

# 일본의 태양광 PCS 단독운전 능동적 검출방식 표준 규격에 대한 고찰

박영호, 이승용, 류승표  
현대중공업

## A Study on Japanese Standard Active Islanding Detection Scheme of Photovoltaic Power Conditioning System

Young-Ho Park, Seong-Yong Lee, Seung-Pyo Ryu  
Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.

### ABSTRACT

전력 계통에 연계하는 신재생에너지 분산형 전원의 보급량이 지속적으로 늘어나면서 저압 계통의 공통 연계점에 다수대의 PCS(Power Conditioning System)가 집중적으로 설치되는 사례가 증가하고 있다. 최근 일본전기공업회(JEMA)는 계통 사고나 계획 정전 등으로 변전소 차단기가 개방되었을 때, 복수대 PCS의 능동방식이 서로 간섭을 일으켜 정해진 시간 내에 단독운전 검출기능이 작동하지 않게 되는 상황을 방지하기 위해 표준형 단독운전 능동적 방식을 공표하였다.

본 논문에서는 일본 단독운전 검출방식의 표준으로 지정된 스텝주입이 있는 주파수피드백 방식의 원리와 특징을 살펴보고, 이를 적용하여 연계 보호기능의 안전성 확보와 분산형 전원 보급에 기여하는 효과에 대해 소개하였다.

### 1. 서론

일본에서 분산형 전원 설치자는 전력계통에 연계하기 위해 전력회사와 계통연계협의를 실시해야 한다. 이는 계통의 전력품질과 공급 신뢰도 측면에서 문제가 없음을 기술협조로 검토하는 것이 주된 목적이다. 엄격한 시험규정을 갖고 있는 JET(일본전기안전환경연구소) 인증을 취득한 10kW 미만의 태양광 발전시스템용 PCS는 이 부분을 간략하게 진행할 수 있으나, 기술자료의 제출이 완전히 불필요한 것은 아니다.

그 대표적인 예로 단독운전 방지기능 다수대 비간섭 확인시험을 들 수 있다. 동일한 주상변압기 밑으로 나중에 설치하는 PCS는 이미 설치된 모든 PCS에 탑재된 단독운전 방지기능과 상호 간섭을 일으키지 않는다는 시험 보고서를 제출해야 한다. 그러나 동일 배전계통에 2대 이상의 복수대 PCS가 연계하면 능동적 방식의 상호 간섭에 의해 단독운전 검출감도가 저하될 가능성이 원천적으로 존재한다. 이는 동일한 메이커의 제품끼리 연계할 경우에도 마찬가지이다.

재생가능에너지 전기의 조달에 관한 특별 조치법이 일본에서 2012년 7월부터 시행되면서 태양광 발전시스템에서 생산된 전기는 전력회사에서 20년간 고정가격으로 전량매입(Feed In Tariff)해 주므로 산업용 태양광 시장이 급성장하고 있다. 특히, 50kW 미만의 태양광 발전설비는 소출력 범위로 분류되어 저압 배전계통에 연계할 수 있어 소용량 PCS를 다수대 병렬로 설치하는 사례가 급증하고 있다.

기준에는 JEMA에서 비간섭 확인시험의 증개 및 시험결과를 데이터베이스화하여 공표하였다. 그러나 일본 시장에 참가하는 PCS 메이커가 증가하여 출시 모델도 다양해지고 다수대가

병렬로 운전하는 시스템이 늘어나면서 시험 조합의 패턴이 급증하고 있고, 해외 메이커의 경우 타사 일본 제품을 자국으로 대어해서 시험하는 것 자체가 어려우므로 한계에 봉착하였다. 이에 따라 지금까지 각 PCS 메이커가 독자적으로 개발하여 사용한 단독운전 검출방식의 표준화를 이루어 규격(JEM 1498)<sup>[1]</sup>으로 공표함과 동시에 확인시험의 증개를 정지하였다.

### 2. 표준 능동적 방식의 개요

새로운 단독운전 표준 검출방식(신형 능동방식)의 정식 명칭은 스텝주입이 있는 주파수피드백 방식으로 그림 1과 같이 계통주파수 계측부, 주파수 피드백부, 무효전력 스텝주입부, 단독운전 검출부의 4개 제어부로 구성되어 있다.

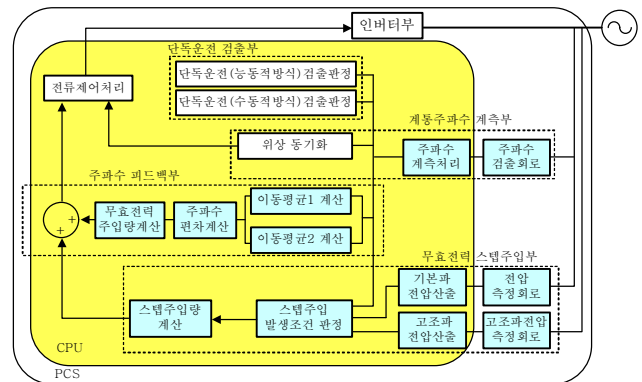


그림 1 표준형 능동적 단독운전 검출방식의 블록도

#### 2.1 계통주파수 계측부

계통 주파수의 측정은 계통 전압을 구형파로 변환한 다음에 이를 입력하여 한 주기마다 갱신해서 측정한다. 주기의 시작과 종료 시점을 그림 2에서 나타난 것과 같은 방법을 준수해야 하고, 주파수 계측의 분해능은 2.5MHz 이상이어야 한다.

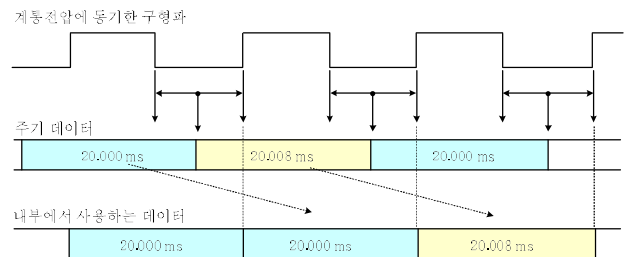


그림 2 계통 주파수(주기) 측정 알고리즘

## 2.2 주파수 피드백

주파수 편차의 계산은 그림 3과 같이 현재까지의 40msec 동안의 이동평균과 200msec 이전의 80msec 동안의 이동평균을 이용한다.

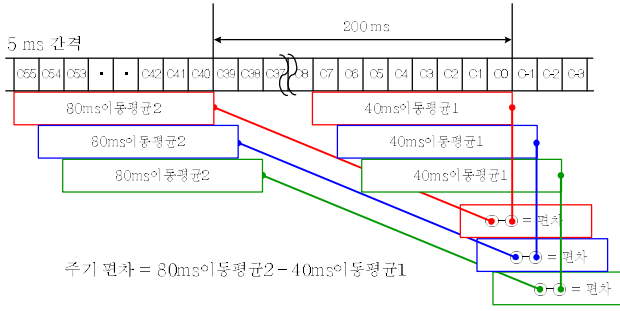


그림 3 주파수 편차 연산 방법

연산에 이용하는 이동평균은 계통 주파수(50Hz/60Hz)와 무관하게 그림 4와 같이 일률적으로 5msec마다 갱신하고 주파수 편차의 계산도 5msec마다 실시한다.

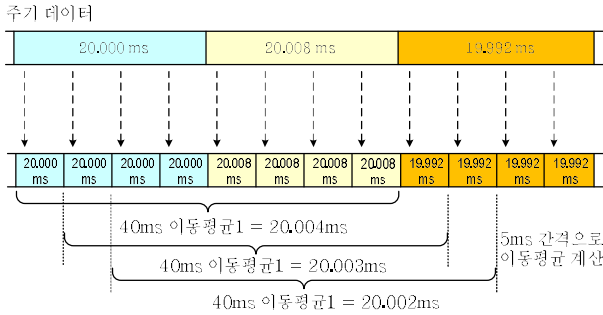


그림 4 이동평균의 업데이트 방법

주입하는 무효전력량은 그림 5의 그래프와 같이 주파수 편차의 절대치 0.01Hz 기준으로 1단 Gain 내지 2단 Gain으로 주입한다. 주입하는 무효전력의 상한은 0.25p.u.이며, 주입 타이밍은 주파수 편차 검출 후 반사이클 이내에 실시한다.

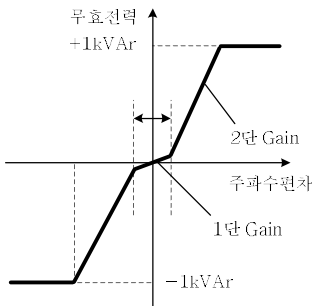


그림 5 무효전력 주입 특성 그래프 (4kW의 예)

## 2.3 무효전력 스텝주입부

무효전력 스텝주입의 조건은 주파수 편차의 절대치가 0.01Hz 이내이며 고조파 전압이 표 1의 조건을 모두 만족하거나 기본파 전압이 표 2의 조건을 모두 만족했을 경우이다. 고조파 전압은 이산 푸리에 분석을 실시하여 2~7차까지 성분의 전고조파왜율을 이용해 연산한다. 주입 조건이 충족되면 0.1p.u.

이하로 전류 위상을 늦추는 방향으로 3 사이클 이하동안 주입한다. 주입 타이밍은 조건 성립 후, 반사이클 이내에 실시한다.

표 1 무효전력 스텝주입 발생조건 (고조파 전압 변동)

조건1	$(N_0^{THD} - N_{avr}^{THD}) > 2.0$	조건4	$ (N_3^{THD} - N_{avr}^{THD})  < 0.5$
조건2	$(N_1^{THD} - N_{avr}^{THD}) > 2.0$	조건5	$ (N_4^{THD} - N_{avr}^{THD})  < 0.5$
조건3	$(N_2^{THD} - N_{avr}^{THD}) > -0.5$	조건6	$ (N_5^{THD} - N_{avr}^{THD})  < 0.5$

- $N_i^{THD}$  : i주기 이전의 계통전압 THD 실효값
- $N_{avr}^{THD} = (N_3^{THD} + N_4^{THD} + N_5^{THD})/3$

표 2 무효전력 스텝주입 발생조건 (기본파 전압 변동)

조건1	$(N_0^{FND} - N_{avr}^{FND}) > 2.5$	조건4	$ (N_3^{FND} - N_{avr}^{FND})  < 0.5$
조건2	$(N_1^{FND} - N_{avr}^{FND}) > 2.5$	조건5	$ (N_4^{FND} - N_{avr}^{FND})  < 0.5$
조건3	$(N_2^{FND} - N_{avr}^{FND}) > -0.5$	조건6	$ (N_5^{FND} - N_{avr}^{FND})  < 0.5$

- $N_i^{FND}$  : i주기 이전의 계통전압 기본파 실효값
- $N_{avr}^{FND} = (N_3^{FND} + N_4^{FND} + N_5^{FND})/3$

## 2.4 단독운전 검출부

스텝주입 주파수피드백 방식은 계통이 정전했을 때, PCS가 주파수가 변하는 방향과 일치하게 전류 위상을 진행 또는 지연시키도록 제어하고, 주파수 변화가 없을 때에는 교류 전압의 기본파와 고조파를 감시해 이상이 있으면 무효전력을 주입하여 주파수 변화를 조장한다. 능동 신호에 의해 밸런스를 무너뜨려 발생한 주파수 변화의 임계값과 시퀀스에 대한 규정은 표준에서 따로 명시하고 있지 않다.

## 3. 결론

기존의 단독운전 검출방식을 채용한 다수대 PCS의 경우, 능동신호의 상호 간섭으로 단독운전 발생 가능성이 있기 때문에 배전용 변전소의 변압기 단위에서 역조류를 일률적으로 금지하여 분산형 전원 도입을 제한하는 케이스가 일본 내에서 전국적으로 발생하고 있다. JEM 1498 능동적 방식 표준은 이에 대한 기술적 해결을 제시하며, 다음과 같은 특징을 가진다.

- 다른 능동 방식과 간섭이 없음.
- 고속으로 단독운전을 검출함.
- 계통 외란 발생 시 오검출이 없음.
- 능동 신호가 계통에 주는 영향이 거의 없음.

이에 따라 지금까지 실현되지 않았던 솔라타운 등의 대량 연계의 길이 열렸으며, JEMA의 표준 규격대로 제작되어 있는 것을 제 3자 인증기관인 JET에서 인증하면, 복수대 비간섭성 확인시험이 불필요하므로 계통연계협의를 간소화시킬 수 있다.

## 참고 문헌

[1] Japan Electrical Manufacturers' Association (JEMA), "A Frequency Feedback Method with Step Reactive Power Injection", JEM 1498, 2012.  
 [2] Japan Electro Technical Standards and Codes Committee, "Grid-interconnection Code", JEAC 9701-2012