

# 분산전원 및 산업 인버터용 전력반도체 기술

강이구 교수 (극동대 컴퓨터정보공학부)

## 1. 서론

### 1.1 기술의 개요

현대의 전력계통의 신기술들은 전력용 반도체와의 결합을 통하여 창출되고 있으며, 특히 국내에 이미 도입되어 있는 해남-제주 간 HVDC, 2010년경 도입될 것으로 전망되는 제2의 해남-제주 HVDC 및 FACTS, SVC, UPFC 등이 대표적인 전력반도체 기반의 계통기술이다.

전력산업에서의 전력용 반도체의 도입은 콘덴서나 코일과 같은 기존의 전력용 전자부품을 대체하여 전력기술의 효율성과 가능성을 크게 향상시키므로 전력산업의 경쟁력 강화를 위하여 전력용 반도체 기술개발이 필수적이다. 또한 전력용 반도체 기술은 전력산업 뿐만이 아니라 고속전철, 지하철 분야와

같은 수송 분야, 산업용 모터 및 공장자동화를 위한 인버터, 가전기기 분야 및 자동차 분야 등 그 응용 분야와 중요성이 나날이 확대되고 있어 반도체 기술 분야의 매우 중요한 영역으로 간주되고 있다. 그러나 전력용 반도체의 전력산업에서의 중요성에도 불구하고 국내에서는 전력 분야 응용을 위한 전력반도체 연구가 전무하였을 뿐만 아니라 전력계통 기술과 연계한 국가적 차원의 연구개발이 없었다고 판단됨. 최근의 전력전자 기술의 발전은 전력용 반도체 기술과의 선순환 구조로서 이루어져 왔음. 즉 전력용 반도체 기술발전→전력전자 기술발전→새로운 전력반도체 출현→새로운 전력전자 기술 창출 등의 순환 구조로서 전력계통용 전력전자 기술 또한 전력용 반도체의 기술발전과 긴밀히 연계되어야만 기술 선도 그룹을 유지할 수 있다. 전력용 반도체 산업은 세계 시장규모가 250억 달러(2003년)에 달하는 등 독자적

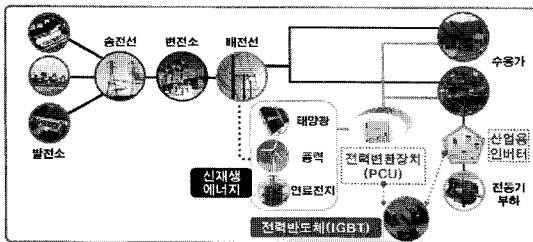


그림 1. 전력계통과 전력용 반도체.

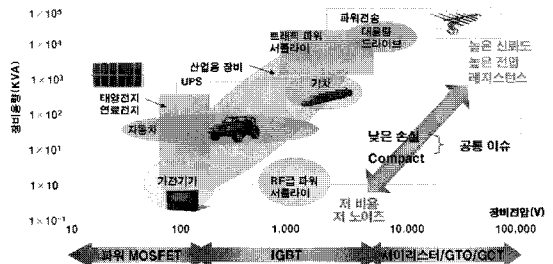


그림 2. 전력용 반도체의 응용에 따른 분류.

으로 큰 산업 분야를 이루고 있으며, 한국의 반도체 산업기반과 인적 기반을 적극적으로 활용할 경우 장기적으로 한국의 먹거리 산업으로 성장할 여력이 충분하다고 판단된다.

## 1.2 기술의 특징

전력반도체는 저압, 저전류의 신호를 다루는 일반적인 반도체와 달리 다소 큰 전압 또는 큰 전류를 원하는 형태로 변환하는 분야에 적용되는 반도체 소자를 말하며 이러한 전력반도체 소자를 사용자의 의도에 따라 다수 또는 주변회로와 함께 하나의 패키지에 집적화한 것을 전력반도체 모듈이라 한다. 최근 에너지가 큰 사회적 문제로 대두되면서, 에너지 문제 해결을 위한 태양광, 풍력, 연료전지 등의 분산 발전과 에너지 절감을 위한 인버터 채택이 급증하고 있으며, 전력용 반도체 모듈은 이러한 분산발전용 전력변환장치(PCU ; Power Conditioning Unit), 산업용 인버터, UPS (Uninterruptible Power Supply), 대용량 Power Supply 등의 핵심 부품으로 최근 시장의 급성장에 따라 수요량이 급격히 증가되고 있다. 그림 3은 전력 산업과 전력용 반도체의 관계를 표현한 것이다.

전력반도체 모듈은 위에서 보는 바와 같이 전력 변환장치의 주요 핵심부품으로 전력반도체 소자를 전력변환장치에서 사용하기 쉽도록 패키징하여 모듈화한 것으로 여기에는 전력 반도체 소자 선정, 적

용 시스템에 적절한 패키지 설계, 모듈 제작을 위한 조립 공정 설계 및 최적화, 조립된 제품의 검증 및 확인 등등의 매우 다양한 기술의 총합이라 할 수 있다. Multidisciplinary 기술이 요구되는 전력 반도체 모듈의 개발은 전력소자, 파워 IC 및 회로설계, 집적화 모듈 설계 기술, 소재 및 패키징 기술, 모듈 제조 공정 기술의 5가지 핵심기술로 구성되며 이들의 균형 있는 발전과 조화가 이루어져야하며, 전력 반도체 모듈의 신뢰성을 높이고 안정적인 동작을 위해서 구동 및 보호용 IC를 내장한 고부가가치를 가지는 지능형 모듈 (Intelligent Power Module)의 개발이 가속화되고 있다. 600 V / 50 A급 이상의 지능형 전력 반도체 모듈의 구동·보호기능을 담당하는 파워 IC 및 주변회로에는 High-side Floating 전원장치 등과 같이 소용량 소자에 사용하는 일반적인 구동회로를 적용할 수가 없다. 그래서 파워밀도를 높이고 저가 실현 및 신뢰성 향상을 동시에 실현하기 위해서는 고용량 전력소자에 적합한 구동·보호기능부, 상당량 보호회로, 전원장치 블록 등이 현재의 개별소자 및 개별 블록의 구조에서 집적화가 가능한 형태로 변경되어지고 있으며, 선진사들은 이미 개발완료 또는 진행 중에 있다.

최근 전력반도체 모듈이 적용되는 시스템들은 좀 더 축소되고 사용하기 편리하며 더 높은 신뢰성이 확보되기를 요구하고 있으며 이에 따라 모듈의 집적도를 높이면서 높은 신뢰성을 확보하기 위한 기술개발이 반드시 필요하며 이와 함께 대량생산이 가능한 기술로 최적화가 이루어져야 한다. 그리고 집적화 모듈 설계기술 개발을 위하여 3D CAD로 설계된 모듈의 형태로부터 전기적 및 열적 모델을 통한 설계뿐만 아니라, 모듈내에서의 기구적인 스트레스를 분석하고 최소화 설계를 함으로써 모듈의 신뢰성을 크게 향상시킬 수 있다. 따라서 가격경쟁력을 갖춘 신소재의 개발이 가속화되면서 전력소자의 파워밀도가 높아지고 접합 (Junction)부의 최고 온도가 175℃ 이상으로 고온화됨에 따라 기존의 와이어본딩이나 인터커넥션 방식이 한계에 도달함. 이에 따른 모듈 내부 인터커넥션의 신뢰성을 높이기 위한 기술개발이 활발히 진행되고 있으며, 선진사들은 이미 그러한 기술을 적용하여 제품을 판매하고 있다. 선진사

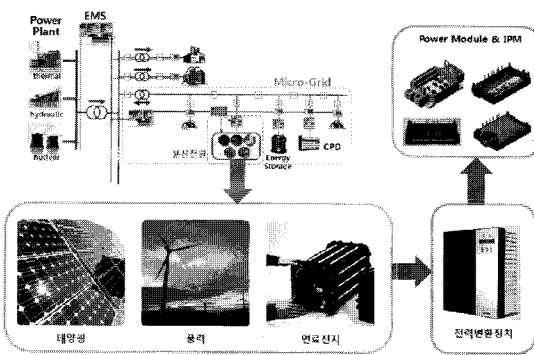


그림 3. 전력산업과 전력용 반도체.

가 이미 개발한 기술들은 고온에서도 수명과 성능을 유지하기 위하여 고압소결을 이용한 부착기술이나 솔더를 사용하지 않고 접촉 압력만으로 연결하는 기술, 또는 고온에서도 열적스트레스 영향이 적은 소재를 개발하는 등의 다양한 기술을 개발하고 적용하고 있는 중이다. 전력용 반도체의 모듈 집적화 개발 기술은 일반 반도체 Package에 비하여 크고 다양하지만 메모리와 같은 반도체 투자에 비해 상대적으로 소규모의 투자로도 구현 가능하고, 현재 축적된 기술을 바탕으로 전력소자 개발기업과 모듈설계 제조업체 그리고 시스템 개발업체가 역량을 모아서 집중 개발한다면 선진업체와 대등한 기술을 축적할 수 있는 분야라고 판단된다.

## 2. 전력반도체 소자 기술

전력용 반도체는 크게 켜고 끄는 동작 (On-off)을 할 수 있는 스위치 소자와 단순히 정류작용을 하는 정류 소자로 크게 구분할 수 있음. 스위치 소자는 크게 사이리스터 (Thyristor)와 트랜지스터 (Transistor)로 나뉘지며 정류용 소자는 다이오드가 대표적이다. 전력용 스위치 소자는 표 1과 같이 사이리스터와 트랜지스터의 두 계열로 크게 구분된다.

사이리스터는 대용량화에 유리하여 전력산업의 송배전 분야에 사용되는 소자의 대부분을 차지하며 트랜지스터는 고주파 화에 유리한 특성이 산업용, 가전용으로 널리 활용되고 있음. 최근에는 대표적인

트랜지스터인 IGBT가 대용량화가 기술이 개발되어 전력산업 및 전철 등에 도입되기 시작하고 있다.

대전력, 저주파수에서 가장 많이 사용되는 것은 사이리스터 계열인데, 이러한 사이리스터, GTO, GTC 등은 전력 분야의 변압기 및 발전기 부문에서 가장 많이 사용되고 있는 중이다

오늘날 괄목할만한 수요증가율을 보이고 있는 인버터 기기의 고주파화와 소형화의 추세에 의해 고속의 스위칭이 가능하고 구동회로의 전력 손실을 감소시킬 수 있는 MOS구동소자가 주목받고 있다. MOS 구동 트랜지스터인 IGBT에 대한 연구는 1983년에 시작된 이래 놀랄만한 발전을 거듭하여 반도체 시장 점유율 33%에 이르는 성장률을 보이고 있다. 그러나 IGBT는 온-전압과 턴-오프시간의 우수한 트레이드-오프에도 불구하고 고속 스위칭이나 고압용 설계시 전력손실이 증가하는 결과를 초래하고 있다. 이러한 이유로 인해 낮은 온 상태 전압 강하 특성과 저 전력 손실 구현이 가능한 EST (Emitter Switched Thyristor)나 BRT (Base Resistance Controlled Thyristor)와 같은 MOS구동 사이리스터에 대한 분석 및 독자적 소자 구조에 대한 연구 결과가 90년대 이후 들어 해외 선진 회사 및 유수의 대학에 의해 속속 보고되고 있다. MOS 구동 사이리스터는 게이트에 양(+) 전압 혹은 음(-) 전압의 펄스 형태로 소자의 온, 오프가 가능한 사이리스터 구조로써, 1979년 MOS구조를 이용하여 턴-오프가 가능한 소자가 제안된 이래, 1984년 GE社에 의해 EST나 BRT와 같은 MCT가 보고된 것을 기점으로 새로운 개념을 도입하거나, 공정 여건을 단순화 하면서 사이리스터의 장점을 활용하고자 하는 다양한 연구가 시도되고 있다.

IGBT의 경우 전압 구동 방식을 사용함에 따라서 기존의 사이리스터 보다 빠른 스위칭 특성을 확보할 수 있으며, 전압 구동 방식이므로 구동회로도 사이리스터에 비하여 간단하다는 장점이 있다. 또한 Bipolar 동작을 하므로 낮은 도통 전압을 확보할 수 있으므로 아래 그림에서 주어진 바와 같이 IGBT의 응용영역은 점차 증가하는 추세에 있음. 현재 IGBT는 600 V, 1200 V의 중전력 인버터 영역에서의 사용뿐만 아니라 1700 V, 2500 V, 3300 V의 대전력 영역

표 1. 사이리스터와 트랜지스터.

Thyristors	Transistors
<ul style="list-style-type: none"> <li>● GTO(Gate Turn-off Thyristor)</li> <li>● MCT (MOS-Controlled Thyristor)</li> <li>● FCTh (Field-Controlled Thyristor)</li> <li>● SITh (Static Induction Thyristor)</li> <li>● MTO (MOS Turn-Off Thyristor)</li> <li>● EST (Emitter-Switched Thyristor)</li> <li>● IGT (Insulated Gate Thyristor)</li> <li>● IGCT (Integrated Gate-Commutated Thyristor)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Bipolar Transistor</li> <li>● Darlington Transistor</li> <li>● MOSFET</li> <li>● FCT (Field Controlled Transistor)</li> <li>● SIT (Static Induction Transistor)</li> <li>● IEGT (Injection Enhanced (insulated) Gate Transistor)</li> <li>● IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)</li> </ul>

에 널리 활용되고 있다. 중전력의 경우에 있어서 기존의 Molding Type의 Package를 활용하여 충분히 적용가능하지만 대전력의 경우에 있어서는 전력반도체 소자의 개발뿐만 아니라 Package 개발도 병행 진행되어야 하며, 지속적인 연구 개발이 이루어져야 할 영역이다.

최근에 IGBT는 전력 전자 분야의 주요한 전력용 소자가 되었다. 20여 년간의 정제를 통해 IGBT는 BJT와 MOSFET과 비교해서 우수한 고전압 고전류 성능을 보이고 매우 낮은 구동 전력을 요구한다. 1세대에서 3세대까지의 IGBT의 특성 개선은 주로 사진식각공정의 발전에 따른 표면 셀 패턴의 개량이나, 캐리어 활성시간 제어에 의한 발전이었다. 이후 4세대에 들어서 플라나 게이트의 필연적인 JFET 효과의 저항성분을 제거하여 IGBT의 저항을 크게 줄인 트

랜치 게이트를 도입함으로써 IGBT의 특성이 크게 발전하였다.

IGBT의 콜렉터 구조에 있어서도 많은 발전과 개선이 있어왔다. 초기의 에피 성장방식에 의한 PT-IGBT (Punch Through-IGBT)에서 웨이퍼를 얇게 갈아내는 Thin 웨이퍼 기술의 도입으로 NPT-IGBT와 FS-IGBT가 개발되면서 열저항과 공정효율성의 큰 개선을 가져왔다.

세대를 거듭하면서 IGBT의 특성이 크게 향상되었지만 IGBT가 필연적으로 가지고 있는 순방향 전압강하와 턴-오프 시간의 트레이드오프 관계는 아직도 해결되지 않는 큰 과제이다. 이런 트레이드오프 관계의 극복을 위해 그림 6에 나타난 파워 MOSFET의 Super Junction기법을 도입한 Super Junction

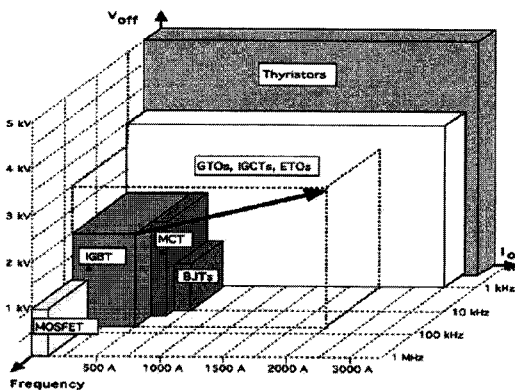


그림 4. 전력반도체소자의 용량별 분류.

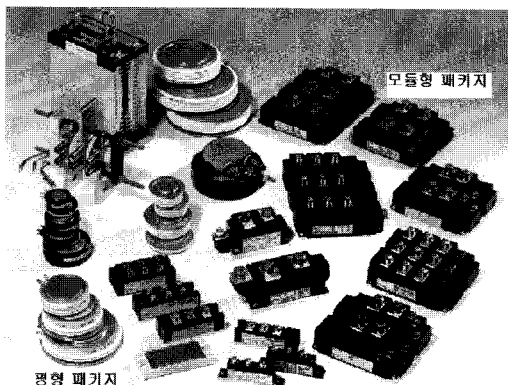
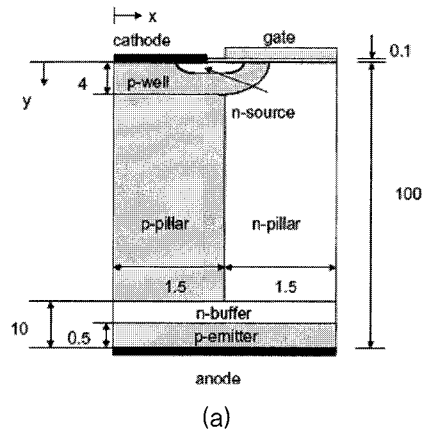
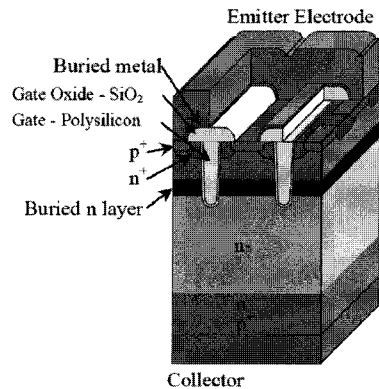


그림 5. 패키지 형태에 따른 전력용 반도체의 분류.



(a)



(b)

그림 6. (a) Super Junction IGBT와 (b) CSTBT.



표 2. 전력용 반도체 소자의 제조기술.

전 력 용 반 도체 소 자 기 술	설계 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. 소프트웨어 기술</li> <li>2. 고내압, 대전류 설계</li> <li>3. 소자구조설계</li> <li>4. 패키지 설계</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 소자설계 및 공정 시뮬레이터 기술</li> <li>• 열해석, 회로해석 시뮬레이터 기술</li> <li>• 소자패턴 설계, Junction Termination</li> <li>• 불순물 농도 분포, 단위셀 구조</li> <li>• 다층 구조설계, 패키지 열해석</li> </ul>
	공정 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. 청정기술</li> <li>2. 고내압 공정기술</li> <li>3. Metalization 기술</li> <li>4. Lifetime 제어기술</li> <li>5. 미세패턴 기술</li> <li>6. 불순물 확산기술</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 소자 표면의 청정도 유지</li> <li>• Bevel 기술, 표면보호 기술</li> <li>• 대전류에 따른 금속막 두께조절</li> <li>• 천이금속 확산, 전자선 및 중성자 조사</li> <li>• 대전류에서의 전류집중 완화</li> <li>• Al, Ga 등을 이용한 장거리 확산기술</li> </ul>
	소재 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. 고저항 실리콘 웨이퍼</li> <li>2. 세라믹 기판</li> <li>3. 신소재 기술</li> <li>4. 표면보호 소재</li> <li>5. Clad metal</li> <li>6. 외장 및 내부충진재</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NTD 웨이퍼 기술, Epitaxial Growing 기술</li> <li>• <math>Al_2O_3</math>, BeO, SiC, AlN 기판기술</li> <li>• SiC, GaN 소자개발</li> <li>• Passivation 용 Glass, 고분자</li> <li>• Mo 및 Mo 합금, 텅스텐, Kovar 등</li> <li>• 세라믹 및 고분자 케이스, 에폭시, 충진재</li> </ul>
	조립 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. 금속화 기술</li> <li>2. 다층접합 기술</li> <li>3. 소재표면처리 기술</li> <li>4. Stack화 기술</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DBC 기술, Mo(Mn) 기술</li> <li>• Brazing 및 Soldering 기술</li> <li>• 도금기술</li> <li>• 냉각기술</li> </ul>
	평가 기술	<ul style="list-style-type: none"> <li>1. 전기적 특성</li> <li>2. 열적 특성</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DC 특성: 전류-전압 특성, 포화전압</li> <li>• AC 특성: 스위칭 특성</li> <li>• 열저항</li> </ul>

IGBT [3]나 n 드리프트 층의 농도에 변화를 준 CSTBT (Carrier Stored Trench Bipolar Transistor) [4] 등의 차세대 IGBT의 많은 연구개발이 진행되고 있는 상황이다.

전력용 반도체 소자의 제조기술은 표 2와 같다.

### 3. 전력반도체 모듈 기술

#### 3.1 개요

MOS 게이트 소자 컨셉은 IGBT와 IPM (Intelligent Power Module)의 여러 세대를 거친 혁신적인 성과를 통해서 1980년대 말 파워 반도체의 발전에 큰 영향을 미쳤다. IPM은 성능, 신뢰성 그리고 집적화에 의해 시스템 밀집 측면에서 같은 용량

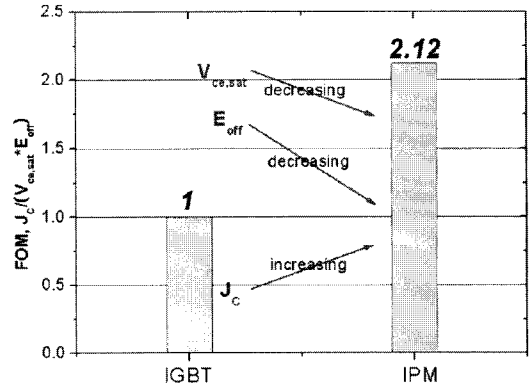


그림 7. IGBT와 IPM의 FOM 비교 [5].

의 IGBT 소자보다 뛰어난 성능을 제공하였다. 생산의 진화에 대한 모든 경우에, 정제의 노력으로는 MOS 게이트의 Active Switching과 관련된 온 저항을 줄이는 것과 높은 전류를 얻는 것, 빠른 스위칭 동작에서 파워 소모를 줄이는 것 그리고 Short Circuit 스트레스를 견디기 위해 SOA를 늘리는 것 등이 요구된다. IGBT 성능이 최근 몇 년간 크게 발전하고 소자의 Short Circuit 성능과 낮은 온 저항 특성이 최근 들어 발전되었지만, 최근의 트렌드가 많은 기능을 집적시키고 더 높은 전력 밀집성을 얻으려는 것이기 때문에 IPM 개념은 여전히 파워 모듈 성능을 향상시키기 위한 우위를 점하고 있다.

IGBT와 IPM을 비교하여 그림 7에 요약하였다. IGBT와 IPM의 FOM 차이는 전력 소모와 시스템의 크기에 의해 정해진다. IPM을 적용할 경우  $V_{ce,sat}$ 의 감소와  $E_{off}$ 의 감소, 전류용량의 증가에 기인하여 효율성이 증가함을 알 수 있다. IPM을 사용할 경우 시스템의 크기는 20% 감소하면서 전력소모를 10% 감소시킬 수 있는 장점이 있다. 또한 IPM을 적용하여 파워 모듈을 구성할 경우 개발기간과 개발비용을 단축할 수 있다. 이런 장점들로 IPM이 파워 일렉트로닉스 산업의 Application에서 차세대 발전방향의 주요 핵심이 되는 것은 의심할 바 없는 사실이다.

#### 3.2 국내산업체의 시장 동향

##### 3.2.1 개요

분산 전원용 PCU에 사용되는 전력용 반도체 모

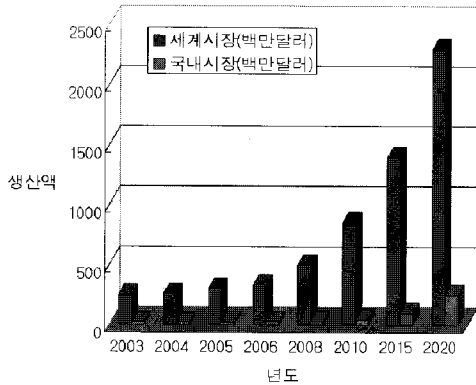


그림 8. 배전급 중·대용량 전력반도체 시장규모 (Frost & Sullivan).

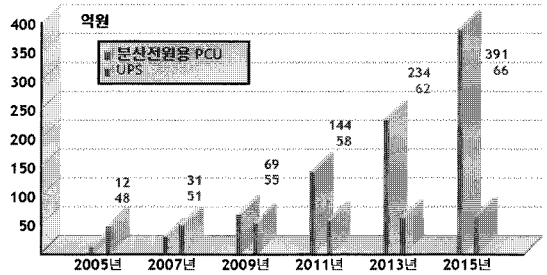


그림 9. 분산전원 전력변환장치 및 UPS용 IGBT 모듈 국내 시장 규모.

들의 시장 규모는 12억 원에서 2015년에 약 50억 원 규모로 성장할 것으로 예측되며, 산업용 인버터에 소요되는 IGBT 모듈의 국내 시장 규모는 2009년에 약 245억 원 규모로 예상된다. 또한 UPS에 소요되는 IGBT모듈의 국내 시장 규모는 2009년에 16억에서 2015년에 26억 원 규모가 예상되며, 대형 발전설비의 건설입지 확보 및 원자력 발전소 설치의 어려움으로 인해 분산 전원에 대한 관심 고조되고 있으며, 풍력, 조력, 열전발전, 태양광, 연료전지 등에 응용될 수 있다.

그리고 대형 인터넷 데이터 센터 등 정보의 집중 관리 시스템의 도입 및 소규모 (동사무소, 면사무소 단위) 국가 전산 센터 도입에 따른 무정전전원장치 요구되고 있고, 산업설비의 고도화 (유도가열, 가스 터빈 시동장치, 용접기, 자동전기 점멸장치, 차단기, 교통신호제어 등)에 따른 배전급 전력반도체 수요 증가하고 있다. 또한 자기부상열차, 전기자동차 등 수송 분야에 사용되는 배전급 설비 수요 발생이 예상된다.

### 3.2.2 분산전원용 전력반도체 시장

분산 전원용 PCU (Power Control Unit)의 전 세계 시장 규모는 2005년에 3조원 규모로 예상되며, 이 중 53% 가량이 태양광 발전용 PCU, 약 33% 가량이 풍력 발전용 PCU, 약 14% 가량이 거치용 연료 전지용 PCU 시장으로 예상되며, 분산 전원용 PCU에

사용되는 전력용 반도체 모듈의 세계 시장 규모는 2005년 약 2,000억 원 규모에서 2015년에 1조 8천억 원 규모의 시장으로 성장할 것으로 예측된다. 분산 전원용 PCU의 국내 시장 규모는 2005년에 174억 원 규모로 예상되며, 분산 전원용 PCU에 사용되는 전력용 반도체 모듈의 시장 규모는 12억 원에서 2015년에 약 400억 원 규모로 성장할 것으로 판단된다.

### 3.2.3 전력변환장치

다수의 해외 유명 리서치 그룹의 예측에 의하면 인버터 등 하드웨어와 관련 소프트웨어 및 서비스를 포함한 Motor Drive의 전 세계 시장 규모는 2005년에 19조 천억 원 정도로 예측되며, 연간 약 5.6%의 성장이 예상되고 있고, 전체 Motor Drive 시장 중 인버터의 세계 시장 규모는 2005년에 16조원 정도가 될 것으로 예상되고, 이 중 팬이나 펌프 등 산업용 기기나 산업용 장치에 이용되는 소형 인버터를 제외한 산업용 인버터의 세계 시장 규모는 2005년에 약 9조 5천억 원 정도의 규모가 예상되며, 연평균 성장률 (CAGR)은 8.6%로 추정하고 있다. 산업용 인버터에 사용되는 전력용 반도체의 경우 대부분 IGBT가 사용되며, 인버터에 사용되는 전력용 반도체 모듈의 시장 규모는 2005년에 2조 7천억 원 정도가 될 것으로 예측됨. IGBT칩의 경우 Mitsubishi, Fuji 등의 일본 업체들의 시장 점유가 높은 편이고, 최근 일본의 생산 기지 이동과 선진사들의 아시아 반도체 산업에



대한 투자 증가에 기인한 아시아 및 유럽 업체의 추격이 진행되고 있다.

산업용 인버터의 국내 시장 규모는 2005년에 약 1,100억 원 규모이며, 산업용 인버터에 소요되는 IGBT 모듈의 국내 시장 규모는 약 300억원 규모로 예상된다.

전 세계 Power Supply 시장 규모는 2005년 12조 5천억원 규모로 예측되며, 이 중 48% 가량이 PC와 사무용 기기에 사용되고, 34% 가량이 통신 장비용 전력공급 장치, 13% 가량이 산업용 전력공급 장치에 사용되고 있으며, 분산 전원용 PCU (Power Control Unit)의 전 세계 시장 규모는 2005년에 3조원 규모로 예상되며, 이 중 53% 가량이 태양광 발전용 PCU, 약 33% 가량이 풍력 발전용 PCU, 약 14% 가량이 거

치용 연료 전지용 PCU 시장으로 판단된다. 또한, 분산 전원용 PCU에 사용되는 전력용 반도체 모듈의 세계 시장 규모는 2005년 약 2,000억원 규모에서 2015년에 1조 8천억원 규모의 시장으로 성장할 것으로 예측되며, 분산 전원용 PCU의 국내 시장 규모는 2005년에 174억원 규모로 예상되며, 분산 전원용 PCU에 사용되는 전력용 반도체 모듈의 시장 규모는 12억원에서 2015년에 약 400억원 규모로 성장할 것으로 예측된다.

### 3.2.4 가전 및 디스플레이

전 세계적으로 에너지 절감과 이산화탄소 발생의 환경 문제와 맞물려 가전기기의 대기전력 절감 정책이 추진되고 있으며 일부 선진 국가에서는 수입 제품에 대해 대기전력 1W 미만의 규제 정책을 시행하고 있음. 현재 대기전력 절감의 방안으로는 전원회로에서의 효율 개선 또는 타이머 스위치, 대기 모드에서의 기능 일부 생략 등의 방법을 사용하고 있으며, 전력용 반도체를 사용하는 경우는 SMPS에서 PWM의 Duty Cycle 조정에 의한 Power Factor Correction 방식의 IC기술이 주로 적용되고 있음. 일부 기능을 정지하는 것은 제품의 편의성을 포기하는 것으로 궁극적으로는 제품의 경쟁력에 문제가 있음. 그 외의 방법들은 부품 추가에 따른 비용 상승의 요인을 제외하면 현재의 기술로 대체로 가능하여 이들 부품의 시장규모가 확대되고 있음. 그러나 홈 네트워크가 활성화될 것으로 기대되는 2010년경에는 기기들이 네트워크 대기 기능을 가짐으로 타이머 스위치와 같은 기술로는 한계가 있으며 대기회로 또는 네트워크상에서 On/off제어가 가능해야 하므로 네트워크 연동 방식의 전력 스위치가 중요하게 될 것이며, 특히 에어컨과 세탁기 같은 동작 소비전력이 큰 기기에서는 제어 가능한 전력 스위치가 필수적임. 한편 대기 모드와 동작 모드의 구분이 모호해지는 홈 네트워크 가전기기에서는 전원 회로의 효율 향상만으로는 대기 전력의 관리가 힘들어지며 대기 상태에서의 다양한 기능 구현을 위해서는 더욱 능동적이고 효율적인 전원관리가 필요하고, 이에 따라 이미 IC 업계에서도 동작중지 모드를 지원하는 방향으로 개발이 진행되고 있기는 하지만 수동 소자들이

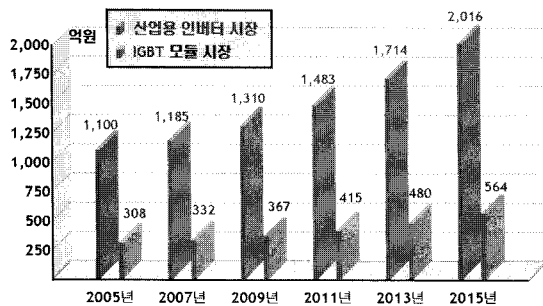


그림 10. 산업용 인버터 및 산업용 인버터용 IGBT 모듈 세계 시장 규모.

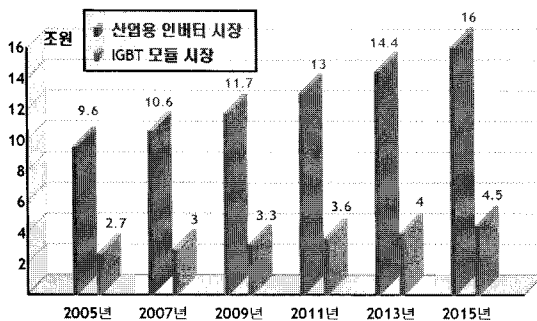


그림 11. 산업용 인버터 및 산업용 인버터용 IGBT 모듈 국내 시장 규모.

많이 사용되는 가전 기기들에서는 논리회로에서 쉽게 제어가 가능한 다양한 용량의 전력 스위치가 필요할 것임. 반면 아직까지 전력 스위치 반도체들은 동작 제어를 위해 부수적인 부품들이 많이 필요한 상태이다.

### 3.2.5 송전용 전력변환 시장

대용량(전압 × 전류용량 1000 kVA 이상) 사이리스터 류 소자의 전 세계 시장 규모는 2008년 6억 달러로 예측되고 있으며 국내시장 규모는 3.5%인 2천1백만 달러 규모로 예측되며, 현재 해남-제주 간 직류송전설비가 구축되어 있으며 총 2000여 개의 사이리스터 소자가 설치되어 있다. 고속철도, 지하철, 전철 등 수송 분야에서의 사용량 점진적 증가 예상되며, 서울 9호선, 대구 2호선, 인천공항 전철, 호남선 고속철도 등에 응용 될 수 있을 것으로 판단 된다.

## 3.3 선진국의 현황

### 3.3.1 선진국 기술 동향

전력반도체 모듈에 있어서의 선진사들은 유럽의 Infineon, Semikron, Vincotech, 일본의 Mitsubishi, Fuji, 미국의 IXYS, Fairchild 등이며, 이들 중 많은 업체가 전력소자를 설계 및 제조하는 능력을 갖추고 있으며, 일부 전력소자를 생산하지 않는 업체는 전력소자 제조업체와 전략적 제휴를 통해 전력소자를 공급받아 모듈만을 제조하기도 한다. 최근 국제적으

로 많은 전력반도체의 수요에 의해 신생 모듈 제조 업체가 다수 생겨나고 있으며, 이들은 현재 산업계에서 널리 쓰이는 일반모듈을 필두로 선진사의 최근 개발모듈을 대치 가능한 형태로 패키지를 개발하여 생산하고 있다.

전력반도체 소자에 있어서의 최근 기술동향이 저손실화와 부피 축소, 전기적 내량 등과 기존 동작 보증 온도의 고온화로 제품의 수명을 연장하는 것으로 집중되고 있다. 이는 신재생 에너지에 적용되는 전력반환장치의 열악한 환경에 따른 신뢰성 및 수명의 충족, 자동차와 같은 안전성 요구처럼 응용분야에서 요구되고 있기 때문이며, 선진사들은 위와 같은 기술을 10년 이상을 바라보고 연구개발을 진행하고 있으며, 현재도 미래를 위한 기술개발을 위해 지속적인 투자를 하고 있다. 또한 관련 재료나 부가 기술에도 투자를 계속하여 기술의 완성도를 높이고 있는 중이다. IGBT의 구동회로와 보호회로를 하나의 패키지에 집적하는 Intelligent Power Module(IPM)의 경향이 지속되고 있음. IGBT소자의 구조 개선을 통한 소형화, LSI 기술이 접목되는 고전압 IC 기술, 패키지 기술의 진보 등으로 더욱 가속화 될 전망이며 고전압, 고성능화 및 다기능화의 관점이 기술적으로 요구되는 분야이다. 파워소자의 특성개선으로 파워밀도가 높아지고 보호회로 및 구동회로를 추가한 인텔리전트화의 추세가 뚜렷하며, 고용량의 전력소자는 입력 커패시터가 (Ciss) 소용량에 소자에 비해서 큰 값을 가지므로 더 큰 전류 구동능력을 가진 파워 IC가 필요함. 또한 Gate-Drain 간의 기생커패시터의 증가로 스위칭 동작 시 발생할 수 있는 Retripping 문제를 해결하기 위해서 단전원이 아닌 양전원이 필요하다. 600 V / 30 A 이하의 민생용 모듈의 경우 레벨 시프트용으로 HVIC를 사용하고 상측단 구동용 IC의 전원은 Bootstrap 방식을 사용하여 저가격화를 실현하고 있으나 전력용 모듈의 경우에는 전력소자의 용량증대에 따른 기술적 문제와 신뢰성에 대한 우려로 트랜스포머를 사용한 전통적인 방식이 널리 사용되고 있으며, 최근에는 상기의 소용량 모듈의 경우는 레벨시프트용의 단점인 래치업 현상을 제거하기 위한 노력이 이루어지고 있으며 일부 제품이 개발되어 판매되고 있

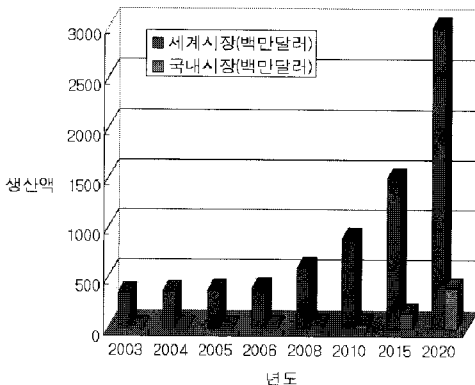


그림 12. 대용량 전력반도체 국내 및 세계시장 규모 (Frost & Sullivan).





다. 일부 고기능 IPM의 경우는 센서 IGBT를 적용하여 정밀한 Fault 검출기능을 가지고, 온도센서를 전력소자 바로 위에 구현하고 파워IC에서 온도센서 신호를 처리하여 칩의 동작온도를 모니터링하고 동작 온도별 SOA (Safe Operating Area)를 다르게 적용하는 등의 고신뢰성을 구현하기 위한 보호회로를 사용하는 중이다. 또한 전류센서 기능을 집적화하여 인버터 시스템 전체의 모듈화를 시도하고 있는 중이다.

### 3.3.2 선진국 기술수준 및 R&D Program

최근 전력반도체 소자의 고온화에 따라 Thermal Cycle 및 Power Cycle에 의해 와이어 본딩이나, 솔더 등이 영향을 받아 발생하는 마이크로 크랙 등과 같은 손상이 발생되지 않도록 와이어의 재질, 본딩 방법, 솔더 재질이나 솔더링 방법 등 관련 기술이 동시에 개발되어지고 있다.

구리 등과 같은 재료 등의 가격상승으로 모듈의 성능과 신뢰성을 유지하면서 가격이 상대적으로 높은 Cu Heatsink 등을 사용하지 않는 모듈 등의 개발에도 다양한 기술이 개발되고 있다. 일부 업체는 수명에 영향이 큰 와이어와 솔더를 전혀 사용하지 않고 모듈을 제작하는 기술을 개발하여 시장에 제품을 출시하는 경우도 있다. 이러한 기술들은 태양광 또는 풍력발전, 그리고 자동차와 같은 환경적으로 열악한 부분에 있어서의 신뢰성 및 수명이 집중 조망되는 가운데 개발되어 발표되고 있으며, 선진사 High-end 제품은 고 신뢰성을 확보하여 Thermal

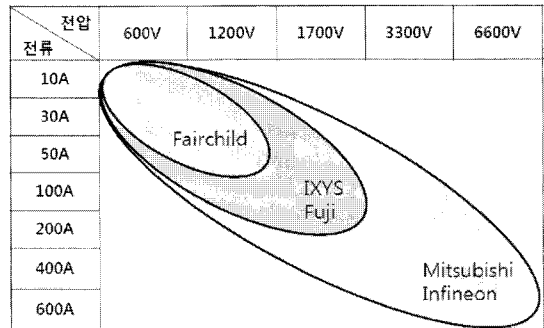


그림 14. 전압 및 전류로 분류해 본 각 기업별 양산중인 전력용 모듈.

cycle 및 Power cycle에 있어서 일반 제품보다 5배 이상 향상되는 것으로 보고되어지고 있다.

선진사의 기술개발은 향후 10년 이상을 바라보고 꾸준한 연구개발을 지속하고 있다. 특히 유럽은 전력반도체의 기술을 논하는 컨퍼런스로 세계 최대인 PCIM을 매년 개최하여 소자, 모듈, 응용까지 관련 기술을 총망라 하고 있으며 관련 연구원 및 학자들의 기술교류의 장을 이루고 있다. 더불어 CIPS와 같은 모듈, 패키지 등을 중점으로 다루는 학술회의도 개최하고 있으며 이러한 학회 등을 통해 산학이 유기적으로 연계되어 기술개발을 진행하고 있다. 전력용 모듈의 기술력은 각 회사의 양산중인 모듈의 최대 내압과 전류를 비교해 보면 그 수준을 쉽게 가늠할 수 있으며, 전력모듈용 IGBT의 양산 기반이 갖추어지지 않은 국내기술 수준을 고려할 때 선진사와의 기술격차는 매우 크다고 할 수 있다. 그림 14는 각사에서 제공하는 전력용 모듈의 제품군의 영역을 나타내고 있음. Mitsubishi와 Eupec은 최강의 전력소자 기술을 바탕으로 600V 소용량에서 6500V 대용량에 이르기까지 전체 모듈 시장을 주도하고 있으며 Fuji와 IXYS가 중소용량에서 시장을 형성하고 Fairchild는 600V / 30A 이하의 인버터용 모듈을 생산하고 있다. 전력소자만을 모듈화한 제품에서부터 보호/구동회로 및 온도센서를 포함한 인텔리전트 제품에서 이르기까지 다양한 제품을 선보이고 있다.

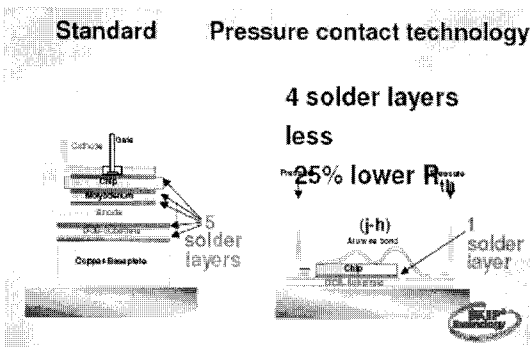


그림 13. SemiKron社의 Solder Free 기술적용.

## 4. 파워 일렉트로닉스의 미래 기술 동향

IPM의 다른 Application 목표는 운송장비와 전기 자동차의 에너지원으로써의 이용이다. 1990년대부터 시작된 고내압 IPM (High Voltage IPM, HVIPM), 전기 자동차 IPM (Electric Vehicle IPM, EV-IPM), 하이브리드 자동차 IPM (Hybrid-electric Vehicle IPM, HEV-IPM) 등의 운송 분야 Application에서의 이런 급속한 성장으로 인해 IPM의 신뢰성과 견고성이 더욱 요구되고 있다.

미래에는 위의 운송 분야 Application처럼 기본 기능의 파워 반도체 소자나 기본 IPM에서 Application의 요구에 초점을 맞추어 특화된 형태로 발전될 것이다. 이와 더불어 소자 단위의 발전보다는 자기 보호, 자기 전력수급 등의 기능을 내장한 IPM 모듈 형태에서 기본 기능의 변형으로 더 넓은 범위의 Application을 수용할 수 있으면서 고기능화된 IPM 플랫폼의 형태로 발전돼 나갈 것으로 기대된다 [5].

또한 산업의 요구와 기술의 발전에 따라 실리콘의 한계에 의해 보틀넥이 되는 부분이 발생할 것이며, 이 부분은 실리콘의 한계를 극복시킬 수 있는 SiC 등의 새로운 물질이나, 패키징 기술의 발전, IC 기술의 발전 등으로 극복될 것으로 기대되며, IPM의 발전과 함께 궁극적으로 IPM 시스템으로 발전해 나갈 것으로 전망된다.

## 참고 문헌

- [1] B.Jayant Baliga, "Power semiconductor devices", PWS, 1996.
- [2] Friedhelm D. Bauer, "The super junction bipolar transistor: a new silicon power device concept for ultra low loss switching applications at medium to high voltages", Solid-State Electronics Vol. 48, p. 705-714, 2004.
- [3] H. Takahashi, et al. "Carrier Stored Trench-Gate Bipolar Transistor (CSTBT) - A Novel Power Device for High Voltage Application" The 8th

International Symposium on Power Semiconductor Devices and ICs 1996.

- [4] G. Majumdar, M. Fukunaga, T. Ise., "Trends of Intelligent Power Module", IEEJ Trans. Vol. 2, p. 143-53, 2007.
- [5] "Intelligent power Module", 三菱電機技報, Vol. 67, No. 9 (1993).
- [6] Michio Nemoto., etc, " An Advanced FWD design concept with superior soft reverse recovery characteristics", Proceedings of ISPSD, 1999, (1999).
- [7] V. Szekely, "THERMODEL:A tool for compact dynamic thermal model generation," Microelectronics Journal No. 29, (1996).
- [8] G. Majumdar., etc, "New generation high performance intelligent power module series", Proceedings of Power Conversion, (1992).

## 저자|약력



성 명 : 강이구

◆ 학 력

- 1993년 고려대 전기공학과 공학사
- 1995년 고려대 대학원 전기공학과 공학석사
- 2002년 고려대 대학원 전기공학과 공학박사

◆ 경 력

- 2003년 - 현재 극동대 컴퓨터정보표준학부 조교수

