

아크에 의한 전력변환장치의 전기적 영향 분석

(Analysis of Arc Characteristics in Power Conversion Systems)

서현옥* · 최규하**

(Hyun-Uk Seo · Gyu-Ha Choe)

Abstract

This paper investigates the electrical characteristics of popular power converters such as a half-bridge rectifier, a full-bridge rectifier, a buck converter, and an inverter when the arc is occurred at the input and the output of each converter. In order to generate an artificial arc, the arc generator has been implemented according to the design guideline suggested in UL1699. After that, the trend of the input and output voltage variation and the switching stress of the devices are analyzed. From the analysis, it has been confirmed that the generated arc causes an uncertain operation to the power converters. To reduce the unexpected disturbance effect of the arc, the capacitor adjustment method has been proposed, and its superiority has been experimentally verified.

Key Words : Series Arc, UL1699, Power Conversion System, Arc Generator

1. 서 론

전기가 흐르는 도전체 및 절연 개체 등의 불량으로 인하여 접촉부에서는 아크가 발생한다. 아크는 전극의 부분적인 증발과 절연 개체를 통한 지속적 방전을 지속하며 다량의 줄열이 발생한다. 이러한 아크의 열적 특성에 의하여 아크로 인한 화재가 전기사고로 인

한 화재 중 높은 비율을 차지하며 계속 증가하고 있다[1].

아크의 유형은 발생원인에 따라 직렬아크(Series Arc), 병렬아크(Parallel Arc), 그리고 접지아크(Ground Arc)와 같이 세 가지로 구분된다[2]. 이 중 직렬아크는 특성이 다른 유형의 아크에 비하여 발생 환경이 쉽게 조성되고 아크의 지속성이 높기 때문에 열화와 도선 주위 피복의 탄화가 발생하여 화재 및 전기사고의 위험이 높다. 이와 같이 직렬 아크로 인하여 발생하는 문제점이 심각함에도 불구하고, 발생 아크의 에너지 크기가 낮거나 간헐적인 아크가 발생할 때 기존의 과전류 차단기로는 검출이 되지 않는 문제점이 있다[3]. 그래서 가정용 전자제품과 전기 설비 등에 열화현상으로 인한 화재와 전력변환장치 등의 오동작 및 파손을 유발하는 직렬아크의 차단과 검출을 위한

* 주저자 : 건국대학교 대학원 석·박 통합과정
** 교신저자 : 건국대학교 부총장 및 전기공학과 교수
* Main author : PhD candidate, Konkuk University
** Corresponding author : Provost & Executive Vice President, Professor of Electrical Engineering, Konkuk University
Tel : 02-450-3496, Fax : 02-447-9186
E-mail : shu2025@konkuk.ac.kr
접수일자 : 2012년 12월 27일
1차심사 : 2013년 4월 6일, 2차심사 : 2013년 4월 30일
심사완료 : 2013년 5월 29일

AFCI(Arc Fault Circuit Interrupter), AFD(Arc Fault Detectors) 등의 연구가 진행되고 있다[4-10].

최근 신재생에너지, 전기자동차 시스템 등 다양한 분야에 전력변환장치가 적용되고 있다. 이에 전력변환장치의 정밀하고 신속한 제어성능에 대한 연구는 많이 진행되어 왔으나 전력변환장치 고유의 제어성을 잃고 고열로 인한 화재까지 발생할 수 있는 아크에 대한 연구는 전무한 상황이다[10].

본 논문에서는 전력전자 토폴로지 중 가장 많이 사용되는 반파 정류기, 전파 정류기, 벡 컨버터, 그리고 인버터 네 개의 회로를 대상으로 전력전자장치의 전원 입력측과 출력측에 아크를 발생시켜 전압 및 전류 파형의 불규칙 발생현황을 검토하고 아크로 인하여 변동하는 출력전압이 부하의 입력전원에 불규칙적인 변화를 일으켜 부하의 오동작을 유발함을 확인하였다. 또한 아크로 인한 부하의 영향을 감소시키기 위하여 출력단 커패시터 조절 방안을 제시하였으며 그 효과를 실험적으로 검증하였다.

2. 아크의 전기적 특성

아크가 발생했을 때 아크로 인하여 발생하는 전기적 현상의 특징은 그림 1과 같다. 그림 1은 아크 발생 시의 전형적인 파형들로 그림 1 (a)는 전원전압, 그림 1 (b)는 아크전압, 그림 1 (c)는 아크전류를 각각 나타낸다. 일반적으로 아크 양단 전압 파형에서는 양끝이 뾰족하고 전압의 순시 변화율이 거의 일정한 평탄면(plateau)이 전압의 양과 음의 중심부에서 발생한다. 전류는 아크 전압의 평탄면 부분에서 주로 흐르는 형태를 가지며, 이때 전류가 0(zero)이 되는 구간을 숄더(shoulder)라 한다[11]. 이를 실험적으로 분석한 결과 일반적인 직렬아크에 관련된 전압 및 전류에 관련된 실험식은 수식 (1)과 같이 주어진다.

$$v_{arc} = a + bg + \frac{c + ag}{i_{arc}} \quad (1)$$

여기서 a , b , c 는 아크 상수이며 g 는 아크가 발생할 때 절연개체의 간극을 의미하며, 일반적으로 0.1~

0.5mm의 값을 갖는다. 한편 UL1699에 따르면 AFCI 성능 검증방법 중 아크가 0.5초 이내 8개의 반주기 이상 발생할 경우 화재 위험성을 갖는 유효 아크로 간주하여 AFCI 등을 사용하여 차단하도록 규정되어 있다 [12]. 그러나 규정상 유효 아크로 판단되지 않는 경우 (0.5초 이내 8개의 반주기 미만)라 하더라도 전력변환장치에서는 예상치 못한 입출력에 심각한 영향을 초래할 수 있음이 밝혀져 왔다[13]. 본 연구에서는 실제 도선에서 나타날 수 있는 상황과 최대한 동일조건으로 아크를 발생시키기 위하여 그림 2와 같은 UL1699에서 제시한 모의아크발생장치를 사용하여 모의아크를 발생시켰다. 주요 구성부는 고정전극(stationary electrode), 이동전극(moving electrode) 및 간극조절부 등으로 이루어진다. 고정전극으로 사용한 구리봉은 지름 15mm, 길이 200mm이며, 탄소-흑연봉으로 된 이동전극은 지름 10mm, 길이 150mm이다. 매 실험마다 탄소-흑연봉을 교체함으로써 아크 발생 시 생기는 오차를 최소화하였다. 이러한 모의아크발생장치를 전력변환장치의 입력 및 출력단에 설치하였으며

각 부의 전압 및 전류의 파형을 통하여 영향을 분석하였다. 아크 발생장치 및 발생위치는 기호(☒)로 표시하였다.

3. 전력변환장치에서의 아크 특성 및 분석

전력변환장치에서 아크 발생 시 전기적 특성을 분석하기 위하여 모의적 아크발생이 필요하다. 앞서 언급한 모의아크발생장치를 이용하여 전력변환장치에 일정한 아크를 인가하여 불규칙적인 전압 및 전류의 변화를 토폴로지 별로 분석하였다.

전력변환장치로는 다이오드를 이용하여 교류를 직류로 변환하는 반파 및 전파 정류회로, 전력용 스위치에 PWM(Pulse Width Modulation) 신호를 인가하여 원하는 형태의 전력으로 변환이 가능한 벡 컨버터, 그리고 인버터를 사용하였다. 그림 3은 모의아크발생장치의 위치를 보여주고 있다. 그림 3 (a)는 모의아크발생장치가 전력변환장치의 입력부 즉 공급전원과 입력단 사이에 위치하는 것을 보여주며, 그림 3 (b)는 시스

아크에 의한 전력변환장치의 전기적 영향 분석

템의 출력부 즉 출력단과 부하 사이에 위치하여 아크를 발생함을 보여주고 있다.

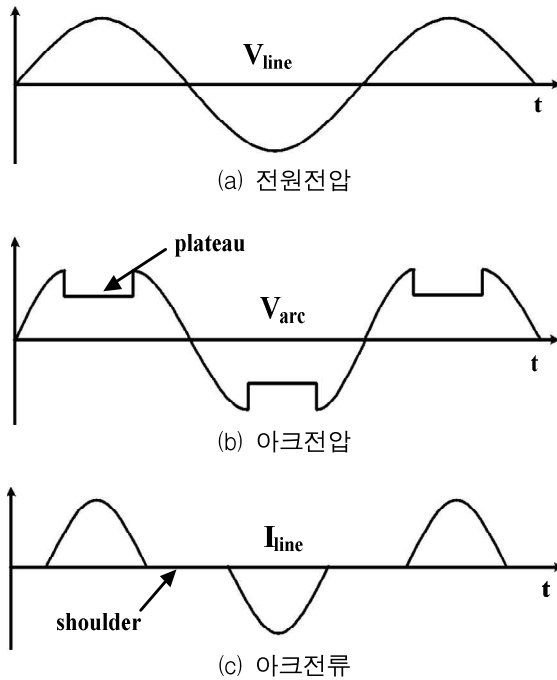


그림 1. 아크 발생 시 전원전압, 아크전압과 아크전류 파형
Fig. 1. Waveforms of source voltage, arc voltage and arc current

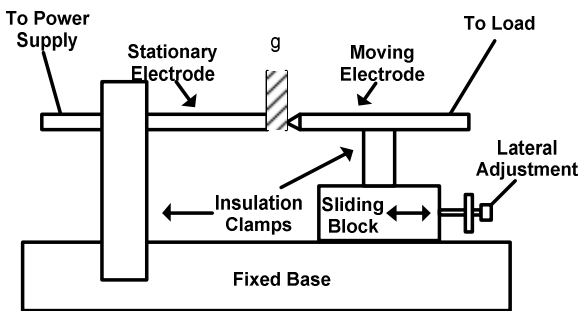


그림 2. UL1699에서 제안한 모의아크발생장치
Fig. 2. Arc generator proposed by UL1699

그림 4는 그림 3의 전력변환장치를 단상 반파 정류 회로로 설정한 경우의 입출력 파형을 나타내고 있으며, 그림에서 v_s , v_{arc} , i_s , v_L , 그리고 i_L 은 각각 전원전압, 아크전압, 전원전류, 부하전압, 그리고 부하전류를 나타낸다. 그림 4 (a)는 아크가 발생되지 않는 경우의

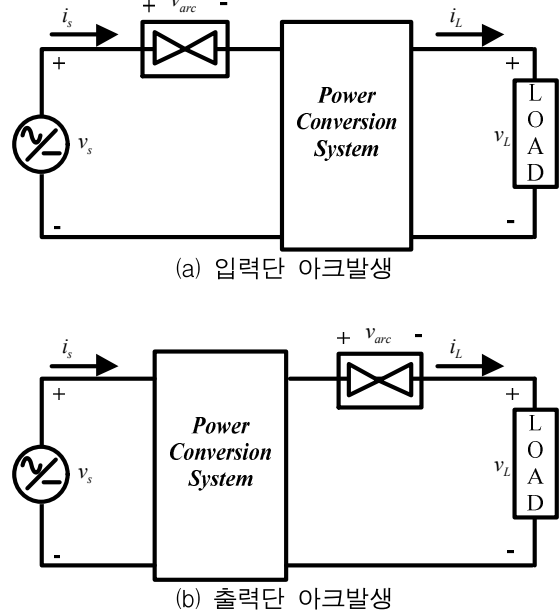
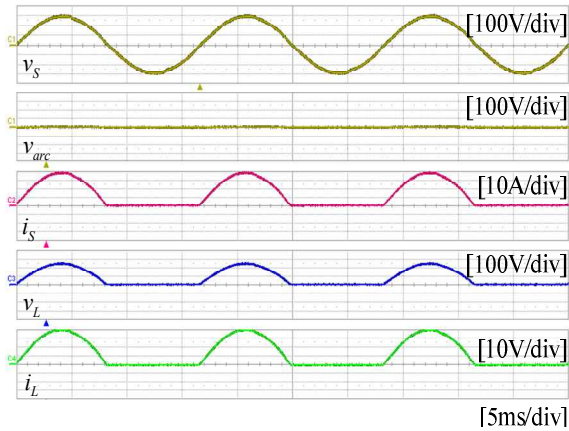
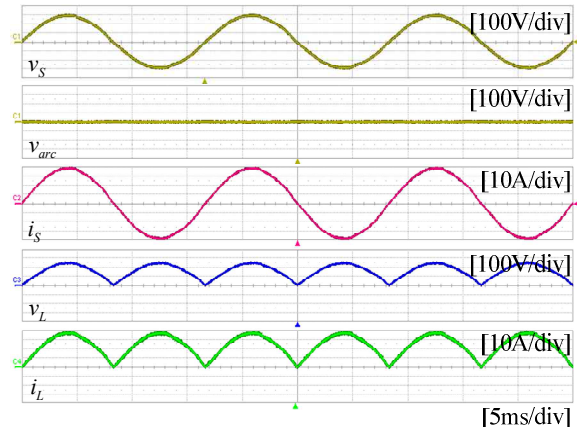


그림 3. 아크 발생 위치
Fig. 3. Arc location in system

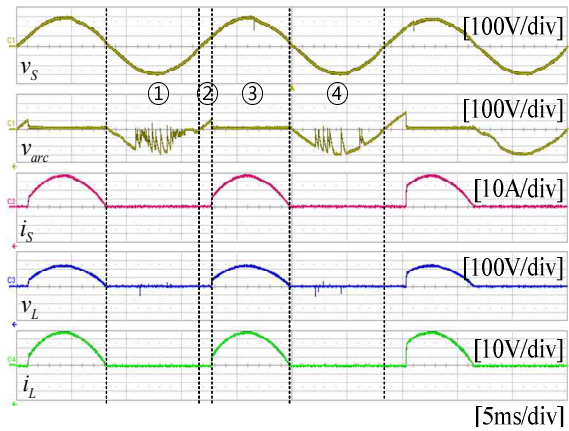
파형으로, 이 때 전원전압은 정현파 형태를 그대로 유지하고 있고, 아크전압은 0V, 전원전류 및 부하전류는 일반적인 반파 정류회로의 특성을 나타내고 있다. 반면 그림 4 (b)와 그림 4 (c)는 입력단과 출력단에 각각 아크가 발생한 경우의 파형을 보여주고 있다. 그림 4 (b)에서 입력전원에 v_{arc} 와 같이 아크가 발생하고 있는 경우에는 전원 전압에 비주기 펄스형태의 노치가 발생하고, 입출력 전류와 출력 전압 또한 비정상적인 형태를 보이고 있다. 이를 상세히 설명하면, 구간 ②에서는 전원전압이 전부 아크로 방전되어 반파 정류회로의 입력전압이 0V가 된다. 이 구간 동안 입력전류는 0A가 되고 따라서 출력전압과 출력전류 또한 0이 된다. 또한 구간 ①, ④에서는 다이오드가 역방향 저지능력(reverse blocking capability)을 잃게 되는 항복현상(breakdown)에 놓여 부하전압에 순간적인 음의 전압 노이즈가 발생되는데 이것은 다이오드 정전용량 때문에 생기는 현상으로 추측된다. 그림 4 (c)는 아크가 출력단에서 발생할 경우로 입력단 아크 발생 시의 파형과 거의 유사하다. 구간 ⑤, ⑧에서는 아크로 인해 전



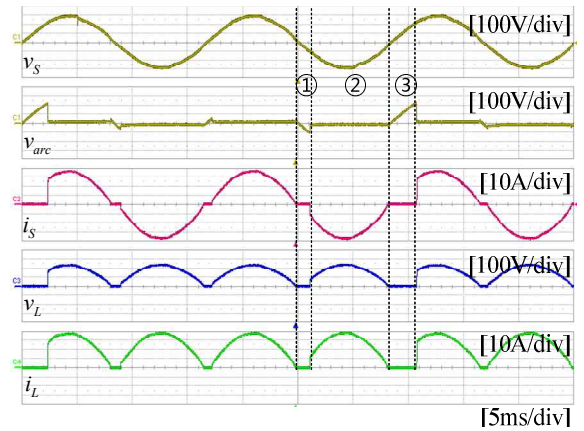
(a) 정상상태



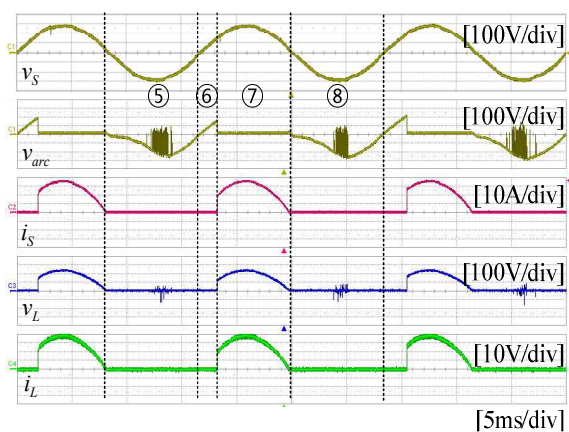
(a) 정상상태



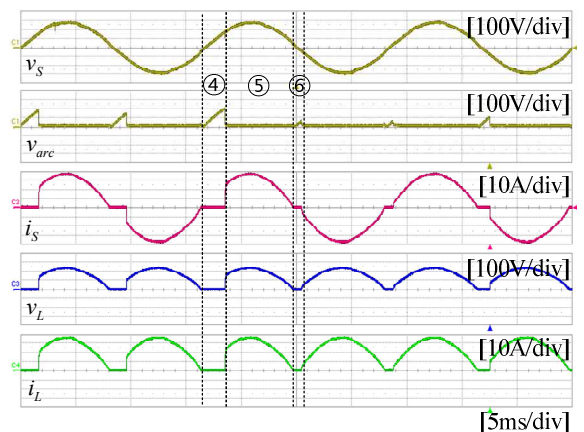
(b) 입력단 아크



(b) 입력단 아크



(c) 출력단 아크



(c) 출력단 아크

그림 4. 반파 정류회로에서 정상상태 및 아크상태의 경우 전압 및 전류 파형

Fig. 4. Waveforms of voltage and current at both normal and arc conditions in half-wave rectifier

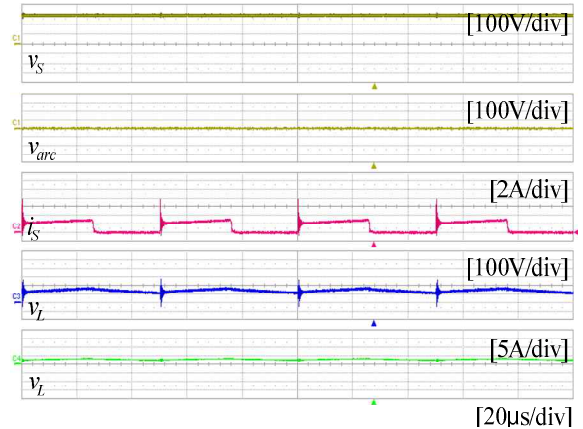
그림 5. 전파 정류회로에서 정상상태 및 아크상태의 경우 전압 및 전류 파형

Fig. 5. Waveforms of voltage and current at both normal and arc conditions in full-wave rectifier

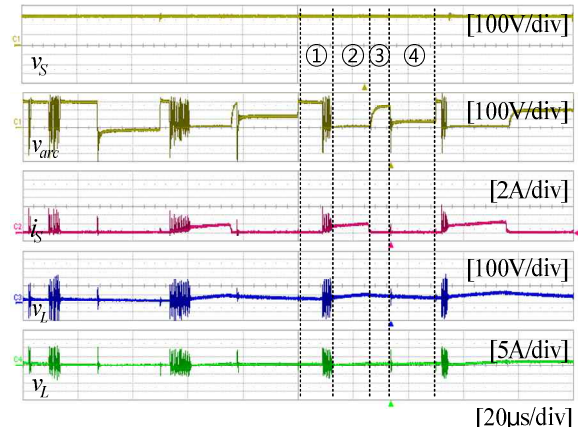
원전압의 대부분이 아크전압이 되며, 음의 중심부에서는 아크지점이 개방과 도통을 반복하여 연속된 스파이크 형태의 아크전압이 나타난다. 또한 입력단 아크 발생시 구간 ②와 같이 출력에 인가될 전압이 아크발생장치에 인가된 것이 구간 ⑥에 나타난다.

그림 5는 전파 정류회로의 입출력 파형으로 실험 구성 및 측정 위치는 반파 정류회로와 같다. 그림 5 (a)는 아크가 발생되지 않는 정상상태 파형이다. 그림 5 (b)는 입력전원에 아크가 발생할 경우로 부하전압, 부하전류는 정상상태와 같이 유사한 형태로 유지되나 구간 ①, ③과 같이 전원전류, 부하전압, 부하전류에는 약 1ms에서 3ms까지 유지시간이 서로 다른 불규칙적인 솔더를 갖게 된다. 이는 앞선 반파 정류회로의 경우처럼 아크로 인해 다이오드가 SCR(Silicon Controlled Rectifier)의 순방향 저지상태로 동작되는 것처럼 나타나는 것이다. 그림 5 (c)는 출력단에 아크가 발생한 경우이며, 구간 ④, ⑥은 그림 5 (b)의 구간 ①, ③과 유사한 형태로 솔더를 갖는 파형이 나타난다. 이 솔더는 아크 상태에 따라 유지시간이 매우 불규칙적임을 알 수 있다. 반파 정류회로와 전파 정류회로의 경우로 보아 아크는 전류가 상대적으로 낮은 혹은 흐르지 않는 영역에서 전원전압의 대부분이 아크전압이 되어 회로를 개방시키는 특징을 가진다. 또한 아크발생 시 부하전압과 전류의 형태는 SCR 위상각 제어회로와 같은 파형을 보여 아크는 전원전압의 양과 음의 시작부근에서만 발생한다. 그리고 아크전압이 높아지면 아크로 인하여 회로의 개방/도통이 반복되며, 아크지점이 스위치처럼 스위칭 동작을 하는 특징을 보이고 있다.

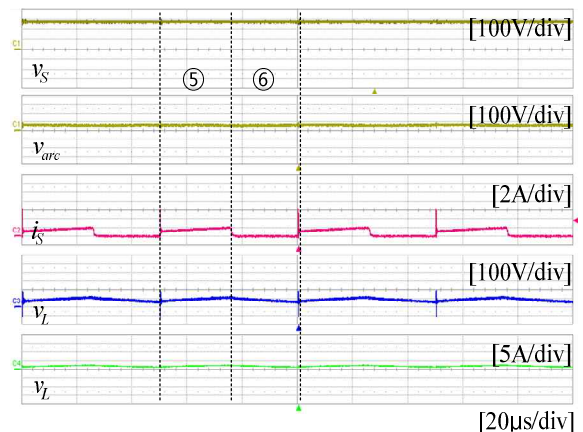
그림 6은 그림 3의 전력변환장치를 직류입력전원을 갖는 buck 컨버터로 설정한 경우이며, 아크가 출력에 미치는 영향을 분석하기 위해 피드백 제어기를 사용하지 않고 50%의 듀티비(duty ratio)로 스위칭하도록 구성하였다. 그림 6 (a)는 아크가 발생하지 않는 정상상태의 파형이며, 그림 6 (b)는 입력전원에 아크를 발생시킨 경우로 스위치의 온(on) 시점에서 아크전압, 전원전류, 부하전압/전류에 정상상태에 비해 크고 길어진 스파이크 성분의 전압/전류가 거의 모든 주기에 걸쳐 나타난다. 무엇보다 심각한 것은 지령치인 50%



(a) 정상상태



(b) 입력단 아크



(c) 출력단 아크

그림 6. buck 컨버터에서 정상상태 및 아크상태의 경우 전압 및 전류 파형

Fig. 6. Waveforms of voltage and current at both normal and arc conditions in buck converter

듀티비가 아닌 예측할 수 없는 듀티비가 나타난다는 것이다. 이러한 비정상적인 동작은 전력변환장치의 기본 제어능을 완전히 잃어버리게 할 수 있는 심각한 오동작으로 볼 수 있다. 구간 ①의 시작지점에서는 아크전압이 전원전압과 같은 상태 즉 회로가 개방된 상태에서 스위치가 온된 상태이며, 아크로 인해 회로가 개방되어 전력의 전달이 이루어지지 않는다. 구간 ②는 스위치가 온된 상태에서 아크전압이 0으로 되어 회로가 도통되고 전력이 부하로 전달되는 구간이다. 이 경우 앞선 그림 6 (a)의 정상상태에서 스위치 턴 온 시점보다 전원전류, 부하전압/전류에 큰 스파이크 성분이 발생한다. 구간 ③은 스위치의 오프(off) 구간이며, 전원전압이 아크전압과 같아 회로가 개방된 상태이다. 구간 ④는 스위치의 오프 구간으로 아크전압이 전원전압보다 작게 발생하였으며, 원활하게 에너지가 전달이 된다. 또한 듀티가 줄어드는 구간 ①은 앞의 반파정류회로와 전파 정류회로에서 발생하던 솔더 부분과 같이 동작되어 부하전력이 420W에서 360W로 감소하였다. 그림 6 (c)의 출력단 아크의 경우는 부하전압/전류가 감소하며, 정상상태와 큰 차이가 없이 스위치가 온되는 ⑤구간과 스위치가 오프되는 ⑥구간으로 정상적인 동작을 보인다. 그러나 부하전압의 전압 노이즈 성분이 커지면서 약 50V 이상의 아크 전압을 갖는 변화를 보인다. 이 아크전압으로 인해 출력으로 전달되어야 할 전력의 평균값이 약 420W에서 180W 정도로 58% 이상 감소하였다.

그림 7은 인버터 회로에 대한 경우이며 그림 7 (a)는 아크가 발생되지 않는 정상상태로 각 부의 동작 파형을 보여주고 있다. 그림 7 (b)는 입력전원에 아크가 발생하고 있는 경우로 전원전압에 노이즈 성분이 발생하며, 특히 아크전압은 구형파와 함께 심한 노이즈 성분을 가진다. 구간 ①과 같이 아크전압이 구형파의 형태를 가질 경우는 아크로 인해 회로가 개방되어 전원전류가 흐르지 않는 현상이 발생한다. 구간 ②에서는 인버터에 인가되는 전압이 정상이지만 구간 ①로 인해 정현파의 형태를 유지하지 못한다. 그림 7 (c)는 출력단에서 아크가 발생한 경우로 전원전압에 노이즈 성분이 나타나며, 입력단에서 발

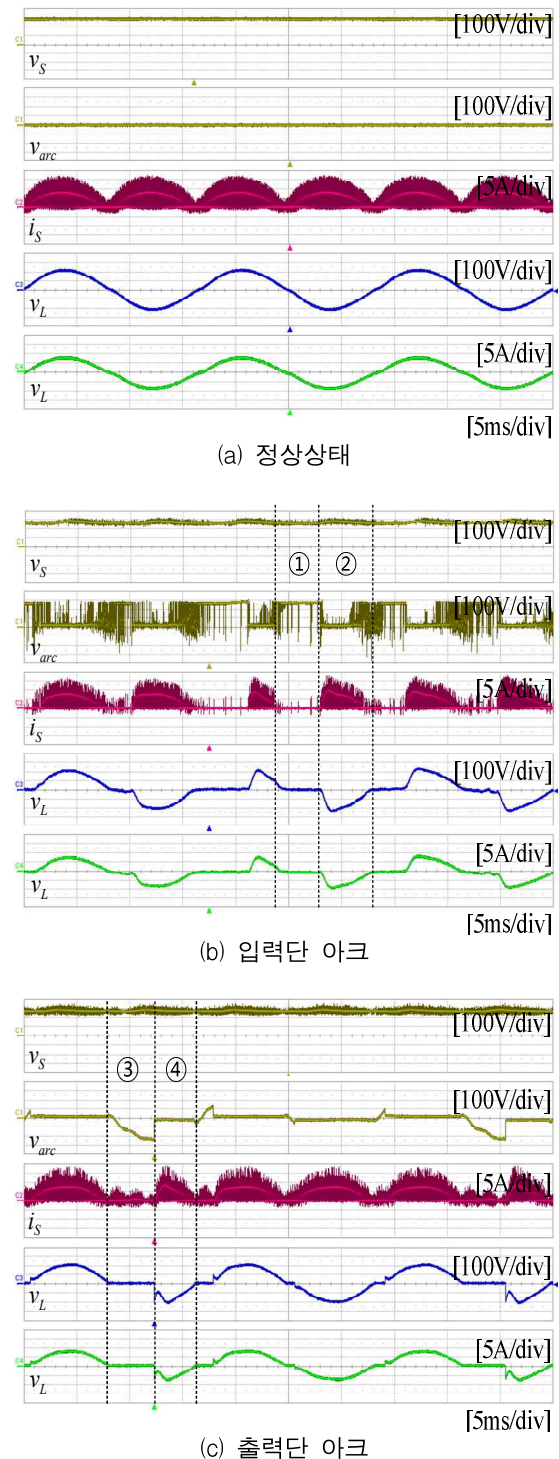


그림 7. 인버터에서 정상상태 및 아크 발생 상태의 경우 전압 및 전류 파형

Fig. 7. Waveforms of voltage and current at both normal and arc conditions in Inverter

생한 경우와 같이 전원전류가 일그러지는 특징을 가진다. 구간 ③은 회로가 아크로 인해 개방된 상태이며 이로 인해 부하전류가 흐르지 않는다. 이 경우 아크전압은 교류전압 파형의 형태를 가진다. 구간 ④는 아크전압이 0V이 되어 정상상태와 같은 경우이지만 구간 ③에서 전력을 공급하지 못하다가 순간적으로 전력을 공급하게 되어 입력전류 파형에 왜곡이 발생한다. 인버터에서 입력단과 출력단에 아크가 발생할 경우 모두 부하전압에 솔더가 발생하는 특징을 가진다. 그러나 출력단 아크에 비해 입력단 아크가 발생할 경우 부하전압의 왜곡이 더욱 심했으며, 부하전압 파형이 불규칙한 형태를 가져 한 주기 내 합이 0으로 되지 못해 직류 성분까지 존재하는 것을 확인할 수 있었다.

4. 결과 및 검토

제 3번 항목에서는 기본적인 전력변환장치들을 대상으로 UL1699에서 제안하는 가장 일반적인 4.5주기 동안 발생하는 아크에 대하여 영향을 분석하였다. 그러나 실험을 진행하며 앞에서 나타내지 못한 아크의 영향이 극심하게 나타나는 그림 8, 9와 같은 경우도 존재함을 발견하였다.

그림 8은 그림 4의 반파 정류회로 실험과 유사하게 SCR의 순방향 저지상태와 같은 특성을 갖는다. 하지만 다이오드 양단전압에 아크의 영향으로 인해 매우 심각한 비주기 전압 노이즈가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 또한 그림 9는 전파 정류회로의 출력측에 커패시터를 포함하는 경우 아크가 지속될수록 아크의 세기가 증가하는 특이한 상황을 보이고 있으며, 이러한 비정상적인 아크로 인해 결국 과전압이 유발되고 그 결과로 스위치가 소손되는 상황을 나타낸다. 또한 출력전압은 크게 감소하고, 입력전류는 큰 스파이크 형태의 파형이 나타나는 경우도 관측되었다. 이러한 아크의 불규칙성을 극복하고 아크의 영향을 일반화하기 위하여 실험은 각 장치별로 100회씩 진행되었으며, 식 (2)를 통하여 아크발생 시 부하전압의 변동률을 계산하였다. 실험의 변동률은 최대, 평균, 최소값으로 표현하였다.

$$\Delta V = \frac{V_{L(arc)} - V_{L(normal)}}{V_{L(normal)}} \times 100[\%] \quad (2)$$

$V_{L(normal)}$: 정상상태시 부하전압

$V_{L(arc)}$: 아크발생시 부하전압

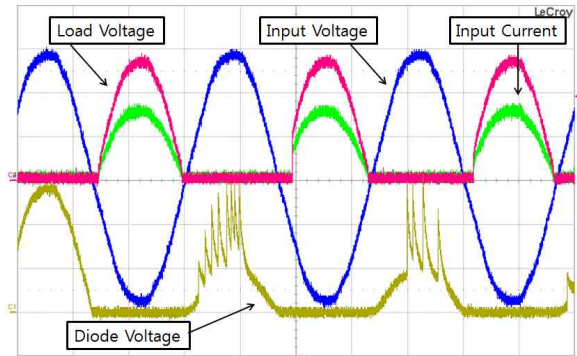


그림 8. 반파정류회로의 아크 발생 상태의 경우 다이오드 전압 및 각 전압/전류 파형
Fig. 8. Waveforms of voltages and currents at the half-wave rectifier made arc condition

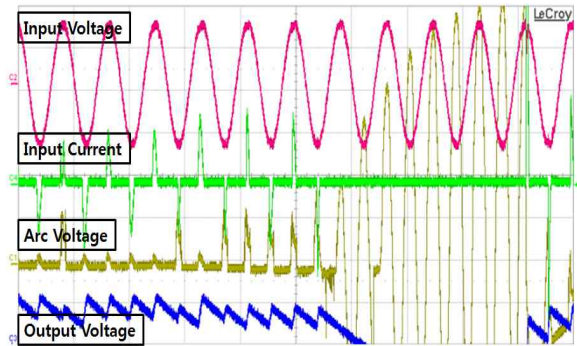


그림 9. 전파정류회로의 아크 시 다이오드 전압 및 각 전압/전류 파형
Fig. 9. Waveforms of voltages and currents at the full-wave rectifier under arc condition

그림 10은 제3번 항목에서의 각 장치별 아크발생시 부하전압의 변동률을 보여준다. 각 장치별 아크발생시 부하 출력전압은 전체적으로 감소되는 추이를 보였으며 부하전압의 경우 평균 20% 이내의 변동률을 보였다. 또한 벽 컨버터의 출력단 아크발생의 경우 평균 35%의 큰 폭의 변동률이 확인되었다. 이는 앞의 파

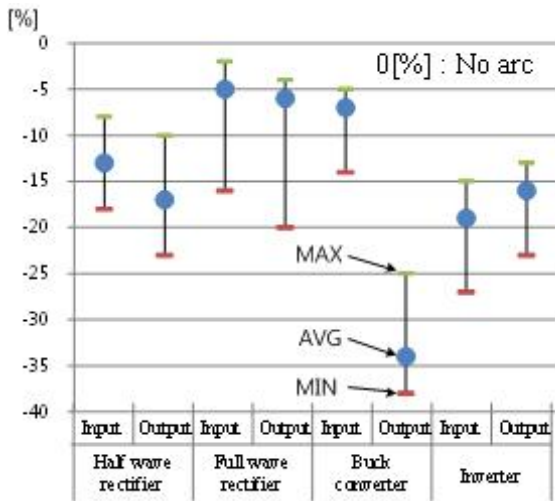


그림 10. 아크시 출력전압 변동률
Fig. 10. Varying rate of output voltage by arc

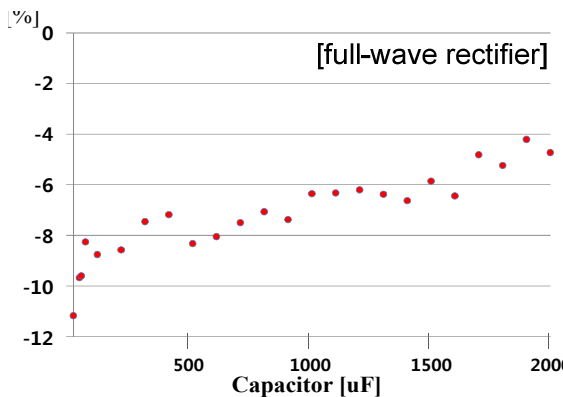


그림 11. 아크시 출력단 커패시터에 따른 출력전압 변동률
Fig. 11. Varying rate of output voltage by output capacitance under arc condition

형분석의 결과와 같이 아크전압이 일정하게 약 50V로 유지되어 출력전압이 원활하게 공급되지 않기 때문이다. 이러한 현상은 부하로 공급되어야 할 전력이 아크 발생으로 인해 빛과 열 등으로 일부 전력이 소모됨을 의미한다. 이로 인해 플리커, 순간 정전등의 악영향이 발생하여 안정적인 부하 전원 공급에 어려움이 발생할 수 있다. 출력단에 아크가 발생할 경우, 입력단에 아크가 발생한 경우보다 과형의 왜곡이 많이 발생한다. 하지만 평균전압의 변동률은 출력단이 입력단 아크발생보다 그 영향이 적었다. 게다가 아크가 에너지

흐름상 커패시터 이전에 아크가 발생할 경우 출력측 커패시터에 아크로 인한 출력전압의 불규칙적 변화가 줄어들었다. 이러한 점을 감안하여 그림 11과 같이 전파 정류회로를 예시로 출력단 아크발생시 출력단 커패시터 용량과 부하전압의 관계를 조사하였다. 그 결과 커패시터가 없을 경우 12% 정도였던 부하전압의 아크영향은 커패시터 용량 2,000uF 이상에서 5%로 전압변동률이 감소하는 특징을 볼 수 있다. 이로서 출력단 특히 부하측 커패시터 값의 조정을 통하여 아크 영향에 대비할 수 있음을 확인하였다.

5. 결 론

본 논문에서는 현재 사용이 증대되고 있는 전력변환장치에 대한 아크영향을 분석하기 위하여 전력변환장치의 입출력 특성을 분석하였다. 모의아크 발생장치는 UL1699에서 지정하는 직렬아크 시험방법에 의거하여 아크를 발생하였으며, 분석결과는 아래와 같이 정리할 수 있다.

- 전력변환장치의 입력 및 출력단의 아크로 인해 부하전압이 5~34%로 매우 폭넓게 변동하였으며, 이는 부하에 큰 전압 변동을 초래하고 특히 개방 제어방식에서는 심각한 오동작을 유발할 수 있다.
- 전력변환장치의 아크발생으로 인한 전압 노이즈로 인해 다이오드 및 스위치의 전기적 스트레스가 증가하고 출력 부하전압 및 전류에 심각한 왜곡이 발생할 수 있다.
- 전력변환장치 중 인버터의 경우 아크의 영향이 다른 컨버터에 비하여 심각하였다.
- 전파정류회로의 경우 출력에 일정 크기 이상의 커패시터를 설치할 경우 출력전압 변동률이 (10%에서 4%)감소함을 알 수 있다.

위의 결과를 토대로 아크가 정밀한 출력제어를 요구하는 전력변환장치의 입출력 특성에 결정적인 영향을 미칠 수 있음을 확인하였고 향후 전력변환장치 설계 시 본 연구에서 제시한 아크에 의해 발생 가능한 문제 또한 고려되어야 할 것으로 판단된다. 또한 직류출력의 경우 출력측 커패시터의 조정 및 재설계로 영향을 감소시킬 수 있는 것을 확인하였다.

이 논문은 2012학년도 건국대학교의 연구년교원 지원에 의하여 연구되었음

References

- [1] National Emergency Management, "2011 the whole country fire statistics yearbook"
http://nfds.go.kr/lib_fdata_con_0001.jsf
- [2] Wan-Sung Kwon, Su-Kyung Choi, Jung-Muk Choi, Bayasgalan, Gyu-Ha Choe "A Study on Arc Pattern of Arc Generator Based on UL1699" KIPE Annual Summer Conference, 2009, Page(s): 10-12.
- [3] John J. Shea, "Conditions for Series Arcing Phenomena in PVC Wiring," IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies. Vol. 30, No.3, September, 2007, Page(s): 532-539.
- [4] R. Spyker, D.L. Schweickart, J.e. Horwath, "An Evaluation of Diagnostic Techniques Relevant to Arcing Fault Current Interrupters for Direct Current Power Systems in Future Aircraft," Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing Expo, 2005, Page(s): 146-150.
- [5] Pahl, B., Luebke, C., Pier, T. "Photovoltaic DC Arc Fault Detector Testing at Sandia National Laboratories" Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), 2011, Page(s): 3614-3619.
- [6] M. Rabla, P. Schweitzer, E. Tisserand "Method to design arc fault detection algorithm using FPGA" 2011 IEEE 57th Holm Conference Electrical Contacts, 2011, Page(s): 1 - 5.
- [7] Cheng Hong, Chen Xiaojuan, Xiao Wei, Wang Cong "Short-Time Fourier Transform Based Analysis to Characterization of Series Arc Fault" PEITS 2009 2nd International Conference on, Dec. 2009, Page(s) : 185-188.
- [8] Seung-Eul Kim, W.S. Kwon, B.J. Byen, J.W. Lim, S.B. Bang, G.H. Choe "A Study on Arc Pattern of ArcGenerator Based on UL1699" 2012 KIPE Annual Summer Conference, 7, 2012. Page(s): 580-581.
- [9] Sun-Bea, Bang "Analysis Method for Series Arc Fault current Using Approximation Coefficients of Discrete Wavelet Transform" Ph. D. Dissertation, Kangwan University, Chuncheon-si, Kangwon do, 2009.
- [10] Wan-Sung Kwon, Su-Kyung Choi, Choong-Hwan Ban, Sun-Bae Bang*, Chong-Min Kim*, Gyu-Ha Choe "FFT Analyses of the Arc which Occurs in Domestic Applications" KIPE Annual fall Conference, 2011, Page(s): 52-53.

- [11] S. Peng, G. Xiang, "Series arc fault diagnosis technology research based on the analysis of current rate" Electric Power Equipment-Switching Technology Conf., vol. 5, 2011, Page(s): 565 - 568.
- [12] Underwriters Laboratories, UL1699 Standard for Arc Fault Circuit Interrupters, 2006.
- [13] Wan-Sung Kwon, B. J Byen, H. U. Seo, S. B Bang*, C. M. Kim, G. H. Choe, "Arc Effects on Power Converter and Component", KIPE Annual Summer Conference, 2009. Page(s): 132-133.

◇ 저자소개 ◇



서현욱 (徐玄旭)

1989년 1월 2일생 2009년 두원공과대학 전기과 졸업. 2011년 건국대학교 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 석·박 통합과정.



최규하 (崔圭夏)

1955년 7월 24일생. 1978년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1986년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1987~1988년 미국 오레곤 주립대 전기공학과 Post-Doc. 1998~1999년 버지니아주립대 교환방문 교수. 1997~1998년 건국대연구처처장. 1996년~현재 건국대산업기술연구원인버터제어기술연구센터소장. 1999년~현재 건국대부설전력전자신기술연구센터소장. 2002~2004년 건국대 교무처처장. 1996년~현재 전기안전공사 전기안전정책자문위원장. 2007~2008년 전력전자학회 회장역임. 현재 건국대학교 부총장 및 전기공학과 교수.