국내의 전자파적합성의 규격들은 대부분 IEC 규격을 따라가고 있다. IEC 61000-4 series와 IEC 61000-6 series를 기반으로 대부분의 전기전자제품의 전자파 적합성 규격이 정해지고 있다.

국제 규격 중 IEC 61000-4-8 : Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-8: Testing and measurement techniques - Power frequency magnetic field immunity test (전원주파수 자계 내성 시험)는 일본 JIS C 8825내에 항목이 존재하며 활용 중이다.

이에 따라 일본 및 IEC 규격에 적용되어 있는 전원주파수 자계내성 시험을 국내 규격에 도입 가능한지 검토해야 할 필요가 있다.

**Table 2.** Compare between EMC performance evaluation items by each standards of PCS for residential fuel cell

No.	Evaluation Items	KGS	JIS	IEC	CISPR
1	Electrostatic Discharge Immunity Test	○	○	○	○
2	Electric fast Transient / Burst Immunity Test	○	○	○	○
3	Surge Immunity Test	○	○	○	○
4	Radiated, Radio-frequency, Electromagnetic Field Immunity Test	○	○	○	○
5	Immunity to Conducted Disturbances, Induced by Radio-frequency Fields	○	○	○	○
6	Conducted Emission Test	○	○	○	○
7	Power-supply frequency magnetic field immunity	X	○	○	X

## IV. 전원주파수 자계내성 시험

### 4.1. 시험 평가 레벨 설정

IEC 61000-4-8 (전원주파수 자계내성 시험) 표준은 전원 주파수 50 또는 60 Hz에서의 전자기 방해에 대한 기기 내성 요구사항을 명시한다.[6]

연속적이고 짧은 지속 시간 동안 자기장 각각에 대한 시험레벨을 설정하고 시험 연속 지속 시간은 1분 이상 실시한다. 시험레벨의 경우 Table 3.과 같이 자기장 세기 별로 레벨을 설정하고 있다.

시험레벨 설정 시 지침은 아래와 같다.

- (1) 레벨 1 : 전자빔을 사용하는 민감한 장비가 사용될 수 있는 곳에서의 환경레벨
- (2) 레벨 2 : 접지보호 도체로부터 멀리 떨어진 가정, 사무실, 병원의 보호지역, 그리고 산업 시설 지역과 고전압 변전소 지역
- (3) 레벨 3 : 상업 지역, 제어 빌딩, 중공업 단지가 아닌 지역, 고전압 변전소의 컴퓨터실 등
- (4) 레벨 4 : 전형적인 산업 환경으로 중공업 지대, 발전소 및 고전압 변전소의 통제실 등
- (5) 레벨 5 : 가혹한 산업환경으로 중공업 단지, 메가볼트 및 고전압 발전소의 스위칭 지역
- (6) 레벨 X : 레벨 1~5보다 높거나 낮은 환경레벨의 사용이 요구되는 환경

본 실험에서 주파수는 국내 전력계통에서 사용 중인 60Hz로 설정하였으며, 가정용에서 사용되는 레벨 2와 상업지역에서 사용되는 레벨 3으로 설정하였다.

### 4.2. 시험 장비 및 배치

IEC 61000-4-8에서 정한 시험 장비는 전류원, 유도 코일 및 보조 시험장비(시뮬레이터 등)로 구성된다.

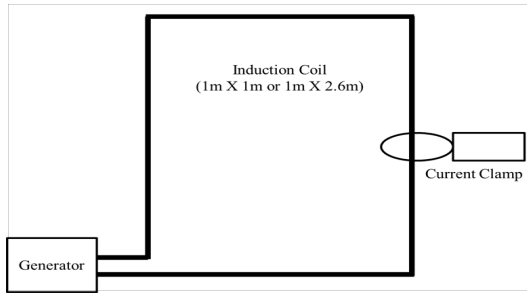
유도 코일은 Fig. 4.와 같은 1회 권선한 표준 코일을 사용하며 Table 4.과 같이 시험 전, 표준코일을 검증을 하여야한다. 검증 방법은 ±2% 이내의 정확

**Table 3.** Test levels for continuous magnetic field

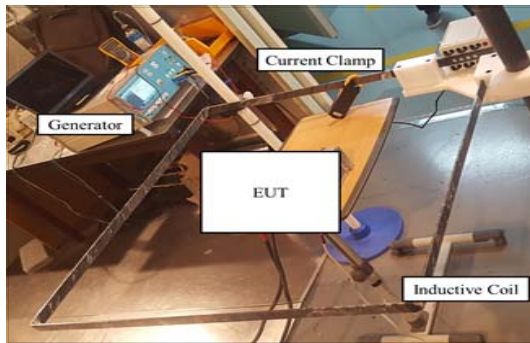
Level	Magnetic field strength [A/m]
1	1
2	3
3	10
4	30
5	100
X	Special

**Table 4.** Verification parameter for 1 m × 1 m inductive coil

Level	Magnetic field strength [A/m]	1 m × 1 m standard coil current [A]
1	1	1.15
2	3	3.45
3	10	11.5
4	30	34.48
5	100	114.95



**Fig. 4.** Schematic of calibration of the standard coils.



**Fig. 5.** The image of inductive coil calibration.

**Table 5.** Evaluation value of current for 1 m × 1 m inductive coil

Level	Magnetic field strength [A/m]	Evaluation value 1 m × 1 m coil current [A]
1	1	1.15
2	3	3.45
3	10	11.5

도를 가진 전류 프로브와 측정기기를 사용하여 실시한다.

IEC 61000-4-8 (전원주파수 자계내성 시험) 표준에서 정한 시험 장비의 배치는 탁상형 기기와 바닥 거치형 기기로 나눌 수 있다. 전력변환장치는 연료전지 시스템 내에 설치되기 때문에 탁상형기기로 설정하여 시험배치를 하였다. 유도코일도 이와 관련하여 1 m × 1m 표준 코일을 사용하였으며, Table 4.의 검증 매개변수를 활용, Fig. 5.과 Table 5.의 결과와 같이 전류를 평가하여 검증을 실시하였다.

Table 5.의 결과를 살펴보면, Level 1, 2, 3 각 레벨에서 Table 4.에 나타난 기준값과 일치하는 것을 확인하였다. 이를 통하여 정상 표준 코일을 사용하고 있다는 것을 검증하였다.

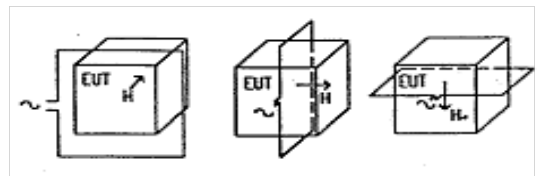
### 4.3. 전원 주파수 자계내성 시험 평가

판정기준은 IEC 61000-6-1을 따른다. 성능기준 판정은 아래와 같이 A, B, C, D로 나눌 수 있으며, 레벨에 따른 성능기준을 만족하여야 한다.[7]

- (1) 성능기준 A : 시험 중일 때와 시험 후에 정한 성능 내에서 정상 작동.
- (2) 성능기준 B : 시험 중 성능저하가 있을 수 있으나 설정 값을 잃지 않고 시험 후, 정상 작동.
- (3) 성능기준 C : 시험 중 성능저하가 시험 후에도 지속되며, 기기 전원을 Reset 시키고 나서 정상 작동.
- (4) 성능기준 D : Reset 후에도 정상 작동되지 않으며 이 경우, 부적합 처리.

가정용 연료전지 전력변환장치의 전원주파수 자계내성 시험은 위에서 설정한 기준으로 레벨 2와 레벨 3에서 진행하였으며, Fig. 6과 같이 X, Y, Z 축 방향으로 유도코일에 담금법을 적용하여 실험을 진행하였으며 정상작동 되는지 확인하였다.

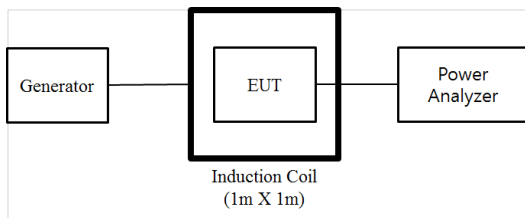
해외기준에서 전원주파수 자계 내성 시험은 레벨 2에서 기준 A, 레벨 3에서 기준 B를 만족하면 적합처리 한다. 일본의 JIS C 8825의 전원주파수 자계내성 시험도 레벨 2에서 성능 평가 기준 A를 만족



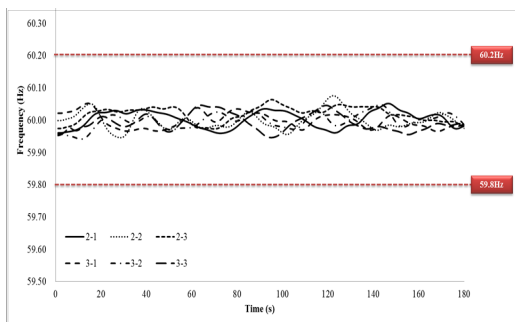
**Fig. 6.** Schematic of set-up for table-top EUT.

**Table 6.** Test results of power-frequency magnetic field immunity for PCS of 600W class residential fuel cell system

No.	Test	Criterion	Results	
2-1	Level 2 Fig. 6. left	A	normal operation	A
2-2	Level 2 Fig. 6. middle	A	normal operation	A
2-3	Level 2 Fig. 6. right	A	normal operation	A
3-1	Level 2 Fig. 6. left	B	normal operation	A
3-2	Level 2 Fig. 6. middle	B	normal operation	A
3-3	Level 2 Fig. 6. right	B	normal operation	A



**Fig. 7.** Schematic of evaluation to variation of frequency.



**Fig. 8.** Graph of test result that variation of frequency in level 2 and 3.

하여야 한다.

본 실험에서도 레벨 2에서 기준 A, 레벨 3에서 기준 B로 설정하여 적합/부적합 판단을 하도록 하

였다.

#### 4.4. 전원주파수 자계내성 시험 평가 결과

시험 측정 시간은 3분간 진행되었으며, 결과는 정상작동 여부를 육안으로 확인한다. Table 6.과 같이 시험 진행 중 성능저하 없이 전부 정상 작동하였다.

#### 4.5. 결과의 정량적 해석

전원주파수 자계내성시험 결과는 정량적으로 판단하지 않지만 전력분석계를 사용하여 Fig. 7.과 같이 출력 측의 주파수 변동을 측정하여 정량적인 해석이 가능한지 검토하였다.

전력분석계를 통한 시험 결과는 Fig. 8.에서 보듯이 시험 중 주파수 변화폭이 한전 기준  $60 \text{ Hz} \pm 0.2 \text{ Hz}$  범위를 벗어나지 않는 것을 확인하였다.

육안으로 정상작동 여부만 확인하던 전원주파수 자계내성 시험을 Fig. 8.과 같이 결과를 정량적으로 나타낼 수 있다는 것을 확인하였다.

### V. 결론

연료전지시스템은 균일한 전력을 생산할 수 있는 장점을 갖고 있다. 가정용 연료전지 시스템이 부각되며 전력변환장치의 안전성능이 중요하게 되었다. 이와 관련하여 해외 규격 및 성능인증 평가항목을 분석하고 국내 기준인 'KGS AB934 PC53'과 비교 시 부합하는 결과를 보였다. 이를 토대로 전력변환장치의 성능평가 항목을 도출하였다.

성능평가 항목 중 도입 가능한 항목을 도출하였으며 일본에서 시행중인 전원주파수 자계내성 시험의 도입 가능성을 검토하였다. 또한 전원주파수 자계내성 시험의 결과해석은 육안으로 정상작동 여부만 확인하였지만 본 실험에서는 정량적인 해석이 가능한지를 검토하여 성능기준을 만족하고 있음을 확인하였다.

### 감사의 글

본 연구는 2017년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.(No.20163030031830)

### REFERENCES

[1] A. Zervos, "Renewables 2016 Global Status Report", REN21 Secretariat, Paris, (2016)

- [2] Han, D. S., and Baek, S. H., "Status of renewable capacity for electricity generation and future prospects in Korea: Global trends and domestic strategies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 76, 1524-1533, (2017)
- [3] H. Aki , T. Wakui, R. Yokoyama, "Development of an energy management system for optimal operation of fuel cell based residential energy systems", *International Journal of Hydrogen Energy*, 41, 20314-20325, (2016)
- [4] Lee, Y. J., Ryu, K. Y., Lee, J. H., Kim, W. K., Kim, H. J., "Development of 1MW ESS PCS for UL1741/1998 certification", *Power Electronics Annual Conference*, 2015.07, 433-434, (2015)
- [5] Small & Medium Business Administration, KTR, KOTRA, "에너지산업 주요 품목별 해외 인증제도 조사", KOTRA, Seoul, (2017)
- [6] IEC technical committee 77, "IEC 61000-4-8 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 4-8: Testing and measurement techniques - Power frequency magnetic field immunity test", IEC, Geneva, (2009)
- [7] IEC technical committee 77, "IEC 61000-6-1 Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 6-1: Generic standards - Immunity standard for residential, commercial and light-industrial environments", IEC, Geneva, (2016)