

DC/DC 컨버터의 저온작동을 위한 실험과 검증 Experimental Validation of DC/DC Converters for Low Temperature Operation

*유은주¹, 이태영¹, 최원령¹, #박영우¹

*E. J. Yoo¹, T. W. Lee¹, W. R. Choi¹, #Y. W. Park(ywpark@cnu.ac.kr)¹,
¹충남대학교 BK21 메카트로닉스 사업단 메카트로닉스 공학과

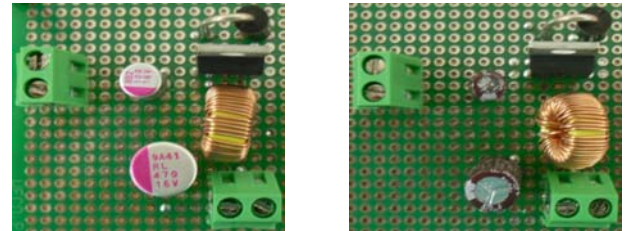
Key words : DC/DC Converter, Low Temperature Operation, Design of Experiments

1. 서론

DC/DC 컨버터는 일정 범위의 입력 DC 전원을 사용자가 원하는 출력 DC 전원으로 변환해주는 일종의 전력변환기로 그 사용범위는 보편화된 가전제품에서부터 특수화된 발전기장비나 군용장비에 이르기까지 전력변환이 요구되는 넓은 범위에서 활용 가능하다. 실제로 넓은 활용 범위 때문에 각 활용분야에 맞게 특화된 DC/DC 컨버터 연구가 활발히 진행되고 있으며 넓은 범위의 입력 DC 전원에 따른 고효율의 다양한 출력 DC 전원의 전력변환이 가능한 제품들이 시판되고 있다. 지금까지 시판되고 있는 DC/DC 컨버터 제품이나 연구가 진행 중에 있는 DC/DC 컨버터는 대부분 넓은 입력 DC 전원의 범위나 출력부의 고효율, 에너지 손실 감소 등의 측면에서 바라보고 있기 때문에 실제 DC/DC 컨버터가 적용될 외부 상황인 온도나 충격 등에 대한 연구는 미약한 실정이다. 일반적인 가전제품의 경우, 외부의 상황이 일정하게 유지되고, 대부분은 상온에서의 동작이 이루어지기 때문에 고효율, 에너지 손실에 초점을 맞춘 제품이나 연구의 결과물을 적용해도 무방하다. 하지만 이러한 DC/DC 컨버터의 경우, 저온에서의 정상동작을 장담할 수 없기 때문에 저온상태의 외부에서 지속적인 동작을 요구하거나 외부의 온도 변화나 진동과 같은 충격에 강한 특수화된 군용장비에 폭넓은 활용을 하기에는 무리가 있다. 이에 본 연구에서는 저온동작(-40℃ ~ 0℃)에 초점을 맞추어 DC/DC 컨버터가 저온상태에서 정상동작을 하기 위한 저온방법을 제안하고, 적용한 DC/DC 컨버터를 이용하여 실험적인 검증을 하고자 한다.

2. 실험방법

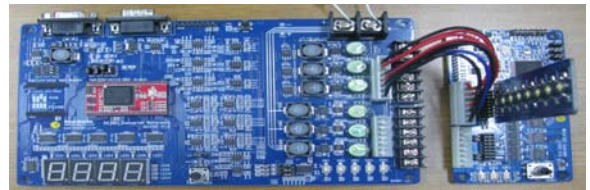
상용화된 DC/DC 컨버터의 경우, -20℃ 또는 0℃의 저온 동작범위를 갖는 제품이 대부분이다. 이는 DC/DC 컨버터 내의 커패시터가 갖는 동작온도범위 때문이다. 일반적으로 상용 DC/DC 컨버터에 들어가는 커패시터는 전해커패시터로 전해질에 의해 0℃~85℃ 또는 -20℃~105℃의 동작온도 범위를 갖는다. DC/DC 컨버터의 커패시터는 에너지 전달 매개체이자 출력전압 및 전류의 리플을 제거하는 필터 역할을 하기 때문에 지원하는 저온동작범위 이하의 저온에서는 정상적인 동작을 제공하지 못한다. 본 연구에서는 일반적인 DC/DC 컨버터의 저온동작범위 보다 낮은 저온(-40℃)에서도 정상동작을 하는 DC/DC 컨버터를 제작하기 위해서 상용 DC/DC 컨버터에서의 전해커패시터를 -55℃나 -40℃의 저온동작범위를 갖는 고체커패시터로 대체하는 소자변경을 통한 저온작동법을 제안하고, 실제 회로에 적용하여 저온작동법의 가능성을 확인하고자 한다.



(a) With Solid Capacitor (b) With Electrolyte Capacitor
Fig. 2 Experimental DC/DC Converters



(a) Thermostat (b) Voltage-Temperature Recorder



(c) LC450

Fig. 3 Experimental Devices

본 연구에서 제안한 소자변경을 통한 저온작동법의 적용 가능성 확인 실험의 결과를 보다 효율적이고 신뢰할 수 있도록 하기 위해 실험계획법을 적용하였다. 적용된 실험계획법은 일회일인자(One-Factor-at-a-Time : OFAT)법으로 다른 인자들의 수준은 일정하게 유지하면서, 한 인자의 수준만을 변화시키며 실험하는 방법이다. 일회일인자법의 적용을 위해서는 실험목적에 구명하고, 실험의 반응치(response)와 제어인자(control factor)를 결정하는 일이 우선되어야 한다. 실험은 저자가 제안한 저온작동방법의 적용 컨버터와 비적용 컨버터의 저온상태(-40~0℃)에서 정상동작 유무를 판별하고, 실제 DC/DC 컨버터의 저온작동법의 적용 가능성을 보는 것으로, 실험에서의 반응치는 DC/DC 컨버터의 정상동작을 판별하는 척도가 되는 출력전압과 정상 동작시의 결과비율을 보기 위한 효율이다. 그리고 실험에서 인위적으로 값을 변화시키는 변수인 제어인자는 수치적인 값을 취하는 정량인자인 온도가 된다. 이때, 실험에서 취하는 온도는 -40℃~0℃의 구간을 5℃간격으로 한 9수준을 갖는다.

Fig. 1은 실험의 개략도로 온도변화에 따른 저온작동방법의 적용 가능성 여부를 보기 위해 열주기시험기를 사용하여 온도를 설정하고 그에 따른 출력결과를 얻는다. Fig. 2는 실험에 사용한 실험용 DC/DC 컨버터로 (a)는 저온작동법의 적용회로(고체커패시터), (b)는 저온작동법의 비적용회로(전해커패시터)이다. 두 컨버터 모두 입력 15V to 40V, 출력 12V의 동일한 기본 성능을 갖고 있지만, 저온작동법의 적용 유무에 따른 DC/DC 컨버터의 저온동작범위가 다르다.

본 연구에서 한 실험은 저온작동방법의 적용 유무에 따

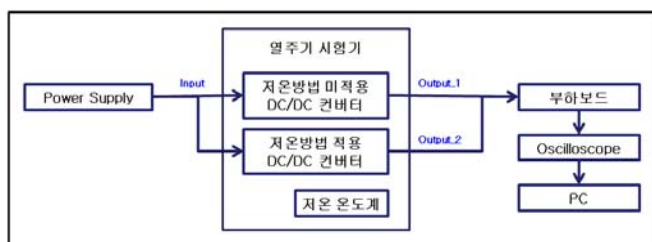


Fig. 1 Block Diagram of Low Temperature Operation Experiment

라 두 개의 대상 컨버터가 존재하기 때문에 동일조건 내에서 실험을 진행해야 한다. 이때, 동일조건이라 함은 크게 DC/DC 컨버터의 입력, 온도, 부하 이 세 가지로 볼 수 있다. 실험의 동일 조건을 만들어 주기 위해 사용한 장치와 값은 Table 1 과 같다.

Table 1 Experiment, To Observe The Same Condition

	입력 (Input)	온도 (Temperature)	부하 (Load)
장치 (Device)	전원공급기	열주기 시험기	LC450
값 (Value)	15V	-40℃~0℃	6Ω (24W)

실험의 제어인자는 온도로 객관적인 측정과 함께 외부 요인에 영향을 받지 않고 변화를 줄 장치가 필요하다. Fig.3 은 실험에 사용한 장치로 (a)는 열주기기시험기, (b)는 전압온도기록계, (c)는 LC450 이다. 열주기기시험기는 -40℃~150℃의 온도범위 내에서 사용자 설정이 가능하다. 하지만 열주기기시험기의 외부 전자 온도계만을 사용하여 기기 내부의 온도를 객관적으로 평가하기란 어렵다. 따라서 전압온도기록계를 사용하여 열주기기시험기 내부의 온도와 커패시터의 표면온도를 측정하여 세 개의 온도 데이터가 동일한 상태에서 실험하였다. 부하의 경우, 기기가 아닌 저항이나 코일을 사용하면 DC/DC 컨버터 동작 시, 열에 의한 저항 값의 변동에 의해서 일정한 부하를 제공할 수 없기 때문에 완벽한 동일 부하라 할 수 없다. 따라서 본 연구에서 진행한 실험에서는 LC450의 DSP 칩을 사용하여 프로그램을 통한 24W 급의 동일 부하를 만들어 적용하였다.

이상에서, 저온작동의 필요성과 그에 따른 저온작동방법을 제안하였다. 소자변경을 통한 저온작동방법의 비적용 DC/DC 컨버터를 DC/DC1(전해커패시터: -20℃~105℃)으로 하고, 적용한 컨버터를 DC/DC2(고체커패시터: -55℃~105℃)로 하여 -40℃~0℃의 구간을 5℃ 간격으로 하여 저온실험을 진행하였다.

3. 실험 결과

Fig. 4 와 Fig. 5 는 저온실험 결과 그래프로 온도변화에 따른 DC/DC 컨버터의 출력전압과 효율을 나타내고 있다. DC/DC1 의 경우, 동작범위가 -20℃~105℃인 전해 커패시터로 컨버터를 구성하였기 때문에 커패시터의 동작범위를 벗어난 -40℃~-20℃의 구간에서 비정상 작동 하는 것을 볼 수 있다. 온도변화에 따른 출력전압 그래프를 보면 DCDC1 이 정상작동 하는 구간은 -10℃~0℃로 전해커패시터의 작동온도범위에는 속하지만 비정상적인 동작을 하는 -20℃~-10℃ 구간을 확인 할 수 있는데 이 구간은 작동온도범위를 벗어난 구간인 -40℃~-20℃에서 전해질이 얼기 때문에 녹는 과정에서 생기는 비정상적인 동작이다. 반면, DCDC2 의 경우, 고체 커패시터의 작동온도범위가 -55℃~105℃이기 때문에 실험한 모든 온도 구간에서 정상작동 하는 것을 확인할 수 있다. 효율측면에서 보면 DCDC2 의 경우, 실험의 모든 온도 구간에서 정상동작을 함과 동시에 80% 이상의 높은 효율을 갖는다. DCDC1 의 경우, 정상 동작하는 -10℃~0℃에서는 80%이상의 고효율을 갖지만 그 이하의 비정상적인 동작을 하는 온도 구간에서는 70%전후의 효율을 갖는다. 이 때, DCDC1 의 효율은 기본적으로 만족해야 할 출력전압 조건을 만족하지 않는 비정상적인 동작이기 때문에 해당구간의 효율은 DC/DC 컨버터의 정상적인 효율이 아니다.

4. 결론

지금까지 상용화된 DC/DC 컨버터의 경우, 저온작동범위는 -20℃내외이다. 본 연구에서 제안한 소자변경을 통한 저온작동방법의 적용 DC/DC 컨버터는 -40℃의 저온에서도 고

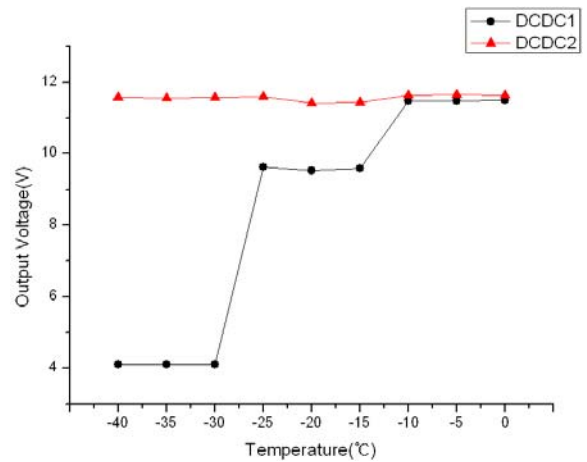


Fig. 4 Output Voltage of Various Temperatures

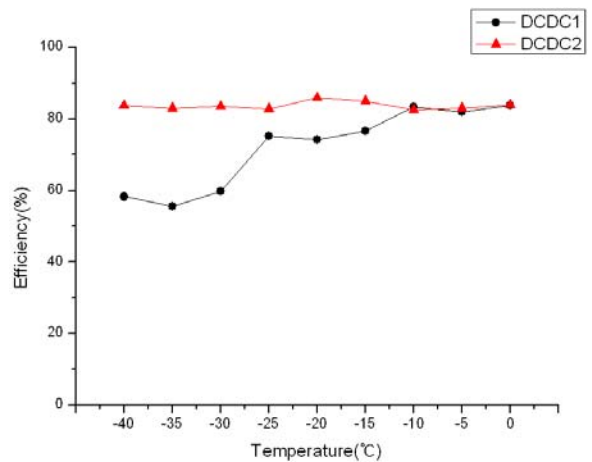


Fig. 5 Efficiency of Various Temperatures

효율의 정상작동 함을 확인하였다. 추후 저온작동방법을 적용한 DC/DC 컨버터를 바탕으로 하여 온도변화에 따른 출력 전압, 전류의 리플 측정을 통해 비교, 분석하고 발생하는 문제점을 보완한다면 보다 나은 저온작동방법을 제안할 수 있을 것이라 본다.

후기

본 연구는 방위사업청 및 국방과학연구소 지원으로 수행되는 차세대군용전원특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. The National Academies Press , “Meeting the Energy Needs of Future Warriors”, Natl Academy Pr , Washington D.C, 2004, PP. 9-71
2. E. Alan, “유효 부하 저항 : DC/DC 컨버터 효율 평가하는 새로운 기법”, Special Feature, 2006, PP. 76-80.