

연료전지용 3-Stage PCS의 손실 해석

바이사, 이영진, 한동화, 김영식, 권완성, 정병환*, 신우석**, 최규하
건국대학교, 삼성 탈레스*, 두원공과대학**

Analyze of High Efficiency PCS for Fuel Cell

Bayasgalan, Yong-Jin Lee, Dong-Hwa Han, Young-Sik Kim, Wang-Song Gwon, Beong-Hwang
Jeong*, Woo-Sok Shin** Gyu-Ha Choe
Konkuk University, Samsung Talles*, Doowon Tech College**

ABSTRACT

As Utility interactive fuel cell systems are widely used, it is required for each power conditioning system(PCS) to have higher generating performance and more stable connecting characteristics. This study is focused to minimization of power losses and hence higher efficiency related to the new half bridge type 3-stage utility interactive PCS topology. The loss factor of half-bridge converter becomes only 1.2[%] under the rated load, and hence total efficiency is maintained to be higher as 91[%].

Keyword: 3-stage PCS, Utility Interactive Fuel Cell (UIFC),

1. 서론

계통연계형 분산전원 시스템의 보급이 확대되고 있으므로 개별 시스템의 발전성능향상 및 연계시의 안정성에 관한 연구가 선행되어야 하며 실제 분산전원 요소기술 중 전력변환장치는 발전전력의 고품질화, 시스템의 안정화 및 고효율화 그리고 전력 품질 및 신뢰도 향상이라는 측면에서 결정적 역할을 수행한다.

연료전지의 스택의 특성상 출력전류의 밀도에 따라 전압이 변하는 비선형적 특성을 가지고 있으므로 이를 안정된 전원으로 유지하기 위해 dc/dc 컨버터가 필요하며, 또 출력의 직류전압을 교류로 변환하기 위한 dc/ac 인버터 또한 필수적인 구성 요소가 된다. 즉, 전체 연료전지 발전 시스템의 최적 효율을 위해서는 전력변환기의 효율을 극대화 시키는 연구가 필요함을 알 수 있다[1].

기본적으로 연료전지발전시스템에서 안전성 측면에서 절연형 PCS를 사용해야 되며, 절연형 PCS는 저주파 및 고주파 절연방식으로 분리되어 있다. 연료전지 자체의 출력전압이 낮기 때문에 극히 작은 전압강하도 중요하므로 승압형 컨버터에서는 이의 대한 해결 방법을 중요하게 다루고 있다[2]. Boost 컨버터를 이용한 저주파 변압기로 절연된 토폴로지 이외 고주파 절연방식의 PCS 토폴로지에는 푸시풀, 풀브릿지 타입 등이 있다. 그러나 각각의 방식에는 장단점이 있는데 푸시풀 컨버터에는 전압강하가 낮은 반면에 고조파 변압기 이용률 낮으며 스위칭 전압 스트레스 큰 단점이 있고, 풀브릿지 컨버터에서는 입력전압 강하가 큰 단점이 있다[3]. 이러한 단점들을 고려하여 본 논문에서는 제안되어진 3-Stage PCS에 대한 실질적인 실험을 통해 stage 별 손실을 해석하였다. 3-stage PCS는 부스

트 컨버터, 하프 브릿지컨버터, 고조파 절연변압기 및 정교정류기, dc/ac 인버터로 구성된다.

2. 3-Stage PCS 구조

그림 1에서 3 stage PCS 구성에서 전력회로부의 상세 회로도를 나타내고 있으며 연료전지에서 나오는 DC출력이 PCS 입력단 EMI필터 → 부스트 컨버터 → 하프브리지 컨버터 → 단상 풀브릿지 인버터 → 출력단 EMI필터의 순서로 나타남을 알 수 있다. 정류부에서 사용된 half-bridge는 full-bridge와 같은 출력전압을 얻기 위해서는 변압비가 2배가 되어야 한다. 그러나 변압비 증가에 따르는 권선수의 증가는 누설 인덕턴스의 현저한 상승으로 인한 효율을 저하시키는 요인이 되므로 half-bridge 앞단에 boost 컨버터를 사용함으로써 권선비의 증가에 따르는 손실을 방지하였고 또한 전력용 반도체 소자인 MOSFET을 병렬 연결하여 스위치 on시 도통 손실을 줄이도록 하였다[4].

3. 3-Stage PCS의 손실분석

가. 입력단 및 출력단 EMI필터

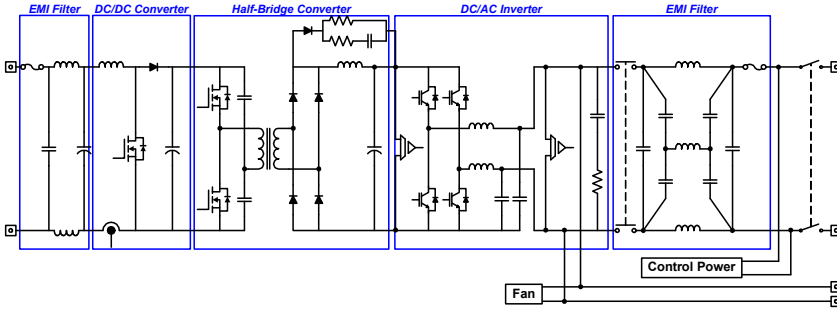
EMI는 전력 반도체 스위치의 스위칭 때문에 발생하는 큰 dv/dt나 di/dt로 인해서 넓은 주파수 대역에서 많이 발생한다. 그리고 연료전지 출력과 계통측 입출력에 대한 안전을 위하여 입력단 250[V]/75[A]급과 출력단에는 250[V]/10[A]급의 퓨즈가 사용되었다. 실험을 통해 얻어진 결과 각 필터에서 손실이 평균적으로 0.3%정도있으므로 이후 실험에서는 PCS에서 EMI 손실은 무시하였다.

나 Boost 컨버터 성능 및 효율 실험

Boost 컨버터는 연료전지 PCS 입력단 전류제어와 Boost 컨버터 출력단 전압제어를 한다. 그림 2(a)에서는 정격일 때의 입출력전압 및 인덕터에 흐르는 전류를 보인다. 분석항목은 Boost 컨버터의 입력전압 및 전력에 따른 효율, 손실의 대한 분석결과를 그림 3에서 나타내었고 정격영역에서 96.91[%]의 효율을 나타내고 있다. 또한 그림 4에서 요소별 손실분석을 나타내었다, 그리고 정격운전시 스위치 시비율은 입출력의 비로 결정되기 때문에 정격전압 50[V]일때 시비율은 식(1)과 같으며 이를 바탕으로 저전압일 때와 고전압일 때의 시비율을 구하면 각각 0.89에서 0.75가 된다.

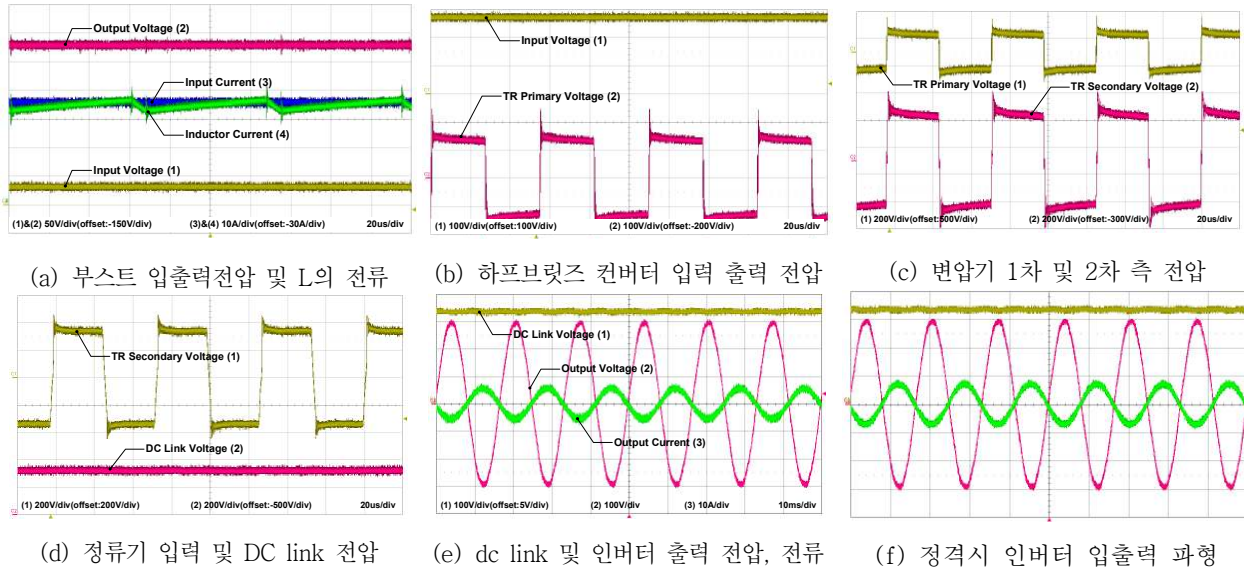
$$D = \frac{V_{out} - V_{in}}{V_{out}} = \frac{275 - 50}{275} = 0.818 \quad (1)$$

$$\Delta I = \frac{V_{in} D}{L f_s} = \frac{50 \times 0.818}{455 \times 10^{-6} \times 15000} = 5.993[A] \quad (2)$$



PCS 정격전력	1.1[kW]
입력전압 범위	30~70 [V]
부스트 출력 전압	275 [V]
부스트 스위칭 주파수	15[kHz]
하프 브릿지 스위칭 주파수	18[kHz]
고조파 변압기 권선비	2.5
인버터 스위칭 주파수	9[kHz]
인버터 dc-link 전압	330[V]

그림 1. 3 stage PCS 전력부



(a) 부스트 입출력전압 및 L의 전류 (b) 하프브릿지 컨버터 입력 출력 전압 (c) 변압기 1차 및 2차 측 전압
(d) 정류기 입력 및 DC link 전압 (e) dc link 및 인버터 출력 전압, 전류 (f) 정격시 인버터 입출력 파형

그림 2. 3-Stage PCS stage 별 손실 해석

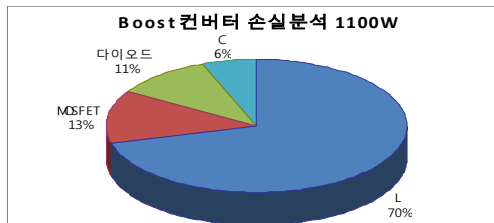


그림 3 Boost 컨버터 요소별 손실분석

그리고 식(2)에서 계산한 전류 리플률과 같이 Boost 컨버터의 인덕터 전류의 Peak to Peak가 6[A]임을 그림 2(a)에서 확인 할 수 있다.

다. Half-Bridge 컨버터 성능 및 효율 실험

Half-Bridge 컨버터는 고주파절연 분 만 아니라 높은 스위칭 제어를 통해 스위칭 맥동과 저주파 맥동을 저감시켜주는 역할을 한다. 그림 2(b)에서 입출력전압을 나타내고 있으며 구형파 형태의 출력 전압은 고주파 절연 변압기를 거쳐 승압이 된다. 그림 2(c, d)에서는 변압기 1차 및 2차측 그리고 정류기를 거쳐 필터링 된 즉, dc-link 전압파형을 나타내고 있다. Half-Bridge의 성능을 실험하기 위하여 30~60V까지의 운전시 효율과 손실을 그림 4(b)에서 나타내었다. 실험 결과 최대 효율은 98.8[%]이상 되며 전력변환 손실은 거의 없는 것을 알 수 있다.

라. 단상 Full-Bridge 인버터 성능 및 효율 실험

단상 계통연계형 인버터는 전력을 제어하는 기능으로 사용자가 원하는 전력을 발전시켜 계통이나 부하로 전달하는 역할을 한다. 여기서 계통연계형 인버터는 인버터의 출력단 전압을 제어하는 것이 아니라 입력단 전압제어를 하게 된다. 우선적인 기능으로 계통연계를 위해서는 연계점 전압과 발전전력간의 위상을 맞추어 주기 위한 PLL제어 실제 실험결과 정격영역에서 역률은 0.997였고 THD는 2%미만이다. 그림 2(e)에서는 인버터가 800[W] 운전시 파형을 그리고 그림 2(f)에서는 정격운전시 파형을 각각 나타내었다. 3 stage PCS에서 인버터의 DC Link 입력전압은 330[V]으로 제어하고 있다. 그리고 3 stage PCS는 연료전지의 전류 리플을 줄이기 위해 인버터입력 즉, DC Link 커패시터 정전용량을 저감시켜 1880[uF]으로 설계하였다. 그리고 그림 4(c)에서는 앞에서와 같이 입력전압을 변동시 효율 및 손실특성을 나타내었다. 그림 5(a)에서 30V~60V 운전범위에서 PCS의 전체적 효율을 (b)발전전력량에 따른 PCS 효율을, (c)에서 입력 전력에 따른 출력전류 THD를 각각 나타내고 있으며 이때 입력전압이 최저전압인 30[V]일 경우 가장 낮은 효율인 88.6[%]를 나타내고 있으며 전압이 점차 상승함에 따라 효율이 점점 상승하는 것을 볼 수 있다. 정격영역 도달시 90.9[%]의 최대 효율을 나타내며 출력전류 THD는 점점 입력전력을 상승시킴에 따라 낮아지는 것을 볼 수 있으며 정격출력전력의 1/3만 출력되어도 THD는 5[%]미만으로 되고 정격 영역일때 가장 낮은 1.4[%]를 나타

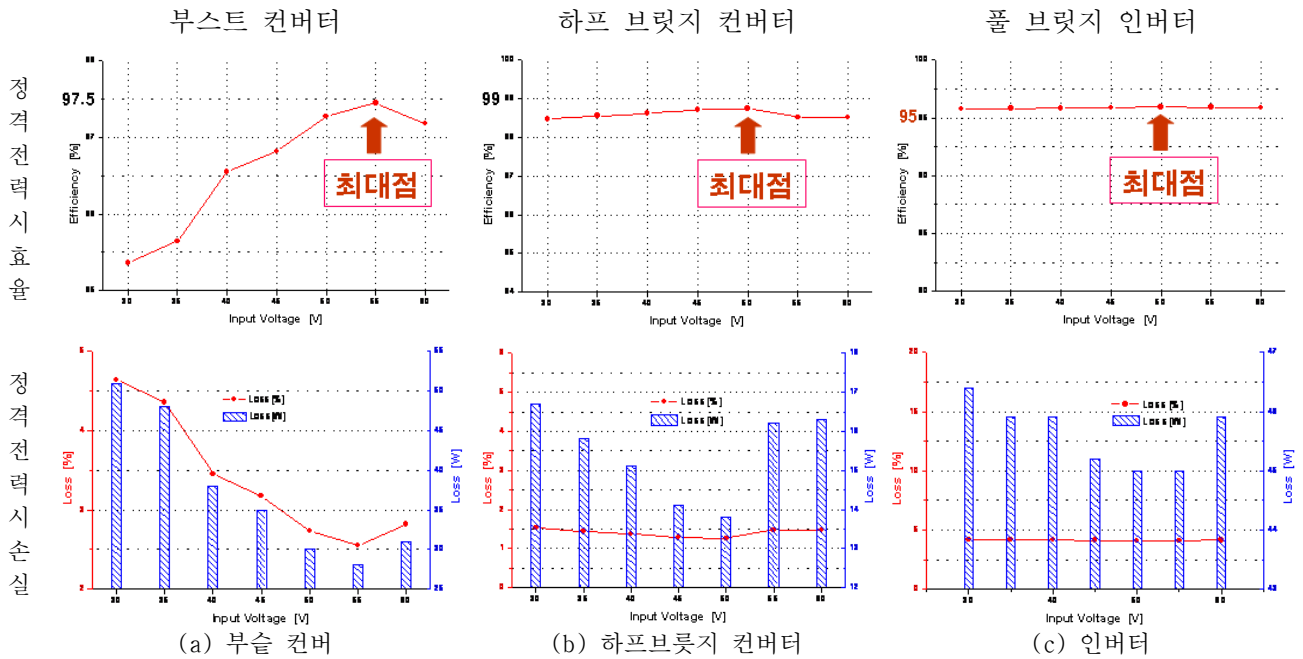


그림 4. 3-Stage PCS stage 별 손실 해석

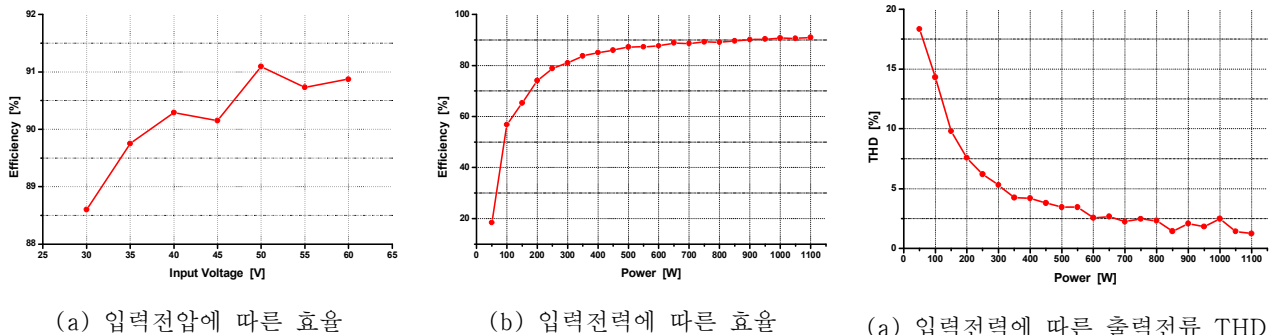


그림 5. PCS의 전체적인 특성

내고 있다.

4. 결론

본 논문에서는 계통연계형 연료전지시스템의 고효율화를 위한 3-stage PCS의 효율 및 손실을 분석하였다. 정격 전압시 입력전력 변동에 따른 효율 및 손실, 정격전압시 입력전압 변동에 따른 특성 및 정격전압시 입력전력에 따른 효율, 손실 및 출력전류 THD 등 특성을 해석하였다.

해석한 결과는 stage 모두가 효율이 95% 이상이며 부스트 컨버터에서는 입력전압이 변동되었을 때 이를 일정한 전압으로 유지시키는데 주 역할을 함으로서 입력전압 변동시 영향을 받는 것을 볼 수 있으며 그래도 정격시 97.8% 이상이 되었다. 하프브릿지 컨버터에서는 정격시 효율이 98%, 인버터에서는 95.8% 이상이 되어 입력 전압에 변동에 영향을 받지 않을 것을 볼 수 있다. 결론적으로 3-stage PCS는 손실을 저감시켜 효율을 최대화 시키는데 잘 어울리는 것으로 판단이 된다.

이 논문은 지식경제부 (R-2007-1-015-01) 지원의 의하여 연구 되었습

참고문헌

[1] Jay T. Pukrushpan, Anna G. Stefanopoulou, Hwei Peng "Modeling and Control for PEM Fuel Cell Stack System" in Proc. of American Control Conference Anchorage, AK, May 8~10, 2002, pp. 3117~3122.

[2] 김은수, 박성수, 공영수, 최선호, 강도현, 조기연, 이진수 "탭-인덕터 적용 무손실 스너버에 의한 소프트스위칭 Buck 컨버터, 전력전자학술대회 pp. 133~136, 2002.11.

[3] 손경중, 송성근, 최준호, 문채주, 김광현, 임영철, "영전압 영전류 스위칭을 이용한 연료전지용 전력변환시스템" 전력전자학회 논문지 제11권 제4호 2006년 8월, pp. 385~394.

[4] J.S. Lai, "A high-performance V6 converter for fuel cell power conditioning system," in Proc. of IEEE Conference on Vehicle Power and Propulsion, Sept. 2005, pp. 624~630.