전기자동차용 PTC 히터 구동을 위한 입력 필터를 갖는 벅 컨버터의 특성 분석 및 성능 평가

Analysis and Evaluation of Buck Converter with LC Input Filter for a PTC Heater in the Electric Vehicle

전 용 성* · 신 혜 수* · 채 범 석* · 나 재 두** · 김 영 석†

(Yong-Sung Jeon · Hye-Su Shin · Beom-Seok Chae · Jae-Du La · Young-Seok Kim)

Abstract - Recently, the market of Electric Vehicle(EV) is increasing more and more than before. Thus a new heater for the EV is required. The PTC devices may be used the heater for the EV. In this paper, a simple DC-DC Converter is proposed as the PTC Heater for the EV. The proposed circuit was optimally desired to decrease the stress of the power devices and reduce the current ripples. To apply the result of the test in the laboratory to the actual EV system with the high DC voltage, ripple current, average current and output peak current are predicted by using the least-squares method. Finally, the proposed circuit is validated by various experiments.

Key Words : Electric vehicle, PTC heater, DC-DC converter, HVAC system, Input filter

1. 서 론

최근 화석 에너지의 고갈과 지구의 환경보존에 대한 관심이 증가함에 따라 전 세계적으로 기존의 내연기관 차량과 성능이 동일하고, 효율적이고 공해가 없는 차량인 전기자동차에 대한 요구가 높아지고 있다[1].

그림 1을 보면 전기자동차는 배터리, 충전기, 전동기 구동 시스템, 실내공조장치등과 같은 전력변환 장치로 구성되어 있다[2].

그림 1 전기자동차 구성도[2]

Fig. 1 A Structure of Electric Vehicle

* 준 회 원 : 인하대 공대 전기공학과 석사과정

** 정 회 원 : 인하공업전문대학 전기정보과 조교수

† 교신저자, 펠로우회원 : 인하대 전기공학과 교수

E-mail : youngsk@inha.ac.kr

접수일자 : 2012년 1월 20일

최종완료 : 2012년 3월 27일

전기자동차는 배터리가 주 에너지원으로 사용되고, 전력 변환기의 효율이 90[%]이상으로서, 효율이 매우 높기 때문에 전동기 구동, 전자 장비 등을 위한 에너지 변환에서 발생하는 손실이 매우 작다. 이러한 전기자동차 자체의 효율적인 측면에서는 내연기관에 비해 앞서지만 기존의 방식인 엔진으로부터 발생하는 열을 이용한 난방을 사용할 수가 없다. 따라서 그림 2와 같이 Heating, Ventilation, and Air Conditioning (HVAC) 시스템(난방, 환기, 공기조화 시스템)을 추가하여 난방을 실시해야만 한다[2].

배터리를 에너지원으로 사용하는 전기자동차의 특성상 차량의 실내 온도는 적은 에너지로 빠르게 가열되어야하고, 일정하게 온도를 유지할 수 있어야 한다. 또한, 과열로 인한 화재를 미연에 방지 할 수 있는 안전한 시스템 구축이 필요하다. 이에 대한 해결책으로 온도 상승에 따라 쿨리점 이상에서 저항값이 증가하는 특성을 가진 Positive Temperature Coefficient Thermistor Materials(PTC 발열소자)를 이용한 PTC 히터가 제안되어 사용된다.

그림 2 전기 자동차용 HVAC system[2]

Fig. 2 A HVAC System for a Electric Vehicle

그림 3 PTC 발열소자의 저항-온도 특성[3]

Fig. 3 A Resistance-Temperature characteristic of the PTC thermistor materials

PTC는 티탄산바륨(BaTiO_3)계 세라믹이며, 도전성을 높여 주기 위해 미량의 1가 원소인 칼륨 또는 3가 원소인 토륨, 이트륨 등을 혼합한 것이다.

PTC는 낮은 온도에서 비교적 작은 저항값을 갖는데, 특정한 온도에 도달하면(그림 3의 B 지점) 저항이 급격히 증가하며, 증가하는 폭도 상당히 크다. 이렇게 급변하기 시작하는 온도를 큐리온도 또는 큐리점이라 한다[4-8]. 따라서 위와 같은 특성을 가진 PTC를 전기자동차의 난방장치로서 효율적으로 이용하기 위한 전력 변환장치가 요구되어진다.

또한 전기자동차에서 질량과 부피의 문제는 구동 성능과 에너지의 효율적인 사용에 직접적으로 연관이 된다. 그렇기 때문에 전기자동차에 적용되는 장비는 소형으로 제작해야 하며, 쉽고, 간단하게 구현하는 것이 유리하다[9-10].

본 논문에서는 차량이라는 협소한 공간에 PTC 히터를 보다 안정적으로 사용하기 위해 전기자동차용 PTC 히터 구현을 위한 DC-DC 컨버터 적용하였고, 그 성능 및 특성을 파악하였다.

2. 본 론

2.1 입력 필터의 필요성

그림 4 입력 필터가 없는 전기자동차의 전원시스템

Fig. 4 A power system of the EV without the input filter

전기자동차는 앞서 언급한 바와 같이 배터리, 전동기 구동시스템, 실내공조장치 등 많은 전력 변환 장치로 구성되어 있다. 전기자동차의 유일한 에너지원인 배터리에 그림 4와 같이 특성이 다른 다수의 부하가 병렬로 연결된 상태에서 PTC 히터와 같이 용량이 큰 부하를 온/오프하게 되면 배터리의 출력 전압과 전류에 큰 리플 성분을 발생하여 전원을 불안정하게 만든다. 이는 배터리에 연결된 다른 전자 장비들에 영향을 주어 오동작을 일으킬 수 있는 원인이 되고, 배터리 자체에도 좋지 않은 영향을 준다.

그림 5 입력 필터가 있는 전기자동차의 전원시스템

Fig. 5 A power system of the EV with the input filter

이러한 문제는 그림 5와 같이 LC 필터를 적용함으로써, 배터리의 전원을 안정적으로 운영할 수 있고, 내부 기기들의 수명의 연장과 효율적인 에너지 사용을 도모할 수 있다. 또한 전기자동차의 수명보증 시간이 해외의 경우 15년 15만마일로 되어있어 그 품질을 보증하기 위해서는 부품들의 수명이 중요하다[11]. 그 중 커패시터의 영향이 가장 크기 때문에 수명이 2~3년 정도인 전해 커패시터 대신 수명이 긴 필름 커패시터를 사용하였다[12].

2.2 전기자동차용 PTC 히터

기존의 PTC 히터의 제어는 릴레이를 사용한 온/오프 제어방식이 사용되었다. 이와 같이 기계적 제어방식은 장시간 동안 반복적으로 큰 전류를 투입할 경우 코일 접점의 복귀 불량, 아크 등이 발생하여 릴레이의 손상을 야기한다.

그림 6 PTC 히터의 다결정질 구조의 도식도[3]

Fig. 6 Schematic representation of the polycrystalline structure of a PTC thermistor

그림 6은 PTC 히터의 다결정질 구조를 도식적으로 보여 준다. PTC 저항은 각각의 결정에 해당하는 저항성분과 결정의 경계에 해당하는 저항성분으로 구성된다. 경계에 해당하는 저항성분은 온도에 강하게 의존하는 성분이다. 저항성분을 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$R_{PTC} = R_{grain} + R_{boundary} \quad (1)$$

$$R_{boundary} = f(T) \quad (2)$$

그림 7 PTC 히터의 전기적 등가회로[3]

Fig. 7 Equivalent circuit diagram of PTC thermistor on AC voltage

그림 7은 교류 전원이 인가될 때의 PTC 히터의 전기적 등가회로를 보여준다. PTC의 다결정질 구조로 인해 저항성분 뿐만이 아니라 경계로 인한 커패시턴스가 존재한다[3]. 커패시턴스는 주파수에 의존하는 성분이고, 저항성분 중 경계에 해당하는 저항성분은 온도에 강하게 의존하는 성분이기 때문에 컨버터 설계 시 고려해야할 사항이다.

본 논문에서 기존 방식의 단점을 보완하기 위해 제안된 DC-DC 컨버터는 Buck 컨버터를 응용하였다. PTC 자체에 커패시터 성분이 크기 때문에 기존의 벡 컨버터에서 커패시터를 생략한 컨버터를 사용하였다. 커패시터 성분이 크기 때문에 스위치가 도통할 때 돌입 전류가 커지므로, 인덕턴스 값을 조절하여 최적의 값을 설계하였다.

2.3 PTC 히터의 구조 및 기동 특성

그림 3에 나타냈듯이 PTC히터의 저항값은 온도에 크게 의존하는 성분이다. PTC로 유입되는 전류의 양은 저항에 의해서 결정되는데, 히터가 구동되기 전의 저항값은 매우 작은 값이기에 PTC 히터 기동시 매우 큰 전류가 흐르게 된다. 또한 내부의 커패시턴스로 인해 돌입 전류까지 더해져서 매우 큰 펄스 형태의 전류가 흐르게 된다.

그림 8과 그림 9는 각각 실험에 사용된 PTC 히터의 전면부와 하단부를 나타낸다. 그림 8의 점선 부분은 PTC 셀 하나를 나타낸다. 실험에 사용된 PTC 히터에는 총 11개의 셀이 사용되었고, 그림 9와 같이 3개의 그룹으로 나뉘어 단자가 형성되어있다. 그림 9의 좌측부터 그룹 1,2,3으로 나타내면 PTC 히터는 그림 10과 같이 구성되어있다.

그림 8 실험에 사용된 PTC 히터의 전면부

Fig. 8 The front of the PTC using the experiment

그림 9 실험에 사용된 PTC 히터의 하단부

Fig. 9 The bottom of the PTC using the experiment

그림 10 실험에 사용된 PTC 히터의 구조

Fig. 10 The structure of the PTC using the experiment

실온(25도)에서 그룹 1,2,3의 저항을 측정한 결과 각각 27[Ω], 36[Ω], 27[Ω]으로 나왔다. Group 1, 2, 3을 모두 병렬로 연결하여 사용하면 실온에서의 저항값은 약 10[Ω]이 된다.

그림 11 PTC 히터 기동시 전압 전류 파형

Fig. 11 The waveform of the voltage and the current of PTC on the starting

그림 11은 PTC 히터에 입력 직류 전압 330[V]을 주었을 때 PTC로 유입되는 전류의 파형을 나타낸다. 전류 파형으로부터 알 수 있듯이 기동시에 매우 큰 전류가 흐르다가 온도가 올라감에 따라 저항값이 증가하여 전류가 감소하는 것을 확인할 수 있다.

다음 절부터의 실험 결과는 실험실 안전을 고려하여 직류 전압 100[V]에서 실험을 하였으며, PTC 히터는 Group 1, 2,

3을 모두 병렬로 연결하여 사용하였다. 또한 배터리에 가장 크게 영향을 주는 구간이 초기 기동시이기 때문에 초기 기동 후 20[초] 이내의 측정값을 이용하여 컨버터의 성능을 분석하고, 평가하였다.

2.3 기존의 PTC 히터의 구성

기존 PTC 히터의 구성은 그림 12와 같이 배터리에 스위치로 직접 연결되어있다. 이는 스위치 온/오프 시에 전류 리플이 매우 크게 되어, 다른 기기의 오동작을 일으키는 원인이 되고, 배터리 자체에도 영향을 주어 배터리 전원을 불안정하게 하는 원인이 된다.

그림 12 기존의 PTC 히터

Fig. 12 A conventional PTC heater

그림 13 입력 Filter만 있는 PTC 히터

Fig. 13 A PTC heater with input filter only

본 실험에서는 그림 13과 같이 입력 LC 필터를 적용하였다. 필터의 물리적 사이즈를 줄이고 전력용 반도체 스위치의 스위칭 주파수를 고려하여, 스위칭 주파수를 20[kHz]로 하였으며, LC 필터의 차단주파수(Cut off frequency)는 5.3[kHz]로 하였다. 입력전류의 peak-to-peak 리플 ΔI_{pp} 를 $\pm 0.5 \sim 2[A]$ 를 만족시키기 위하여 인덕터와 커패시터의 값은 각각 30[μH](허용전류 20[A]), 30[μF](내압 DC 700[V])로 선정하였다.

표 1 시스템 파라미터 1

Table 1 System parameters 1

Parameter	Vaule
DC BUS Voltage	100[V _{DC}]
Cut Off Frequency	5.3[kHz]
Switching frequency	20[kHz]
Duty Ratio	10[%], 50[%], 90[%]
Inductor L _F	30[μH]
Capacitor C _F	30[μF]
PTC heater	25[$^{\circ}C$] 기준 9.8835[Ω]

듀티비는 10[%], 50[%], 90[%]로 나누어 실시하였고, 원전압은 100[V_{DC}]로 사용하였다. 부하로 PTC 히터를 적용하여 DC-DC 컨버터 성능실험을 실시하였다.

그림 14 듀티비 : 10[%]

Fig. 14 Duty ratio : 10[%]

그림 15 듀티비 : 50%

Fig. 15 Duty ratio : 50%

그림 16 듀티비 : 90[%]

Fig. 16 Duty ratio : 90[%]

그림 14는 듀티비 10[%]일 때의 파형이다. 입력전압 $V_{in}=100[V_{DC}]$ 일 때, 입력전류 I_{in} 은 3[A], 입력리플전류 ΔI_{pp} 는 1[A] 미만, 출력 전류의 피크치, 출력 전압의 피크치는 각각 34[A], 120[V]로 나타났다.

그림 15는 듀티비 50[%]일 때의 파형이다. 입력전압 $V_{in}=100[V_{DC}]$ 일 때, 입력전류 I_{in} 은 8[A], 입력리플전류 ΔI_{pp} 는 1[A], 출력 전류의 피크치, 출력 전압의 피크치는 각각 34[A], 120[V]로 나타났다.

그림 16은 듀티비 90[%]일 때의 파형이다. 입력전압

$V_{in}=100[V_{DC}]$ 일 때, 입력전류 I_{in} 은 12[A], 입력리플전류 ΔI_{pp} 는 0.5[A], 출력 전류의 피크치, 출력 전압의 피크치는 각각 24[A], 120[V_{DC}]로 나타났다.

각각의 파형에서 보는바와 같이 PTC 히터로 유입되는 출력 전류의 피크치는 듀티비 10[%] > 50[%] > 90[%] 순으로 나타났다.

PTC 히터의 등가회로에서 나타냈듯이 커패시터 성분이 있기 때문에 스위치가 도통될 때에 펄스 형태의 전류가 흐른다. 스위치가 끊길 때에는 커패시터에 저장된 에너지가 다이오드를 통해 방출되는 것을 확인할 수 있다.

이와 같이 큰 피크치를 갖는 전류가 반복적으로 발생된다면, 소자들의 스트레스가 상승되어 수명이 짧아지게 되고, 이를 방지하고자 내압이 큰 소자를 사용하게 될 경우 원가가 상승하게 된다. 따라서 이에 대한 대책이 필요하다.

2.5 제안된 PTC 히터의 구성

그림 17 출력 필터를 적용한 PTC 히터

Fig. 17 A PTC heater with input/output filter

PTC 출력 전류와 전압을 안정화하기 위해 제안된 DC-DC 컨버터를 그림 17과 같이 설계하였다. 앞선 실험과 동일한 조건으로 실험을 하였고, 변화추이를 관찰하였다. 또한 추가된 소자의 파라미터를 표 2에 나타내었다.

표 2 시스템 파라미터 2

Table 2 System parameters 2

Parameter	Vaule
Inductor L_o	22[μH]
Freewheeling Diode D	1200[V]/109[A]

그림 18 듀티비 : 10[%]

Fig. 18 Duty ratio : 10[%]

그림 19 듀티비 : 50[%]

Fig. 19 Duty ratio : 50[%]

그림 20 듀티비 : 90[%]

Fig. 20 Duty ratio : 90[%]

그림 18은 입력전압 $V_{in}=100[V_{DC}]$, 듀티비 10[%]일 때의 파형이다. 입력전류 I_{in} 이 2[A], 입력 리플 전류 ΔI_{pp} 는 0.5[A], 출력 전류의 피크치는 12[A], 출력 전압의 피크치 60[V]로 나타났다.

그림 19는 동일한 조건으로 듀티비가 50[%]일 때의 파형이다. 입력전류 I_{in} 은 7[A], 입력 리플 전류 ΔI_{pp} 는 2A, 출력 전류의 피크치는 14[A], 출력 전압의 피크치는 100[V]로 나타났다.

그림 20 역시 동일한 조건으로 듀티비가 90[%]일 때의 파형이다. 입력전류 I_{in} 은 9[A], 입력 리플 전류 ΔI_{pp} 는 0.5[A], 출력 전류의 피크치는 12[A], 출력 전압의 피크치는 100[V_{DC}]로 나타났다.

제안된 DC-DC 컨버터 실험파형에서 보는 바와 같이 출력 전류가 안정화되었고, 더불어 입력 전류의 리플도 감소한 것을 확인할 수 있다.

2.6 VDC와 Duty ratio 가변 시 제안된 PTC heater의 성능 평가

제안된 DC-DC 컨버터를 이용하여 PTC 히터를 입력 전압 50[V_{DC}], 75[V_{DC}], 100[V_{DC}], 125[V_{DC}], 150[V_{DC}], 듀티비 10[%]~90[%]를 가변하여, 입력 평균 전류, 입력 리플전류, 출력 피크전류의 결과를 표 3에 작성하였으며, 그래프를 각각 그림 21, 그림 22, 그림 23의 순서로 나타내었다. 측정된 모든 값은 PTC 히터 기동시의 값을 나타낸다.

표 3에서 각 행마다 표시된 부분은 주어진 입력 전압에서 각 전류값의 최대값을 의미한다. 이 데이터는 다음 절에서 고전압이 인가되었을 때 성능을 예측하는 자료로 사용된다.

표 3 V_{DC} 와 Duty ratio 가변 실험데이터Table 3 V_{DC} and Duty ratio of variable experimental data

Duty ratio[%]		5	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$V_{DC}[V]$											
50[V]	입력 평균 전류[A]	0.2	0.5	1	1.4	1.7	2	2.2	2.4	2.7	2.84
	입력 리플 전류[A]	0.1	0.25	0.35	0.45	0.5	0.56	0.5	0.32	0.24	0.2
	출력 피크 전류[A]	3.8	6.4	7.8	6.9	6.9	6.4	6.1	5.68	5.2	4.52
75[V]	입력 평균 전류[A]	0.3	0.6	1.8	2.8	3.28	4	4.6	5.2	5.8	6.3
	입력 리플 전류[A]	0.1	0.3	0.6	0.76	0.76	0.88	0.8	0.72	0.48	0.4
	출력 피크 전류[A]	6	10.2	13	11.5	11.3	11.1	10.9	10.5	10	9
100[V]	입력 평균 전류[A]	0.8	1	2.8	4.5	6	7	8	8.6	9.5	10
	입력 리플 전류[A]	1	1	1	1.2	1.2	1.6	1.6	1.2	0.8	0.6
	출력 피크 전류[A]	8.8	14.5	20	19	18	17.4	16.5	16	15	13.2
125[V]	입력 평균 전류[A]	1.5	2	4	6	8	10	11	12.4	14	16
	입력 리플 전류[A]	1	1	1.8	2	2.2	2.5	2.2	1.9	1.9	1.6
	출력 피크 전류[A]	10.5	18	24	23.8	22	22	22	21.8	21	21
150[V]	입력 평균 전류[A]	1	1.8	4	7	9.5	12	14	16.5	18	20
	입력 리플 전류[A]	0.5	0.5	1.5	2	2.5	3	2.8	2.2	2	1.5
	출력 피크 전류[A]	12.5	21	29	29	28	28	28	28	28	26.5

또한 5개의 입력 전압을 바탕으로 측정된 값들을 분석한 결과 각 해당하는 전류의 크기가 전압이 증가함에 따라 선형적으로 증가하는 것을 확인하였다. 이러한 선형화를 통해 오차의 제곱이 최소가 되는 직선의 방정식을 구한 후 입력 리플이 가장 크게 발생된 듀티비 50[%]일 때와 입력 평균전류가 가장 크게 발생된 듀티비 90[%]일 때를 기준으로 전기자동차의 배터리 피크전압 500[V_{DC}]가 입력으로 주어질 때를 예측하였고, 각각 그림 24 그림 25으로 나타내었다.

그림 21 입력 평균 전류 비교

Fig. 21 Comparison of the average input current

그림 22 입력 리플 전류 비교

Fig. 22 Comparison of the input current ripple

그림 23 출력 피크 전류 비교

Fig. 23 Comparison of the output peak current

입력 평균 전류에 대한 비교 그래프를 그림 21에 나타내었다. 듀티비가 증가함에 따라 제안된 PTC 히터의 입력 평균 전류가 선형적으로 증가하는 것을 확인할 수 있다.

입력 리플 전류에 대한 비교 그래프를 그림 22에 나타내었다. 모든 전압에서 듀티비 50[%]일 때가 가장 큰 수치로 나왔다.

출력 피크 전류에 대한 비교 그래프를 그림 23에 나타내었다. 듀티비가 20[%]일 때 가장 큰 값을 가지는 것을 확인할 수 있다.

2.7 제안된 DC-DC 컨버터의 고전압에서의 성능예측

앞선 저전압에서의 실험을 통하여 구한 데이터를 기반으로 실제 전기자동차에서 사용되는 고전압에서 제안된 DC-DC 컨버터가 사용되었을 때 그 성능을 예측할 수 있다. 전기자동차의 배터리가 완전 충전되었을 때가 456[V]이고, 여기에 안정성을 고려하여 약 10%의 여유를 두어 500[V]일 때를 고려하였다. 또한 배터리에 가장 크게 영향을 주는 구간이 기동시기기 때문에 PTC 히터의 저항이 가장 낮을 때인 기동시의 입력 전류를 예측하였다.

입력 리플 전류(Duty=50%, V_{dc} 가변)

그림 24 입력 전압-입력 리플 전류 그래프(Duty=50[%])

Fig. 24 The graph of Input Voltage-Input current ripple (Duty=50[%])

그림 24은 입력 리플 전류가 가장 크게 발생한 듀티비 50[%]일 때, 표 3 데이터 값을 입력전압-입력전류 그래프로 나타내었다. 실선은 실측 데이터이고, 점선은 5개의 데이터를 추세선으로 나타내었다. 추세선은 오차의 제공이 최소가 되는 직선의 최소 제곱법을 이용하여 구하였다. 그림 24로부터 전압이 상승함에 따라 선형적으로 증가하는 것을 확인할 수 있고, 추세선을 직선의 방정식으로 표현할 수 있다. 직선의 방정식으로부터 입력 전압이 전기자동차 배터리 피크 전압인 500[V_{DC}]일 때를 예측할 수 있다.

직선의 최소제곱법 식은 다음으로 표현할 수 있다.

$$a_1 = \frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (3)$$

$$a_0 = \bar{y} - a_1 \bar{x} \quad (4)$$

$$y = a_1 x + a_0 \quad (5)$$

여기서, $\bar{y}$, $\bar{x}$ 는 각각 y 와 x 의 평균값이며, a_0, a_1 은 각각 절편과 기울기를 나타내는 계수이며, n 은 근사 직선을 구하기 위해 사용된 데이터의 개수이다[13].

x 는 입력 전압으로써 $x_1=50[V_{DC}]$, $x_2=75[V_{DC}]$, $x_3=100[V_{DC}]$, $x_4=125[V_{DC}]$, $x_5=150[V_{DC}]$ 가 되고, y 는 전류로 $y_1=0.56[A]$, $y_2=0.88[A]$, $y_3=1.6[A]$, $y_4=2.5[A]$, $y_5=3[A]$ 로 나타내었다.

위의 값을 적용한 직선의 방정식을 식 (6)로 나타내었다.

$$y = 0.026x - 0.892 \quad (6)$$

식 (6)로 $x=500[V_{DC}]$ 일 때를 예측하면, PTC 히터 기동시 입력 리플 전류는 $y=12.1[A]$ 로 예측할 수 있다.

그림 25 입력 전압-입력 평균 전류 그래프(Duty=90[%])

Fig. 25 The graph of Input Voltage-Average Input Current (Duty=90[%])

그림 25는 동일한 조건으로 듀티비 90[%]일 때 입력 평균 전류를 나타낸 그래프이고, 역시 선형성을 확인할 수 있다. 표 3의 데이터를 바탕으로 구한 직선의 방정식을 식 (7)로 나타내었다.

$$y = 0.2136x - 2.6 \quad (7)$$

식 (5)로 $x=500[V_{DC}]$ 일 때를 예측하면, PTC 히터 기동시 입력 평균 전류는 $y=104.2[A]$ 로 예측할 수 있다.

3. 결 론

표 4에 작성된 바와 같이 제안된 컨버터 회로를 PTC 히터에 적용할 경우 100[V_{DC}] 입력 시 출력전류가 듀티비 10[%], 50[%], 90[%]일 때 각각 약 35[%], 41[%], 50[%]씩 줄어들었다. 이를 통해 소자의 스트레스를 줄여, 내구성을 높였고, 내압이 낮은 소자로 변경이 가능하여 원가 절감 효과를 가지고 오며, 전류 파형의 안정화로 인해 컨버터 전체의 안정성이 증가되었다. 또한 실제 전기자동차에 배터리 최대 피크전압 500[V_{DC}]로 PTC 히터를 기동시 매우 큰 전류가 흐르는데, 예측된 값을 통하여 설계를 좀 더 안전하고 정확하게 할 수 있다.

표 4 듀티비 가변에 따른 감소율(입력 전압=100[V])

Table 4 The decreasing rate of output peak current(Input Voltage = 100[V])

	듀티비	입력 전압	입력 전류	입력 리플 전류	출력 피크 전압	출력 피크 전류	감소율
출력 필터무	10[%]	100[V]	3[A]	1[A]	120[V]	34[A]	35[%]
출력 필터유	10[%]	100[V]	2[A]	0.5[A]	60[V]	12[A]	
출력 필터무	50[%]	100[V]	8[A]	1[A]	120[V]	34[A]	41[%]
출력 필터유	50[%]	100[V]	7[A]	2[A]	100[V]	14[A]	
출력 필터무	90[%]	100[V]	12[A]	0.5[A]	120[V]	24[A]	50[%]
출력 필터유	90[%]	100[V]	9[A]	0.5[A]	100[V]	12[A]	

감사의 글

"본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원 대학 IT연구센터 육성지원 사업의 연구결과로 수행되었음" (NIPA-2012-H0301-12-1010)

참 고 문 헌

- [1] Woong-chul Yang, "Fuel Cell Electric Vehicle : Recent Advances and Challenges", International Journal of Automotive Technology, Vol. 1, No. 1, pp. 9-16, 2000
- [2] Mitsubishi Heavy Industries, LTD., "Air-Conditioning system for Electric Vehicles(i-MiEV)", 2010
- [3] EPCOS, "PTC Thermistors : General technical information", 2007
- [4] Shi-Mei Su, Liang-Ying Zhang, Hong-Tao Sun, Xi

Yao, "Preparation of Porous BaTiO₃ PTC Thermistors by Adding Graphite Porosifiers", Journal of the American Ceramic Society, Vol. 77, No. 8, pp. 2154-2156, 2005

- [5] D. P. Cann, J.-P. Maria, C. A. Randall, "Relationship between wetting and electrical contact properties of pure metals and alloys on semiconducting barium titanate ceramics", Journal of Materials Science, Vol. 36, pp. 4969-4976, 2001
- [6] Chun-Hung Laia, Chen-Tsang Wengb, Tseung-Yuen Tseng, "The effects of Nd₂O₃ additives and Al₂O₃-SiO₂-TiO₂ sintering aids on the electrical resistivity of (Ba,Sr)TiO₃ PTCR ceramics", Materials Chemistry and Physics, Vol. 40, Issue. 3, pp. 168-172, 1995
- [7] V. C. S. Prasad, L. G. Kishore Kumar, "Studies on some BaTiO₃ based commercial electroceramics", Ferroelectrics, Vol. 102, Issue 1, pp. 141-150, 1990
- [8] A. J. Moulson, J. M. Herbert, "Electroceramics : Materials, Properties, Applications. 2nd Edition. Edited", John Wiley & Sons, Ltd, pp. 167-173, 2003
- [9] James Larminie, John Lowry, "Electric Vehicle Technology Explained", Wiley & Sons, pp. 223-236, 2003
- [10] John M. Miller, "Propulsion Systems for Hybrid Vehicles", IEE, pp. 128-138, 2004
- [11] 이재신, 전범수, 김형택, 김웅희, "전기자동차용 인버터의 부품수명에 대한연구", 전력전자학회 2011년도 추계 학술대회 논문집, pp. 225-226, 2011
- [12] Gasperi, M.L., "Life Prediction Model for Aluminum Electrolytic Capacitors." IEEE IAS, Annual Meeting, pp. 1347-1351, 1996
- [13] 손권, 최윤희, 김철, "응용수치해석 2nd Edition", McGraw-Hill Korea, pp. 336~337, 2009

저 자 소 개

전 용 성 (全 容 成)

1985년 2월 11일생. 2011년 2월 인하대 전기공학과 졸업. 2011년 3월~현재 동대학원 전기공학과 통합 과정.
Tel : 032-860-7397
E-mail : ysjupiter@naver.com

신 혜 수 (申 惠 秀)

1986년 8월 25일생. 2011년 2월 인하대 전기공학과 졸업. 2011년 3월~현재 동대학원 전기공학과 석사 과정.
Tel : 032-860-7397
E-mail : shine868@nate.com

채 범 석 (蔡 凡 錫)

1983년 8월 4일생. 2010년 2월 인천대 전기공학과 졸업. 2012년 2월 인하대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2012년 1월~현재 LS산전 재직.
Tel : 032-860-7397
E-mail : beomseogy@naver.com

나 재 두 (羅 在 斗)

1970년 10월 10일생. 1994년 인천대학교 전기공학과 졸업. 1996년 인하대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2008년 영국 The University of Birmingham EECE 졸업(공학박). 2008년 3월~현재 인하공업전문대학 전기정보과 조교수.
Tel : 032) 870-2195
FAX : 032) 870-2507
E-mail : jdna@inhac.ac.kr

김 영 석 (金 榮 石)

1951년 6월 11일생. 1977년 인하대 전기공학과 졸업. 1987년 일본 나고야대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1987년 3월~1989년 2월 전기연구원 전력전자연구실장. 1989년 3월~현재 인하대 전기공학과 교수.
Tel : 032-860-7397
FAX : 032-863-5822
E-mail : youngsk@inha.ac.kr