

# 연료전지용 계통연계형 전력변환기의 전력품질개선제어

이정민, 정상민, 서인영, 한세희, 목형수\*, 최규하\*  
(주)효성 중공업연구소, \*건국대학교

## Improvement Control of Power Quality of Grid-Tied PCS for Fuel Cell System

J.M. Lee, S.M. Jung, I.Y. Suh, S.H. Han, H.S. Mok\*, G.H. Choe\*  
Hyosung Corp., \*Konkuk Univ.

### Abstract

The phase angle of the utility voltage is used in current control of grid-tied fuel cell power converter. Therefore if the detection of phase angle is a problem, Current control is affected by the distorted phase angle. This paper presents a problem of synchronous reference frame PLL algorithm for single-phase systems and proposes compensated synchronous reference frame PLL algorithm. The proposed method helps power quality improvement of grid-tied fuel cell power converter under distorted utility conditions. Simulation and experimental results are presented to demonstrate the validity of the proposed method.

### 1. 서론

급변하는 국제에너지 환경 속에서 에너지 공급의 새로운 전기를 모색하기 위한 여러 가지 신재생에너지를 이용한 분산형 전원에 대한 연구가 활발히 이루어져 왔다. 특히 수소에너지를 이용한 연료전지 발전 시스템은 연속운전과 열병합운전이 가능하여 기존 분산형 에너지가 갖는 이용율저하를 극복하고 열회수를 통한 전체 발전시스템 효율을 높일 수 있는 장점을 갖는다. 가정용 연료전지 시스템은 가정에 공급되는 도시가스를 개질하여 생성된 수소를 이용하여 연료전지에 공급하여 반응 후 생성물로 전기에너지와 열에너지를 가정에 공급하며<sup>[1]</sup>, 현재 국내에서는 모니터링 사업을 통하여 실증운전 중에 있다.

연료전지는 저전압, 대전류의 특성을 갖는 직류원이며, 전력계통에 연계하기 위하여 승압형 DC/DC 컨버터와 DC/AC 인버터로 구성된 전력변환기가 필요하다. 승압형 DC/DC 컨버터는 연료전지의 출력을 일정하게 유지하고, 낮은 입력전압을 승압시키며 연료전지와 전력계통을 절연하기 위하여 고주파 변압기를 포함하는 토폴로지를 주로 사용한다<sup>[2]</sup>. 소용량 연료전지시스템인 경우 단상 DC/AC 인버터를 이용하여 계통과 연계운전하며, 전력계통에 전류를 주입하여 전력을 공급하는 계통연계형 전력변환기에서 계통전압의 위상검출은 제어를 위해 반드시 필요한 사항이다<sup>[3]</sup>.

단상 인버터의 전력계통 연계 운전 시 위상검출은 영점검출방식과 동기좌표계의 원리를 이용한 검출방식이 일반적으로 사용되고 있으며 영점 검출 방식은 영점에서만 위상을 검출하기 때문에 추정속도가 느리고 노이즈에 민감한 단점이 있다. 반면에 동기좌표계의 원리를 이용한 위상 검출 방식은 추정속도가 빠르고 순시위상검출이 가능하고 노이즈에 강인한 장점을 가지고 있다. 하지만 동기좌표계의 원리를 이용한 위상검출은

이론적으로 사인함수를 기초로 하기 때문에 계통전압에 고조파가 함유되어 계통전압이 왜곡될 경우 검출된 위상값에 진동이 발생하는 문제점이 있다. 또한 이러한 위상값을 통해 전류지령신호를 만들어 내는 경우 전력품질에 악영향을 미치게 된다. 본 논문에서는 전력품질개선을 위해 동기좌표계의 원리를 이용한 위상검출방식의 문제점을 분석하고 이를 해결하기 위한 위상검출방식을 제안하였다. 또한 시뮬레이션과 실험을 통하여 타당성을 검증하였다.

### 2. 동기좌표계 원리를 이용한 위상검출방식의 문제점

그림1은 연료전지용 컨버터 및 인버터의 제어기 구성을 나타낸다. DC/DC 컨버터는 일정전류제어를 수행하며, DC/AC 인버터는 DC-link 커패시터의 전압을 일정하게 제어하기 위한 전압제어 출력 값이 계통 전류의 지령값이 된다. 이때 전류 지령값과 계통 전압으로부터 얻어진 위상을 곱하여 최종 전류 지령값을 출력하게 된다. 그러므로 인버터의 계통연계 운전 시 위상정보가 중요하며, 위상정보가 왜곡되거나 계통과 동기 되지 않으면 전력품질에 영향을 주게 된다.

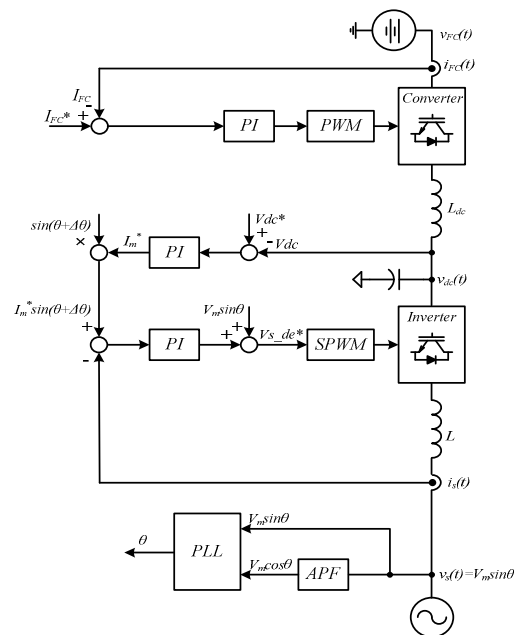


그림1 연료전지용 전력변환기의 제어기 구성  
Fig. 1 Controller of power conditioning system for fuel cell

일반적으로 동기좌표계 원리를 이용한 위상검출방식은 그림 2 와 같이 구성되며, 계통전압을 가상 2 상으로 변환한 후 동기좌표계로 다시 변환하여 Q 축에서 위상정보를 얻어 제어기를 통해 계통의 위상을 추종하게 된다.

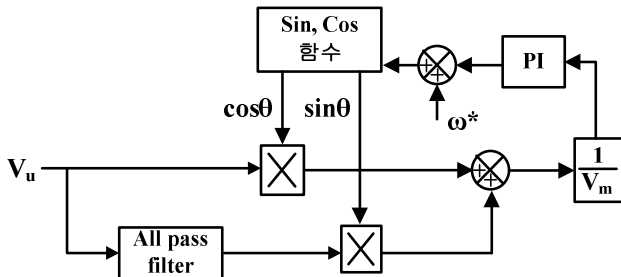


그림 2 동기좌표계 원리를 이용한 위상검출방식  
Fig. 2 Phase detect method using synchronous reference frame.

계통전압에 고조파가 없다고 가정하고 Q축 성분은 수식으로 나타내면 식(1)과 같으며 계통전압에 3, 5차등의 고조파가 포함되어 있을 경우에는 식(2)와 같이 표현할 수 있다. 그림3은 계통전압에 고조파 포함 여부에 따른 위상각 왜곡을 도시화 하였다. 식(1), (2)에서 볼 수 있듯이 계통전압에 고조파가 없으면 정상적으로 위상을 검출할 수 있으나 계통전압에 고조파가 함유되어 있으면 고조파 성분이 Q축에 나타나 올바른 위상을 검출할 수 없다.

$$V_q^e = V_{m1} \sin(\theta_{u1} - \theta_{PLL}) \quad (1)$$

$$V_q^e = V_{m1} \sin(\theta_{u1} - \theta_{PLL}) + V_{m3} \sin(2\omega t + \theta_{u3} - \theta_{PLL}) + V_{m5} \sin(4\omega t + \theta_{u5} - \theta_{PLL}) \dots \quad (2)$$

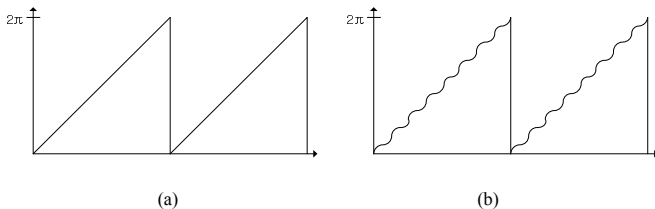


그림 3 위상각 (a)계통전압에 고조파가 없을 때 위상각  
(b) 계통전압에 고조파가 있을 때 위상각  
Fig.3 Phase angle (a) Phase angle without harmonic distortion in grid  
(b) Phase angle with harmonic distortion in grid

### 3. 제안된 위상검출방식

동기좌표계 원리를 이용한 위상검출방식의 문제점을 보완하기 위해 제안된 위상검출방식은 그림 4와 같다. 제안된 위상검출방식은 동기좌표계 원리를 이용한 위상검출방식에 위상보상제어기를 추가한 형태이다.

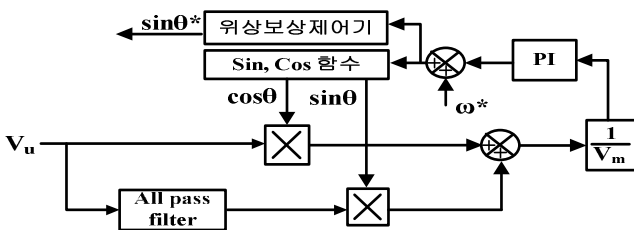


그림 4 제안된 위상검출방식  
Fig.4 Proposed method of phase detect

위상보상제어기는 그림 5에서 보듯이 왜곡된 위상각으로부터 직선성분만을 추출하는 것을 목적으로 한다. 왜곡된 위상정보로부터 주기적인 주파수를 검출할 수 있으며 이를 통해 정상적인 위상각을 재생성 할 수 있다.

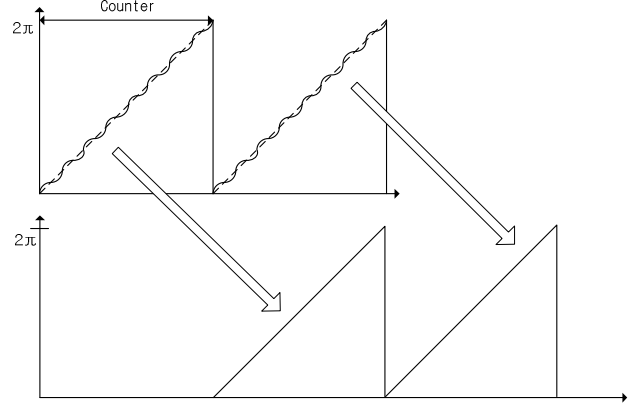


그림5 위상각 보상  
Fig. 5 Compensation of phase angle

### 4. 시뮬레이션 및 실험

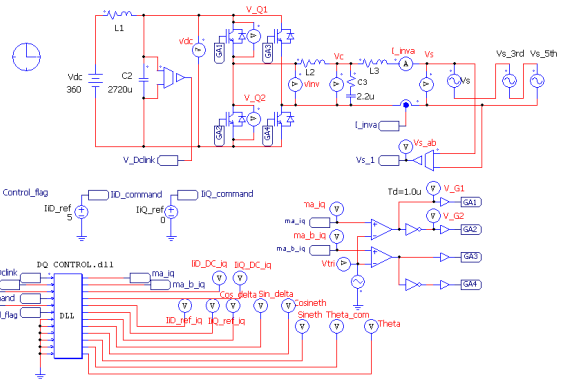


그림6 시뮬레이션 회로  
Fig. 6 Simulation circuit

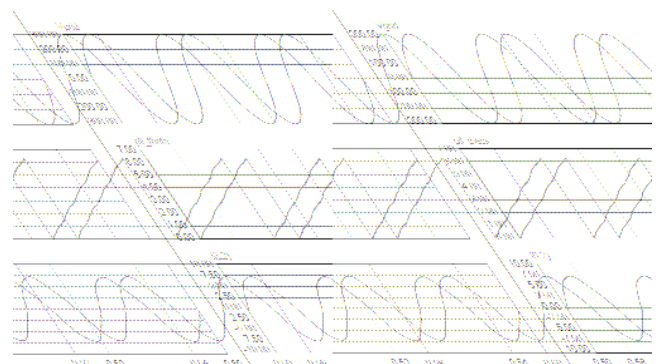


그림7 동기좌표계를 이용한 위상검출방식의 시뮬레이션 파형  
(상:계통전압 중:위상각 하:출력전류)  
Fig.7 Simulation wave of phase detect by synchronous reference frame  
(Upper : Grid voltage Medium : Phase angle Lower : Output current)

제안된 위상검출방식을 검증하기 위하여 시뮬레이션과 실험을 수행 하였다. 시뮬레이션은 그림6과 같이 Psim의

DLL을 이용한 Digital Control 방식으로 수행하였다. 그림 7은 동기좌표계를 이용한 위상 검출방식의 시뮬레이션 파형이다. 계통전압에 고조파가 함유되어 있는 것을 볼 수 있으며 이로 인해 위상각과 출력전류가 왜곡되는 것을 볼 수 있다. 그림 8은 제안된 위상검출방식의 시뮬레이션 파형이다. 계통전압에 고조파가 포함되어 있는 경우에도 위상각과 출력전류에는 왜곡이 없는 것을 볼 수 있다. 그림 9는 제안된 위상검출방식을 적용한 실험결과이다. 계통전압의 왜곡에서도 출력 전류의 THD 4%이하를 얻을 수 있었다.

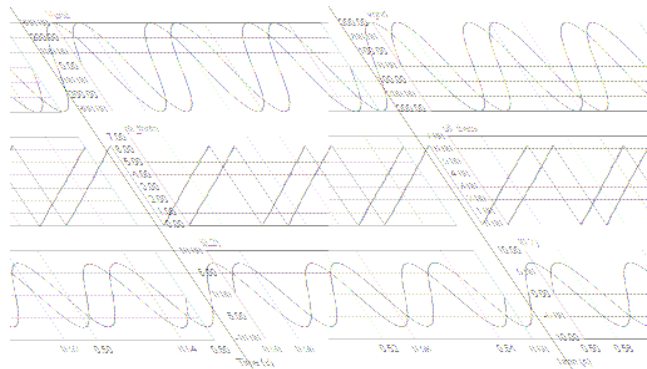


그림8 제안된 위상검출방식의 시뮬레이션 파형  
(상:계통전압 중:위상각 하:출력전류)  
Fig.8 Simulation wave of phase detect by proposed method  
(Upper : Grid voltage Medium : Phase angle Lower : Output current)

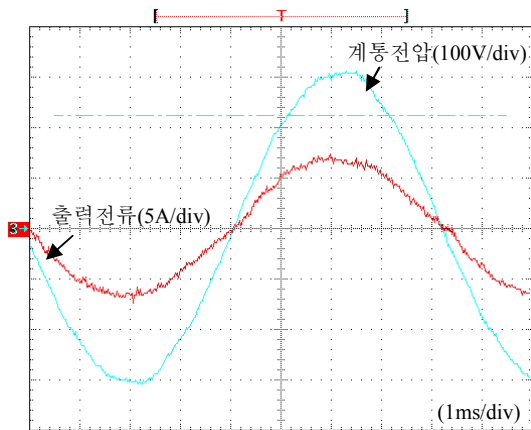


그림9 제안된 위상검출방식의 실험결과  
Fig.9 Experimental results of phase detect by proposed method

## 5. 결론

본 논문에서는 연료전지용 전력변환기의 계통연계 운전시에 발생할 수 있는 계통전압의 고조파에 의한 왜곡시에 동기좌표계 원리를 이용한 위상검출방식의 문제점을 도출하고 이를 개선하기 위한 위상검출방식을 제안하였다. 제안된 위상검출방식을 적용하여 전력품질이 개선되는 것을 시뮬레이션과 실험을 통해 검증할 수 있었다.

이 논문은 산업자원부 수소연료전지 사업단 “5kW 급 열병합 고체산화물 연료전지 발전시스템 개발” 연구비 지원에 의하여 연구되었습.

## Reference

- [1] K. Nishizaki, M. Kawamura, N. Osaka, K. Ito, N. Fujiwara, Y. Nishizaki, H. Kitazawa, "Development of a Residential PEFC Co-Generation System", *2005 Fuel Cell Seminar*, Vol. 1., pp. 299-302, 2005, Nov.
- [2] Jin Wang, Peng F.Z., Anderson J., Joseph A., Buffenbarger R., "Low cost fuel cell converter system for residential power generation", *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 19, pp. 1315-1322, 2004, Sep.
- [3] Rae-Young Kim, See-Young Choi, In-Young Suh, "Instantaneous control of average power for grid tie inverter using single phase D-Q rotating frame with all pass filter", *IEEE IECON04*, Vol. 1., pp. 274-279, 2004, Nov.
- [4] Silva, S.M.; Lopes, B.M.; Filho, B.J.C.; Campana, R.P.; Bosventura, W.C., "Performance Evaluation of PLL Algorithms for Single-phase Grid-connected Systems", *IEEE IAS 2004*, Vol. 4, pp. 2259-2263, 2004, Oct.
- [5] N.G. Hingorani, "Power Electronics in Electric Utilities : Role of Power Electronics in Future Power System", *Proceedings of the IEEE*, Vol. 76, No. 4, pp. 481-482, 1988, April.