

# 스마트그리드를 위한 양방향 지능형 반도체 변압기의 하드웨어 제작과 기본동작 분석

김도현\*, 박승희\*, 이지현\*, 한병문\*, 이준영\*, 최남섭\*\*  
 명지대학교\*, 전남대학교\*\*

## Operational Analysis and Hardware Development of Bidirectional Intelligent Semiconductor Transformer (BIST)

Do-Hyun Kim\*, Seung-Hee Park\*, Ji-Heon Lee\*, Byung-Moon Han\*, Jun-Young Lee\*,  
 Nam-Sup Choi\*\*

Myongji University\*, Chonnam National University\*\*

### ABSTRACT

본 연구에서는 스마트그리드를 위한 양방향 지능형 반도체 변압기의 새로운 회로구성을 제안하고 그 동작과 성능을 분석한 내용에 대해 기술하고 있다. 먼저 PSIM 소프트웨어를 이용한 시뮬레이션을 통해 제안하는 반도체변압기의 회로적인 특성을 다양하게 분석하였고 이를 기반으로 단상, 1900V, 2kVA 반도체변압기를 제작하고 실험을 통해 그 성능을 검증하였다.

### 1. 서론

최근 선진 각국은 물론 국내에서도 에너지고갈과 환경보호 문제를 동시에 해결하는 방법으로 Smart Grid에 대한 연구개발에 집중하고 있다. 지능형 반도체 변압기는 Smart Grid의 핵심구성요소 중 하나로서 기술적으로나 산업적으로 그 중요성이 점점 커지는 추세이다.<sup>[1]</sup> 본 연구에서 개발한 반도체 변압기는 단상, 1900V, 2kVA로서 양방향 전력전달이 가능하고 임의의 입력과형에 대해 임의의 출력과형을 생성 가능하여 스마트그리드에 다양하게 적용 가능할 것으로 예상된다.

### 2. 본론

#### 2.1 양방향 지능형 반도체 변압기의 구조와 사양

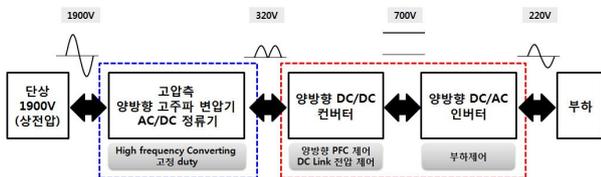


그림 1 양방향 지능형 반도체 변압기의 전체 구조  
 Fig. 1 Structure of BIST

그림 1은 양방향 지능형 반도체 변압기의 전체 구조이며 고압측 고주파 AC-DC 정류기, 저압측 응용을 위한 DC 링크를 갖는 DC/DC 컨버터와 DC/AC 인버터로 구성되어 있다.

단상 1900V 입력전압은 양방향 고주파 AC-DC 정류기를 통해 320V 하프브리지 정류과형으로 변환된 후 양방향 DC/DC 컨버터를 통해 직류 700V로 변환된다. 이 직류 700V 전압은 양방향 DC-AC 컨버터를 통해 부하에 맞는 전력으로 변환된

다. 표 1에 제작한 반도체 변압기의 사양을 나타내었다.

표 1 양방향 지능형 반도체 변압기의 사양  
 Table 1 The specification of BIST

항목	사양	
정격용량	2kVA	
입력측 사양	단상, 60Hz, AC 1900V	
출력측 사양	단상, 60Hz, AC 220V	
기타	동작모드	양방향
	스위칭 주파수	50kHz

#### 2.2 고압측 고주파 양방향 AC-DC 정류기의 구조

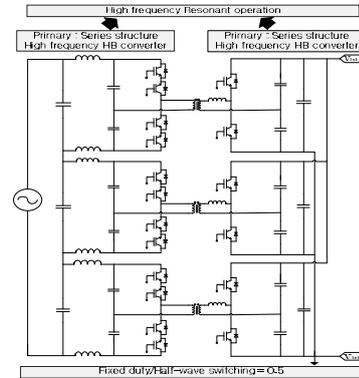


그림 2 고압측 고주파 양방향 AC-DC 정류기의 구조  
 Fig. 2 Configuration of High voltage side AC-DC Rectifier

그림 2에 고압측 고주파 양방향 AC-DC 정류기의 구조를 나타내었다. 1,2차 Topology는 기본적으로 Half-bridge 형태로 간단하게 구성하였고 고정 시비율로 동작하는 LLC 공진형 컨버터이다. 변압기의 사이즈를 줄이기 위해 반도체 스위칭 소자를 이용한 양방향 고주파 공진회로를 사용하고 있으며 고정된 시비율로 공진회로를 동작시킴으로써 보다 적은 스위칭 손실로 동작할 수 있다. 제안하는 회로구성은 스위치 차단 시 전류 피크가 작으므로 IGBT의 Turn-off 손실에 대부분을 차지하는 Tail-current에 의한 손실을 최소화 시킬 수 있어 주파수를 향상에 용이하다.

#### 2.3 저압측 양방향 컨버터의 구조

저압측의 DC/DC 컨버터와 DC/AC 인버터의 구조를 그림3에 나타내었으며 양방향 Back-to Back 형태로 구성하였다.

고압측 고주파 양방향 AC-DC 정류기와 연결되는 앞단 컨버터에서는 PFC제어와 DC링크 전압 제어를 수행하며 뒷단 인버터에서는 부하에 전력 공급을 위한 전압제어를 수행한다. IGBT는 동작주파수가 올라갈수록 Tail-current에 의한 스위칭 손실의 증가로 인해 효율이 감소되는 문제점이 있어 이를 개선하기 위하여 MOSFET를 병렬로 연결한 하이브리드 형태의 스위치 구조를 사용하였다.

그림 4에 하이브리드 스위치 게이팅 기법을 나타내었다. 그리고 MOSFET과 직렬로 연결되고 IGBT와 병렬로 연결되는 다이오드를 사용하므로, 역기전력으로 인한 MOSFET의 파괴를 방지할 수 있고 리커버리 손실을 감소시킬 수 있으며 또한 상기 다이오드와 병렬로 저항을 구성하므로, 라인 인덕턴스로 인한 링잉(Ringing)을 감소시킬 수 있다.

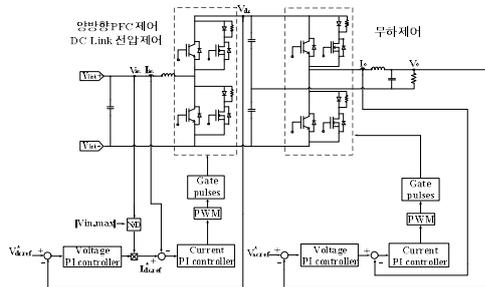


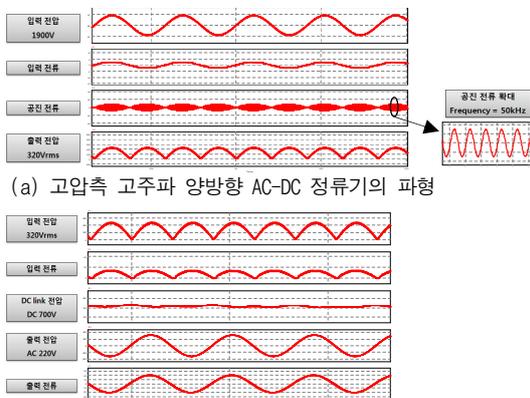
그림 3 저압측의 양방향 컨버터의 구조  
Fig. 3 Configuration of Bidirectional Converter



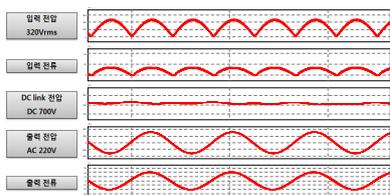
그림 4 하이브리드 스위치 Gating 기법  
Fig. 4 Gating Method of Hybrid Switch

### 3. 시뮬레이션 및 실험

제안하는 반도체변압기의 회로적 특성과 제어 성능의 분석을 위하여 먼저 PSIM 소프트웨어를 이용한 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 5(a)는 고압측 고주파 양방향 AC-DC 정류기의 파형이며 그림 5(b)는 저압측의 양방향 컨버터의 파형을 나타내며 모의실험을 통해 제안하는 반도체변압기의 성능을 검증하였다.



(a) 고압측 고주파 양방향 AC-DC 정류기의 파형



(b) 저압측의 양방향 컨버터의 파형

그림 5 시뮬레이션 결과  
Fig. 5 Simulation Result

그림 6은 제작한 고주파 양방향 변압기이며 그림 6(a)는 고압측 고주파 양방향 AC-DC 정류기의 입력전류, 입력전압, 출력전압, 공진전류 파형이며, 고압의 AC파형에서 정류된 파형을 구하는 것을 확인하였다. 그림 6은 저압측 양방향 컨버터의 입력측과 출력측 전압, 전류 파형이며 PFC 기능 및 DC 링크 전압제어 성능을 검증하였다.

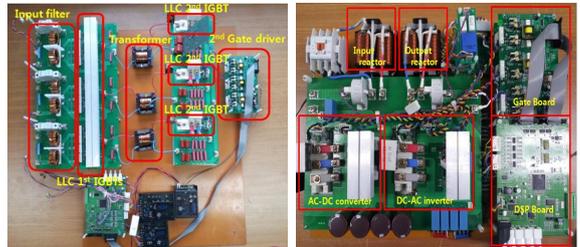
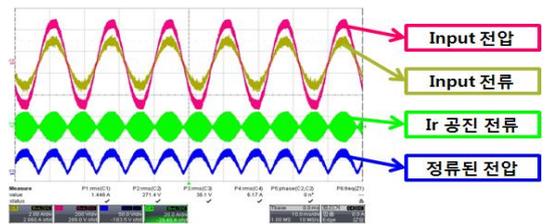
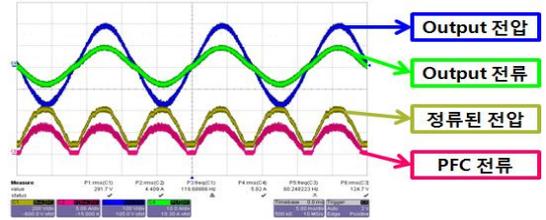


그림 4 양방향 지능형 반도체 변압기의 하드웨어 구조  
Fig. 4 Hardware structure of BIST



(a) 고압측 고주파 양방향 AC-DC 정류기의 파형



(b) 저압측의 양방향 컨버터의 파형

그림 5 실험 결과  
Fig. 5 Experiment Result

### 4. 결론

본 논문에서는 양방향 전력전달이 가능한 지능형 반도체 변압기의 새로운 회로구성을 제안하였다. 단상, 1900V, 2kVA 반도체변압기 프로토타입을 설계 및 제작하고 실험을 통해 여 제안하는 회로의 특성과 제어성능을 검증하였다. 향후 3상, 3300V, 6kVA급으로 용량을 확장하고 전력품질 보상과 통신을 통한 Smart 계측 등 다양한 기능을 추가할 예정이다.

이 논문 또는 저서는 2010년 정부(교육과학기술부)의 지원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (R1A5A003-2010-0026283)

### 참고 문헌

[1] J. S. Lai, A. Maina, and F. Goodman, "Performance of a Distribution Intelligent Universal Transformer under Source and Load Disturbances", Industry Applications Conference, pp. 719-725, 2006