

## 펄스전원에 의한 수산화가스 발생기에 관한 연구

李政珉\*, 姜秉薰, 睦亨洙, 崔圭夏

### A Study on Analysis of the Hydrogen-Oxygen Gas Generator Using Pulse Power Supply

Jeong-Min Lee, Byoung-Hee Kang, Hyung-Soo Mok, and Gyu-Ha Choe

#### 요약

물을 전기분해하여 얻은 일정 부피비를 갖는 수소와 산소 혼합가스를 수산화가스로 명명하며, 이를 역반응시켜서 열 에너지원으로 사용하고 있다. 수산화가스는 경제성, 안전성 및 환경친화적인 고유한 특성을 지니고 있어서 현재 가스용접기에 적용하고 있으며 여러 가지 응용분야에 적용할 수 있도록 연구 중에 있다. 본 논문에서는 수산화가스의 특성에 관하여 고찰하고 발생기용 전원에 대하여 소개하고 이 중에서 아직까지 적용되지 않은 펄스전원을 적용하여 여러 가지 운전주파수에서 비교분석 하였다.

#### ABSTRACT

The mixed gas of Hydrogen and Oxygen is gained from water electrolysis reaction. It has constant volume ratio 2 : 1 Hydrogen and Oxygen, and it is used as a source of thermal energy by combustion reaction. This gas has better characteristics in the field of economy, efficiency of energy, and environmental intimacy than acetylene gas and LPG used for gas welding machine. So several studies of this gas are actively in progress nowadays. The object of this study is the optimization of power condition in the side of electricity for the Hydrogen-Oxygen gas generator. Firstly chemical analysis of electrolysis is conducted, and the relation of electrical energy and chemical energy is quantitatively investigated through Faraday's laws of electrolysis. After that, pulse power supply is designed for basic experiment which could be applied to the analysis of Hydrogen-Oxygen gas generator. In the basis of above steps, comparison and analysis of Hydrogen-Oxygen gas generator was conducted as variable frequency using pulse power supply.

**Key Words** : Hydrogen-Oxygen Gas, Electrolysis, Pulse power supply

#### 1. 서론

현대의 산업화는 연료용 에너지수요를 급증시켰고 화석연료의 고갈과 환경오염이란 문제를 낳고 있다.

따라서 대체에너지 및 에너지절약에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 물의 전기분해에 관한 연구는 발생하는 수소와 산소의 혼합가스 특성 때문에 많은 연구가 진행되고 있다. 수소와 산소의 부피비가 2:1인 혼합가스를 수산화가스로 명명하며, 이 혼합가스는 기존의 연료가스인 LPG와 아세틸렌가스 등에 비해 경제적, 환경적 측면에서 우수한 특성을 보여 큰 관심대상이 되고 있다. 수산화가스는 연소시 여러 가지 온도특성(600 ~ 6,400[°C])을 갖는 불꽃을 발생하며 경납 및 연납 등의 용접에 이용되며 우수한 불꽃 특성으로 인

\*다원시스 연구원

E-mail : neomin@dawonsys.co.kr

접수일자 : 2001. 5.22

1차심사의뢰일 : 5.28, 2차심사의뢰일 : 6.29

심사완료일 : 2001. 8.16

하여 이외에 가열장치에 응용할 수 있고 산업용 및 가정용보일러 등 적용분야가 확대되고 있는 추세이다. 따라서, 산업용 연료에너지로 대체할 경우 전기분해장치의 대용량화가 요구된다. 그러나 현재 공급전원, 전극구조, 재질, 전해질농도 등 발생효율의 최적화가 이루어지지 않았으며 국내 관련기술이 거의 없으므로 연구의 필요성이 크게 부각되고 있다.

본 논문에서는 물을 전기분해하여 발생하는 수산화가스의 특성에 관하여 화학적, 전기적인 시점에서 고찰하고, 기존방식에서는 공급할 수 없었던 여러 가지 주파수의 펄스전류를 적용하기 위해서 펄스전원을 설계 및 제작하고, 실험을 통하여 비교분석 하였다.

## 2. 수산화가스의 특성

물을 전기분해하여 얻는 수산화가스는 고유한 불꽃 특성을 지니고 있으며 기존연료용 가스와 비교하여 경제적, 친환경적으로 우수한 특성을 지니고 있다. 표 1에서 수산화가스와 기존 연료용 가스를 비교하였다<sup>1)</sup>.

### 2.1 내향폭발성

혼합가스에 불꽃을 점화하면 수소·산소의 자체 연소작용으로 1,860[L]의 혼합가스는 1[L]의 물로 부피가 축소된다. 그러므로 이 기체의 연소는 내향폭발하는 성질을 가지고 있다. 연소 후에 1,860[L] 혼합가스가 1[L]의 물로 부피가 감소하면 1,859배수의 진공상태를 만들어 낸다.

### 2.2 안전성 및 직진성

화학적 중성이므로 불꽃에서는 자외선을 방출하지 않고, 기존의 LPG 압력(20[kg/cm<sup>2</sup>])나 아세틸렌가스 압력(17.4[kg/cm<sup>2</sup>])에 비해 저압(2.8[kg/cm<sup>2</sup>])으로 사용가능하기 때문에 압력에 의한 위험이 없다. 또한 외향폭발(explosion)하지 않고 내향폭발성으로 불꽃이 넓게 퍼지지 않고 직진하는 성질을 가진다. 불꽃의 직진길이는 약 400[mm]까지 가능하다.

### 2.3 경제성

기존 가스용접에서 열 에너지원으로 사용되는 LPG와 아세틸렌가스에 비교하면 다음과 같다. 동일한 열량인 5,000[Kcal]을 만들기 위해 필요한 비용이 LPG는 1,690원이고, 아세틸렌가스는 9,974원에 비해 물을 전기분해하여 만들어진 혼합가스의 비용은 526원이다.

그러므로 물을 전기분해하여 얻은 수산화가스는 기

존 연료가스에 비해 5~15배정도 비용을 절감하는 저비용 에너지원이다.

## 2.4 환경친화성

혼합가스를 연소하면 수소와 산소가 반응하여 다시 물을 생성하므로 이산화탄소는 발생하지 않는다. 반면에 LPG나 아세틸렌가스는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 발생량이 75[ppm]이나 되므로 수산화가스는 이산화탄소에 의한 지구 온난화 현상을 막을 수 있다. 또한 연소시에 산소는 필요하지 않아서 밀폐된 장소에서도 연소가 가능하다.

표 1 수산화가스와 기존 연료용 가스의 비교

Table 1 Comparison of Hydrogen-Oxygen gas and fuel gas

구분	수산화가스	LPG	아세틸렌
압력 [kg/cm <sup>2</sup> ]	2.8	20	17.4
열량 [Kcal]	5,000	5,000	5,000
소요경비 [원]	526	1,690	9,974
CO <sub>2</sub> 발생량 [ppm]	0	75	75

## 3. 수산화가스의 화학적인 분석

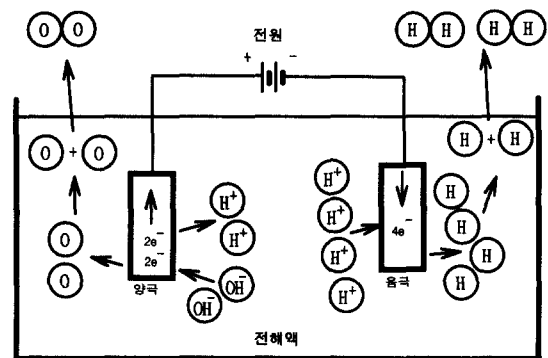
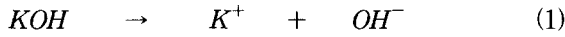


그림 1 물 전기분해 모식도

Fig. 1 Diagram of water electrolysis

일반적으로 물을 전기분해 시키기 위해서는 산화되기 어려운 금속판 2개와 전기분해시 필요한 전압의 크기를 줄이기 위한 전해질(KOH), 물(이온화되지 않은 순수한 물)로 구성된 전해조와 전기에너지 공급원인 직류전원을 필요로 한다. 그림 1은 물의 전기분해를 간단히 설명하기 위해 나타낸 모식도이며, 물에 녹아

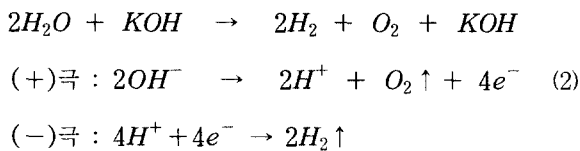
있는 전해질(KOH)은 다음 식 (1)과 같이 이온화된다.



칼륨양이온(K<sup>+</sup>)은 물(H<sub>2</sub>O)과 반응성이 매우 크므로 접촉하면 즉시 수소양이온(H<sup>+</sup>)을 물에서 떼어내는 산화반응을 하여 결국 물을 수소양이온(H<sup>+</sup>)과 수산화음이온(OH<sup>-</sup>)으로 분리시킨다.

전원이 인가되면 칼륨양이온(K<sup>+</sup>)보다 환원력이 더 큰 수소양이온(H<sup>+</sup>)이 전기적인 인력으로 음극으로 끌려가 전자 1개를 얻는 환원반응을 통해 단원자 수소(H)가 된다. 이 단원자 수소(H)는 원자상태로 발생할 수도 있지만, 대부분 두 개의 단원자가 결합하여 이원자 분자인 수소기체분자(H<sub>2</sub>)가 되어 발생한다.

한편 양극에서는 수산화음이온(OH<sup>-</sup>)이 전기적인 인력으로 끌려와서 산화반응(H<sup>-</sup>)이 전자 2개를 잃어서 H<sup>+</sup>으로 바뀌는 반응을 하고 동시에 단원자인 산소(O)와 수소양이온(H<sup>+</sup>)으로 분리된다. 이 단원자 산소(O) 역시 단원자로 발생할 수도 있지만 대부분 두 개의 단원자가 결합하여 이원자 분자인 산소기체분자(O<sub>2</sub>)가 되어 발생한다. 이 때 산소원자와 분리된 수소양이온(H<sup>+</sup>)은 인력에 의해 음극으로 다시 이동하여 앞에서 언급한 환원반응을 한다. 위의 과정들은 실제반응에서 H<sub>2</sub>O, KOH, H<sup>+</sup>, OH<sup>-</sup>, K<sup>+</sup>와 용액에 포함된 불순물들의 상호작용으로 더욱 복잡해진다. 이와 같은 내용을 화학반응식으로 표현하면 다음 식 (2)와 같이 간단히 나타낼 수 있다.

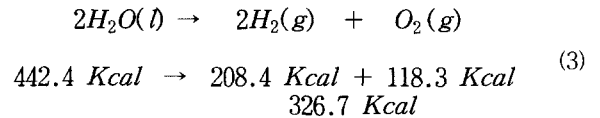


위의 반응을 결합에너지관계로 해석하면 표 2에 나타난 원자들간의 결합에너지로 계산할 수 있다. 여기에서 결합에너지란 분자를 원자로 끊어내기 위해 필요한 에너지를 의미한다.

표 2 결합에너지관계  
Table 2 Bond energy relation

원자의 결합에너지(Kcal)	
H-H : 104.2 Kcal	O-O : 118.3 Kcal
H-OH : 119.7 Kcal	H-O : 101.5 Kcal

물분자의 결합에너지는 H-OH결합과 H-O결합이 함께 들어 있고, 수소분자와 산소분자의 결합에너지는 위의 관계를 대입하여 다음 식 (3)과 (4)로 나타낼 수 있다.



$$442.4 \text{ Kcal} - 326.7 \text{ Kcal} = 115.7 \text{ Kcal} \quad (4)$$

일반적으로 물을 전기분해할 때 물분자의 결합에너지(442.4Kcal)는 전기에너지가 공급되어 물분자(2H<sub>2</sub>O)를 각각의 단원자로 분리하는데 사용되는 열에너지를 의미하고, 생성된 수소기체분자(H<sub>2</sub>)와 산소기체분자(O<sub>2</sub>)가 가진 결합에너지(326.7Kcal)는 반대로 분리된 원자들이 분자로 재결합할 때 얻을 수 있는 열에너지를 의미한다. 그러므로 식 (4)의 우항에 있는 에너지 115.7 Kcal는 물분자에 전기에너지가 공급되어 열에너지로 방출되고 남은 에너지(저장된 에너지)이며, 이 에너지는 수소기체(H<sub>2</sub>)와 산소기체(O<sub>2</sub>)가 연소반응하여 다시 물(H<sub>2</sub>O)로 될 때, 열 에너지원으로 사용되는 에너지를 의미한다. 그런데, 발생된 수소(H<sub>2</sub>)와 산소(O<sub>2</sub>)가 이원자 분자가 아닌 단원자 상태라면 수소기체분자(H<sub>2</sub>)와 산소기체분자(O<sub>2</sub>)로 재결합할 때 밖으로 소모되는 열에너지가 없을 것이므로 공급된 전기에너지는 모두 열 에너지원으로 모두 사용될 수 있을 것이다.

그러므로 위의 전기분해과정에서 언급된 물 전기분해가스는 이원자분자인 수소기체(H<sub>2</sub>)와 산소기체(O<sub>2</sub>)뿐만 아니라 단원자인 수소원자(H)와 산소원자(O)도 포함할 수 있으므로 식 (4)의 에너지(115.7Kcal)보다는 더 많은 에너지를 열에너지로 사용할 수 있다. 따라서 에너지사용 효율도 증가되며 일반적인 전기분해시 방출되는 열에너지보다 적은 열이 방출되기 때문에 반응시 온도상승이 적게된다<sup>[2][3]</sup>.

#### 4. 수산화가스의 전기적 분석

전기분해에서 전하량과 분해물질의 석출량을 정량적으로 분석하기 위해서는 페러데이의 전기분해 법칙이 필요하다. 페러데이 법칙(Faraday's laws)을 정리하면 다음과 같다<sup>[5]</sup>.

[1] 전기분해에 의해 전극에 석출되는 물질의 총량은 전극을 통과하는 전하의 총량에 비례한다.

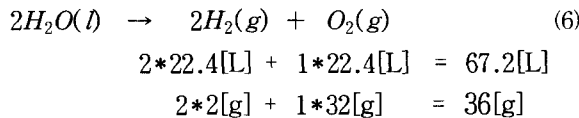
[2] 전극에 생성되는 물질의 총량은 그물질의 화학당량에 비례한다.  
(페러데이 상수에 해당하는 전하량은 분해되는 물질의 화학당량을 석출한다)

$$\text{Faraday constant} = 9.648670 \times 10^4 \text{ [C/mol]}$$

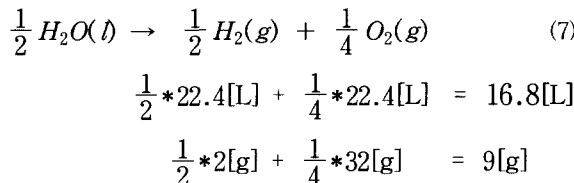
위에서 정의한대로 페러데이 법칙은 전기분해시에 전하량과 화학당량사이의 관계를 보여준다. 여기에서 화학당량은 물질을 구성하는 각 원소의 원자량과 원자가에 의해서 계산한다. 화학당량은 원자량을 원자가로 나눈 값이며 물의 화학당량을 구하면 식 (5)와 같다.

$$\begin{aligned} \text{물의화학당량} &= \frac{\text{원자량}}{\text{원자가}} \\ &= \text{수소의화학당량} + \text{산소의화학당량} \\ &= \frac{1}{1} + \frac{16}{2} \end{aligned} \quad (5)$$

물은 수소와 산소로 구성된 이원자분자이므로 수소와 산소의 화학당량을 각각 구하고, 그 값을 합하면 9[g]이다. 전기분해 전체반응식에서 반응계수는 질량과 부피를 구할 수 있는 계수이며, 또한 몰수를 의미한다. 각 원소의 분자량에 계수를 곱하여 질량을 구하고 아보가드로의 법칙에 의한 부피를 계수를 곱하여 부피를 구한다. 다음 식은 전체반응식에 해당하는 반응질량과 부피의 관계를 나타낸다.



위의 반응 후 생성되는 전체질량은 36[g]이므로 물의 화학당량인 9[g]에 대응시켜서 전체반응식의 계수를 수정하면 다음과 같다. 화학당량에 해당하는 부피는 16.8[L]임을 알 수 있다.



전기분해에 관한 페러데이의 법칙에 의해서 96486.70[C]의 전하량으로 물의 화학당량에 해당하는

질량인 9[g]을 전기분해 시킬 수 있고, 이때 발생하는 수소와 산소 기체부피는 16.8[L]이다. 1시간동안 96486.70[C]의 전하량이 공급되기 위해서는 전류와 시간 관계를 전하량으로 나타낸다.

$$Q[C] = I[A] \times t[\text{sec}] \quad (8)$$

위 식을 1시간동안 흐르는 전류를 구하기 위해서 다음과 같이 구한다.

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{96486.70}{3600} = 26.80 \text{ [A]} \quad (9)$$

그러므로 96486.7[C]의 전하량은 1시간동안 26.80[A]를 전기분해시에 공급하고, 이때 발생하는 기체부피는 16.8[L]이다. 전해액이 수산화칼륨일 때, 전극사이의 전압은 일반적으로 2.1[V]이다. 전기분해용 전극을 1개로 두고 1시간동안 흐르는 전류가 26.80[A]이면 공급된 전력량을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} P &= V \times I \times h & (10) \\ &= 2.1 \times 26.6 \times 1 = 56.28[\text{Wh}] \end{aligned}$$

전력량 56.28[Wh]에 해당하는 전기에너지를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E &= V \times I \times t & (11) \\ &= 2.1 \times 26.8 \times 3600 = 202,608[J] \end{aligned}$$

결론적으로 전기에너지 202,608[J]는 물을 전기분해하여 수소, 산소기체로 생성하고, 이때 기체부피가 16.8[L]이면 효율은 100[%]를 의미한다. 또 202,608[J] 전기에너지는 전력량으로 환산하면 56.28[Wh]이므로 실험에서 전력량계와 가스부피측정기를 사용하여 측정하고, 결과로부터 효율을 계산할 수 있다.

## 5. 전기분해용 전원

### 5.1 기존 전원방식

물을 전기분해하기 위해서는 직류전원장치가 필요하다. 기존의 전기분해전원은 용량에 따라 두 가지 전원방식을 사용하고 있다. 첫 번째 방식은 그림 2와 같이 일정한 직류전원을 얻기 위한 방식으로 저용량인 2.4[kW]급 이하에서 사용되고 있다. 제어회로를 내장하지 않고, 변압기와 정류기회로만으로 구성된다. 변압

기는 강압용 변압기이며, 부하와 전원을 접지 분리하는 역할과 변압기의 변압비에 의해 교류전압을 알맞게 강압하는 역할을 한다. 정류기에서 교류를 직류전원으로 변환하고 부하에 직류를 공급한다. 부하전단에 연결한 직류 리액터는 부하와 전원을 연결하는 완충작용을 한다. 이 방식은 전원의 제어가 불가능하고 용량이 증가함에 따라 변압기의 크기와 무게가 증가하며, 전원성능 및 효율을 개선할 수가 없다. 또한 전극의 산화로 인해 부하특성이 변화되더라도 전원은 제어되지 않으므로 출력 및 효율은 더욱 저하된다. 기존에 사용되는 전기분해용 전극은 철에 니켈도금을 하여 사용하고 있으며, 이 전극의 수명은 1년밖에 되지 않고 특히 산소가 발생하는 양극은 부식정도가 심하여 전극전체를 교체해야만 한다.

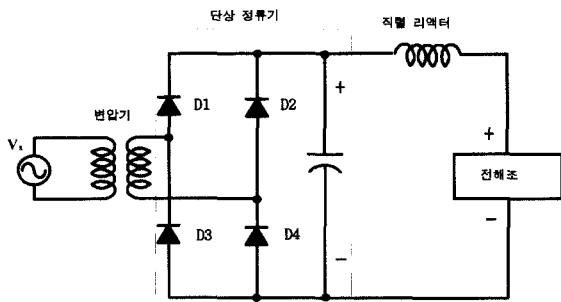


그림 2 전기분해용 전원  
Fig. 2 Electrolysis circuit

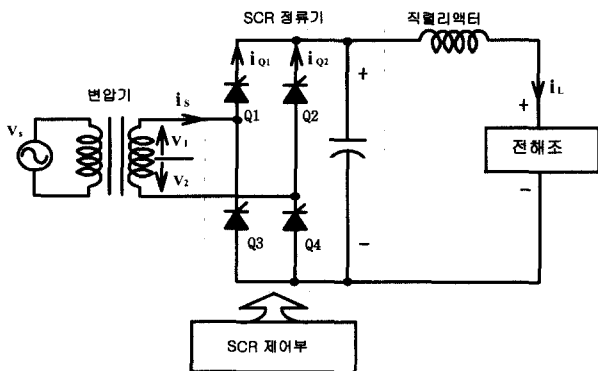


그림 3 SCR을 내장한 전기분해용 전원  
Fig. 3 Electrolysis circuit with SCR

두 번째 방식은 SCR(Silicon-Controlled Rectifier)을 내장한 전원을 사용한다. 이 방식은 대용량인 10~20[kWh]급에서 사용되고 있으며, 구성은 그림 3에서와 같이 SCR정류기와 제어회로가 첨가된 것을 제외하면

첫 번째 방식과 동일하다. 여기에서 사용된 전원제어는 단순히 다이오드의 도통각을 제어하여 부하에 공급되는 전류만을 제어한다.

제어회로는 도통각  $\alpha$  를 0~180° 사이에서 SCR을 구동시킬 수 있도록 구성되어 있다. 그러므로 제어범위가 제한되며, 최적의 성능개선을 할 수가 없다. 이 방식 역시 상용변압기를 사용하므로 대용량 기기에서 변압기의 크기와 무게가 전원장치의 대부분을 차지할 정도로 크고 무겁다. 또한 제어방식이 피드백에 의해 제어하지 않고 개루프(Open Loop) 방식을 취하고 있으므로 제어의 신뢰성이 떨어지고 과형제어가 불가능하며 효율증가를 위한 전원측의 개선은 생각할 수가 없다. 기존 전원방식의 단점을 한가지 더 추가하자면 전극의 수명은 짧은 것이다. 산화되는 (+)극에 의해서 좌우되는 전극수명이 1년 정도 밖에 되지 않고, 이에 대한 대책이 없다는 것이다. 그러나 이 방식의 장점은 전원을 구성하는 소자들의 값이 싸기 때문에 제작비용을 절감하는 측면에서 이롭다.

5.2 새로운 방식의 전기분해전원

본 논문에서는 기존의 수산화가스 발생기 전원의 단점을 개선할 전원을 제안하였다. 제어범위를 확장하고 전원장치의 부피와 무게를 줄이며 전극의 수명을 연장하고, 또한 물을 전기분해 할 때 효율적인 반응을 위해 특정 주파수의 펄스전원이 인가되는 전원방식을 제안하였다. 이러한 기능을 수행하기 위해서 인버터를 이용하고 마이크로프로세서인 80c196kc로 제어회로를 구성한다. 인버터는 상용전원의 주파수(60[Hz])를 고주파(수십[kHz])로 전환하기 때문에 변압기의 크기와 무게가 현저하게 감소한다. 기존 방식인 개루프 제어를 하지 않고 폐 루프 제어를 하기 때문에 제어의 신뢰성이 증가한다. 수산화가스 발생기의 효율을 증가시키기 위한 특정 주파수의 펄스전류를 부하에 공급하기 위해

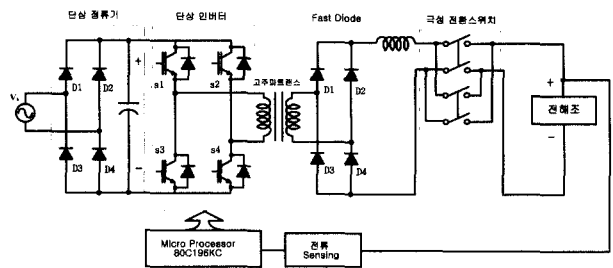


그림 4 제안된 전기분해용 펄스전원  
Fig. 4 Proposed pulse power supply for electrolysis

서 부하전류를 피드백 신호로 바꾸어 제어신호로 사용하며, 기준전류신호를 추종하도록 제어기를 구성한다.

전극의 수명을 연장하기 위해서 (+)극과 (-)극의 극성을 일정시간마다 전환하는 회로를 구성하여 산화되는 (+)극을 교대로 분담함으로써 극판의 소모를 줄이고자 한다. 제안된 전원방식은 그림 4와 같이 구성된다.

출력전류를 제어하기 위한 인버터의 제어기에는 인버터의 출력전류가 기준전류신호를 추종하도록 제어하는 전류제어부와 전류제어기를 통하여 출력된 신호를 인버터에 인가할 펄스형태의 스위칭함수로 변환하는 PWM 변조부로 구분된다. 그림 5는 이러한 전류제어기의 블럭선도이고, 그림에서  $I_{ref}$ 는 인버터의 출력전류가 추종해야하는 기준전류신호이고  $I_{real}$ 은 실제 인버터 출력전류이다.

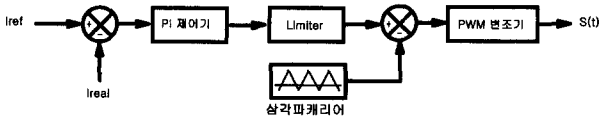
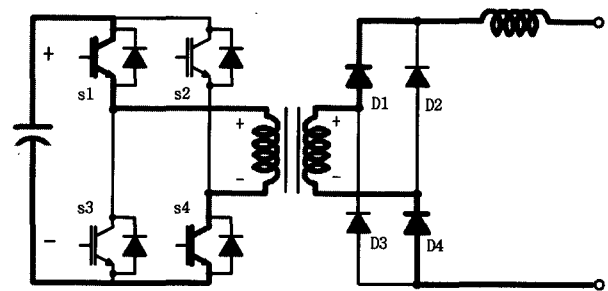


그림 5 전류제어기 블럭도  
Fig. 5 Block Diagram of Current Controller

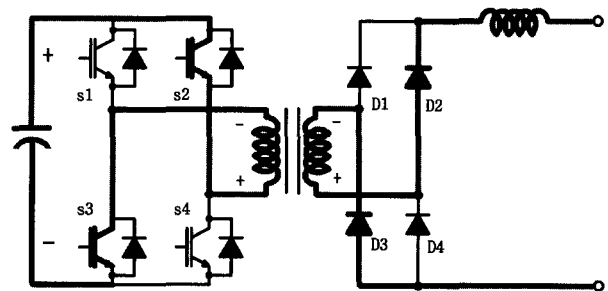
인버터의 출력전류를 제어하는 전류제어방식에는 대표적으로 PI제어기, 히스테리시스 제어기, 예측제어기, 적응제어기 등이 있다. 본 연구에서는 아날로그로 구현이 간단하고 저가의 PI 제어기를 사용하여 설계한다. PI 제어기법은 기준전류신호와 인버터 출력전류신호를 비교하여 P의 비례제어기와 I의 적분제어기에 의해 에러신호를 증폭하고 그 신호를 삼각파와 비교하여 인버터에 인가할 PWM함수를 발생하는 제어기법이다.

PI 제어기법은 SPWM(Sinusoidal Pulse Width Modulation) 제어방식 혹은 삼각파 비교방식이라고도 하며 아날로그로 구현이 간단하고 저가의 제어기 구성이 용이하며 정상상태 및 과도상태 특성이 양호한 장점은 있으나 비례제어기만을 사용시 정상상태 오차가 계속 존재한다는 단점이 있다.

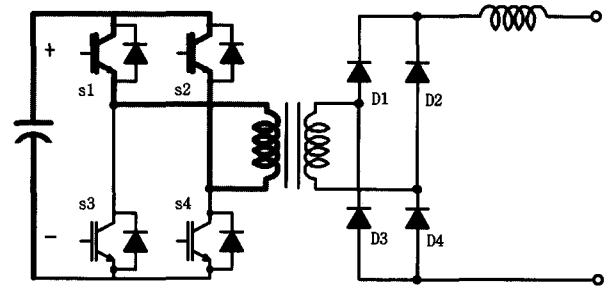
인버터의 동작모드는 다음 그림 6과 같이 4가지 모드로 나눌 수 있다. (a), (b)모드는 부하 측에 고주파변압기와 정류기를 통하여 전력을 공급하며, 인덕터에 흐르는 전류가 증가하는 구간이다. (c), (d)모드에서는 부하에 전력이 공급되지 않고, 인덕터에 흐르는 전류가 감소하는 구간이다.



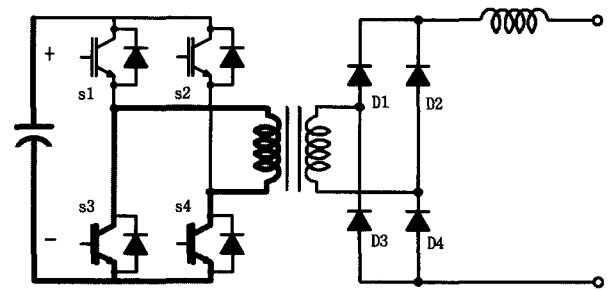
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 6 인버터 동작모드  
Fig. 6 Operation mode of inverter

### 6. 실험 및 시뮬레이션

그림 4에서 소개한 펄스전원을 설계하고 이를 바탕으로 시뮬레이션을 하고 수산화가스 발생장치에 펄스전원의 적용과 구현 가능성을 확인할 수 있다. 시뮬레이션은 Power Simulation(PSIM) 프로그램을 사용하고 시뮬레이션결과를 참조하여 전원을 제작하였다. 제작된 펄스전원을 수산화가스 발생기에 연결하여 실험하였고, 실험결과와 시뮬레이션결과가 동일함을 알 수 있었다. 또한 여러 가지 주파수별로 펄스전원을 실험하고 이때 발생하는 수소와 산소의 혼합가스 부피를 측정하며 공급된 전력량을 적산하여 전기분해장치의 에너지변환결과를 분석하였다.

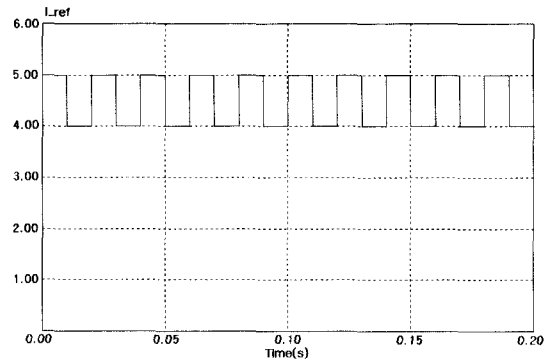
#### 6.1 시뮬레이션 결과

표 3 시뮬레이션 조건  
Table 3 Simulation condition

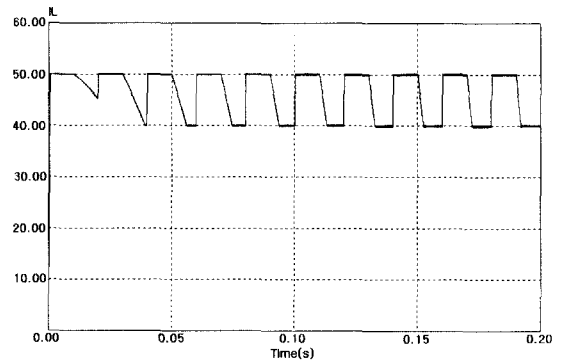
입력교류전압	220[V], 60[Hz]
커패시터	6000[uF]
직류 리액터	1.5[mH]
고주파변압기 전압비	2 : 1
PI제어기	P=10, I=1
삼각파캐리어 주파수	15[kHz]
부하저항	0.1[Ω]
부하커패시터	1[F]

펄스전원의 설계를 검증하고 구현가능성을 확인하기 위하여 시뮬레이션을 하며 구성소자의 정격을 선정할 수도 있다. 시뮬레이션에 사용한 전원의 상태와 소자 특성 및 PI 제어기의 비례제어기 계수, 적분제어기 계수를 표 3에서 나타낸 값을 사용하였다.

그림 7과 그림 8은 제어하고자하는 기준전류신호와 부하전류 파형이다. 주파수50[Hz]인 기준전류신호를 부하전류가 잘 추종하고 있다. 펄스전류가 상승하는 과도상태에서는 제어가 잘되지만 부하의 커패시터성분 때문에 하강시점에서 약간 지연되고 있음을 알 수 있다. 제어기는 일반적으로 구현하기 쉽고 저가의 PI제어기를 사용하였고, 제어기 출력에 제한기(Limiter)를 연결하여 출력신호의 포화를 방지하였다.



(a)



(b)

그림 7 (a) 기준전류신호 (b) 부하전류  
Fig. 7 (a) Reference signal (b) load current

#### 6.2 실험 결과

설계에 의한 펄스전원장치를 다음 표 4와 같은 사양으로 제작하였다. 구성된 실험장치는 그림 8과 같다.

또한 시뮬레이션결과를 토대로 펄스전류의 주파수를 50~500[Hz]로 변화시켜 각각 실험하였다. 이때 펄스의 듀티는 일정하게 75[%]로 고정시켰다.

표 4 실험장치 사양  
Table 4 Experimental equipment specification

인버터 스택 용량	10[kVA]
스위칭 주파수	15[kHz]
마이크로프로세서	80c196kc
고주파변압기 전압비	2 : 1
삼각파캐리어 주파수	15[kHz]
전해조	15셀 구성

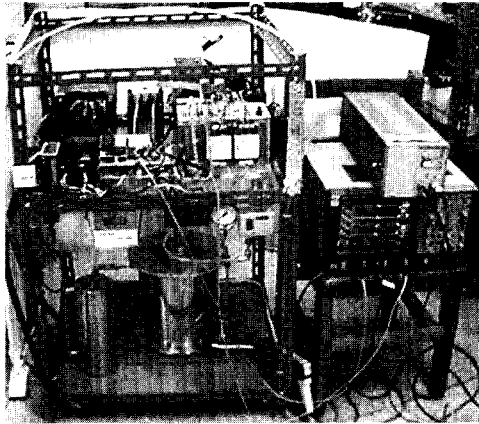
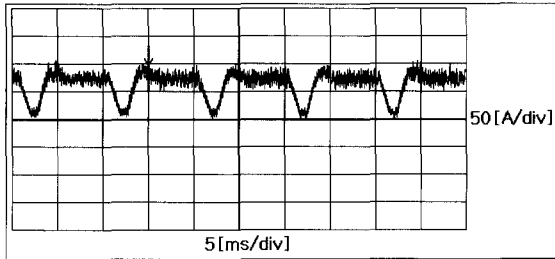
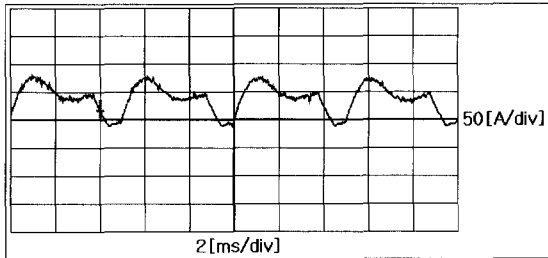


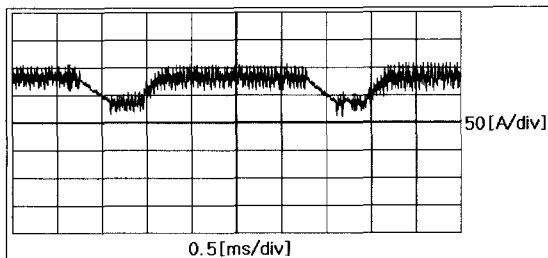
그림 8 실험장치  
Fig. 8 Experimental equipment



(a)



(b)



(c)

그림 9 (a) 100Hz (b) 200Hz (c) 400Hz 부하전류 파형  
Fig. 9 (a) 100Hz (b) 200Hz  
(c) 400Hz load current waveform

그림 9는 100, 200, 400[Hz]의 부하전류 파형이다. 200[Hz]에서 전류파형이 왜곡되는 이유는 부하측에 연결된 전류제어용 직렬 인덕턴스 값이 크기 때문이다. 또한 부하의 커패시턴스 성분에 의해서 펄스의 상승과 하강시점에서 전류가 지연되고 있음을 알 수 있다.

펄스전류의 주파수를 50~500[Hz]로 변화시켜 각각 실험한 결과를 표 5와 같이 정리할 수 있고, 이때 발생 가스량과 입력전력량을 측정하여 전기분해 시에 발생한 혼합가스부피 대 공급된 전력량의 비(16.8[L] / 56.28[Wh])를 "1"로 보고 결과 값을 환산하였다.

그림 10은 각 주파수별 공급전력과 발생가스량의 비를 그래프화하여 나타내었다.

표 5 실험결과표  
Table 5 Experimental result table

주파수 [Hz]	전류 실효값[A]	전력량 [Wh]	가스발생량 [L/h]	부피& 전력량 환산 값
50	4.119	904.181	136.4	0.505
100	4.125	907.430	131.6	0.486
150	4.240	932.696	139.2	0.500
200	4.357	958.542	138.8	0.485
250	4.442	977.181	144.4	0.495
300	4.587	1009.167	155.6	0.516
350	4.597	1011.253	150.8	0.500
400	4.914	1081.037	169.2	0.524
450	4.745	1043.972	156.4	0.502
500	5.003	1100.752	158.0	0.481

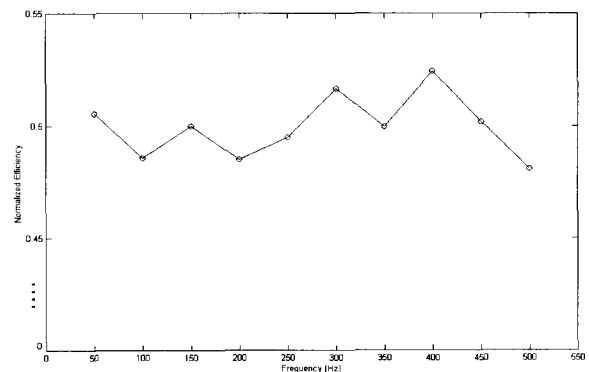


그림 10 각 주파수별 공급전력과 발생가스량의 비  
Fig. 10 Ratio of supply power to quantity of gas generation at each frequency



### 7. 결 론

본 논문에서는 물을 전기분해 시에 발생하는 일정부 피비의 수소·산소혼합가스(수산화가스)에 대하여 소개하고 수산화가스의 화학적인 특성 및 전기적 해석을 통하여 수산화가스 발생기의 전원부를 설계하고자 하였다. 특히 전기분해 시에 석출된 물질은 통과하는 전하량에 비례한다는 패러데이 법칙을 통해서 흐르는 전류의 양이 수산화가스를 발생시키는데 중요한 인자임을 알 수 있었다. 이때 전극전압은 전극간에 전류를 흐르게 하는 전압차이므로 전압을 높게 할수록 전류는 많이 흐르지만 대부분이 열로 방출되어 효율을 저하시키는 요인이 된다. 그러므로 낮은 전압으로 많은 전류를 흐르게 하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 기존에 사용해 오던 수산화가스 발생기용 전원에 대하여 고찰하였고, 여러 가지 단점들을 보완하기 위하여 펄스전원방식을 제안하였다. 우선 제어를 하지 않는 직류전원방식과 제어 범위가 제한되는 SCR정류 방식에 대하여 일정 주파수의 펄스전류로 제어하는 방식을 설계하였다. 또한 무게와 부피가 현저히 큰 상용변압기를 사용한 기존방식에서 고주파변압기로 대체하여 전원장치의 무게와 부피를 감소시켰다.

본 연구에서 제작한 펄스전원을 사용하여 펄스전류의 주파수를 50~500[Hz]로 실험했을 때, 입력전력에 대한 출력인 혼합가스부피를 비율로 환산하여 각각을 비교해 보았다. 표 5의 결과와 그림 10을 보면 400[Hz]에서 가장 높은 값을 보임을 알 수 있었고, 주파수에 따라서 각각 다른 결과를 보이고 있으며 이는 펄스전류의 주파수가 물 전기분해반응에 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

향후 연구과제로는 전기분해 시에 발생하는 반응열과 전기분해효율의 관계를 도출하여 이에 상응하는 전원부를 설계하는 것과 낮은 전압에서도 많은 전류를 공급할 수 있도록 전해조 구조를 개선하는 것이다.

본 연구는 한국과학재단의 지원에 의해 이루어진 연구결과  
의 일부임. (특정기초연구 과제번호 : 2000-2-30200-011-3)

### 참 고 문 헌

[1] 서상민, 이우섭, 이찬수, 강준구, "CLEAN GAS 발생기의 기본원리", *용접기술*, pp. 86~93, 2000년 7월.  
[2] George Wiseman, *Brown's Gas, Book1*, Eagle Rearch,

1995.

[3] George Wiseman, *Super Gas Saver Secretes*, Eagle Rearch, 1990.  
[4] 설수덕, *무기공업화학*, 대영사, pp. 184~192, 1996.  
[5] Lerner Rita G, Trigg G., *Encyclopedia physics*, VCH publishers, pp. 272~273, 1991.  
[6] Lander, *Power Electronics*, McGRAW, 1993.  
[7] 최규하, 채영민, "인버터 용접기의 전력변환회로 및 제어 기법", *대한용접학회지 제16권 3호*, pp. 29~39, 1998.

### 저 자 소 개



#### 이정민(李政珉)

1972년 9월 17일생. 1997년 건국대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년~현재 다원시스(주) 연구원.



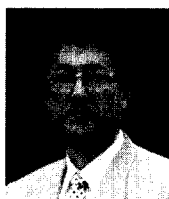
#### 강병희(姜秉熹)

1966년 5월 19일생. 1993년 건국대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 졸업(석사). 1995년~1998년 삼성종합기술 연구소 연구원. 현재 동 대학원 박사과정.



#### 목형수(睦亨洙)

1963년 10월 31일생. 1986년 서울대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 졸업(석사). 1992년 동 대학원 졸업(공학박). 1992년~1996년 서울산업대 제어계측공학과 조교수. 현재 건국대 전기공학과 교수. 당 학회 학술위원.



#### 최규하(崔圭夏)

1978년 서울대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 졸업(석사). 1986년 동 대학원 졸업(공학박) 1987년~1988년 미국 오레곤주립대 Post-Doc. 1998년~1999년 미국 버지니아 주립대 교환방문교수. 1997년~1998년 건국대 연구처장. 2001년 현재 건국대학교 전기공학과 교수 및 전력전자신기술연구소 소장. 당 학회 부회장.