

전력반도체 신기술 소개 시리즈(2)

# 175℃까지 사용가능한 600V급 MiniSKiiP CIB모듈

C. Daucher\*, 이 승 렬\*\*

(\*SEMİKRON Japan, \*\*세미크론 코리아)

## 1. 서론

1996년 출시 이래, MiniSKiiP은 가격 효과적이고 신뢰성 높은 CIB모듈(Converter-Inverter-Brake chopper)로 인정을 받아왔다. 수백만 개가 팔림에 따라, CIB급 모듈 중에서 시장에서의 리더로서의 자리를 굳혀 왔다. 현재 MiniSKiiP은 대량 생산 이 필요한 소형 인버터 제품에 광범위하게 사용되고 있다.

이러한 성공은 주로 두 가지 측면에 의해 달성되었다. 그 하나는 스프링 접촉 방식과 베이스 플레이트가 없는 구조를 채

택함으로써 솔더링이 필요 없이 쉽게 조립을 할 수 있으며 신뢰성이 높다는 사실이다. 다른 하나는 집적도(degree of integration)가 높다는 사실이다.

그림 2는 600V급 MiniSKiiP의 전형적인 전기회로 구성이다. 주회로에는, 삼상 정류부 외에 스텝-다운 컨버터(다이내믹 브레이킹용으로 사용 시)나 스텝-업 컨버터(역률 보상용으로 사용 시)로 사용할 수 있는 쇼퍼 그리고 6개의 NPT(Non Punch Through)-IGBT와 CAL-FWD(Controlled Axial Lifetime Free-Wheeling Diode) 스위치들로 구성된 삼상 인버터가 있다. 동일한 하나의 DBC(Direct Bonding Copper) 세라믹 기판 위에, 칩 주변의 방열판 온도를 측정하기 위한 온도 센서도 통합되어 있다.

이미 검증된 특징인 컴팩트함(높은 집적도를 통한), 낮은 가격(순쉬운 조립을 통한), 높은 신뢰성(스프링 접촉 방식을 통한)을 유지하면서도 시장으로부터의 점점 더 복잡해지는 요구들을 수용하기 위하여 지속적인 개선을 해오고 있다. 전

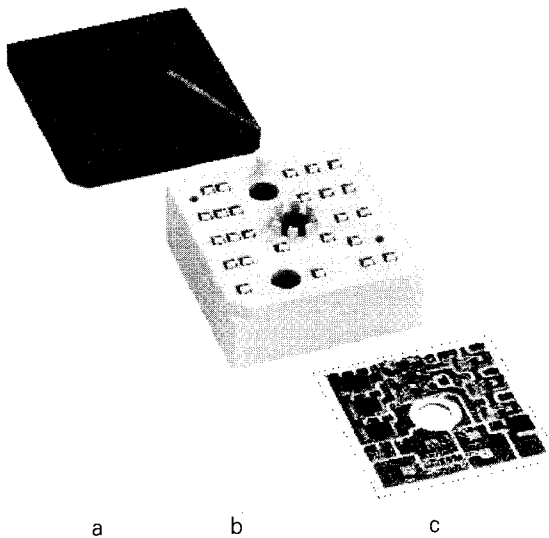


그림 1 1세대 MiniSKiiP  
a. 압착용 덮개(pressure lid)  
b. 스프링 접촉부와 케이스  
c. 파워 칩과 센서가 탑재된 DBC

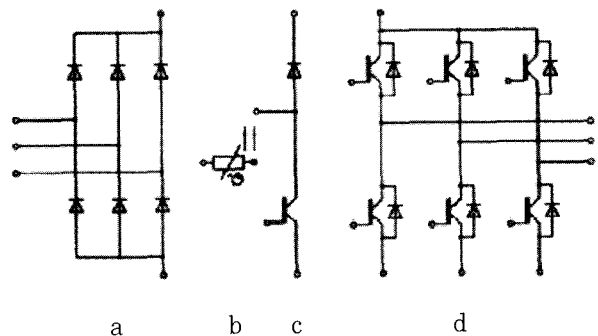


그림 2 MiniSKiiP의 전형적인 전기회로 구성  
a. Rectifier      b. 온도 센서  
c. 쇼퍼          d. 인버터

류 정격이 커진 새로운 칩을 채용함으로써, 제2세대 MiniSKiiP이 탄생되게 되었다.

### 2. 새로운 칩 기술

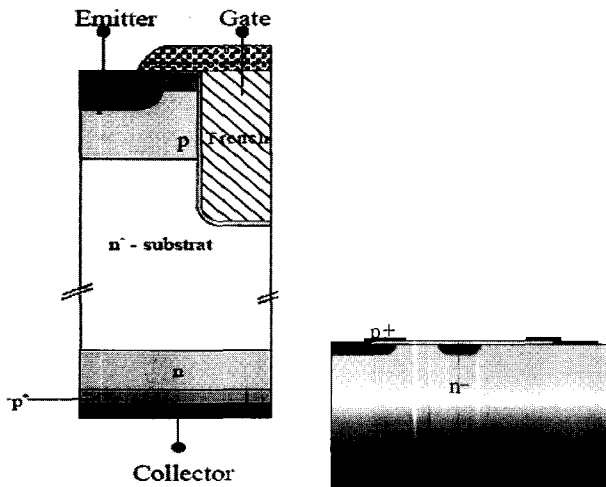
600V급 2세대 MiniSKiiP(MiniSKiiPII)에는 Trench-FS-IGBT(Field Stop)가 사용된다<sup>[2]</sup>. 이 칩이 NPT-IGBT칩과 다른 주요 차이점 중의 하나는 n-기판(substrate) 바닥에 n+ 버퍼 층이 놓임으로써 기판 두께가 줄어들었다는 사실이다.

또 다른 차이점은 구조 상부에 위치한 평판형 게이트(planar gate) 대신, 수직형 트렌치 게이트(그림 3a)로 설계되어 있다는 사실이다. 이러한 게이트 구조는 후면 이미터(rear emitter)와 결합되어 n-영역에 최적의 정방향 플라즈마 분포가 이루어지게 하고, 이를 통해 NPT-IGBT에 비해 칩 크기는 50%가 줄어들었음에도 불구하고 전체적인 손실은 줄어든다. 전류 밀도는 NPT가 140A/cm<sup>2</sup>인데 반해 두 배(280A/cm<sup>2</sup>)로 늘어났다.

권장 사용 온도인 150℃에서 포화전압 VCEsat은 2.5V에서 1.85V로 낮아지며, 스위칭 손실은 개략 20%정도 낮아진다. 최대 접합부 허용 온도는 150℃에서 175℃로 높아진다. 특히, 이러한 특징은 과부하 조건 혹은 다이내믹 부하 조건에서 여유 분으로 이용할 수 있다.

Trench-FS-IGBT칩을 모듈로 집적하여 패키징할 때, IGBT 칩의 크기가 줄어든 만큼 그 크기에 맞는 전류 밀도가 높은 FWD칩이 필요하다. SEMIKRON에서는 CAL(Controlled Axial Lifetime) 다이오드라고 불리는 FWD를 사용한다.

CAL(Controlled Axial Lifetime)다이오드는 FWD로 사용



a. Trench-FS-IGBT      b. CAL-HD-FWD

그림 3 Trench-FS-IGBT와 CAL-HD-FWD의 구조

하기에 적합한 여러 장점들 - 매우 부드러운 회복 특성, 모든 전류 조건에서의 안정된 회복 동작의 부드러움(softness), 높

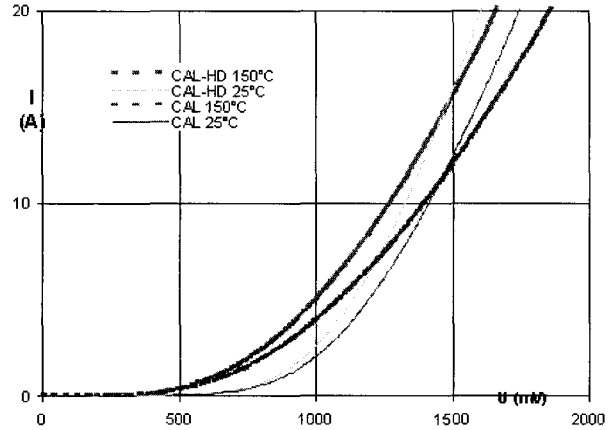
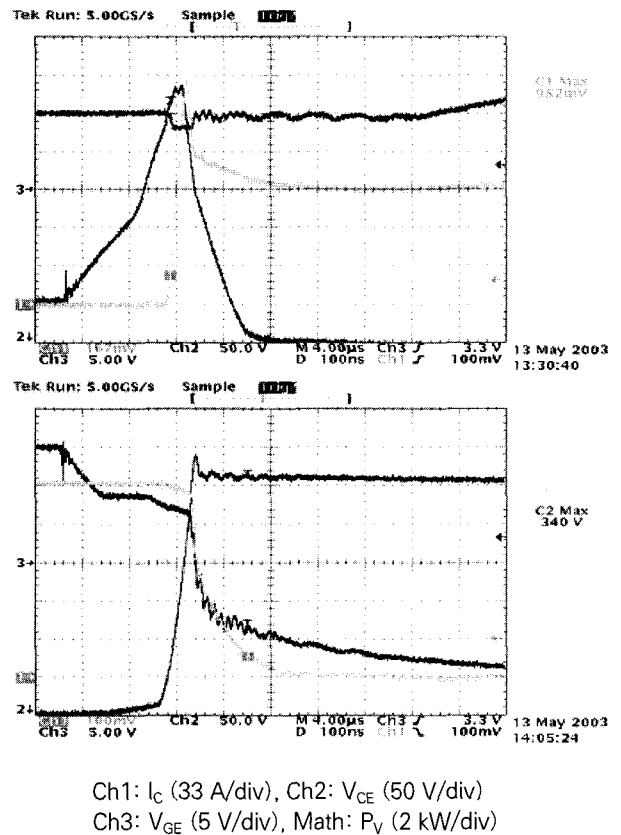


그림 4 Tj=25℃ 및 150℃에서의 600V급 CAL-HD다이오드와 CAL다이오드의 순방향 특성



Ch1: IC (33 A/div), Ch2: VCE (50 V/div)  
Ch3: VGE (5 V/div), Math: P<sub>v</sub> (2 kW/div)

그림 5 V<sub>DC</sub> = 300V, I<sub>C</sub> = 10A, T<sub>j</sub> = 150℃, V<sub>GE</sub> = +/-15V, R<sub>Gon</sub> = R<sub>Goff</sub> = 100Ω에서의 Trench-FS-IGBT와 CAL-HD-FWD 조합의 턴-온 및 턴-오프 특성

은 견고성(높은 DC링크 전압에서의 높은 di/dt), 낮은 스위칭-오프 에너지와 낮은 역 포크 전류 - 을 가지고 있다. CAL 다이오드의 이러한 기존의 장점들을 그대로 유지하면서도 전류 밀도가 높은 CAL-HD(High Density) 프리휠링 다이오드가 개발되었다. CAL-HD다이오드에 사용되는 기본 재료도 바닥 쪽에 깊이 n+ 디퓨전(diffusion)이 되어 있는 얇은 n-기판(substrate)이다(그림 3b). n-영역을 더욱 얇게 만들고, 마무리 구조(termination structure)를 작게 하여 활성 영역을 키우고, 다양한 주입(implantation)공정과 어닐링(annealing) 공정을 통해 재결합 중심 프로파일(recombination centre profile)을 최적화함으로써 손실을 줄일 수 있게 되었다. 개선된 다이오드는 이전의 CAL다이오드에 비해 온-상태 전압이 10%정도 낮다(그림 4).

최대 접합부 온도를 175℃로 확장하기 위해 새로운 패시베이션(passivation; 칩표면에 보호막을 씌우는 공정) 공정이 적용되었다.

이렇게 하여 얻어진 CAL-HD다이오드의 특성은 Trench-FS-IGBT와 잘 조화된다. 그림 5는 150℃에서의 스위칭 특성을 보여준다.

### 3. 허용 온도 175℃의 정류용 다이오드

새로운 IGBT 및 FWD 칩의 온도 범위가 175℃로 확대되었기 때문에, MiniSKiiP II의 CIB모듈에 쓰이는 정류용 다이오드도 이 특성을 가지고 있어야 한다. 새로운 접합부 마무리

패시베이션(junction termination passivation) 공정을 도입함으로써 이 특성을 얻을 수 있게 되었다. 마무리를 짧게 함으로써(shrunk termination) 전류 밀도가 높아지는 효과도 얻을 수 있게 되었다. 그림 6은 새로운 정류용 다이오드의 175℃에서의 HTRB (High Temperature Reverse Bias: 고온 조건 하에서의 역 바이어스) 테스트 결과를 도시한 것이다. 역차단 전류가 전체 테스트 기간 (1000시간)동안 높은 안정성을 보이고 있음을 알 수 있다.

### 4. 패키징 기술의 개선

이러한 새로운 칩들이 등장함에 따라 패키징 기술에도 다양한 개선이 이루어졌다<sup>[3]</sup>. MiniSKiiP모듈 내에서 절연용 세라믹은 열저항의 주요 부분을 차지하므로, 그 두께를 0.63mm에서 0.38mm로 줄였고 이로 인해 열저항이 10% 정도 줄어들었다.

압착 리드의 높이도 줄어들었다. 신형 압착 리드에는 내부에 스테인레스 강판이 들어 있다. 내부 강판과 압착용 실린더를 통해 하부면 전반에 걸쳐 균일한 압력을 가해준다(그림 7). 더욱이, 압착 리드의 하부 면에 남아있는 여유 공간들은 최대 3.5mm까지의 SMT용 부품을 조립해 넣을 수 있는 유효 PCB공간으로 이용할 수 있다. 옆면에 나있는 開口는 방열 통로로 이용된다.

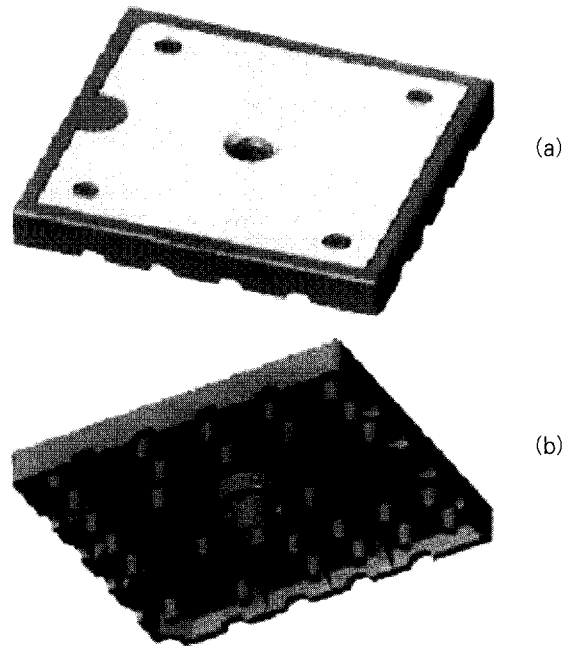
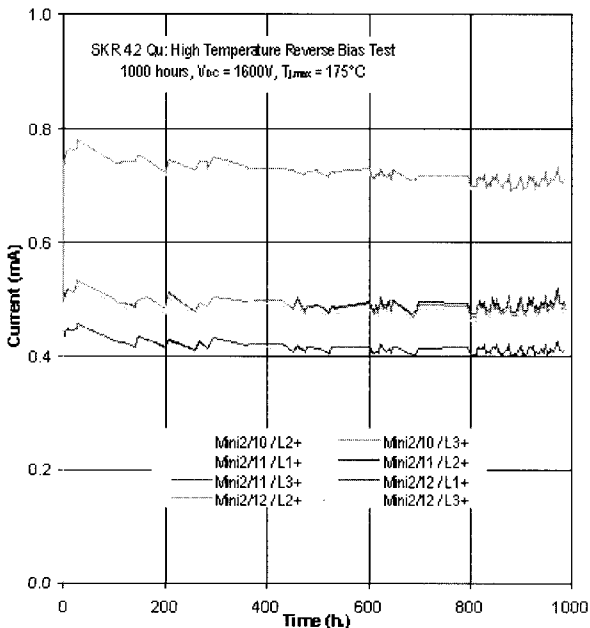


그림 7 MiniSKiiP II의 압착 리드  
a. 위에서 본 모양  
b. 아래에서 본 모양

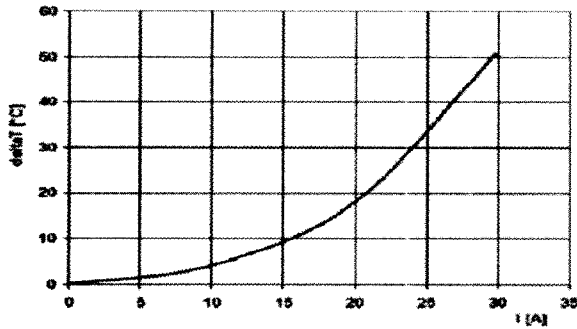


그림 8 MiniSKiiP II에서의 스프링의 전류 허용 능력

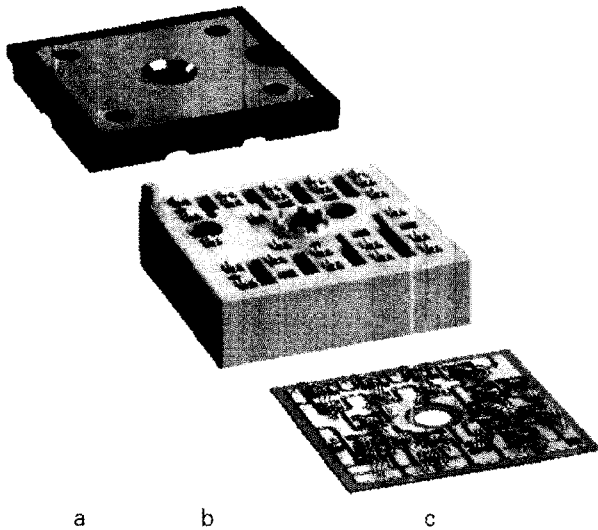


그림 9 Trench-FS-IGBT와CAL-HD-FWD로 만들어진 MiniSKiiP II  
 a. 압착 리드  
 b. 스프링 접촉부와 케이스  
 c. 파워 칩 및 센서가 탑재된DBC

모듈과 사용자가 설계한 PCB와의 연결은 스프링 접촉 방식으로 이루어지는데, 이 방식은 장시간 신뢰성과 견고성이 뛰어나다. 칩의 성능이 개선됨에 따라 스프링의 전류 밀도도 커져야 한다. 여러 가지 재질을 조합하고 접촉면을 다양하게 가공하여 시험한 결과, 스프링의 전류 허용 능력을 이전 세대 스프링이 12A인데 비해, 20A로 늘어났다(그림 8).

이 보다 높은 전류가 필요한 터미널에 대해서는 스프링을 병렬로 연결하여 사용한다. 이 방식을 사용함으로써 스프링/PCB도체 간의 전류 밀도가 줄어든다. 이로 인해 온도가 낮아지면 PCB자체의 신뢰성도 개선된다.

1KW미만의 모터 시장을 겨냥한 새로운 크기의 (Mini0) 제품이 또한 출시될 예정이다. 이 타입의 모듈 크기는 31x34mm<sup>2</sup>이다. 모든 MiniSKiiP에 적합한 저가형 드라이버

표 1 600V MiniSKiiP II의 주요 특징

파라미터	NPT + CAL	Trench-FS + CAL-HD	단위	변화율	
V <sub>CEsat</sub>	@25°C	21	1.75	V	-17%
	@150°C	25	1.85	V	-26%
	온도 계수	양	양	-	
E <sub>ON</sub> + E <sub>OFF</sub>	@150°C 100A당	9	7.2	mJ	-20%
상대적 칩 크기	100	50	%	-50%	
V <sub>F</sub>	@150°C	1.4	1.25	V	-11%
E <sub>TT</sub>	@150°C 100A당	1.8	1.6	mJ	-11%
T <sub>Vj</sub>		150	175	°C	+25K

도 개발 중에 있다.

성능이 개선된 MiniSKiiP II는 외양은 신형이지만 크기는 이전 버전과 같고(그림 9) 전류 밀도는 높다. 표 1은 MiniSKiiP II 600V의 전기적 측면에서의 주요 개선 내용을 요약한 것이다.

### 5. 인버터 출력 전류

MiniSKiiP II의 전형적인 응용분야(예를 들자면 0.37-30 KW 사이의 인버터)에 있어서, 신형 칩의 전류 밀도가 높기 때문에 같은 크기의 모듈에 대해 출력 전류가 높거나 작은 크기의 모듈을 사용할 수 있다. 동일한 운전 조건 하에서(U<sub>dc</sub> = 310V; U<sub>out</sub> = 3x230V; cos φ = 0.8; R<sub>thba</sub> = 0.5K/W (P35방열판, 길이 150mm); Tabm. = 40°C)의 MiniSKiiP 세대별 최대 가용 출력 전류에 대한 시뮬레이션 결과를 그림 10에 도시하였다. 두 가지 모듈들을 모두 125°C 기준으로 비교해보면 전류 이득율이 약 12% 정도 된다.

그러나, MiniSKiiP II의 허용 온도 범위가 확장되었기 때문에 과부하 및 다이내믹 부하 조건에 대한 여유 폭이 상당히 늘어난다. 위에서 언급한 MiniSKiiP II를 권장온도150°C에서 사용하면(그림 10, 상부 곡선), 전류 이득은 30% 이상 증가한다. 이 경우, 최대 접합부 온도와의 안전 여유 폭이 아직도 25K가 된다(드라이브 어플리케이션에서의 권장 여유 폭).

위의 시뮬레이션은 세미크론의 자체 시뮬레이션 프로그램인 "SemiSel" [4]을 가지고 [5]에서 언급한 방법에 기초하여 한 것이다.

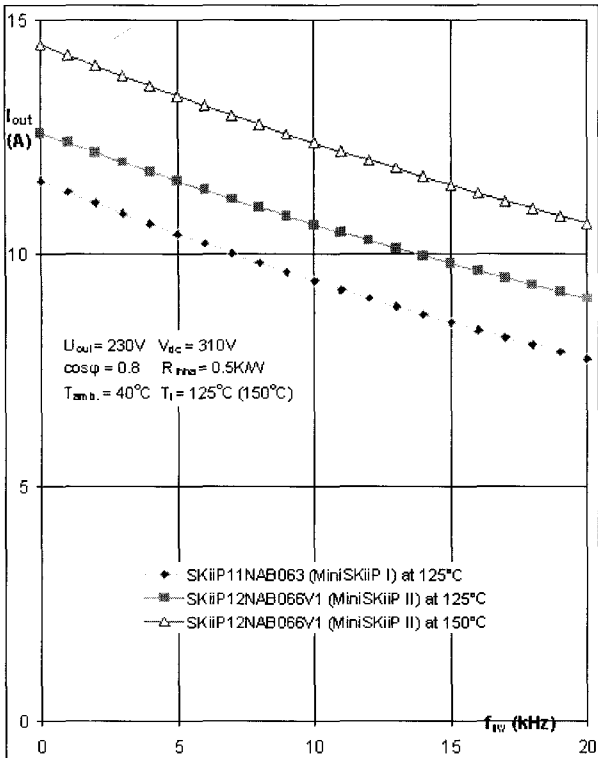


그림 10 스위칭 주파수 변화에 따른 MiniSKiiP II와 MiniSKiiP I의 출력 전류 비교

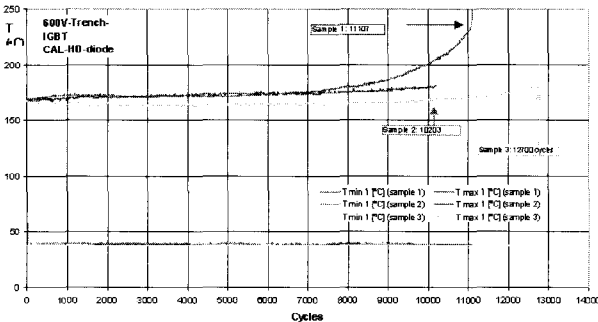


그림 11  $\Delta T = 135K$ 에서의 파워 사이클링 시험 결과

### 6. 파워 사이클링 시험

온도 범위가 늘어났기 때문에, 이러한 변화된 조건(예를 들자면, 온도 증가 폭이 높아지는 조건)에 맞추어 장기적인 신

뢰성(long-term reliability)을 조사할 필요가 있다. 이런 측면에서, MiniSKiiP II는 구조적인 장점을 가지고 있다. 즉, 종래의 솔더링 방식 대신에 스프링 접촉(Spring contact) 방식을 사용하였고 압착(Pressure contact) 시스템을 채용함으로써 베이스 플레이트를 없앨 수 있게 되었다. 그림 11은 파워 사이클링 시험 결과다. 파워 사이클링 횟수( $T = 135K$ 에서  $>10,000$  사이클)가 LESIT-시험<sup>6)</sup>에서 예측한 것보다 서너배 높게 나왔음을 알 수 있다. 이를 통해 볼 때, 압착 방식의 장점이 입증된 셈이다.

### 7. 결론

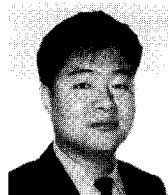
이 글에서는 신형 CIB-모듈 시리즈 - 600V MiniSKiiP II를 소개하였다. 모듈 내에 있는 모든 종류의 칩의 사용가능 온도 범위가 175℃까지로 확장되었다. 칩 및 모듈의 구조 개선을 통해 출력 전류 및 과부하 능력이 현저히 높아졌고 신뢰성이 향상되었으며 이로 인해 0.37에서 30 kW 사이의 인버터에 대한 컴팩트하고 최적화된 저가격 솔루션을 제공할 수 있게 되었다.

### <저 자 소개>



#### Christian Daucher

독일, Braunschweig의 Technical University에서 Electrical Engineering 전공. 1999년-2004년 본 대학교에서 3년간 Scientist로 근무. 2004년 독일 Nuremberg의 SEMIKRON International에서 Product Manager로 근무. 현재 SEMIKRON Japan in Tokyo에서 Senior Technical Advisor.



#### 이승렬

1972년 7월 4일생. 육군3사관학교 전기전자 전공. 2004년 5월 독일 PCIM 참가. 현재 세미크론 코리아의 Sales Manager 및 Technical Advisor.