

## 멀티 레벨 컨버터를 이용한 연료 전지 시스템의 전력품질 분석과 개선

김윤호<sup>†</sup> · 문현욱 · 김수홍 · 정은진

중앙대학교 전자전기공학부

(2004년 12월 29일 접수, 2005년 2월 14일 채택)

### Analysis and Improvement of Power Quality for A Fuel Cell System Based on Multi-level Converters

Yoon-Ho Kim<sup>†</sup>, Hyun-Wook Moon, Soo-Hong Kim and Eun-Jin Jeong

School of Electrical Engineering, Chung-Ang University

(Received 29 December 2004, Accepted 14 February 2005)

#### 요 약

연료 전지 시스템은 아주 유용한 에너지원 중의 하나이다. 시스템은 재사용이 가능하고 환경 친화적인 에너지원이라는 장점을 갖는다. 연료 전지로부터 교류 성분을 얻기 위해서는 인버터가 필요하다. 멀티 레벨 컨버터는 고 전력 연료 전지 시스템에 대한 인버터로서 사용된다. 고조파 분석을 통하여 멀티 레벨 컨버터에서 연료 전지의 전압 강하가 증가할 때 기본파 성분은 감소하는 반면 고조파 성분과 왜형률이 증가하는 것을 알 수 있다. 전압 강하 문제를 해결하기 위해서 연료 전지 출력단에 부스트 컨버터 사용, 펄스폭 제어, 울트라커패시터 사용 등 세 가지 서로 다른 해결 방법을 이 논문에서 제안하였다. 제안된 세 가지 해결 방법을 분석하였고 시뮬레이션 결과를 사용하여 비교 분석하였다.

**주요어:** 연료전지, 인버터, 고조파

**Abstract** — The fuel cell system is one of very useful energy sources. The system has advantages as renewable and environmental sources. To obtain AC electricity from fuel cells, inverters are necessary. A multilevel converter is used as an inverter for a high power fuel cell system. Through harmonic analysis, it is shown that the harmonic components and THD increase while fundamental component decreases as voltage sag increases. To solve the voltage sag problems, three different approaches are investigated in this paper; installation of a boost converter at the fuel cell output, control of pulse widths, and use of ultracapacitors. The proposed three approaches are analyzed and compared using simulation and experimental results.

**Key words:** Fuel cell, Inverter, Harmonics

#### 1. 서 론

연료 전지가 가지고 있는 장점으로 인하여 연료 전지를 에너지원으로 사용하는 발전 시스템은 기존의 발전 시스템들 보다 많은 장점들을 제공하기 때문에 앞으로 실제 응용의 증가가 예상된다. 연료 전지 발전 시스템

의 장점은 1) 낮은 환경오염, 2) 높은 효율의 발전, 3) 연료의 다양성(천연 가스, LPG, 메탄올, 나프탈렌), 4) 발생 열의 회수, 5) 모듈화 등이다<sup>[1]</sup>. 연료 전지 발전 시스템은 수 메가와트 범위의 큰 전력 정격의 전력 원과 계통 사이에 연계할 수 있는 장치가 필요하다<sup>[2]</sup>. 연료 전지 발전 시스템의 효율, 안정성, 신뢰성과 가격과 같은 요소는 전력 변환 시스템의 용량에 의해 크게 영향 받는다<sup>[3]</sup>. 비록 연료 전지 시스템이 가격 요소 때문에 완전히 범용화가 되기에는 시기적으로 이르지만 최근에 들어 가격 요소를 낮추기 위한 많은 연구가 진행이 되고

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.  
School of Electrical Engineering, Chung-Ang University  
Tel: 02-820-5290  
E-mail: yhkim@cau.ac.kr

있다.

일반적으로 전력 변환 시스템의 기능은 연료 전지로부터의 DC 출력 전력을 가변 AC 전력으로 변환하는 것이다. 전력 변환 시스템에는 매우 다양한 인버터 타입이 있는데, 그 중에서 고 전력 응용에서 많은 관심을 받는 멀티레벨 인버터는 연료 전지용 전력 변환 시스템의 대안으로 연구되고 있다<sup>14)</sup>. 멀티 레벨 인버터의 주된 특징은 독립된 DC 링크를 이용할 수 있기 때문에 각각의 전력 스위치 전압 스트레스를 줄일 수 있다는 것이다. 이것은 높은 DC 링크단 전압이 적용될 때 특히 중요하다. 멀티 레벨 인버터에는 여러 종류가 있다. 그러나 본 논문에서 고려하는 것은 캐스케이드 H-브리지 멀티 레벨 인버터 타입이다. 연료 전지 시스템에서의 전력 변환 시스템은 제안된 변조 방법, 절연된 동작의 유용성, 낮은 출력 고조파, 높은 효율과 용이한 출력 전압 제어 특성을 가져야 한다.

연료 전지 시스템은 많은 장점을 갖고 있는 반면, 시동시 매우 느린 응답 특성과 부하 변동에 대한 빠른 응답을 갖지 못하는 단점도 가지고 있다. 부하 조건과 요구가 변할 때, 연료 전지 시스템의 출력단 전압은 전압-전류(V-I) 특성에 따라 변하게 된다. 연료 전지 시스템에서 출력단 전압이 변하는 또 다른 이유 중 하나는 연료 전지 시스템 자체의 문제 때문이다. 만약 개질기의 연료 공급이 순간적으로 변하는 경우와 개질기, 스택, 파이프와 같은 장비들의 노후는 출력단의 전압에 영향을 미치게 된다. 안정된 전력 변환을 위해서는 연료 전지 시스템 시동시나 전압 왜란이 발생 시에도 안정된 출력 특성을 가져야 한다. 따라서 본 논문에서는 독립된 DC 링크를 사용할 수 있는 H-브리지 멀티 레벨 인버터를 연료 전지 시스템에 적용하고, 여러 가지 원인으로 발생할 수 있는 전압 왜란을 보상할 수 있는 방안을 제시 하였다. 그 방안들은 연료 전지 출력단에 부스트 컨버터를 설치하는 방안, 펄스폭을 제어하는 방안, 울트라 커패시터를 이용하는 방안들이며 이들의 특성은 시뮬레이션을 통해서 비교 분석하고 실험을 통해서 이를 확인 하였다.

## 2. 캐스케이드 H-브리지 멀티 레벨 인버터

멀티 레벨 인버터의 독특한 구조는 변압기를 사용하지 않고, 출력 전압에 고조파 성분이 적게 나타나며 높은 출력 전압을 만들 수 있다<sup>15)6)</sup>. 멀티 레벨 인버터에는 캐스케이드와 NPC, 두 가지 종류가 있다. 캐스케이드 인버터는 NPC 인버터의 단점인 복잡한 스위칭 제어 방법과 추가적인 다이오드의 사용이 필요 없다는 장점 때문에 자주 사용된다. Fig. 1은 7-레벨 캐스케이드 H-

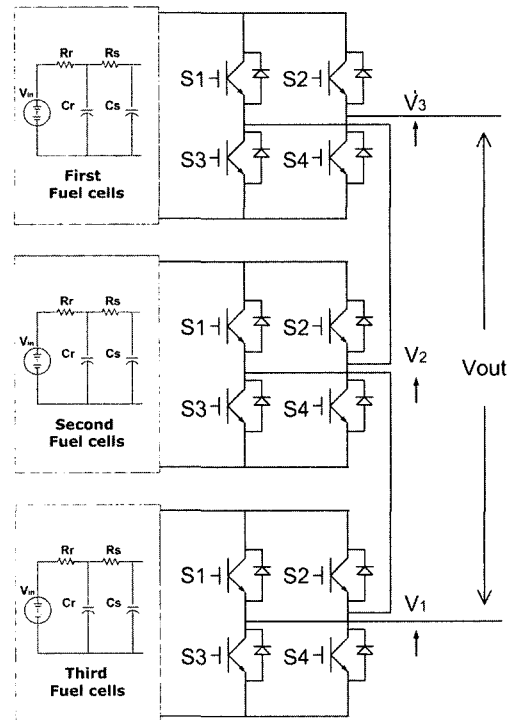


Fig. 1. A single-phase structure with a 7-level cascaded H-bridge inverter.

브리지 단상 인버터의 구조를 나타낸다. Fig. 2는 7-레벨 캐스케이드 인버터의 전체 출력 전압 파형과 각 컨버터의 출력 전압을 나타낸다. Fig. 2(a)는 계단 파형의 출력 전압 파형과 그것의 기본파 성분과 나타낸다. Fig. 2(b), (c), (d)는 각 컨버터의 출력 전압을 나타낸다. 그림 2에서 알 수 있듯이, 서로 다른 H-브리지 인버터 레벨의 각각의 ac 출력이 직렬로 연결되어 합성된 전압 형태는 인버터 출력의 합이 된다. 따라서 출력 전압은  $V_{out} = V_1 + V_2 + V_3$ 이다.

각각 컨버터의 스위칭 패턴은 각각의 연료 전지 시스템 전력이 평형 되게 설정 되어야한다. Fig. 2(b)에서 (d)는 전력 평형을 유지하면서 멀티 레벨 AC 출력을 만드는 하나의 스위칭 패턴이다. 멀티 레벨 인버터에서 출력 전압의 왜형률(THD, Total Harmonic Distortion)과 고조파에 영향을 주는 요소들은 구성된 시스템에 인버터의 수와 스위칭 펄스의 듀티 사이클이다.

## 3. 멀티 레벨 인버터의 서로 다른 레벨에 대한 고조파 분석

본 논문에서 대상으로 하는 연료 전지 시스템은 세 개

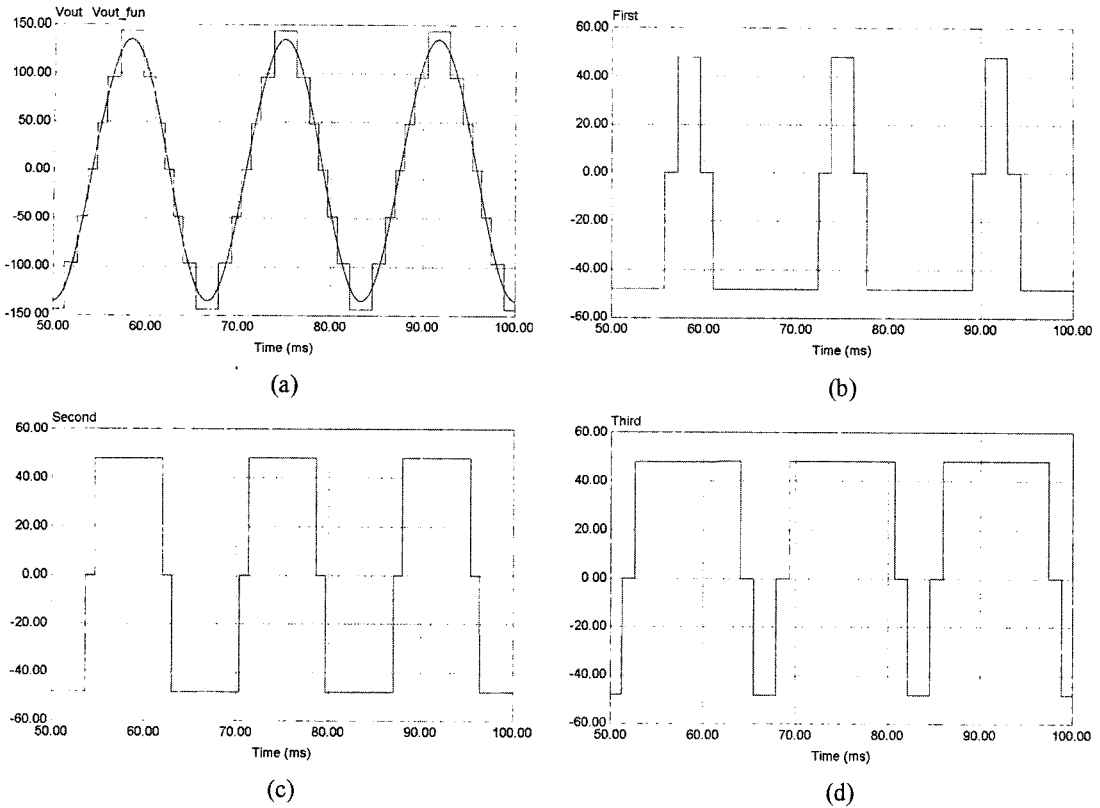


Fig. 2. Output voltage of the 7-level cascade inverter and output voltages of each converter. (a) final output and its fundamental wave, (b) first converter output, (c) second converter output, (d) third converter output.

의 독립적인 연료 전지를 가지고 있다고 가정하였다. 각각의 연료 전지의 출력 전압은 48 V이고 각각은 H-브리지 컨버터에 입력으로 연결된다. 고조파 분석은 캐스케이드 인버터의 레벨에 따라서, 그리고 연료 전지 출력의 전압 강하를 고려하였을 때로 나누어 분석하였다.

그 중 첫 번째로 레벨에 따른 고조파 분석은 인버터의 레벨이 3에서 9까지 변할 때를 분석하였다. Fig. 3에서 볼 수 있듯이 레벨의 수가 증가할 때 THD는 감

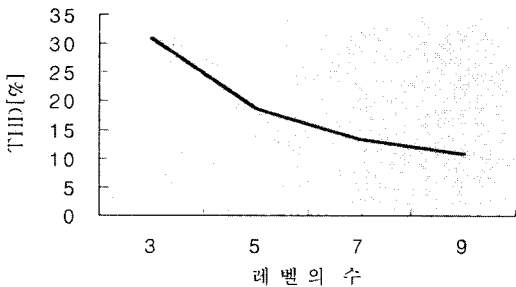


Fig. 3. THD with respect to the number of levels.

소한다.

#### 4. 전압 강하의 분석

두 번째 고조파 분석은 각각의 연료 전지 시스템의 순시적인 출력 측의 전압 강하가 0%에서 40%까지 발생할 때를 가정하여 분석하였다. 본 분석에서는 모든 연료 전지에 동시에 전압 강하가 일어나는 경우보다는 셋 중 하나의 연료 전지에서만 전압 강하가 발생할 가능성이 높다고 가정 하였다. 일반적으로 연료 전지에 40% 이상의 전압 강하가 발생한다면 이는 연료 전지 시스템에 손상을 가져다 줄 수 있는 상태가 되는 것으로 알려져 있기 때문에 연료 전지 시스템에서 전압 강하가 40%를 초과하지 않는다고 가정한다.

##### 4-1. 첫 번째 연료 전지의 전압 강하

먼저 Fig. 1의 멀티 레벨 인버터 구조에서 첫 번째 연료 전지에만 전압 강하가 발생할 때를 가정한다. Fig. 4는 전압 강하가 증가할수록 THD는 증가하고 기본파의

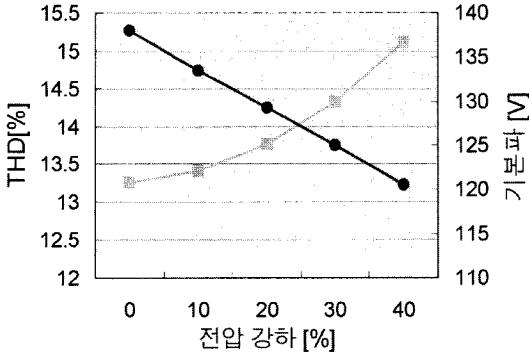


Fig. 4. THD with the first fuel cell voltage droops.

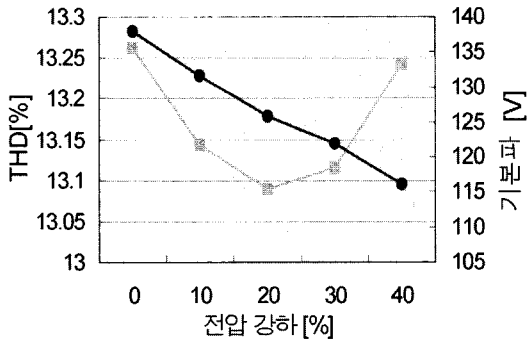


Fig. 5. THD with the second fuel cell voltage droops.

크기는 감소하는 것을 알 수 있다.

4-2. 두 번째 연료 전지의 전압 강하

다음은 두 번째 연료 전지에 전압 강하가 발생하였을 때를 가정한다. Fig. 5는 전압 강하가 증가할 때 THD 곡선은 감소하다 증가하는 U자 형태를 갖고 기본파의 크기는 감소함을 알 수 있다. 전압 강하에 따른 두 번째 연료 전지의 THD 변화는 첫 번째 연료 전지의 THD 변화보다 작다는 것을 알 수 있다. 고조파 분석을 통하여 전압 강하가 증가할 때 기본파 성분은 감소하는 반면 고조파 성분과 THD는 증가한다. 이러한 문제를 보상하기 위해 연료 전지 출력단에 보상기법을 제시한다. 그러나 비용과 제어의 복잡성을 단순화 시킬 수 있도록 모든 연료 전지 출력단에 보상 기법을 적용하는 대신에 전압 강하 발생시 THD 변화가 가장 컸던 첫 번째 연료 전지 시스템에만 보상 기법을 적용하도록 한다.

5. 전압 강하에 대한 보상기법

전압 강하를 보상하는 방법들은 여러 가지가 있다. 연

료 전지 시스템의 출력단에 부스트 컨버터 설치하는 것과 펄스폭 제어, 울트라커패시터의 사용과 같은 세 가지 방법들이 이 논문에서 제시 되었다. 제안된 세 가지 방법은 시뮬레이션을 통해 분석하였고 실험을 통해 연료 전지 출력 전압의 전압 강하에 대한 보상 기법의 적합성을 확인하였다.

5-1. 부스트 컨버터 설치를 통한 보상 방법

본 논문에서는 3개의 독립된 연료 스택을 병렬로 설치하는 시스템을 가정하였다. 이때 만일 어느 한 스택의 출력에 순간적으로 전압 강하가 일어난다고 가정시 부스트 컨버터를 3개 스택 출력단 모두에 설치하여 보상할 수 있지만 3개 대신에 하나만 설치하여도 이를 보상이 가능 하도록 하고자 한다. 부스트 컨버터가 설치된 스택에 전압 강하가 일어나는 경우는 물론이고 설치되지 않은 다른 2개의 스택에 전압 강하가 생긴 경우에도 설치된 스택의 부스트 컨버터를 이용하여 이를 보상할 수 있도록 하였다. Fig. 6은 제안된 연료 전지 시스템의 블록 다이어그램을 나타낸다. PI 제어기는 부스트 컨버터가 빠른 응답특성을 갖도록 설계하였다.

Fig. 7은 제안된 부스트 컨버터를 설치하는 보상 기법의 시뮬레이션 결과이다. Fig. 7(a)는 첫 번째 연료 전지에 시간이 0.15초에서 40%의 전압 강하(48V에서 28.8V로)를 가질 때 출력 전압 파형을 보여준다. 연료 공급의 변화와 출력 전압의 변화는 시간 지연을 갖게 된다. 이것은 연료 전지 시스템에서 개질기와 스택의 등가 회로에 포함되어 있다. 전압의 기본파 성분이 감소하고 THD가 증가하는 것을 보여준다. Fig. 7(b)는 첫 번째 연료 전지 출력단에 설치된 부스트 컨버터에 의해 출력 전압의 기본파 성분이 보상이 된 것을 나타낸다. 연료 전지의 출력 전압이 전압 강하가 발생 되더라도 부스트 컨버터에 의해서 강하된 전압이 보상됨을 알 수 있다. Fig. 7(c)는 0.15초에 40%의 전압 강하를 갖는 연

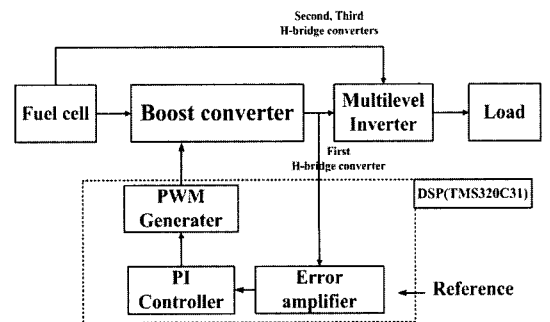


Fig. 6. Block diagram of the proposed fuel cell system with installation of a boost converter.

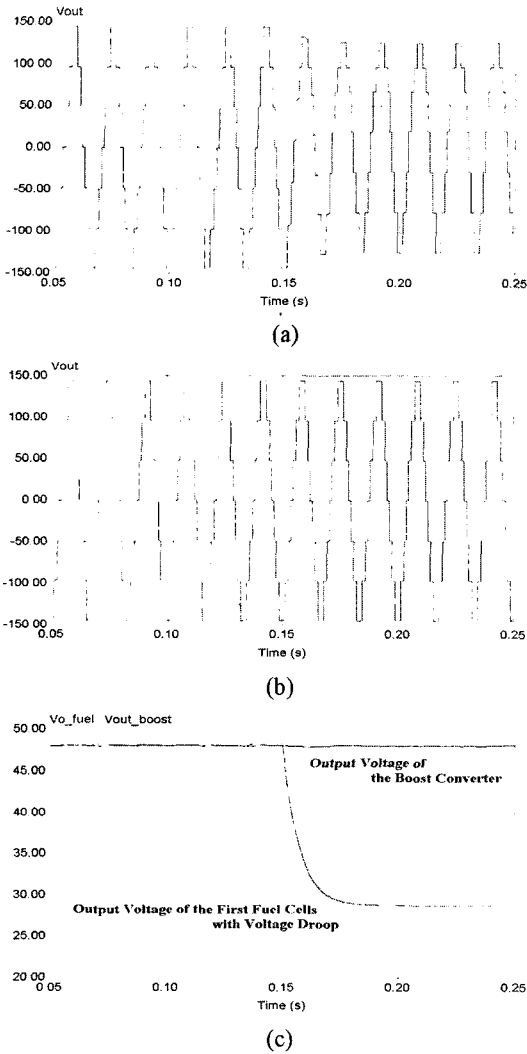


Fig. 7. Simulation results of the first proposed compensation method. (a) Non-compensated output voltage waveform with voltage droop from 48 V to 28.8 V (40%), (b) Compensated output voltage, (c) Output voltage of the first fuel cell and the boost converter.

료 전지의 출력 전압과 전압 강하를 보상하기 위해 설치된 부스트 컨버터의 출력 전압을 나타낸다.

5-2. 펄스폭 제어를 통한 보상 방법

전압 강하의 보상을 위해 두 번째로 제안된 것은 부스트 컨버터를 설치하는 대신에 각 H-브리지 컨버터의 출력 전압의 펄스폭을 제어하는 것이다. 각각의 H-브리지 컨버터는 제어된 펄스폭에 의해 계단과 출력 전압이

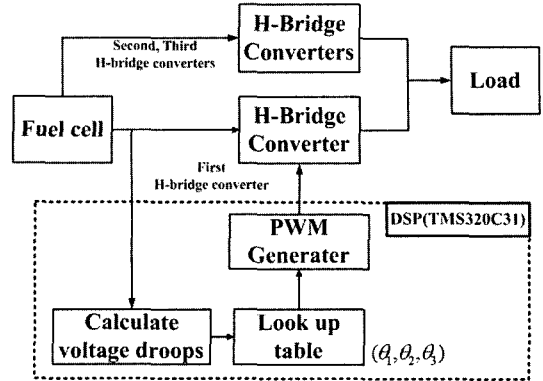


Fig. 8. Block diagram of the second proposed fuel cell system with control of pulse widths.

발생된다. 만약 첫 번째 연료 전지에 전압 강하가 발생하였을 경우 시스템은 각각의 컨버터에 해당하는 펄스폭을 다시 계산한다.

각각의 컨버터에서 펄스폭 계산의 법칙은 다음 두 가지를 따른다. 1) 허용범위 안에서 기본과 크기를 유지한다. 2) 출력 전압은 최소한의 THD를 가진다. 펄스폭을 실시간으로 계산하는 것은 계산 시간이 걸린다. 따라서 순시적으로 펄스폭을 계산하는 것이 아니라 전압 강하의 변동에 따른 펄스폭을 미리 계산된 데이터를 얻는 것이 보다 나은 방법이다. Fig. 8은 펄스폭 제어를 포함하는 두 번째로 제안된 시스템의 블록 다이어그램이다. 만약 전압 강하가 발생한다면 전압 강하에 따라 미리 계산된 펄스폭의 값들의 정보를 담고 있는 'look-up 테이블'에 전압 강하량의 정보를 인가한다. PWM 발생기는 'look-up 테이블'에서 얻은 새로운 펄스 값을 사용하여 새로운 펄스 패턴을 만든다. 따라서 연료 전지 시스템이 전압 강하를 갖는다 할지라도 출력 전압은 같은 크기의 기본과 전압을 유지하게 되고 펄스폭 제어를 통해 최소한의 THD를 갖게 된다. Fig. 9는 두 번째 제안된 보상 기법의 시뮬레이션 결과이다. Fig. 9(a)는 전압 강하를 포함한 첫 번째 연료 전지의 출력 전압을 나타낸다. 시간은 전압 강하에 따라서 세 구역으로 나눌 수 있는데, 0초에서 0.1초까지의 전압 강하는 0%, 0.1초에서 0.2초까지의 전압 강하는 최대 전압 강하 범위인 40%이다. 0.2초 이후로는 전압 강하는 20%이다. Fig. 9(b)는 전압 강하를 갖는 시스템의 비보상된 출력 전압을 나타낸다. 시스템에서 전압 강하의 포함은 기본과 전압은 줄어들고 THD는 증가하게 된다. Fig. 9(c)는 제어된 펄스폭에 의해 출력 전압이 보상된 것을 볼 수 있다. 연료 전지에 전압 강하가 발생하더라도 펄스폭의 제어는 출력 전압의 기본과 전압과 최소의 THD를 유지하도록

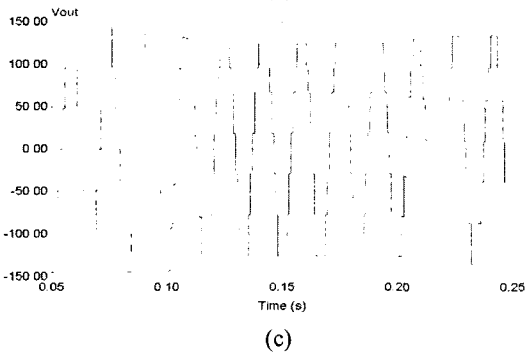
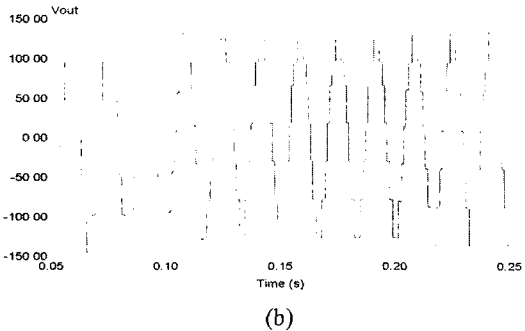
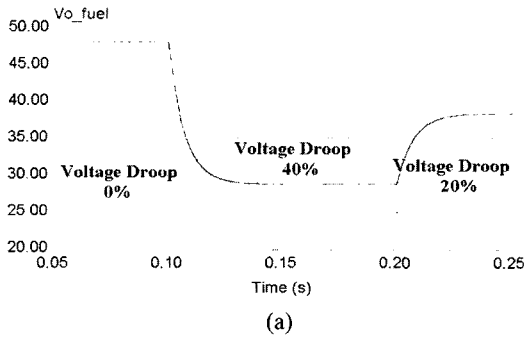


Fig. 9. Simulation results with control of pulse widths. (a) Output voltage of the first fuel cell according of the voltage droop, (b) Non-compensated output voltage waveforms, (c) Compensated output voltage waveforms.

한다.

Table 1은 비 보상 시 출력 전압과 보상 시 출력 전압의 펄스폭을 보여준다. 기본과 전압은 마진을 포함하

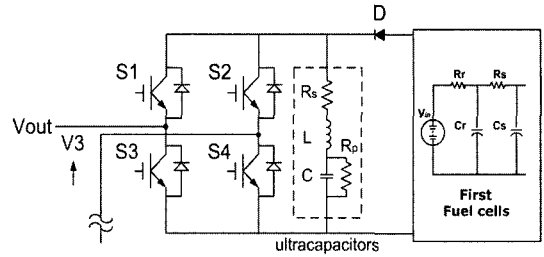


Fig. 10. One part of a 7-level cascaded H-bridge inverter with ultracapacitors expressed in an equivalent circuit.

여 138 V(MI=0.9)로 설정한다. 그리고  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 는 기본과 전압이 마진 이내에서 유지되고 출력 전압은 최소한의 THD를 갖도록 계산되었다. 비 보상시의 경우에 전압 강하가 증가 할 때 출력의 기본과 전압은 줄어든다. 그러나 보상시의 경우에는 허용범위 내에서 기본과의 전압이 유지된다.

5-3. 울트라커패시터를 이용한 보상 방법

전압 강하를 보상하기 위해 제안된 세 번째 방법은 울트라커패시터를 사용하는 것이다. 첫 번째 연료 전지에 전압 강하가 발생한다면 전압 강하는 울트라커패시터에 의해 보상된다. 울트라커패시터는 높은 전력 밀도를 제공하고 매우 높은 충방전 능력, 기계적인 강인성을 갖는 전기적인 에너지 저장 장치다. 전압 강하가 발생하지 않았을 때, 울트라커패시터는 연료 전지에 의해 충전 상태가 되고, 연료 전지 시스템에 전압 강하가 발생할 때에는 울트라커패시터에 충전된 에너지가 H-브리지 인버터에 공급이 된다. 다이오드 D는 전압 강하 동안 울트라커패시터에서 연료 전지로의 역 전류가 흐르는 것을 방지하기 위한 다이오드이다. 이는 연료 전지로 역 전류가 흐르는 것은 연료 전지의 손상을 막기 위함이다. Fig. 10에서 울트라커패시터는 시뮬레이션을 위해 1차 등가 회로 모델로 나타냈다. 하나의 울트라커패시터는 2.5 V, C=1700F의 전기적 특성을 갖는다. 시스템에서 보상을 위해 울트라커패시터를 사용하려면 20개의 단일 울트라커패시터가 필요하다. 따라서 울트라커패시터의 총 정격

Table 1. The compared with pulse widths between non-compensated output voltage and compensated one.

Non-compensated output voltage					Compensated output voltage				
Voltage (droop)	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$	V1	Voltage (droop)	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$	V1
48 V (0%)	10.8°	33.3°	63.9°	138.001 [V]	48 V (0%)	10.8°	33.3°	63.9°	138.001 [V]
28.8 V (40%)	10.8°	33.3°	63.9°	120.606 [V]	28.8 V (40%)	9.0°	31.5°	46.8°	137.993 [V]
38.4 V (20%)	10.8°	33.3°	63.9°	129.303 [V]	38.4 V (20%)	9.9°	32.4°	57.6°	138.005 [V]

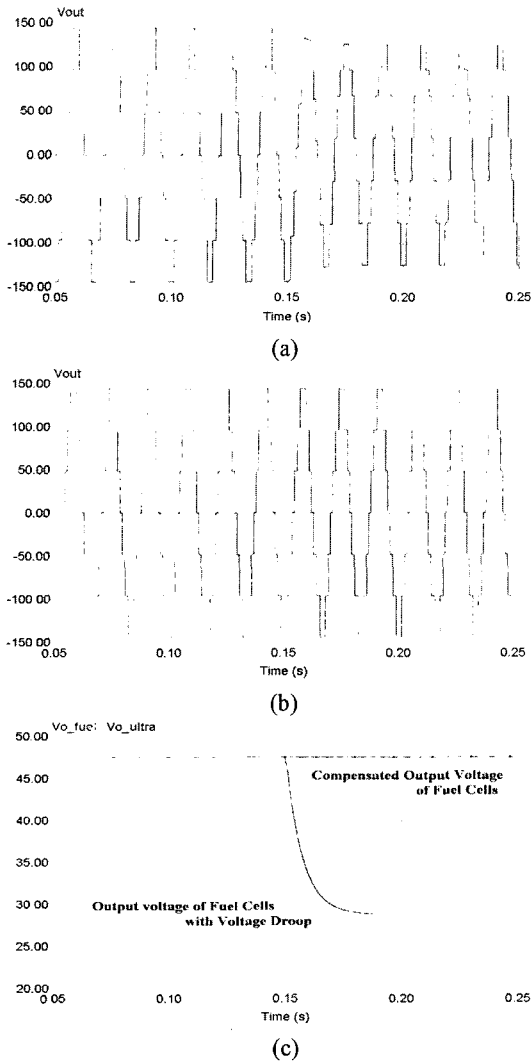


Fig. 11. Simulation results of the first proposed compensation method. (a) Non-compensated output voltage waveforms with voltage droop from 48 V to 28.8 V (40%), (b) Compensated output voltage, (c) Output voltage of the first fuel cell and ultracapacitors.

전압은 50 V가 된다. 울트라 커패시터의 파라메타 값은  $R_s=0.7\text{ m}\Omega$ ,  $R_p=300\ \Omega$ ,  $L=0.01\text{ mH}$ ,  $C=85\text{F}$ 이다.

Fig. 11은 세 번째 제안된 보상 기법의 시뮬레이션 결과이다. Fig. 11(a)은 전압 강하를 포함한 시스템에 보상 되지 않은 출력 전압을 보여준다. 전압 강하는 기본과 전압을 감소시키고 THD를 증가시킨다. Fig. 11(b)은 울트라커패시터를 사용하여 출력 전압이 보상되었음을 알 수 있다. 이 보상 기법은 연료 전지에 전압 강하가 발생하였을 때 출력 전압의 기본과 성분은 펄스폭 제어

없이 일정한 값을 유지할 수 있다. Fig. 11(c)은 첫 번째 연료 전지의 출력 전압과 울트라커패시터에 의해 보상된 연료 전지의 출력 전압을 보여준다.

## 5. 실험 결과

본 논문에서 제안한 연료 전지 시스템의 전압 강하에 대한 보상 기법으로 부스트 컨버터 설치, 펄스폭 제어, 울트라커패시터 사용의 타당성을 검증하기 위하여 캐스케이드 멀티 레벨 인버터 실험 장치를 설계하고 DSP (TMS320C31)를 사용하여 게이트 신호와 제어 신호를 만들었다. Fig. 12는 7-레벨 캐스케이드 인버터의 출력 전압과 각 H-브리지 인버터의 출력 전압을 나타낸다(50 V/div, 5 ms). Fig. 13은 첫 번째 제안된 보상 기법의 실험 결과 파형이다(50 V/div, 20 ms). Fig. 13(a)는 전압 강하가 40% 발생할 때 비보상된 출력 전압으로, 전압 강하가 발생함으로 출력 전압의 크기가 감소하는 것을 확인할 수 있다. Fig. 13(b)는 첫 번째 연료 전지에 전압 강하가 발생하더라도 부스트 컨버터를 통해 전압이 보상되어 멀티 레벨 인버터의 출력 전압이 보상을 나타낸다. Fig. 13(c)는 전압 강하 시 연료 전지 출력단의 전압과 부스트 컨버터의 출력 전압을 나타낸다. Fig. 14는 두 번째 제안된 펄스폭 제어의 실험 결과이다(50 V/div,

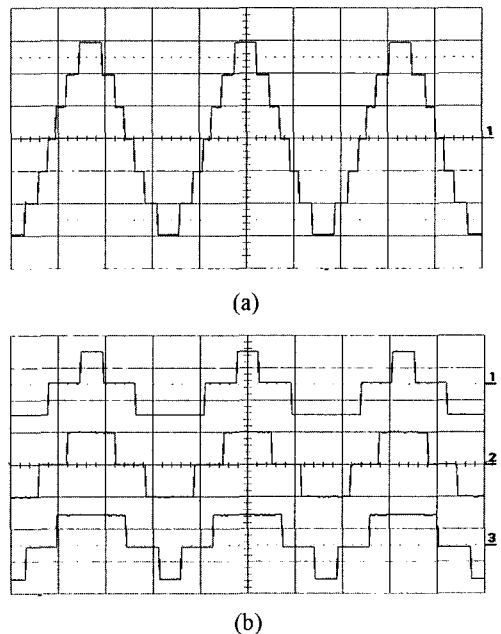
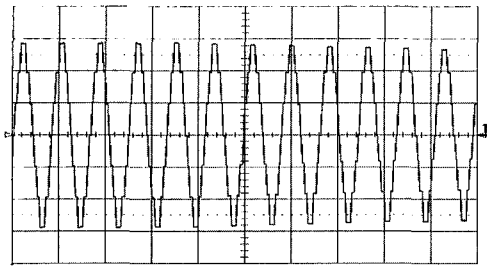
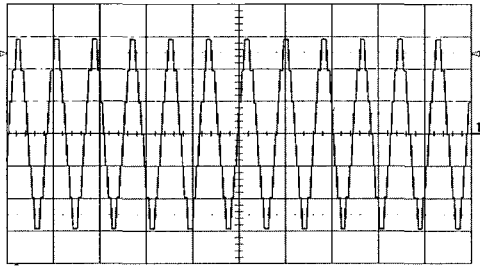


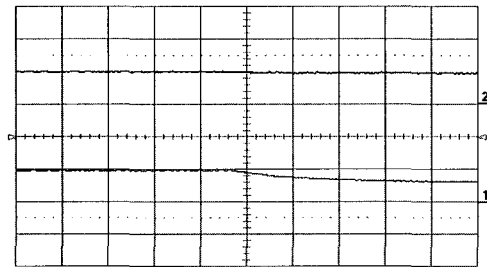
Fig. 12. Output voltage of the 7-level cascade inverter and output voltages of each converters (50 V/div, 5 ms). (a) Final output, (b) Each converter outputs.



(a)



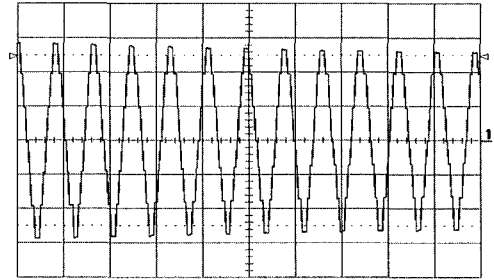
(b)



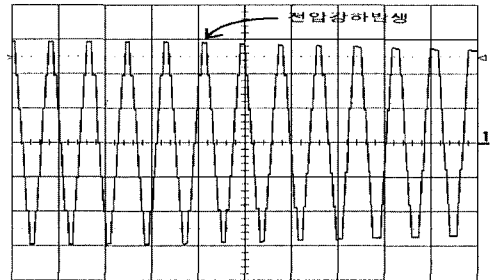
(c)

**Fig. 13.** Experiment results of the first proposed compensation method. (a) Non-compensated output voltage waveform with voltage droop from 48 V to 28.8 V (40%) in the first fuel cell systems, (b) Compensated output voltage, (c) Output voltage of the first fuel cell (channel 1) and the boost converter (channel 2).

20 ms). Fig. 14(a)는 전압 강하가 40% 발생할 때 비보상된 출력 전압으로, 전압강하가 발생함으로 출력 전압의 크기가 감소하는 것을 확인 할 수 있다. Fig. 14(b)는 하드웨어 장치 없이 펄스폭을 제어함으로 비록 멀티 레벨 인버터의 출력 전압이 감소하더라도 기본파의 크기는 일정하게 유지되는 것을 보여준다. Fig. 15는 세 번째 제안된 보상 기법의 실험 파형이다(50 V/div, 20 ms). Fig. 15(a)는 전압 강하가 40% 발생할 때 비보상된 출력 전압으로, 전압강하가 발생함으로 출력 전압의 크기가 감소하는 것을 확인 할 수 있다. Fig. 15(b)는 첫 번째 연료 전지에 전압 강하가 발생하더라도 울트라커패



(a)



(b)

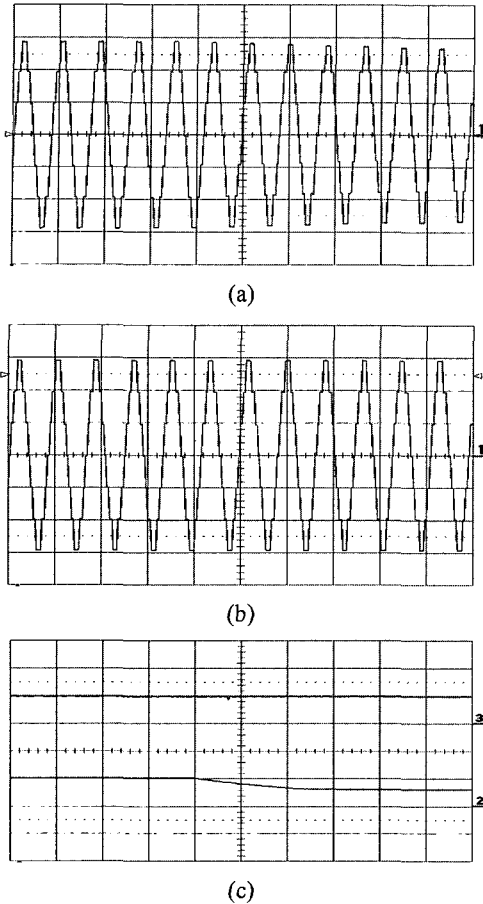
**Fig. 14.** Experiment results with control of pulse widths. (a) Non-compensated output voltage waveforms, (b) Compensated output voltage waveforms.

시터를 통해 전압이 보상되어 멀티 레벨 인버터의 출력 전압이 보상됨을 나타낸다. Fig. 15(c)는 전압 강하 시 연료 전지 출력단의 전압(채널 2)과 울트라커패시터의 출력 전압(채널 3)을 나타낸다.

## 6. 결 론

연료 전지 시스템을 포함한 전력 변환 시스템에서 전력 품질은 매우 중요한 문제이다. 연료 전지 시스템은 전압 왜란 문제를 가지고 있다. 특히 시동시, 연료 공급 시스템의 불안정성에 따른 전압 강하는 전력 품질에 영향을 미치는 큰 요소이다. 본 논문에서는 인버터의 레벨 수와 연료 전지 출력의 전압 강하에 따라 고조파를 분석하였다. 멀티 레벨 인버터는 고 전력 연료 전지 시스템에 적합한 인버터로서 시스템에 적용될 때 인버터의 레벨 수를 결정하는 것이 중요하다. 고조파 분석 결과는 인버터 레벨의 수를 결정하는 지표로서 사용될 수 있다. 고조파 분석을 통하여 전압 강하가 증가할 때 고조파 성분은 감소하는 것을 알 수 있었다. 전압 강하 문제를 해결하기 위해 세 가지 방법이 제안 되었으며, 제안된 방법들은 각각의 장단점을 가지고 있다. 부스트 컨버터의 설치와 울트라커패시터를 사용한 보상 기법은 펄





**Fig. 15.** Experiment results with use of the ultracapacitors. (a) Non-compensated output voltage waveforms with voltage droop from 48 V to 28.8 V (40%) in the first fuel cell systems, (b) Compensated output voltage, (c) Output voltage of the first fuel cell (channel 2) and ultracapacitors (channel 3).

스폭 제어가 필요 없다는 장점을 갖지만 추가적인 하드웨어 구성이 필요하다. 이에 반해 펄스폭 제어 기법은 추가적인 하드웨어 구성없이 소프트웨어만으로 연료

전지 시스템의 전압 강하 문제를 보상할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 따라서 펄스폭의 제어를 이용한 방법이 일정 범위 내에서의 연료 전지 시스템의 전압 강하 문제를 보상하는데 효율적으로 사용될 수 있다.

### 후 기

이 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라 구축지원사업으로 수행된 논문입니다.

### 참고문헌

1. Anahara, R.; Yokokawa, S.; Sakurai, M. "Present Status and Future Prospects for Fuel Cell Power Systems", Proceedings of the IEEE, 1993, 81(3), 399-408.
2. Naik, R.; Mohan, N.; Rogers, M.; Bulawka, A. "A Novel Grid Interface, Optimized for Utility-scale Applications of Photovoltaic, Wind-electric and Fuel-cell Systems", IEEE Transactions on Power Delivery, 1995, 10(4), 1920-1926.
3. Tam, K.; Rahman, S. "System Performance Improvement Provided by a Power Conditioning Subsystem for a Central Station Photovoltaic-fuel Cell Power Plant", IEEE Transactions on Energy Conversion, 1998, 3(1), 64-70.
4. Gyugi, L. "Dynamic Compensation of AC Transmission Lines by Solid-State Synchronous Voltage Sources", IEEE Transactions on Power Delivery, 1994, 9(2), 904-911.
5. van Zyl, A.; Enslin, J.H.R.; Spee, R. "A New Unified Approach to Power Quality Management", IEEE Transactions on Power Electronics, 1996, 11(5), 691-697.
6. Kim, Y.-H.; Kim, S.-S. "An Electrical Modeling and Fuzzy Logic Control of a Fuel Cell Generation System", IEEE Transactions on Energy Conversion, 1999, 14 Issue: 2, 239-244.