

# 스마트 ESS 전력제어모듈용 3상 PCS 시제품 성능시험

이태승 황동옥 이동주 백석민  
국제통신공업(주)

## Performance Test of Three Phase PCS Prototype for smart ESS Power Control Module

Tae Seung Lee, Dong Ok Hwang, Dong Ju Lee, Seok Min Paik  
Kukje Electric MFG. Co., Ltd.

### ABSTRACT

본 연구에서는 ‘Open Framework 기반 Smart ESS 전력제어 모듈’과 연동을 위해 설계, 제작한 3상 PCS 시제품의 동작 모드별 주요 전기적 특성을 분석하였다.

충전모드에서 운전시 PWM 컨버터의 입력역률, 입력전류 THD 및 전력변환 효율과 방전모드로 운전시 계통으로 주입되는 전류의 역률, THD 및 전력변환 효율을 각각 측정, 분석하였다. 또한 독립운전시 부하량에 따른 PWM 컨버터의 출력전압 THD 및 전력변환 효율을 측정, 분석하였다.

### 1. 서론

대규모 ESS 시장에 더하여, 개인용 또는 소규모 기업 및 건물용으로 ESS 시장이 확대될 것으로 예측되고 있다. 이와 같은 상황에서 그림 1 (a)와 같이, 기존의 ESS 시스템은 각 PCS와 축전지의 제조사마다 내, 외부 인터페이스의 방식이 다르기 때문에 사이트별로 EMS와 PMS의 인터페이스를 개발해야 하는 번거로움이 있다.

반면에 그림 1 (b)는 비록 통신방식이 다르지만, 다양한 제조사의 PCS와 축전지가 하나의 사이트에서 운영될 때에, 스마트 ESS 전력제어 모듈을 사용하여 각 ESS마다 EMS와 PMS의 인터페이스 개발을 하지 않아도 되며, ESS 에너지 네트워크의 운영기술을 통합하고, 이를 모니터링 및 제어할 수 있는 장점이 있다. [1]

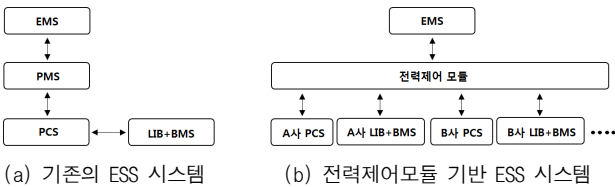


그림 1 ESS 네트워크 구성도  
Fig 1 Block Diagram of ESS Network

본 논문에서는 이러한 개방형 표준 프레임 기술에 접목시키기 위하여 당사가 개발한 30 [kW] PCS 시제품의 각 동작 모드별 전기적인 특성을 시험을 통하여 분석하였다.

### 2. 시스템 구성

그림 2는 30 [kW] PCS 시제품의 원선도를 나타내고 있다. 30 [kW] 용량을 갖는 양방향 PWM 컨버터가 운전하고, Y D 변압기를 통한 계통연계형 구조이다.

정상운전시 PWM 컨버터는 축전지에 전류를 공급하여 충전모드로 동작하거나, 계통 측으로 전류를 주입하는 방전모드로 동작할 수 있으며, 또한 계통전원 이상시 이를 대신하여 PCC 지점에 전압을 생성하는 독립운전모드로 동작할 수 있다.

PCS가 운전 중 전원계통의 이상을 감지하였을 때, 이와 PCS를 상호 분리시키기 위한 목적으로 SW1이 삽입되었다.

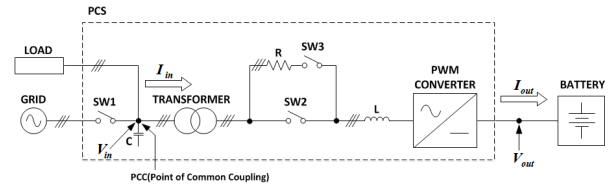


그림 2 30kW PCS 시제품 원선도  
Fig 2 One line diagram of 30kW PCS prototype

표 1은 30kW PCS 시제품의 주요 동작 모드별 사양이다.

표 1 PCS 제품의 동작모드별 입출력사양  
Table 1 Input and output specifications of the PCS

항 목		사 양
충전, 방전 모드	전압 범위	3상4선 380/220 [V] ±10 [%]
	주파수 범위	60 [Hz] ±3%
	역률	0.99 이상 (100% 부하시)
	전류 THD	5 [%] 이하 (100% 부하시)
	효율	충전모드 90 [%] 이상 방전모드 92 [%] 이상
독립 운전 모드	정격출력전압	3상4선 380/220 [V]
	정격 주파수	60 [Hz]
	전압 안정도	1 [%]
	주파수 안정도	±0.1 [Hz] (입력 정전시)
	정격 부하	30 [kW]
	과도 전압	±5 [%] 이하
	전압 THD	3 [%] 미만 (선형부하시)
	과부하 내량	125 [%] 10분
효율	92 [%] 이상 (100% 부하시)	

그림 3은 30[kW] PCS 시제품과 리튬이온 배터리의 사진을 나타내고 있으며, 표 2는 리튬이온 배터리의 사양을 나타낸다.



그림 3 리튬이온 축전지 랙 과 30kW급 PCS 시제품  
Fig 3 Li-Ion battery rack and 30kW PCS prototype

표 2는 리튬이온 축전지 랙 시스템의 사양을 나타낸다. 하나의 축전지 모듈을 9직렬로 구성하여 충전 정지전압을 522.9[V]로 결정하고, 이를 같은 구조의 축전지와 함께 병렬로 구성하였다.

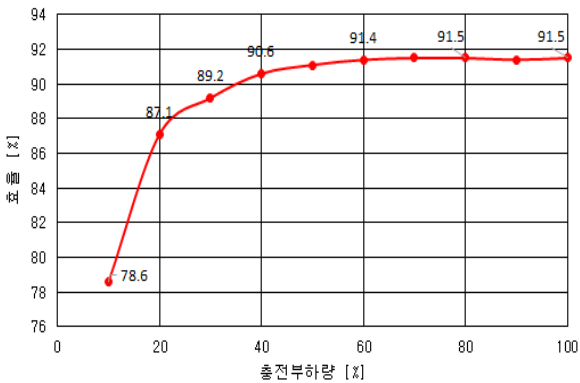
표 2 축전지 랙 시스템 사양  
Table 2 Specifications of battery rack system

항목	축전지 모듈	축전지 랙 시스템
연결	선직렬, 후병렬	9직렬 2병렬
용량	62 [Ah]	124 [Ah]
공칭전압	51.8 [V]	466.2 [V]
방전 차단 전압	42 [V]	378 [V]
충전 정지전압	58.1 [V]	522.9 [V]
최대 방전전류	300 [A]	600 [A]

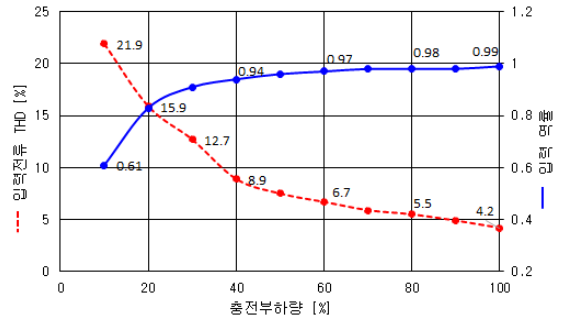
### 3. 성능시험

#### 3.1. 충전 모드

그림 4는 전력분석계를 이용하여 30 [kW] PCS의 충전모드 운전시 충전부하량에 따른 PWM 컨버터의 전력변환효율, 입력역률 및 입력전류THD를 측정된 결과이다.



(a) 효율특성



(b) 입력특성

그림 4 충전 모드 성능시험 결과  
Fig 4 Performance test result at Charging mode

PCS의 충전부하량과 축전지 측으로 입력되는 전력을 측정하였으며, 축전지의 SOC(State Of Charge)가 약 80[%]일 때 시험을 수행하였다. PCS가 충전모드로 동작시 정격 대비 충전부하량이 40 [%] 이상일 때부터, 전력변환효율은 90 [%] 이상을 유지한다. 반면에 충전부하량이 30 [%] 이하일 때부터 효율은 최소 78.6 [%]까지 급격하게 떨어지는 경향을 보이고 있으며, 최대 전력변환효율은 91.5 [%]이다.

충전부하량이 100 [%]일 때의 입력전류 THD는 4.2 [%]로써, 표 1에 명시된 PCS 사양을 만족한다.

#### 3.2. 방전 모드

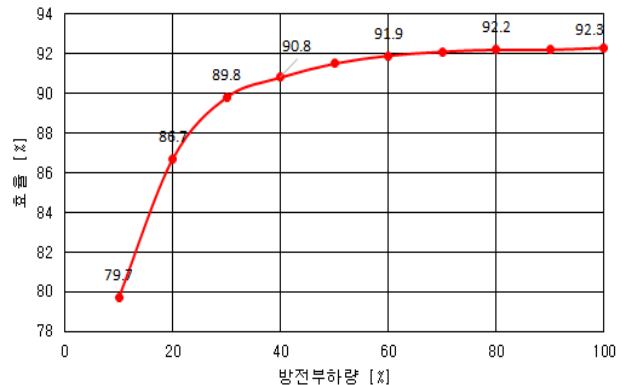
아래의 그림 5는 PCS의 방전모드 운전시 방전용량에 따른 PWM 컨버터의 전력변환효율과 계통주입전류의 THD 및 역률을 나타낸다.

축전지의 방전부하량과 PCS측으로 입력되는 전력을 측정하였으며, 충전모드와 마찬가지로 SOC는 약 80 [%] 정도이다. 방전모드로 동작시 방전부하 용량이 40 [%] 이상일 때부터, 전력변환효율은 90 [%] 이상을 유지하고 있으며, 최대 방전효율은 92.3 [%]이다.

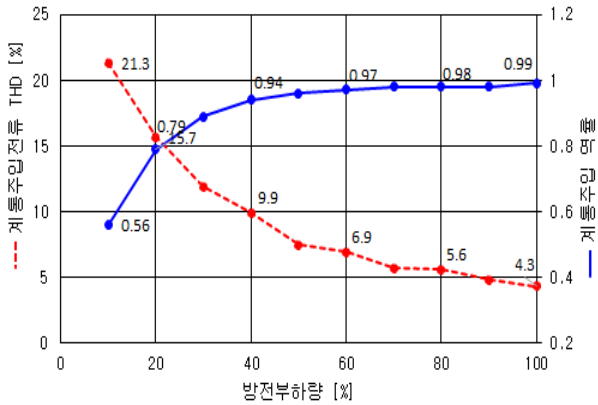
반면 방전용량이 30 [%] 이하일 때부터 전력변환 효율이 최소 79.7 [%]까지 급격하게 떨어져 충전모드로 동작할 때와 비슷한 경향을 보인다.

역률은 최대 0.99로써, 계통 주입전류의 제어에 원활하게 이루어지는 것을 짐작할 수 있다.

방전 용량이 100 [%]일 때 계통주입전류 THD는 4.3 [%]로써, 표 1에 명시된 PCS 사양을 만족한다.



(a) 효율특성

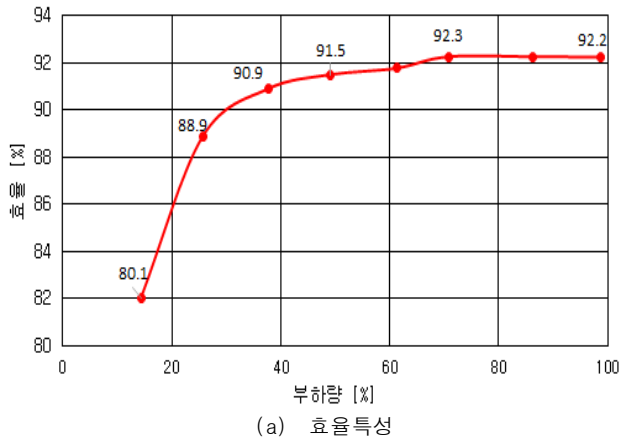


(b) 계통주입전류특성

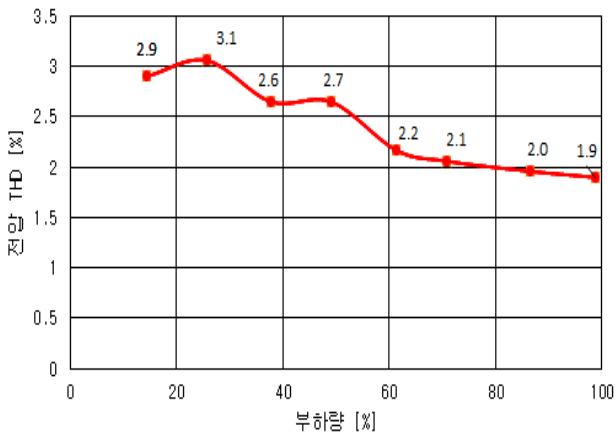
그림 5 방전 모드 성능시험 결과  
Fig 5 Performance test result at Discharging mode

### 3.3. 독립운전 모드

그림 6은 독립운전모드 운전시 부하량에 따른 출력전압의 THD 및 전력변환효율을 나타낸다.



(a) 효율특성



(b) 출력전압 THD특성

그림 6 독립운전모드 성능시험 결과  
Fig 6 Performance test result at Islanding mode

PCS가 정전 혹은 계통전원의 이상을 감지하여 독립운전모

드로 전환되기 이전에, PCS는 계통 측의 스위치를 OFF시켜 계통과 자기 자신을 완전히 분리시킬 필요가 있다. 만약 분리시키지 못하면 계통전원이 회복되었을 때, 독립운전모드에서 출력하는 PCS 전압과 계통전압의 위상각 차이로 인하여 PCS 장비에 심각한 손상을 초래할 수 있다. 이때 정전용 제어 스위치의 턴 오프는 정전 발생시에 이루어진다.

독립운전모드 또한 다른 운전모드와 마찬가지로, 부하량이 약 40 [%]일 때부터 전력변환효율이 90 [%] 이상을 보여준다. 또한 출력전압 THD는 부하량 100 [%]일 때 최소값을 가지며, 이 값은 약 1.9 [%]로써, 표1에 명시된 PCS 제품의 사양을 만족한다.

### 3. 결론

본 논문에서는 ‘Open Framework 기반의 Smart ESS 전력 제어모듈’과 연동이 가능한 30 [kW] 급의 3상 PCS 시제품을 소개하고 동작 모드별 주요 전기적 특성을 시험을 통하여 분석하였다.

충전모드와 방전모드 및 독립운전모드는 모두 80~84 [%]의 SOC 상태에서 진행되었으며, 독립운전 모드를 제외하고 충전모드와 방전모드에서는 PCC(Point of Common Coupling) 지점에 부하를 삽입하지 않았다.

충전모드에서 PCS 운전시, 충전부하 용량 100 [%] 일 때에 최대 91.5 [%]의 전력변환 효율과 0.99이상의 입력역률 및 4.2 [%]의 입력전류 THD를 보였다.

방전모드에서 PCS 운전시, 방전부하 용량이 100 [%] 일 때에 0.99 이상의 계통주입 역률과 4.3 [%]의 계통주입전류 THD 및 92.3 [%]의 전력변환 효율을 보였다.

독립운전모드에서 PCS 운전시, 부하량이 100 [%] 일 때에, 92.2 [%]의 전력변환 효율과 1.9 [%]의 출력전압 THD를 보였다.

표 1에 제시된 제품의 입출력 사양을 모두 만족하고 있으며, 향후 PCS의 용량을 확장시킨 추가 시제품을 개발함을 물론 각 운전모드에서의 THD, 역률, 효율 등을 더욱 개선할 필요가 있다.

이 논문은 S/W융합형 부품 기술개발사업으로 산업통상자원부의 지원을 받아 수행한 연구 과제임 (과제번호:10047783)

### 참고 문헌

- [1] “오픈프레임워크 기반 스마트 ESS 전력제어 모듈 및 SW개발”, 2차년도 사업계획서, 산업통상자원부, 2014.09
- [2] 이학주, 채우규, 박종성, 김주용, 김찬영, “마이크로그리드용 10[kW] PCS 개발 및 성능시험”, 조명·전기설비학회 논문지 제 25권 제7호, pp.55-62, 2011.7
- [3] 최준영, 이진희, 이재홍, 김영욱, 손의권, 이정민, “에너지 저장 시스템을 위한 800kW 계통연계형 전력변환장치”, 전력전자학회 논문집, pp.324-325, 2011.7
- [4] 김영록, “태양광 발전 계통 연계형 PCS의 기술과 시험”, 전력전자학회지 제13권 제3호, pp.31-35, 2008.6