

## 평균기법을 이용한 인버터 히트싱크 최적화 설계

전장건\*, 조수억\*\*\*, 박노식\*\*\*\*, 박성준\*, 문채주\*\*\*\*, 권순재\*\*\*\*, 김철우\*\*  
 \*전남대학교, \*\*부산대학교, \*\*\*서일대학교, \*\*\*\*목포대학교,\*\*\*\*\*부경대학교

### Optimal Design of Heatsink for Inverter System by using Average Method

J.G Jeon\*, S.E Cho\*\*\*, N.S Park\*\*\*\*, S.J Park\*, C.J Moon\*\*\*\*, S.J Kwon\*\*\*\*, C.U Kim\*\*  
 \* Chonnam National Univ, \*\* Pusan National Univ, \*\*\* Seoil Univ,  
 \*\*\*\* Mokpo National Univ, \*\*\*\*\* Pukyung National Univ.

#### ABSTRACT

전력 반도체의 방열 특성은 수명 및 소손 과 관계가 있다. 전력 반도체 자체의 열전달 특성 및 전력 반도체가 취부 되는 방열판의 전도, 대류, 방사의 열전달 특성을 고찰하기 위하여 본 논문에서는 실시간으로 방열판의 온도를 관측하여 전력 반도체의 손실을 확인하였고, 프로파일별 히트 싱크 온도 상승 측정 평균 전류와 전류 프로파일과 의 상관 관계를 분석 하여 방열판 최적화 및 히트 싱크 온도 관측 시 히트 싱크의 모델을 제시하였다.

#### 1. 서 론

현재 산업전반에 걸쳐 다기능, 고성능의 자동화 시스템이 개발됨에 따라 보다 성능이 우수한 전력변환장치를 필요로 하게 되었다. 이에 따라 전력변환장치의 정격은 높아지고 스위칭 주파수는 빨라지는 추세이며 부하의 사용 주파수 대역도 다양해진다. 따라서 이러한 요구를 충족할 수 있는 전력전자 소자가 필요로 하는데 그 대표적인 소자가 IGBT이다<sup>[1]</sup>. 이 IGBT에 보호 기능을 추가하여 보다 더 사용이 편하게 개발 된 파워 모듈이 IPM이다. IPM 의 스위칭 주파수를 증가시킴으로써 전력 변환기 입력전류의 리플 성분을 감소시킬 수 있고 제어의 동특성을 향상시킬 수 있다는 장점과 스위칭 주파수의 고조파 성분을 더욱 높은 주파수 대역으로 이동시킬 수 있기 때문에 가청 잡음을 저감시킬 수 있다. 이는 곧 전력용 반도체소자의 단위 스위칭 당 스위칭 에너지 손실은 감소 추세에 있지만 스위칭 주파수가 증가됨에 따라 단위 시간당 스위칭 손실은 감소되지 않았음을 의미한다. 따라서 인버터의 스위칭 손실을 감소시키는 일은 여전히 중대한 관심사이다. 또한, 반도체 기술의 발전으로 반도체 전력 소자의 크기는 점점 작아지고 있기 때문에 전력 소자에 부착되는 방열판의 용량이 전체 인버터 시스템의 크기를 결정짓고 있는 추세이다. 인버터의 손실, 즉 전력 소자의 손실 으로부터 방열판의 크기가 결정되므로, 이는 인버터 제작에 있어서 중요한 요소가 되었다.<sup>[2]</sup> 방열판을 최적화하기 위하여 실시간으로 방열판의 온도를 관측하여 전력 반도체의 손실을 확인하고, 전류 프로파일별 히트 싱크 온도 상승 측정 평균 전류와 전류 프로파일과 의 상관 관계를 분석 하여 방열판 최적화 및 히트 싱크 온도 관측 시 히트 싱크의 모델을 제공한다.

#### 2. 히트 싱크(Heat-sink) 온도 특성 분석 및 모델링

##### 2.1 인버터용 히트 싱크의 온도 상승 분석

그림 1은 전력 반도체의 빠른 열 저항 ( $T_j$ ) 시정수 및 방열판의 느린 열 저항 ( $T_h$ ) 시정수를 표현 하였다. 전력 반도체의 열 저항의 시정수는 수십 ms 로 빠르지만 방열판의 시정수는 수십 분으로 느린 편이다. 실시간으로 방열판의 온도를 관측하여 전력 반도체의 손실을 확인하기 위하여 전류 프로파일별 히트 싱크 온도 상승 측정 및 분석하고, 평균 전류와 전류 프로파일과 의 상관 관계를 분석 하여 방열판 최적화 및 히트 싱크 온도 관측 시 히트 싱크의 모델을 제공하고자 한다.

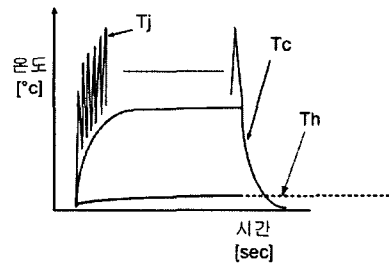


그림 1 전력 반도체와 히트 싱크의 열저항 시정수 비교  
 Fig. 1 A comparison of time response of thermal resistance of power electronics and Heat-sink

히트싱크의 온도 특성을 보기위하여 여러 정격의 전류 프로파일을 3상 교류 리액터에 인가하고, 이 때 전력 반도체(IGBT)가 부착된 방열판의 온도 상승을 관측하였다. 이때 방열판 온도가 포화 될 때까지의 시간 및 포화 온도를 전류 프로파일별로 분석하였다.

그림 2는 교류 3상 리액터에 인가한 전류 프로파일이다. 프로파일 #1은 15[A]의 정격으로 그림 2의 부하 전류 프로파일 순서로 방열판 온도가 포화될 때까지 인가하였다. 프로파일 #1-1은 프로파일 #1의 구간( $t_1 \sim t_7$ )까지의 전류를 주기 40[sec]로 평균한 전류 12.48[A]로 방열판 온도가 포화될 때까지 계속 인가한 경우이다. 프로파일 #3은 프로파일 #1 과 프로파일 #2 의 중간 정격인 11.25[A]의 정격으로 그림 2.21의 부하 전류 프로파일 순서로 방열판 온도가 포화될 때까지 인가하였으며 프로파일 #3-1은 프로파일 #3의 구간 ( $t_1 \sim t_7$ )까지의 전류를 주기 40[sec]로 평균한 전류 9.36[A]로 계속 인가한 경우이다.

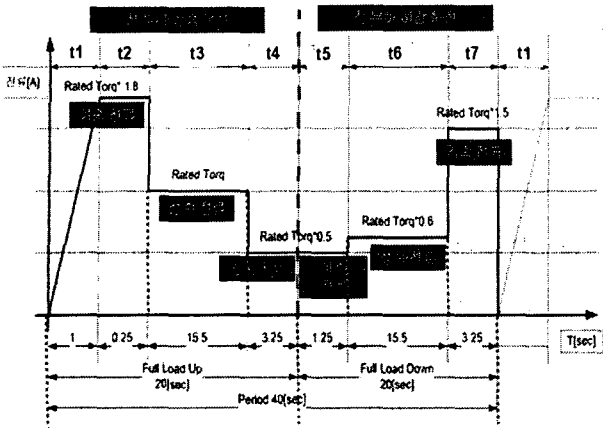


그림 2 21부하 전류 프로파일  
Fig. 2 21 Load current profile

1) 프로파일 #1에서의 온도 상승 실험

그림 3은 온도 상승 시험 결과이며, 데이터의 신뢰성을 위하여 온도 상승 구간을 20등분하여 비선형 커브 피팅에 의해 함수의 방정식을 구한 후 포화 시간까지의 시간을 구하여 기울기를 구하였다. 전류 프로파일#1의 커브 피팅 함수의 방정식 및 형태는 그림4와 같다.

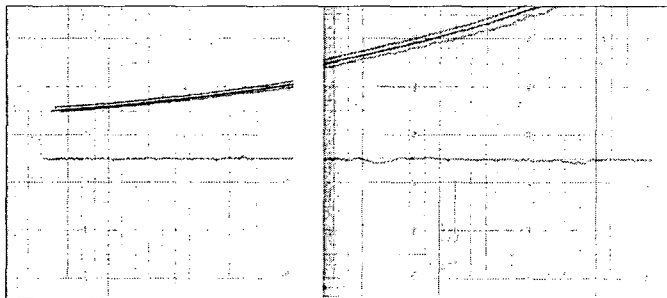


그림 3 프로파일 #1에서의 온도 상승 실험  
Fig. 3 The test of temperature rise at current profile #1

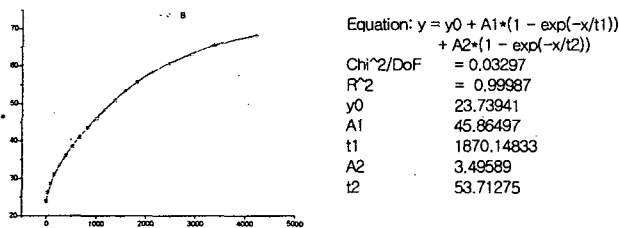


그림 4 전류 프로파일#1에서의 비선형 커브 피팅에 의한 함수의 방정식 및 그래프  
Fig. 4 Functional equation and graph by using non-linear curve fitting for load current profile #1

2) 프로파일 #3에서의 온도 상승 실험

그림 5은 온도 상승 시험 결과이며, 전류 프로파일 #3의 커브 피팅 함수의 방정식 및 형태는 그림 6과 같다.

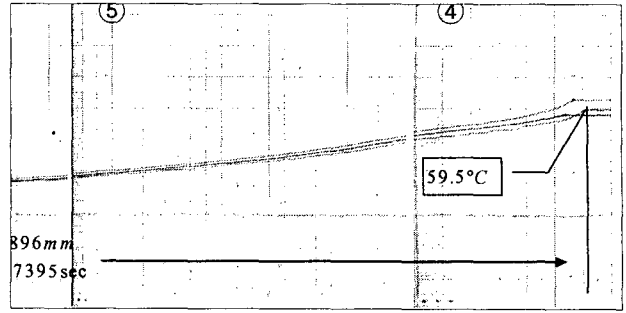


그림 5 프로파일 #3에서의 온도 상승 실험  
Fig. 5 The test of temperature rise at current profile #3

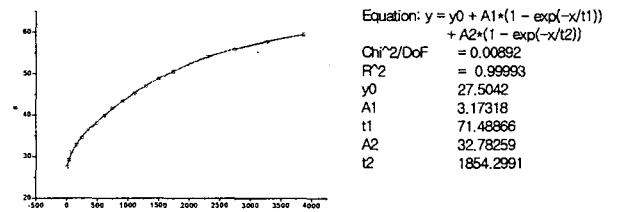


그림 6 전류 프로파일#3에서의 비선형 커브 피팅에 의한 함수의 방정식 및 그래프  
Fig. 6 Functional equation and graph by using non-linear curve fitting for load current profile #3

2.2 프로파일 #1,#3에서의 온도 상승 실험 분석

온도 상승 실험을 분석해 보면, 20등분한 기울기 값이 평균 전류가 작아지면, 그 비만큼 작아지는 것을 표 1을 보면 알 수 있다. 프로파일 #3에서의 기울기(계산)는 프로파일 #1의 기울기에서 프로파일 #1의 평균 전류와 프로파일 #3의 평균 전류 비만큼을 곱해 준 것이다. 이 경우 오차율이 포화 영역을 제외한 구간에서는 약 10[%]내에 존재함을 알 수 있다. 향후 히트 싱크 온도 계산 시에 평균 전류의 비는 유용하게 사용된다.

즉, 일정 주기 동안 전류의 크기가 각각 다른 전류 프로파일을 부하에 인가하더라도 평균 전류만 알면 평균 전류 값 비율에 의해 방열판 온도 상승을 계산할 수 있다는 근거가 된다. 프로파일#1 과 #3에서, 비선형 커브 피팅에 의한 함수의 방정식은 식 1 및 표 2로 구해진다.

$$Y = Y_0 + A_1 \times \left(1 - e^{-\frac{x}{t_1}}\right) + A_2 \times \left(1 - e^{-\frac{x}{t_2}}\right) \quad (1)$$

여기서, Y = 방열판의 온도, x = 시간[sec]  
식1에서 히트 싱크 온도 상승 측정 지점에서의 열 저항은 병렬 회로 구성되어짐을 알 수 있다.  $Y_0$ 는 최초 방열판의 초기 온도이고,  $A_1 \times \left(1 - e^{-\frac{x}{t_1}}\right)$  항 과  $A_2 \times \left(1 - e^{-\frac{x}{t_2}}\right)$ 항이 더해져 있으므로 두 개의 열 저항이 병렬로 구성되어 있다. 각각의 항은 R-C 회로로 대체 되어 질 수 있으며 비선형 커브 피팅 함수에 의해 구해진 함수의 방정식으로부터 열 시정수를 알 수 있다. 열 상승 시험 시에 정확한 열 시정수를 찾기가 어렵다. 왜냐하면 지수 함수의 5 타우(tau)까지의 시간은 상당히

길기 때문이다. 이 경우 비선형 커브 피팅에 의한 함수 방정식은 쉽게 포화 온도까지의 시간을 구해준다. 프로 파일 #1 과 #3의 방정식을 보면 크기를 나타내는 A1과 A2의 비에서도 평균 전류의 비는 나타난다.

표 1 프로파일 #3에서 측정한 기울기와 계산한 기울기의 비교  
Table 1 Comparison of the slope between measured value and calculated value at current profile#3

profile #1 기울기(실측)	profile #3 기울기(실측)	profile #3 기울기(계산)	오차율 기울기
0.0708	0.053	0.0531	1.00189
0.0473	0.0377	0.035475	0.94098
0.0307	0.0257	0.023025	0.89591
0.0233	0.0188	0.017475	0.92952
0.0208	0.0158	0.0156	0.98734
0.0193	0.0143	0.014475	1.01224
0.0179	0.0132	0.013425	1.01705
0.0165	0.0122	0.012375	1.01434
0.015	0.0113	0.01125	0.99558
0.0137	0.0103	0.010275	0.99757
0.0124	0.0093	0.0093	1.00000
0.0112	0.0083	0.0084	1.01205
0.0099	0.0074	0.007425	1.00338
0.0086	0.0065	0.00645	0.99231
0.0072	0.0056	0.0054	0.96429
0.0068	0.0045	0.00435	0.96667
0.0046	0.0035	0.00345	0.98571
0.0033	0.0026	0.002475	0.95192
0.0019	0.0016	0.001425	0.89063
0.0002	0.0002	0.00015	0.75000

표 2 프로파일#1과#3에서 함수의 방정식의 상수 값 비교  
Table 2 Comparison of constant value of functional equation between profile #1 and #3

상수	#1	#3
$Y_0$	23.74	27.50
A1	45.86	3.17
$\tau_1$	1870.15	71.49
A2	3.50	32.78
$\tau_2$	53.71	1854.30

또한, 각각의 프로파일 #1,#3의 시정수에 해당하는 시간을 구하면, 그림 7 과 표 3으로 나타난다. 표 3에서 전류 프로파일 #1 과 전류 프로파일 #3은 각기 다른 전류치를 가지는 프로파일이지만 시정수의1배 및 2배, 3배의 도달 시간은 거의 일치함을 볼 수 있다. 방열판 모델링 시에 크기가 정해지고 방열판 온도 측정 위치가 정해지면, 각기 다른 전류 프로파일에서도 항상 같은 시정수를 가지는 원리를 이용하여 방열판의 온도 시뮬레이션 및 최적화에 사용할 수 있다. 즉, 인가된 전력의 양이 다르더라도 시정수는 항상 일정하고 포화 온도의 크기만 다르므로 평균 전류의 주기를 방열판의 시정수로 할 수 있다.

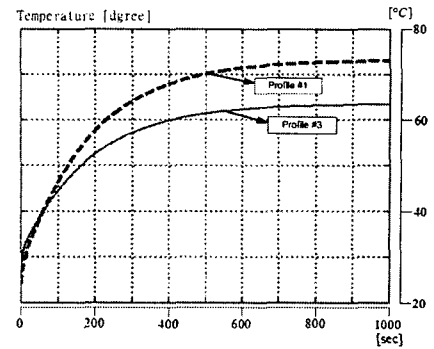


그림 7 프로파일 #1과 프로파일 #3의 함수의 방정식에 의한 온도 상승 비교

Fig. 7 A Comparison of the temperature rise by using functional equation between profile #1 and #3

표 3 13 각 프로 파일 #1, #3의 함수 방정식에 의한 시정수 비교  
Table 3 13 A comparison of the time constant by using functional equation between profile #1 and #3

	time constant (63.21%)		time constant*2 (86.46%)		time constant*3 (95.02%)	
	temperature	time (min)	temperature	time (min)	temperature	time (min)
profile #1	54.80	29	66.23	59	70.44	88.76
profile #3	50.13	28	58.46	58	61.52	87.55

### 3. 결론

본 논문에서는 실험 및 비선형 커브피팅 함수의 분석을 통하여 인버터 시스템의 방열판의 온도 상승 값이 일정 주기 동안 전류의 크기가 각각 다른 전류 프로파일을 부하에 인가하더라도 평균 전류만 알면 평균 전류 값 비율에 의해 방열판 온도 상승을 계산할 수 있음을 증명하였고, 각기 다른 전류 프로파일에서도 동일한 히트싱크에서는 항상 같은 시정수를 가지는 원리를 이용하여 인가된 전력의 양이 다르더라도 시정수는 항상 일정하고 포화 온도의 크기만 다르므로 평균 전류의 주기를 방열판의 시정수로 할 수 있다는 것을 알 수 있게 하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] R. H. Daugherty and C. H. Wennerstrom, "Need for Industry Standard for ac Induction Motors Intended for Use with Adjustable-Frequency Controllers", IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 27, no.6, pp. 1175-1185, Nov./Dec. 1991.
- [2] Frede Blaabjerg and John K. Pedersen, "Optimized Design of a Complete Three-Phase PWM-VS Inverter," Conf. Rec. of IEEE PESC' 96, vol.2, pp. 1272-1280, 1996.