

# 연료전지 기술 현황 및 계통연계 기술

송중환 | 기초전력연구원 책임연구원

## 1. 개요

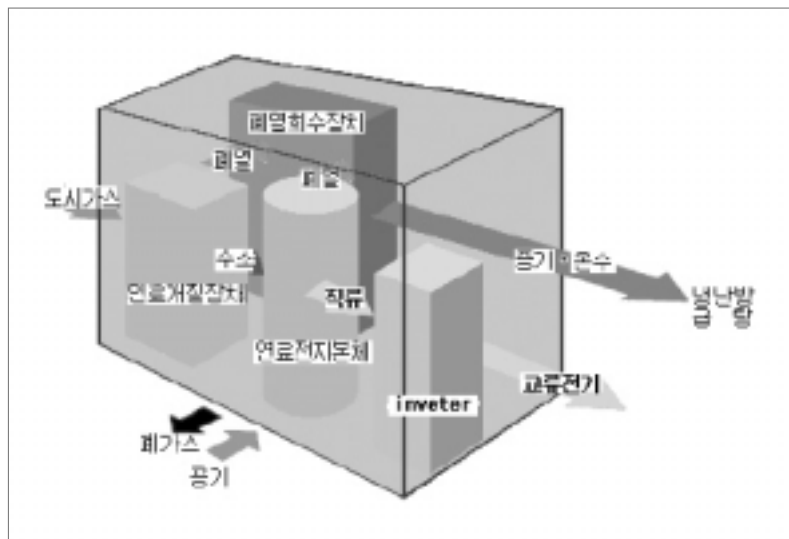
연료전지(Fuel Cell)는 전기화학 반응에 의하여 연료가 갖고 있는 화학에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 발전장치로 처음 개발된 것은 1960년대 제미니 우주선에 적용되면서부터 이다.

연료전지는 메탄올이나 천연가스로부터 추출한 수소에 산소를 반응 시켜서 전기를 생산하는 것으로, 전기분해의 역반응이라고 할 수 있다. 일반적으로 연료전지 발전시스템은 상자형의 패키지 타입으로 개발되었으며, 연료개질 장치, 연료전지 본체, 인버터 및 폐열회수 장치 등으로 구성된다(그림 1).

연료전지 본체는 여러 개의 연료전지를 쌓아서 스택(Stack)의 형태로 구성된 직류전기의 발생장치이며, 발전된 직류전기는 인버터에 의해 교류로 변환되어 계통에 접속되므로 단위 발전원으로 작용하게된다.

개질장치는 도시가스, LPG 등의 연료로부터 수소를 생성하여 공급하는 장치이며, 전기와 함께 얻어진 고온의 발생열은 폐열회수장치를 통해 증기나 온수를 활용케 하므로 전체 시스템의 효율을 높이는데 기여한다. 즉 연료전지 발전 시스템은 전기와 함께 열을 동시에 이용하므로 고효율의 열병합 발전원으로 사용이 가능하다.

그림 1. 연료전지 시스템 구성도





## 2. 연료전지 기술 현황

### 2.1. 연료전지 종류별 발전 특성

#### 가. 인산형 연료전지 (Phosphoric Acid Fuel Cell)

인산형 연료전지 기술은 20년 이상 개선되어 왔고, 전기 생산에 비교적 순수한 수소(70% 이상)를 요구한다. 인산형 연료전지 내의 전극은 탄소 지지체의 표면 위에 백금이나 백금 혼합물 촉매를 도포하여 수소와 산소의 반응을 돕는다. 인산형 연료전지의 운전 온도는 약 200℃ 정도에서 운전되는데, 이는 인산 전해질의 안정도를 위하여 허용되는 최대값이다. 발전 효율은 40~50% 정도이며, 이 수준보다 높은 효율을 갖기 위해서는 전지와 스택 구성품의 지속적인 개발에 의한 종합시스템 제어가 뒤따라야 한다.

일반적으로 50-200kW급 소형 연료전지 발전 시스템이 빌딩 등에 설치되어 전력생산은 조명으로, 발생한 열은 급탕이나 난방용으로 사용되고 있으며, 일본의 경우 50개 이상의 건물에서 실용화된 상태이다.

#### 나. 알칼리형 연료전지 (Alkaline Fuel Cell)

알칼리 연료전지는 전해질로써 수산화칼륨과 같은 알칼리를 사용한다.

연료로 순수 수소, 산화제로써는 순수 산소를 쓰며, 운전온도는 대기압에서 60~120℃이다. 양극의 촉매는 니켈망에 은을 입힌 것 위에 백금-납을 사용하고, 음극은 니켈망에 금을 입힌 것 위에 금-백금을 쓴다. 가장 높은 효율의 전기를 생산하지만 알칼리가 이산화탄소에 민감하게 반응하므로 순수수소와 순수산소를 써야 한다는 단점 때문에 실용화 개발은 늦게 진행되고 있다.

알칼리 연료전지 시스템이 상업화에 성공하려면 경제적으로 이산화탄소를 제거하는 기술과 순수수소의 공급이 관건이되고 있다. 비교적 높은 가격이 장벽이긴 하지만 수소를 기초로 한 수소 경제가 도래하게 되면 알칼리 연료전지 또한 경쟁력있는 연료전지 시스템의 한 부분을 차지할 전망이다.

#### 다) 고분자 전해질형 연료전지 (Proton Exchange Membrane Fuel Cell)

고분자 전해질형 연료전지의 전해질은 액체가 아닌 고체 고분자 중합체(Membrane)로써 다른 연료전지와 구별된다. 인산형 및 알칼리형 연료전지 시스템과 비슷하게 멤브레인을 이용하는 연료전지는 촉매로써 백금을 사용한다. 멤브레인 연료전지의 개발 목표는 최소 40mg/kW의 백금 촉매를 쓰는 것이다. 이 백금 촉매는 이산화탄소에 의해 쉽게 피독되므로 이산화탄소의 농도는 100ppm 이하로 유지하여야만 한다.

고분자 전해질형 연료전지 시스템은 양산 효과가 우수하며 소형화가 가능하므로 자동차에 적용하고자 하는 주요 전지 대상이 된다. 인산형 연료전지보다 약 10년이 뒤져 개발되었지만, 인산형에 비해 저온에서 동작되며 출력 밀도가 크므로 소형화가 가능하고, 기술이 인산형과 유사하여 응용 기술의 적용이 쉽기 때문에 현재는 고분자전해질형 연료전지에 가장 많은 관심과 투자가 이뤄지고 있다.

현재 다수의 자동차에 고분자 전해질형 연료전지를 적용하여 운행되고 있으며 멀지 않아 상용화도 가능할 전망이다.

#### 라. 용융탄산염형 연료전지 (Molten Carbonate Fuel Cell)

용융탄산염형 연료전지의 전해질은 낮은 용융점

을 가지는 탄화리튬과 탄화포타슘의 혼합물이다. 전극은 다공성 니켈로 만든다. 고온의 탄산 환경하에 금속이 노출되므로 인한 전극의 부식 문제 해결과 내구성 확보에 많은 연구가 이뤄지고 있다. 알칼리형 연료전지 기술에 비하여 용융탄산염형 기술이 가지는 장점은 일산화탄소, 이산화탄소 등에 대하여 내성이 있다는 것이다. 이것은 일산화탄소와 이산화탄소의 분리공정을 필요로 하는 연료전지 시스템보다 초기 투자비가 낮고 시스템 설계가 단순해지는 결과를 가져온다. 용융탄산염형 연료전지의 운전 온도는 약 650℃의 고온이므로 증기를 이용한 이차 발전과 함께 온수 이용이 가능하여 높은 효율의 열병합발전 시스템을 구축할 수 있다.

#### 마. 고체산화물형 연료전지 (Solid Oxide Fuel Cell)

고체산화물형 연료전지의 특징은 탄화수소를 직접 전기로 변화시킬 수 있다는 것이다. 고체산화물형 연료전지의 가장 독특한 특성은 운전 온도가 약 1000℃로 매우 높다는 것이다. 이 온도에서는 수소와 산소 뿐 아니라 수소와 일산화탄소 간의 전기 화학적 산화 반응이 일어나 촉매 없이 연료를 사용할 수 있다. 하지만 운전 온도 1000℃ 정도의 고온은 금속과 전해질 재료간에 열적-기계적으로 높은 스트레스를 견뎌야하는 면에서 많은 연구가 필요하다.

#### 바. 직접메탄올 연료전지 (Direct Methanol Fuel Cell)

직접메탄올 연료전지는 메탄올을 직접, 전기화학 반응시켜 발전하는 시스템이다. 전해질은 이온 교환막에 인산을 담지 시켜 사용하며 작동 온도는 40~60℃로 다른 연료전지에 비해 가장 저온이다. 개질기를 필요로 하지 않기 때문에 시스템이 간소화되어

소형기기에 적용할 수 있는 대표적인 발전 시스템이다. 그러나 반응 속도가 느리고, 다량의 백금 촉매를 사용하여야 하며, 메탄올과 산화제의 Crossover(고체 고분자 막을 통과하는 것) 등의 단점을 해결하여야 하는 과제를 안고 있다.

## 2.2. 연료전지 현황 및 전망

미래 사회가 수소경제 시대라고들 한다. 화석연료 경제에서 수소경제로의 전환이라는 패러다임의 변화에서 각 개인이 인식하게 되는 에너지에 대한 개념은 지금과 많이 다를 것이다. 무엇보다 에너지 자원의 귀중성에 대한 인식이 급격히 높아져 있는 사회일 것이며, 중앙 집중식으로 에너지 자원을 개발하고 분배하는 대규모 에너지 인프라 사회에서 각 세대가 필요한 에너지를 생산하고 소비하는 사회로의 전환이 일어날 것이다.

수소경제 사회에서 가장 핵심 요소 중 하나가 연료전지 시스템인데 이는 수소 자원에서 전기를 생산하는데 있어 연료전지가 가장 효율적인 발전원이기 때문이라는 데는 의심의 여지가 없다. 하지만 이는 연료전지에 거는 기대일 뿐이며 연료전지에 거는 요구 조건을 만족하기 위해서는 앞으로도 부단한 개발 노력과 지원이 뒤따라야 할 것이다.

## 3. 연료전지 전력 변환

### 3.1 연료전지 출력 특성

연료전지 내의 단위 셀에 나타나는 전압강하 요소 즉 손실 특성은 대략 4가지 정도로 구분할 수 있다. 그림2는 전류에 따라 나타나는 대표적인 손실을 표



시하고 있다. 손실은 대부분 단위 셀 내에서 발열 형태로 나타나며 발생된 열을 활용하는 기술과 방열하는 기술이 전기화학에 종사하는 이들에게 중요한 기술 분야이다. 하지만 본 고에서는 손실의 현상만 간략히 설명하므로 연료전지의 출력 특성을 이해하고 활용하는데 도움이 되었으면 한다.

- Crossover(연료손실)
- 활성화 분극
- 오옴 분극
- 집중화 분극

가. Crossover(연료손실)

통상적으로 전해질은 이온만을 전달하는 것으로 알고 있으나 사실은 이온과 함께 연료도 통과되고 있으며 이렇게 통과된 연료 즉 수소는 음극에서 촉매에 의해 산소와 반응하므로 전기 생산에는 기여하지 못하고 열손실만을 일으키는 구간으로 결과적으로 전위 손실로 작용하는 구간을 Crossover 또는 Internal Current 구간이라 한다. 이러한 손실은 고온형 연료전지에서는 효과가 미미하거나 무시할 수 있지만 저온형 연료전지에서는 효과를 무시할 수 없을 정도의 수준이다.

나. 활성화 분극(Activation Loss)

활성화 분극은 연료전지 전극의 표면에서 전지 반응이 느리게 진행되기 때문에 전극으로부터 전하를 이송하여 화학반응을 일으키도록 하는데 전압의 일정 부분이 사용되므로 인한 전위 손실이다. 이러한 손실을 줄이기 위해 반응부의 온도를 높이는 방법, 효율적인 촉매를 사용하는 방법, 전극의 표면적을 높이는 방법, 압력을 키우는 방법

등을 적용할 수 있다.

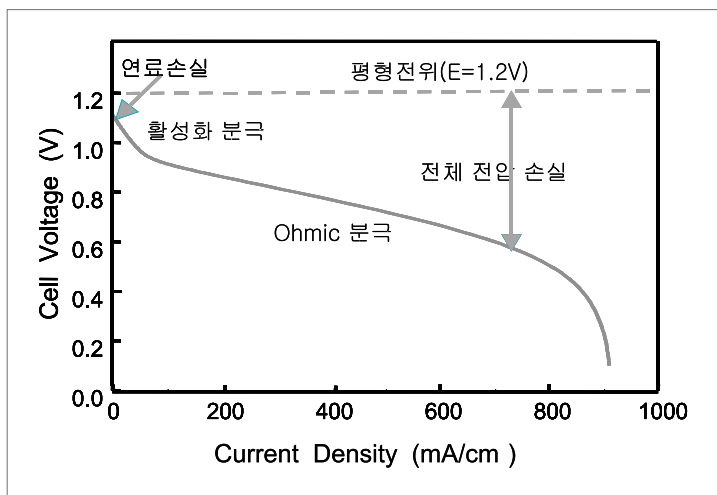
다. 오옴 분극(Ohmic Loss)

오옴 분극은 전극에서의 전기저항과 전해질을 전하가 통과하면서 나타나는 저항성분으로 인한 손실로 나눌 수 있는데 전해질에서 나타나는 값이 대부분을 차지한다. 이 구간은 선형적으로 나타나며 전류 밀도에 비례하는 특징을 가진다. 오옴 분극을 줄일 수 있는 방법으로 전도성이 높은 전극을 사용하는 방법, 분리판 재질의 선택, 전해질의 두께를 줄이는 방법 등을 생각할 수 있다.

라. 집중화 분극(Concentration Loss)

집중화 분극은 'Mass transport loss' 또는 'Nernstian' 이라고도 하는데 전극에서의 반응물의 집중도 변화로 인한 현상으로, 집중도가 감소하게 되면 반응물(전하, 이온)을 전극표면으로 원활하게 전달하지 못하게 되므로 인해 나타나는 전압 강하 영역이다.

그림 2. 연료전지의 전류-전압 특성 곡선



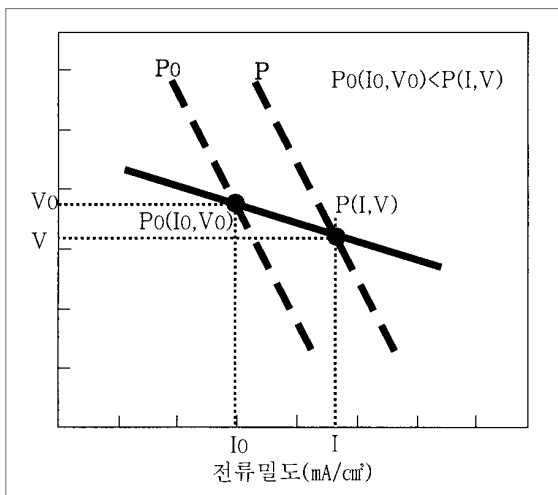
### 3.2. 운전 가능 범위 및 안정 운전

연료전지 스택에서 생성된 전력은 다양한 종류의 전력변환 제어장치를 통해 가용한 전원으로 변환하는데 이때 전력을 변환하기 위해 통상 전력제어와 전류제어 방식을 채택하며 전력제어가 Major loop를 형성하고 전류제어가 Minor loop를 형성하여 구성된다. 그림 2에서 주어진 전류-전압 특성 곡선은 연료전지의 고유한 특성 곡선으로서 이 곡선 상의 한 점에서 운전점이 형성되어 전력이 얻어진다. 이때 주어진 연료전지에 연결되어 전기를 변환하는 전력변환 제어기의 운전에는 두 영역 즉 안정운전 영역과 불안정운전 영역이 존재한다.

#### 가. 안정운전 영역

그림 3은 안정운전을 나타낸 제어도식으로 굵은 실선이 연료전지 전류-전압 특성곡선이고 두개의 굵은 점선이 일정전력 곡선이라 할 때, 현재 전력( $P_0$ )를 발생시키고 있다하면 운전점은  $P_0(I_0, V_0)$ 에서 형성된다. 만일 외부에서의 전력요구량이  $P_0$ 보다 큰

그림 3. 연료전지의 안정운전 영역

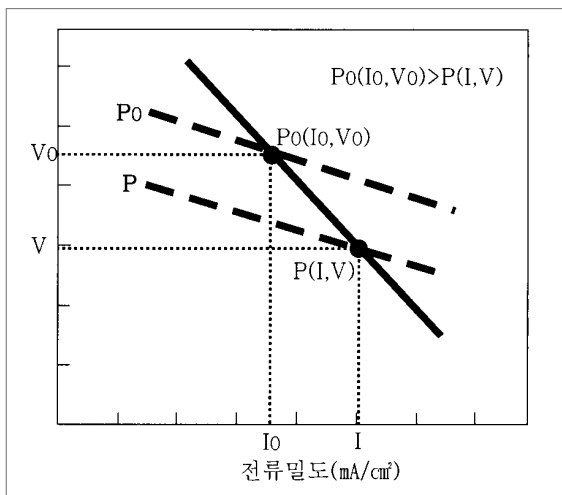


값으로 변했을때 이러한 요구를 만족시키기 위해 Minor loop의 전류제어기는 전류제어점을  $I_0$ 에서  $I$ 로 증가시키려 할 것이다. 그 결과 새로운 운전점  $P(I, V)$ 이 형성되는데 이 새로운 운전점에서 얻어지는 전력( $P$ )가 과거 전력( $P_0$ )보다 크면 외부에서의 전력요구를 만족하므로 안정적인 운전이 가능하다.

#### 나. 불안정운전 영역

그림 4는 그림 3과 달리 불안정운전을 나타낸 제어도식인데 그림 3과 동일한 가정을 적용하여, 현재  $P_0(I_0, V_0)$ 에서 운전되고 있다고 가정하자. 만일 외부에서의 전력요구량이  $P_0$ 보다 큰 값으로 변했을때 이러한 요구를 만족시키기 위해 Minor loop의 전류제어기는 그림 3에서와 동일하게 전류제어점을  $I_0$ 에서  $I$ 로 증가시키려 할 것이다. 그 결과 새로운 운전점  $P(I, V)$ 이 형성되는데 그림 3과 달리 그림 4에서는 이 새로운 운전점에서 얻어지는 전력( $P$ )가 과거 전력( $P_0$ )보다 작으므로 외부에서는 더 많은 전력을 요구할 것이고 이에 반응하여 전류제어기는 더 많은 전류를 연료전지 스택으로부터 인출할 것이다. 이

그림 4. 연료전지의 불안정운전 영역





과정은 더 작은 전력이 얻어지게 되므로 결국 제어는 요구하는 결과를 얻지 못하게 된다.

### 3.3 전력변환과 전지 수명과와의 관계

전지 수명 즉 전지 내구성에 대한 연구는 현재도 계속 진행되고 있는 주요 연구, 개발 영역에 해당되는 사항이지만 현재까지 주로 전해질, 전극 등을 포함한 연료전지 스택 분야에 많은 연구가 진행되어 왔다. 연료전지의 전력 변환을 연구하는 관점에서 전력변환에서 나타나는 전압 및 전류 파형이 전지 수명에 영향을 주는 것은 분명한 것으로 사료된다. 영향을 주는 요소로는 전력요구량의 변동, 전류 리플, 스위칭 주파수, 변환기 내부고장 시 차단능력 외에도 많은 전기형태 및 제어 방식이 수명에 영향을 미칠 수 있으며 이러한 각 요소가 전지의 수명에 미치는 영향에 대한 연구가 필요한 시점이다.

## 4. 계통연계 기술

연료전지의 단위 셀에서 발전되는 전기량은 통상 저전압-대전류 형태로 나타나는데 스택에서는 다수의 셀을 직렬로 적층하여 전압을 높여 출력한다. 이렇게 얻어진 직류전압도 사용하기에 충분한 전압이 되기 위해서는 직류-직류 변환기를 통하여 전압을 높여야 한다. 또한 일반적으로 기기는 대부분 교류전압을 사용하고 있으므로 연료전지에서 얻어진 전압이 상용으로 사용하기 위해서는 직류를 교류로 변환하는

직류-교류 변환 장치가 요구된다. 결론적으로 연료전지 출력은 직류-직류 변환장치와 직류-교류 변환장치를 직렬로 연결하여 필요한 전력을 발전시키는 방식이 일반적인 방식이다. 이때 각 변환장치의 제어방식에 따라 몇 가지 형태를 나타내는데 다음과 같은 방식이 많이 적용되고 있으며 새로운 방식이 추가 연구되기도 한다.

### 4.1. 단상 변환 기술

그림5는 축전지 같은 에너지 저장요소를 가지지 않은 경우의 대표적인 단상전력변환 장치로서 두 가지 제어방식을 생각해 볼 수 있다.

A형은 배전계통 우선 방식으로 직류-직류 변환기에 전압제어를 채택하고, 직류-교류 변환기에 전력제어를 채택한다. 이에 반해 B형은 연료전지 우선 방식으로 전력제어를 직류-직류 변환기에서 수행하고 직류-교류 변환기에서는 전압제어를 수행하는 방식이다. 예를 들어 섬이나 산간지역 같은 고립지역에서는 부하의 변동에 대응하여 전력변환 시스템이 운용되어야 하므로 그림 5의 A형 운전방식을 선택하여야 하며, 안정적인고 견고한 배전계통이 연결된 경우에는 A형, B형 모두 선택 가능하지만 연료전지의 운전 상태 등을 고려한 B형 운전 방식이 선호된다.

그림 5 단상 전력변환 장치(에너지 저장요소가 없는 경우)

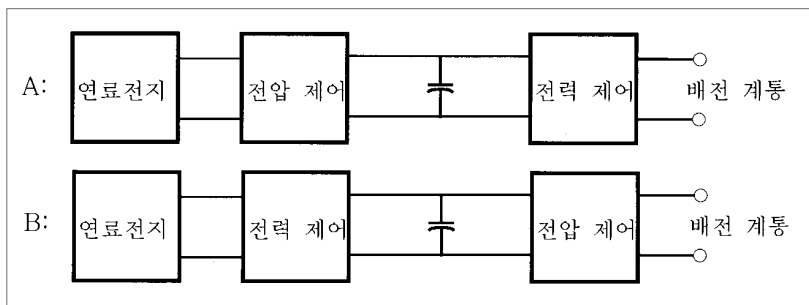
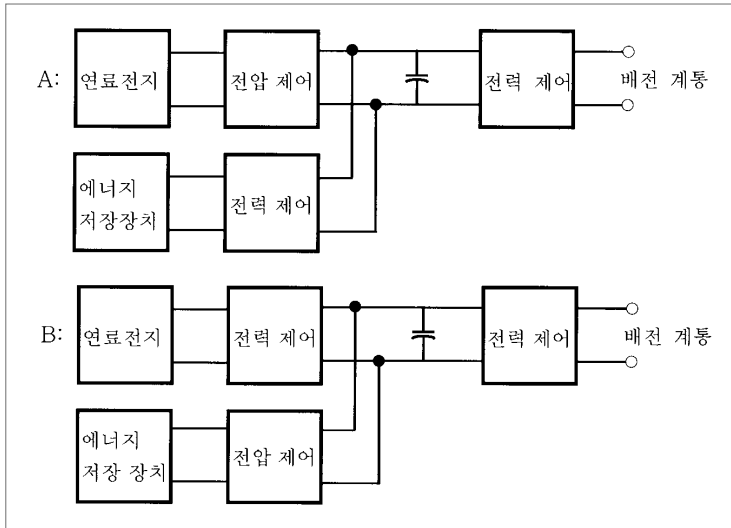


그림 6 단상전력 변환장치(에너지 저장요소가 있는 경우)



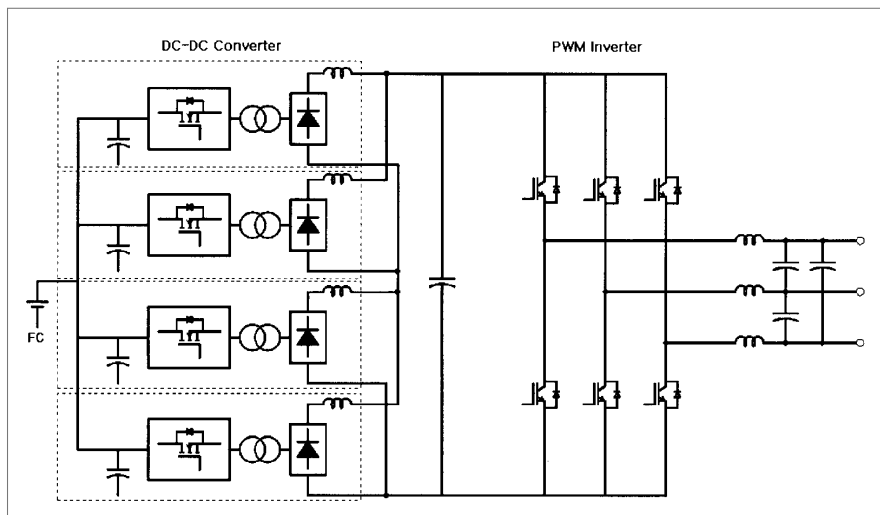
에너지 저장요소가 추가될 경우는 훨씬 많은 방식이 가능하지만 대표적으로 그림 6과 같은 방식을 고려해 볼 수 있는데, 직류-교류 변환기는 전력제어 방식으로 고정하고 A형은 연료전지측 전력변환기가 전압제어, 저장장치측 전력변환기가 전력제어 방식을 채택하고 있으며 B형은 그 반대로 연료전지측이 전력제어, 저장장치측이 전압제어 방식을 채택하고 있다. 여기서의 선택 기준은 에너지 저장장치가 어떠한가에 따라 달라질 수 있다. 예로서 축전지 같이 응답성이 낮은 에너지 저장장치를 연결하게 될 경우 빠른 속응성을 기대하기 어렵기 때문에 그림 6의 A형 방식

이 선호되며, 플라이휠이나 슈퍼커패시터 같은 빠른 속응성을 가진 에너지 저장장치 경우에는 그림 6의 B 방식을 채택할 수 있다. 이외에도 적용분야에 따라 다양한 제어 방식을 선택할 수 있는데 이때 선별에 영향을 주는 기준으로는 적용처, 발전 목적, 에너지 저장장치의 유무 및 형태, 수명 조건 등을 고려하여 적절한 방식을 선택하여야 한다.

#### 4.2. 삼상 변환 기술

삼상변환은 기본적으로 대용량일 경우가 많으며 연료전지에서 출력되는 전기가 저전압-대전류의 형태를 띠고 있기 때문에 직류-직류 변환기를 직병렬로 구성하여 필요한 전력을 얻고 있다. 대표적인 방식으로 직류측 절연 방식과 교류측 절연방식으로 구분하고 있는데 그림 7은 직류측 절

그림 7 직류측 절연방식 전력변환기





연방식의 대표적인 예를 도시하고 있으며 그림 8은 교류측 절연방식의 한 예를 보여 주고 있다.

그림 7의 직류측 절연 방식은 직류-직류 변환기에 고주파 변압기를 채택하여 입력과 출력을 전기적으로 절연하는 방식이므로 출력단을 임의의 직병렬 구성이 가능하다. 여러단의 직렬 방식을 채택하므로 출력 직류 전압을 고압으로 구현할 수 있기 때문에 대용량 구현이 용이한 장점이 있다. 반면에 단점으로는 전력변환 시스템의 가격이 고가이고 효율이 상대적으로 낮은 점이다.

그림 8은 직류측은 공통 전원을 사용하고, 얻은 직류 전압을 교류로 변환하면서 변압기를 통해 계통과 전기적인 절연을 이루고 있다. 직류-직류 변환기로 통상 Boost converter 방식을 채택하는데 이 방식은 고압을 임의로 높일 수 없으며 결국 출력 직류 전압이 제한된다. 입력전압을 증폭하는 비율은 대략 5배를 넘을 수 없다. 따라서 비교적 낮은 출력 직류 전압을 교류로 변환해야 하므로 대용량 구현은 제한적일 수밖에 없다. 이를 해결하기 위해 연료전지 출력 전압 즉 직류-직류 변환기의 입력 전압을 키우는

방법도 생각해 볼 수 있다. 연료전지 출력전압이 100V 정도일 경우에는 약 100kW까지는 실용화 가능하다. 그림 8과 같은 변환기는 그림 7 방식보다 고효율이 얻어지며 가격도 비교적 저렴한 장점을 가진다. 저압에서 용량을 키우는 문제는 소자의 개발에 따라 가변적이며 회로 방식을 선정하는데 있어서도 효율-가격-신뢰성-크기 등을 종합적으로 검토하여 결정할 사항이다.

### 4.3. 병렬 운전

일반적으로 분산전원시스템은 운전의 신뢰성, 소자들의 스트레스와 유지보수의 용이성 등으로 인해 병렬로 설치되는 것이 효율적이다. 병렬운전 방식은 크게 수동 방법과 자동 방법으로 분류되는데 다음과 같다.

#### 가. 수동 운전 방법

- Voltage Droop Method

Voltage Droop Method는 가장 간단한 방법으로 병렬 운전하는 컨버터 간의 통신(control-wire connection)을 필요로 하지 않는 장점을 가진다. 그림 9는 Voltage Droop Method를 설명하기 위한 것으로 컨버터 두 대가 병렬로 연결된 상태를 나타낸 것이다. 그리고 그림 10는 이 상태에서의 각 컨버터의 부하 특성 곡선을 나타낸 것으로 그림 10(a)는 각 컨버터의 부하특성

그림 8 교류측 절연방식 전력변환기

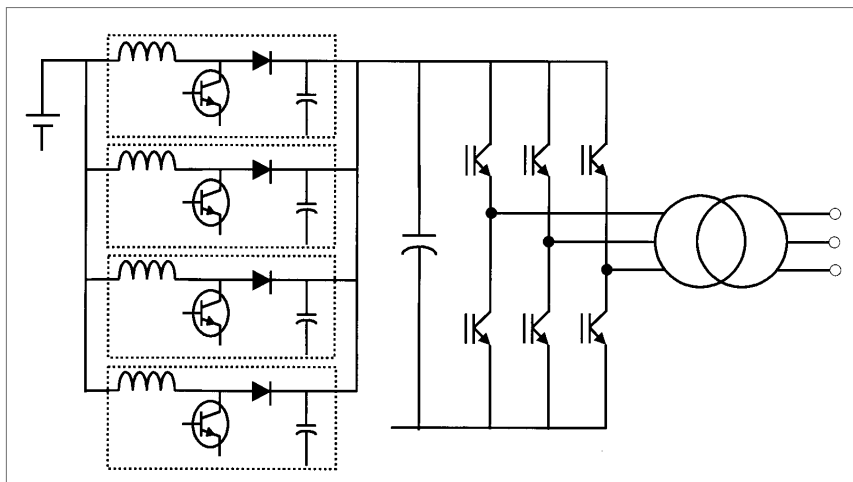
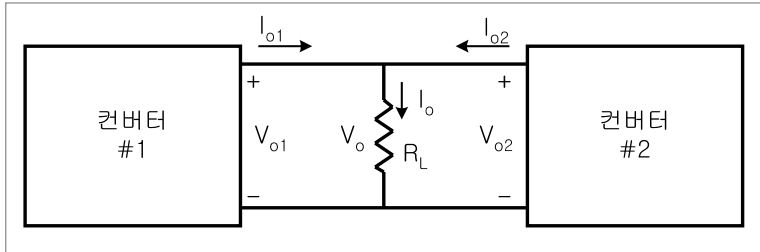




그림 9. 컨버터의 병렬운전



곡선이 일치 하지 않은 상태로 출력 전압이 결정되었을 경우, 전류 분배가 각각  $I_{o1}$ 과  $I_{o2}$ 로 균등하게 분배되지 못하는 것을 나타낸 것이고 그림 10(b)는 부하특성곡선이 일치하여 전류 분배가 균등하게 이루어지는 것을 나타낸 것이다. 동작전압과 출력전류의 동작점을 일치시키기 위하여 여러 가지 방법이 제시되고 있는데, 첫 번째 방법으로 컨버터의 출력부에 직렬저항을 삽입하여 부하특성 곡선을 일치시키는 방법으로 이 방법은 쉽게 구현이 가능한 장점이 있으나 직렬저항의 삽입으로 인해 효율을 저하시키므로 대전류 시스템에서는 좋은 방법이 되지 못한다. 다음 방법으로는 컨버터 내부에 있는 리액터

나 변압기의 설계를 약간씩 변화시켜 부하 특성 곡선을 일치시키는 방법이 가능하지만 구현상의 문제로 실현 가능성이 희박하다. 최근 제안된 방식으로는 각 컨버터의 출력 전류를 검출하여 전압 지령을 변화시키는 방식이다. 이 방법은 Voltage Droop Method

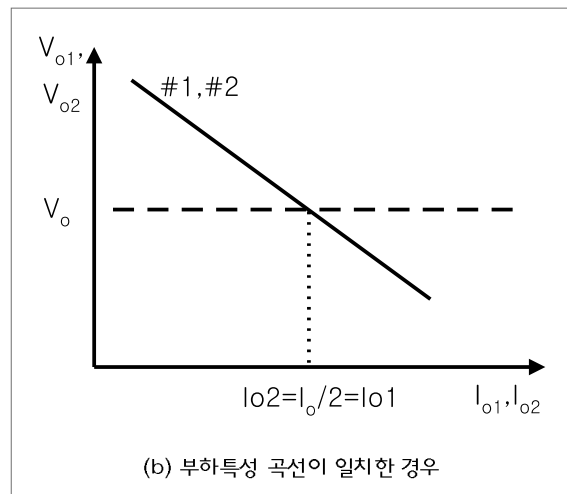
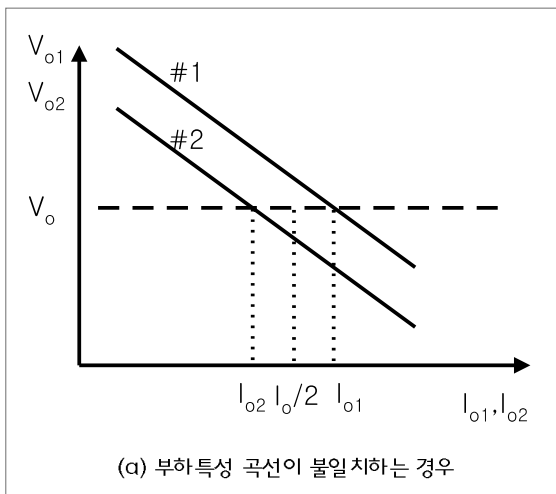
의 일종으로 병렬 컨버터 간의 통신이 필요 없다는 장점을 지니지만, 각 컨버터의 부하 특성곡선을 정확히 측정해서 프로그램 하여야 한다는 어려움을 지닌다.

#### 나. 자동 운전 방법

- Master-slave(MS) Method

이 방법은 대용량 분산 전원용으로 많이 사용되는 active current sharing 방법 중 하나이다. Active current sharing 방법은 droop방식과 달리 전압과 전류를 피드백 받아 제어하는 방식을 일컫는다. 특히 이 방법은 droop방법과 달리 병렬로 운전되는 각

그림 10. 병렬 운전 시 부하특성 곡선





컨버터의 입출력 특성을 정확히 이해할 필요가 없다. Master-slave 방법의 기본 제어구조는 그림 11과 같이 하나의 컨버터(master)는 전압제어만을 담당하고 이 컨버터의 출력 전류와 다른 컨버터(slave)의 전류 차가 전류지령이 되어 slave 컨버터는 전류제어를 담당하게 된다. 이 방식의 제어는 droop 방식에 비해서 각 컨버터의 부하 특성을 알아야 되는 단점을 보완할 수 있으며, 컨버터간의 통신을 필요로 하는 부분에 대해서는 하나의 제어기로 제어를 수행 하므로 이러한 단점을 극복할 수 있다. 하지만 제어기에서 볼 수 있듯이 master 컨버터의 전류가 slave의 전류지령으로 사용되기 때문에 master 컨버터에 고장이 발생하게 되면 전체 시스템이 멈춰져야 하는 단점을 지니고 있다. 하지만 active current sharing 방법 중에서 가장 간단한 방법으로 구현하기 쉽다.

- Automatic Master-slave(AMS) Method

이 방법은 Master-slave 방법에서 master 컨버터에 고장이 발생하였을 경우 전체 시스템이 정지되는 단점을 보완한 방법으로 그림 12와 같이 제어

기를 표현 할 수 있다. 이 제어 방법은 master 컨버터가 결정된 것이 아니라 출력전류가 큰 부분이

그림 11. Master-slave current sharing 제어블럭도

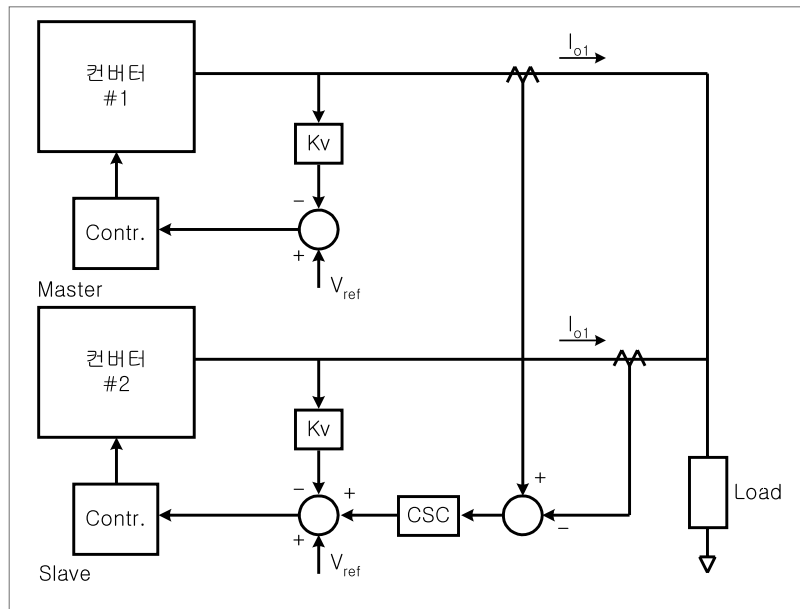


그림 12 Automatic Master-slave current sharing 제어블럭도

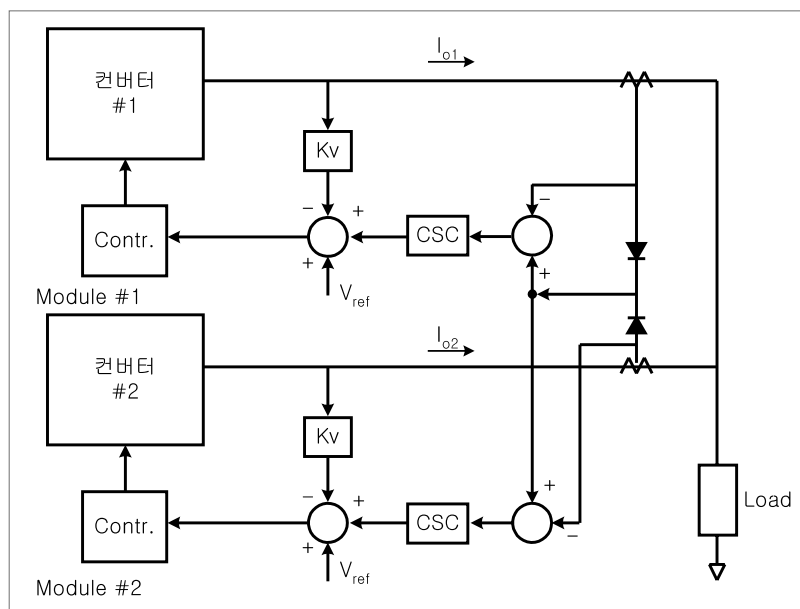
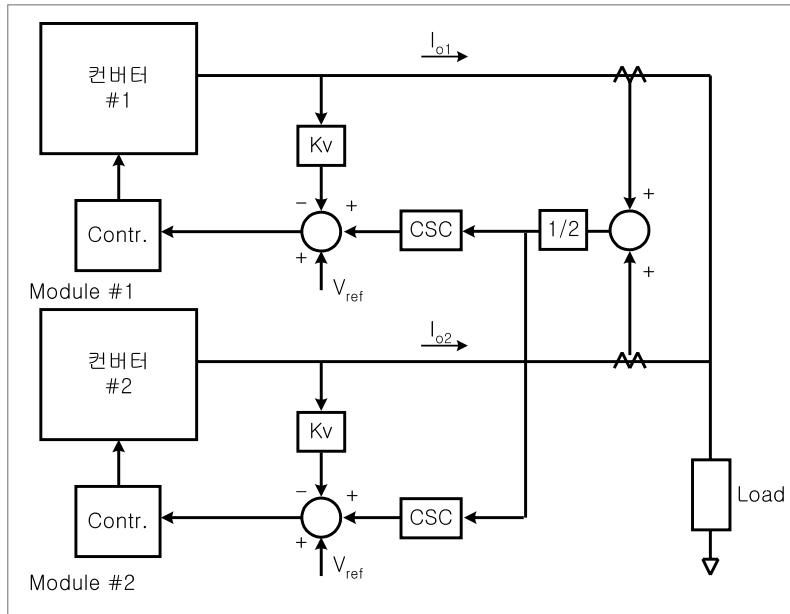


그림 13. Average control current sharing 제어블록도



터 #2보다 커질 경우 아래의 제어기로 동작하게 되며 반대인 경우 위쪽의 제어기로 동작하게 된다. 즉, 각 컨버터의 전류의 크기가 교체되는 순간 컨버터의 master 제어권이 함께 다른 컨버터로 변경되어 시스템이 불안정하게 될 우려가 있다.

- Average control Method  
Average control Method (평균전류방법)은 출력전류를 병렬 컨버터 개수로 나누어 전압 지령치에 가산하는 방법이다. 그림 13과 같이 제어가 이루어지는데 이는 automatic

master로 동작하게 된다. 따라서 하나의 컨버터가 고장이 발생할 경우 다른 컨버터가 master로 자동 설정되어 운전하게 된다. 하지만 이 방법은 chattering문제가 있는데, 이는 두 module이 거의 동일한 전류를 공급할 경우 master부분이 자주 변경되는 현상으로 출력 전류가 불안정하게 될 수가 있다. 그림 11에서와 같이 컨버터 #1의 전류가 컨버

master-slave방식과 비교해서 chattering문제 및 부하 변화 시 전류의 오버슈트 현상이 발생하지 않는다. 하지만 컨버터의 고장 발생시 정상적인 동작을 기대할 수 없는 단점을 지닌다. 이상과 같이 active current sharing 방법을 간단히 살펴보았는데, 표 1에 병렬 운전방식의 장단점을 간략하게 요약하였다.

표 1 병렬운전 제어방법의 장·단점

순번	종류	장점	단점
1	Voltage Droop Method	제어가 간단함 컨버터간의 통신이 필요 없음	효율이 나쁨 컨버터의 부하특성을 명확히 알아야 함
2	MS	제어가 간단함	Master컨버터 고장시 전체 시스템 중지
3	AMS	고장대처 능력우수	Chattering문제 제어가 상대적으로 복잡함
4	Average control	안정되고 정확한 전류 분배	제어가 상대적으로 복잡함

자료 : BTM Consult Aps, March 2002.



## 5. 결론

이상으로 미흡하나마 간략하게 연료전지의 특성과 현황 및 계통에 접속하기 위한 방법들을 살펴보았다. 대부분의 신재생 에너지원이 불연속적이고 단속적인 발전 형태인데 반해 연료전지 시스템은 전력제어를 임의로 수행할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점은 연료전지가 전력품질 및 전력공급의 안정화에 지대한 역할을 맡게 될 것으로 예상

되어지는 부분이다. 물론 여기에는 발전을 위한 대전제 즉 수소를 안정적으로 공급 받고 있다는 가정이 있으며 이러한 수소 공급은 향후 에너지원이 수소 중심으로 축이 바뀐다는 가정을 기반으로 하고 있다. 우리의 경제가 선진국으로 도약하기 위해 앞으로 전개될 수소 경제에 대비한 기술 구축을 확보할 필요가 절실하며 독자 여러분의 관심과 지원을 바란다.

