출력 필터 인덕터 코아 특성에 대한 10kW급 계통 연계형 태양광 PCS 성능 연구

이경준*, 민병덕**, 이종필**, 김태진**, 유동욱**, 김희제*
부산대학교*, 한국전기연구원**

A study on the performance of 10kW Grid-Connected Photovoltaic Power Conditioning System with characteristics variation in inductor core materials

Kyoung-Jun Lee*, Byung-Duk Min**, Jong-Pil Lee**, Tae-Jin Kim**, Dong-Wook Yoo**, Hee-Je Kim*
Pusan National University*, Korea Electro-technology Research Institute**

ABSTRACT

신재생 에너지 분야에 적용되는 계통 연계형 인버터에서는 출력 전류 리플을 감소시키기 위하여 필터 인덕터가 필수적으로 사용된다. 현재 출력 인덕터로 적용될 수 있는 코아 재질로는 실리콘 함량이 2%정도인 일반 철심과 6.5% 정도인 슈퍼코아(Si 6.5%)와 Mega Flux 코아 정도가 있다. 본 논문에서는 각 코아별 특성을 살펴보고 인덕터 코아 특성 변화가 인버터의 효율 및 출력 전류의 THD에 미치는 영향을 인덕터의 값과 스위칭 주파수에 대해서 분석하였다. 또한 현재 시장에서 수요가 많은 10kW 태양광 인버터를 통하여 최적의 인덕터 설계에 대해 제시하고자 한다.

1. 서 론

최근의 기후변화 협약에 따른 실질적인 CO_2 저감 효과를 기대할 수 있는 온실 가스 배출규제의 대처방안으로, 해당 정부의 정책적 지원 하에 선진국을 중심으로 한 태양광 풍력 발전 시스템의 보급이 해마다 가속화 되고 있다[1]. 이에 따라 국가 산업으로 무한한 태양에너지를 이용한 대규모 발전을 추진할 필요성이 더욱 부각 되면서 타 선진국의 PCS(Power Conditioning System) 제품과 경쟁력을 갖추기 위해, 세부기술들의 심도 있는 연구가 시급한 상황이다.

본 논문에서는 태양광 인버터 중에서 최근 수요가 급증하고 있으며, 수익성도 좋은 10kW급 인버터를 선택하였다. PCS의 세부기술 중에서는 출력 필터 디자인에 집중하였다. 기본적으로 계통 연계형 3상 인버터는 SVPWM 방식을 이용하여 교류 파형을 얻어내며, 최종적으로 출력 필터를 통과하게 된다[2]. 하지만 Passive 필터의 설계가 최적화 되어야 SVPWM 제어에 따른 효율 향상을 기대할 수 있기 때문이다. 출력 필터의 각 코아별 특성 변화가 인버터의 효율 및 출력 전류의 THD에 미치는 영향을 인덕터의 값과 스위칭 주파수에 대해서 분석하여 10kW 태양광 인버터를 통하여 최적의 인덕터 설계에 대해 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 인버터 시스템의 구성

그림 1에 나타낸 Topology는 대표적인 절연형(Isolated) PCS로서 저주파 트랜스 포머가 사용되며 인버터 출력단에 사인필터와 함께 LCL 필터 구조를 가진다. 태양전지 입력전압의 범위를 300~600V로 설정하였으며, 최대전력점 추적(MPPT, Maximum Power Point Tracking) 알고리즘이 탑재되어있다. 또한 계통의 위상정보를 입력신호에 노이즈가 있어도 FFT를 이용한 PLL 방법으로 정확히 기본파신호를 측정 가능하며[3], 독립운전 방지 알고리즘으로 독립운전 검출이 가능하다.

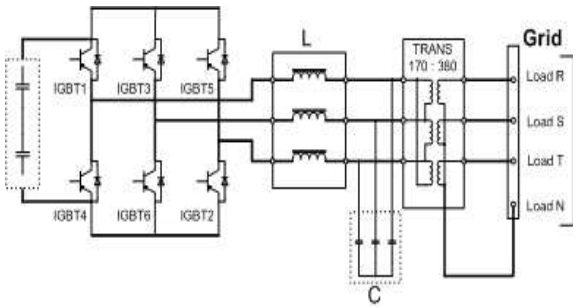

그림 1 10kW 급 계통 연계형 태양광 PCS
Fig. 1 10kW Grid-Connected Photovoltaic Power Conditioning System

본 연구에서 제작된 인버터 시스템의 사양은 아래 표 1과 같다.

표 1 10kW 인버터 사양
Table 1 Specification of 10kW inverter

INPUT	Input Max Voltage	600V
	MPPT Voltage	300~600V
	Input Max current	37A
OUTPUT	Rated power	10 kW
	Voltage	220/380 (Vrms)
	Frequency	60 Hz
	PF	0.96
	THD	5 %
	Over load	110 %
	Max efficiency	95 %
	Phase current	34 A
	Trans turn ratio	170:380
	Switching freqency	7.2 kHz
	Filter Inductance (L)	2,3,4mH
	Filter Capacitor (C)	1 uF

2.2 인덕터 코아

자성체의 종류는 크게 STRIP, POWDER CORE 그리고 FERRITE로 나뉜다. 그 중에서 인버터 리액터용으로 사용하기에 적합하도록 DC 중첩특성, 주파수 특성, 가격적인 면에서 우수한 코아를 선정하였다.

비교 실험을 위해 먼저 일반적인 철심(Fe-2% Si)코아를 사용하였고, CVD (Chemical vapor deposition) 공법에 의해 상용화된 슈퍼코아(Fe-6.5% Si)와 최근 각광받고 있는 분말 자성코아 중에서 Mega-Flux(Fe-Si alloy)를 채택하였다. 그리고 각각의 L 값은 2mH, 3mH, 4mH 로 제작하였다.

먼저 자성체의 종류에 따른 특성은 표 2와 같다. 주목할 부분은 μi(초투자율)과 동작 주파수 범위이며, λ(자왜상수)값은 소음 문제와 직결되는 값이다.

표 2 인덕터 코아 종류에 따른 특성
Table 2 Characteristics of inductor core materials

종류	μi	B_{max} (T)	Curie (℃)	λ (10^{-6})	Freq.
Fe-2% Si	400	1.8	740	7.8	~1kHz
Fe-6.5% Si	400	1.6	725	0.1	~1MHz
Mega-Flux	14~550	1.6	725	0.1	~10MHz

코아 재질에 따른 주파수 특성은 그림 2에 나타내었다. 고주파에서 저철손 및 고 투자율 특성은 인버터 리액터로 사용될 때 효율 향상 및 인버터 성능 개선에 중요한 요소이다.

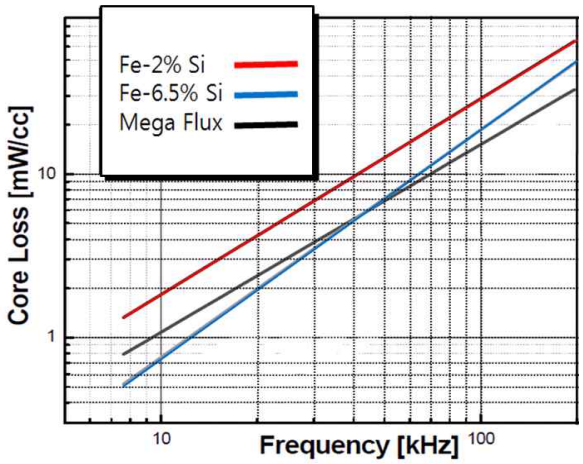

그림 2 주파수에 따른 코아 손실
Fig. 2 Core loss vs. frequency

3. 시뮬레이션 및 실험

실험에 앞서 설계된 인버터를 PSIM을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 4는 3상 계통연계 인버터의 FFT를 이용한 PLL의 시뮬레이션 결과 파형으로 인버터측 전류와 계통측 전류가 170:380의 비를 가지는 Δ-Y 트랜스에 의해서 인버터측 전류가 계통측 전류보다 위상이 30°뒤짐을 확인 할 수 있다.

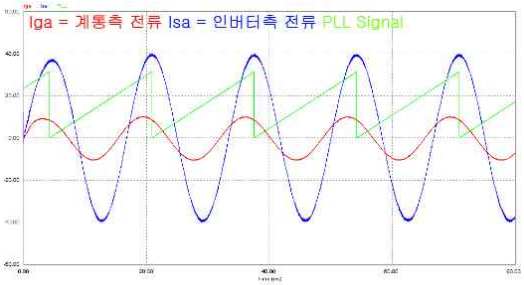

그림 4 10kw 인버터 시뮬레이션 결과
Fig. 4 Simulation result of 10kW inverter system

그림 5는 10kW 계통연계형 인버터의 실험 결과 파형으로 선간 전압과 선간 전류파형이며, 각상의 선간전압과 선간 전류는 동기됨을 보이고 있다.

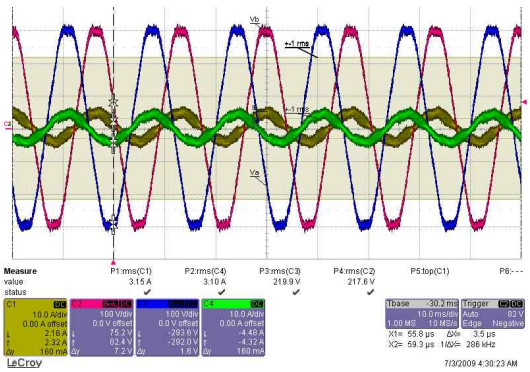

그림 5 10kw 인버터 시뮬레이션 결과
Fig. 5 Simulation result of 10kW inverter system

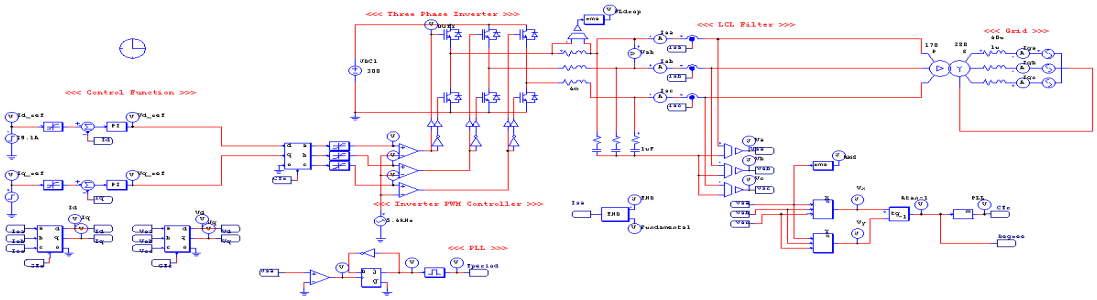

그림 3 10kW 계통 연계형 인버터 시뮬레이션 회로도
Fig. 3 Schematic diagram of 10kW inverter

실험은 먼저 일반적인 철심(Fe-2% Si)코아를 부하별로 실험하여 효율 측정을 하였다. 이때 L값은 3mH, C값은 1uF으로 하였다. 그림 6은 정격 용량 10kW에서 95%에 가까운 효율을 보이고 있으며, 10kW 인버터 시스템의 안정성을 확인하였다. 총고조파왜율(THD)은 정격 출력시 4% 이하의 우수한 성능을 발휘하였다.

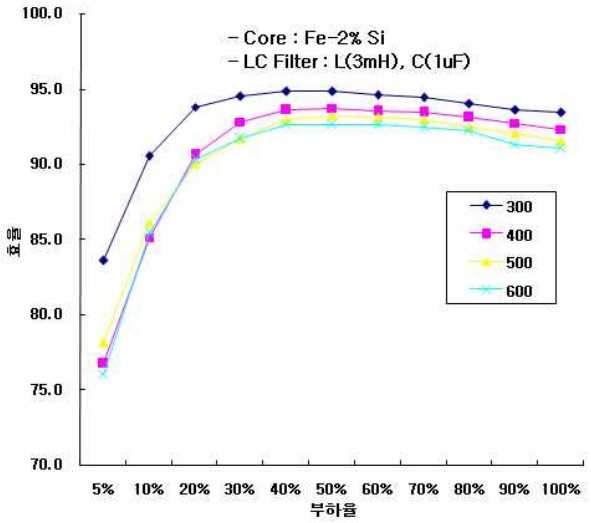

그림 6 10kW 인버터 효율 곡선
Fig. 6 Efficiency curve of 10kW inverter system

4. 결 론

본 논문에서는 10kW 인버터를 설계 제작하고 LCL필터에서 인버터측 인덕터 코아 재료 및 값이 인버터 성능에 미치는 영향을 분석하고자 하였다. 현재 일반적인 철심(Fe-2% Si)코아를 사용하여 인버터가 설계값을 만족하는 안정성을 검증하였다. 추후 세가지 코아로 제작된 인덕터를 가지고 각 인덕턴스와 스위칭주파수에 따른 인버터 효율과 전류 THD와의 관계를 추출하여 최적의 인덕터 설계에 대해서 연구를 진행하고자 한다.

참 고 문 헌

[1] Sangmin Jung, Youngsang Bae, Taesik Yu, Sewan Choi, Hyosung Kim, “A low cost utility interactive inverter for residential fuel cell generation”, IEEE Trans. Power Electron, Vol. 22, pp. 2293-2298 Nov. 2007.

[2] A. M. Trzynadlowski, “An overview of modern PWM techniques for three-phase, voltage-controlled, voltage-source inverters,” in Proc. the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Warsaw, Poland, pp. 25-29, 1996.

[3] 류강열, 이종필, 김태진, 유동욱, 송의호, 민병덕, “FFT를 이용한 위상추종 방법”, *전력전자학회 논문지* 제13권 제3호, pp. 206 ~ 212, 2008. 6.