

## 전류제어형 펄스전원장치를 이용한 수산화 가스 발생 특성 연구

양승헌, 강병희, 전윤석, 목형수, 최규하  
 건국대학교 전기공학과

### A Study on the Generating feature of Hydrogen Oxygen Gas Using Current Controlled Pulse Power Supply

S.H. Yang, B.H. Kang, Y.S. Jun, H.S. Mok, G.H. Choe  
 Dept. of Electrical Engineering, Konkuk University

#### ABSTRACT

Water-Electrolyzed gas is a mixed gas has the constant volume ratio 2 : 1 Hydrogen and Oxygen gained from electrolyzed water, and it has better characteristics in the field of economy, efficiency of energy, and environmental intimacy than acetylene gas and LPG used for existing gas welding equipment. So nowadays many studies of Water-Electrolyzed gas are progressed, and commercially used as a source of thermal energy for gas welding in the industry.

For Water-Electrolyzed Source, it was used diode rectifier or SCR rectifier for get DC source. This method which is not looking to improve a source for impossible current control or voltage and limited control intervals.

In this paper, it was realized and designed in source of pulse type for complementing existing - DC source type, also by experiment it was acquired producing characteristics of Hydrogen -Oxygen Gas through feature of source

#### 1. 서 론

현대의 산업화는 연료용 에너지의 수요를 급증시켰고, 이로 인해 화석 연료의 고갈과 환경오염이 문제화 되고 있다. 대체 에너지 및 에너지 절약에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 물을 전기 분해 하여 얻어진 수소와 산소의 혼합가스는 화석 연료를 대체할 수 있는 청정에너지원으로 각광받고 있으며 기존의 연료가스인 아세틸렌가스, LPG 가스 등에 비해 경제성, 에너지효율성 및 환경친화적인 면에서 우수한 특성을 가지고 있다. 이미 제품으로 상용화되어 산업체에서 가스용접용 열에너지

지원으로 사용되고 있다.

지금까지 전기분해를 위한 전원으로는 단순히 직류전원을 얻기 위해 다이오드정류기를 사용하거나 SCR정류기를 사용하였다. 이러한 방법은 인가되는 전압 및 전류제어가 불가능하거나 좁은 범위 내에서만 가능하므로 전원 측면에서의 개선은 기대할 수가 없다. 또한 기존의 연구 결과에서 직류전원을 사용하는 것보다 펄스형태의 전원이 물을 전기분해시에 효율적인 면과 가스성분 측면에서 더 나은 결과를 나타낸다[1][2].

본 연구는 기존의 직류전원방식을 보완할 펄스형태의 전원을 설계 및 구현하고, 실험을 통하여 전원의 특성에 따른 수산화 가스의 발생 특성을 얻는다.

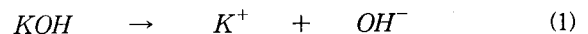
#### 2. 수산화 가스 반응 원리 및 특성

##### 2.1 물전기분해의 화학적인 분석

일반적으로 물을 전기분해시키기 위해서는 산화되기 어려운 금속판 2개, 전해질(KOH) 및 물(이온화되지 않은 순수한 물)로 구성된 전해조와 전기에너지 공급원인 직류전원을 필요로 한다.

일반적으로 순수한 물( $H_2O$ ) 분자를 분해하기 위해서는 높은 전압을 필요로 하므로 촉매인 전해질(KOH)을 첨가하여 필요한 전압을 크게 줄일 수 있기 때문이다[3]. 그림 1은 물의 전기분해를 간단히 설명하기 위해 나타낸 모식도 이다.

이때 물에 녹아 있는 전해질(KOH)은 다음 식 (1)과 같이 이온화 된다.



칼륨양이온( $K^+$ )은 물( $H_2O$ )과 반응성이 매우 크므로 접촉하면 즉시 수소양이온( $H^+$ )을 물에서 떼어내는 산화반응을 하여 결국 물을 수소양이온( $H^+$ )과 수산화음이온( $OH^-$ )으로 분리시킨다.

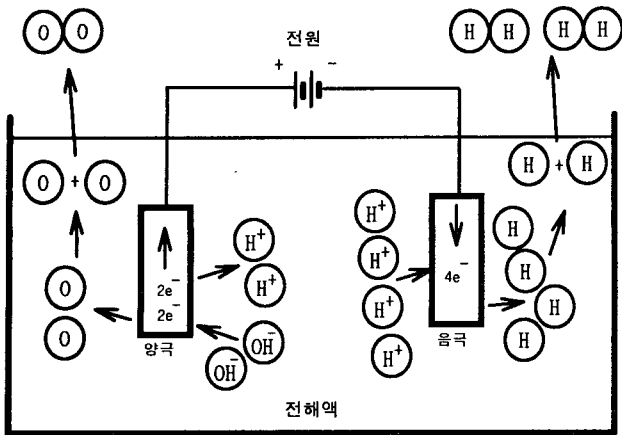
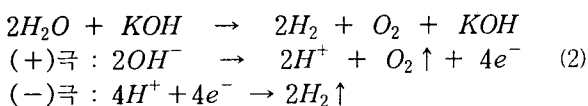


그림 1 물전기분해 모식도  
Fig. 1 Diagram of water electrolysis

전원이 인가되면 칼륨양이온(K<sup>+</sup>)보다 환원력이 더 큰 수소양이온(H<sup>+</sup>)이 전기적인 인력으로 음극으로 끌려감으로서 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 잃으므로 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. 이러한 과정에서 수소양이온(H<sup>+</sup>)은 근처에 있는 수산화음이온(OH<sup>-</sup>)과 반응하여 물(H<sub>2</sub>O)로 되고, 이것은 칼륨양이온(K<sup>+</sup>)의 작용을 받아 수소양이온(H<sup>+</sup>)과 수산화음이온(OH<sup>-</sup>)으로 분리되어 위의 과정을 반복적으로 수행하게 된다.

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. 분명한 사실은 극판에서 일어나는 산화와 환원반응은 똑같은 수의 전자출입이 일어나도록 이동한다는 점이다. 그러므로 지금까지 서술한 내용을 화학반응식으로 표현하면 다음 식 (2)와 같이 간단히 나타낼 수 있다.



## 2.2 수산화 가스 발생기의 방전 특성

그림 2는 수산화 가스 발생기의 방전특성 연구를 위한 단일 전극실험이다. 전해조에 인가되는 입력전원장치는 직류전압을 인가하기 위해 DC/DC 컨버터를 이용하였다.

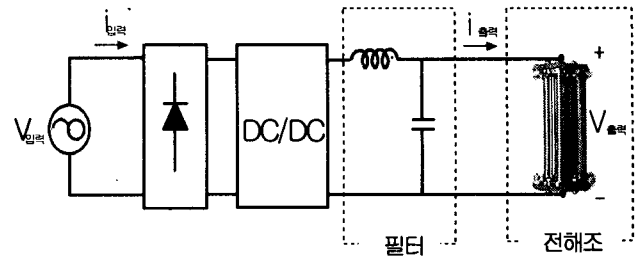


그림 2 단일 전극 실험 회로  
Fig. 2 Experimental circuit of unit pole of cylind

원통형 단위전극은 직류전압을 얻어 중심전극과 외각전극에 각각(+)극과, (-)극을 연결시킨다.

전해조 방전실험은 전해조의 모델링에 적용되는 실험으로 단위전극에 공급하는 전원을 차단하여 전해조의 특성을 고찰하였다.

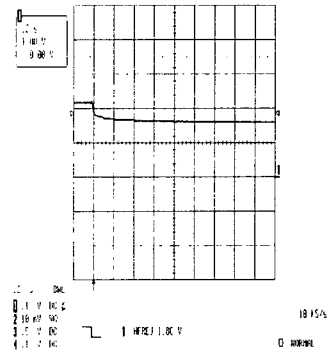


그림 3 전원차단시의 단위전극전압  
Fig. 3 While Source isolation unit pole voltage  
[0.5V/div , time:0.2sec]

단위 전극에 인가되는 전원차단시 단위전극의 전압은 전원차단 시점에서 전압의 급격한 감소이후 잔류 전압이 존재하는 것을 확인 할수 있었다. 이는 전해조에 전하가 충전 되어있다는 것을 알수 있으며 따라서 전해조에 관한 모델링시 커패시터를 이용한 모델링이 가능하다는 것을 보여주고 있다.

## 3. 수산화 가스 발생장치의 구성

### 3.1 펄스전원장치의 구성 및 제어방식

전력전자기술을 이용하여 서론에서 언급한 바와 같이 펄스전원을 구현할 수 있고, 이러한 방식은 일반 정류기를 통한 직류전원에 비해 전압 및 전류의 제어가 가능하다는 점에서 고효율화에 접근할 수 있다.

그림 4 에서 보는바와 같이 단상정류기, 단상인버터, 고주파트랜스 및 패스트리커버리 다이오드로 구성되어 있으며 단상 정류기 및 단상 인버터는 풀브릿지 방식으로 구성하였다.

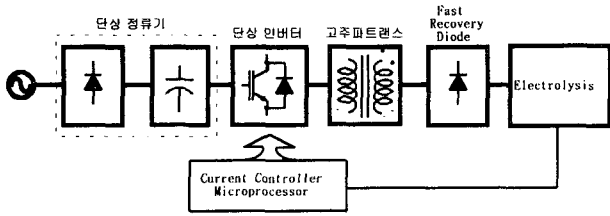


그림 4 인버터를 이용한 펄스전원의 블록선도  
Fig . 4 Block Diagram of pulse power using inverter

고주파 펄스트랜스의 경우 일반적인 상용 주파수에서 사용되는 기존의 변압기 보다 훨씬 높은 주파수인 수십 [KHz]의 교류전원으로 동작되기 때문에 크기와 무게를 크게 줄일수 있는 장점이 있다

부파측의 패스트리커버리 다이오드는 고주파트랜스 2차측의 교류전압을 직류전압으로 전환시키는 정류기이다. 고주파의 교류전원을 정류하기 위해서는 회복시간이 보통의 다이오드보다 짧은 패스트리커버리 다이오드(보통 회복시간  $t_{rr}$ 이 수  $\mu s$ )를 사용한다.

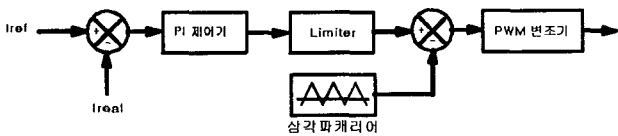


그림 5 제어블럭선도  
Fig . 5 Block Diagram of Current Controller

변조 방식에는 여러 가지가 있는데, 그 중 산업체에서 널리 사용되고 구현하기도 쉬운 삼각파 비교방식의 PI제어기를 적용하였다[4].

그림 5는 제어블럭선도이며, 실제전류와 기준전류신호를 비교한 후 에러신호를 PI제어기로 증폭시켜 그 값을 삼각파와 비교하여 PWM변조기에서 스위칭함수를 만들어 낸다.

제한기(Limiter)는 PI제어기 출력값이 삼각파의 첨두값보다 크게되어 일어나는 과변조(over modulation)에 의한 인버터의 파손을 방지하기 위한것이다[5].

전기분해시의 전극당 전압은 2~2.5[V]로 일정하며, 셀이 직렬연결되어 있어서 전극개수에 해당하는 전압이 필

요하다. 그러므로 고주파트랜스의 2차전압은 전극개수를 고려하여 결정하게되고 전류를 증가시키기 위해서는 전극전압보다 높은 전압이 필요하다. 이때 전극의 전압강하를 제외한 전압은 그림 4와 같이 직렬로 연결한 리액터에서 감당한다. 그림 4는 전체회로도를 나타낸 것이다.

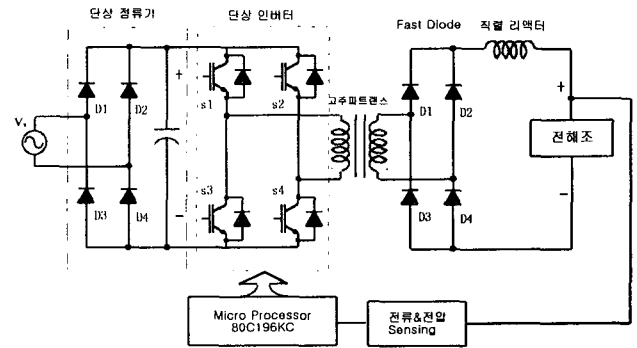


그림 6 전기분해용 펄스전원  
Fig . 6 Pulse power supply for electrolysis

### 3.2 전원부 시뮬레이션(Simulation)

Psim(Power Electronics Circuit Simulator)을 사용하여 전체회로를 시뮬레이션 하였다.

조건은 표 1 에 나타내었다. 부하는 방전 실험을 통해 캐패시턴스 성분과 저항을 함유한 R-C병렬회로로 등가화하였다.

펄스전류 구현과 전체시스템의 추이를 살펴보기위한 시뮬레이션이므로 각각의 값은 임의로 선정하였다.

그림 8은 부하전류가 펄스형태일 때 부하전압을 나타낸다. 부하전류가 기준전류신호인 펄스형태로 제어가 됨을 알 수 있다.

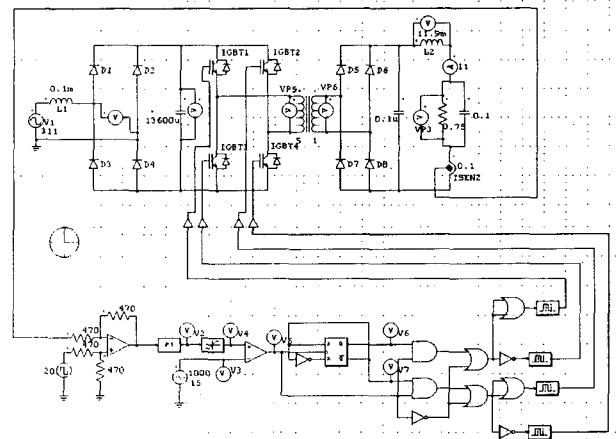


그림 7 시뮬레이션 회로도  
Fig . 7 Simulation Circuit

표 1 시뮬레이션조건  
Table . 1 Simulation Condition

Simulation Condition
입력전압 : 220[V](rms) 60[Hz]
정류용 다이오드 & 패스트 다이오드 : Ideal Diode
정류용 캐패시터 : 13600[uF]
고주파트랜스의 전압비 : { 2 : 1 }
삼각파캐리어 주파수 : 15[KHz]
PI제어기 P gain 10 I gain 1
직렬 리액터 : 11.9[mH]
부하 캐패시터 : 0.75[F]
부하 저항 : 0.1[Ω]

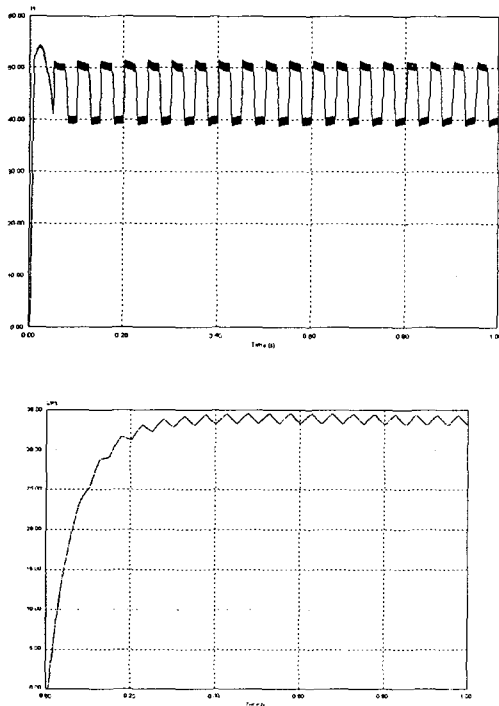


그림 8 시뮬레이션에서의 부하 전류와 부하전압  
Fig . 8 Load Current and Load voltage at simulation

#### 4. 실험 결과

원통형 전해조에는 Cell 15개로 구성이 되었으며 전해액은 일반적으로 20%농도의 수산화 칼륨을 사용하므로 실험에서도 같은 농도의 전해액을 사용하였다. 전해조에 인가하는 전류는 일정 직류전류 및 펄스 전류를 인가하였다.

직류전류 인가실험시 전해조에 인가되는 전류는 50 KHz 로 데이터를 샘플링하여 계산된 평균값으로서 전해조에 인가 하였으며, 운전시간 10분 동안의 가스발생량을 측정하였다.

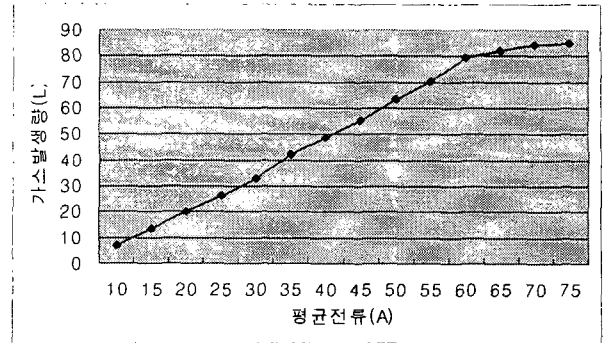


그림 9 일정 직류전류 인가시 가스발생량  
Fig . 9 Quantity of gas generation at DC current

표 2 실험 결과표  
Table . 2 Experimental result table

평균 전류	DC 가스 발생량 [L]	120[Hz] 가스 발생량 [L]	200[Hz] 가스 발생량 [L]	250[Hz] 가스 발생량 [L]	300[Hz] 가스 발생량 [L]	350[Hz] 가스 발생량 [L]	400[Hz] 가스 발생량 [L]
10[A]	7	7.5	7.3	7.2	5.2	5.9	5.2
15[A]	13.6	15	14	13.8	11.3	12.5	15.6
20[A]	27	24.4	22	20.1	21.1	20	24.1
25[A]	26.4	33.9	28	28.2	29.1	25.3	31.9
30[A]	35	38.9	35.5	35.4	34.7	33.8	37.6
35[A]	48	49.4	41.5	45.3	43.4	43.1	46.4
40[A]	48.9	53	49.3	51.4	49.6	49.8	53
45[A]	55.4	59.9	57.9	58.2	54.4	62	57.8
50[A]	63.2	66.8	66.4	62.2	61.9	65.2	65.7
55[A]	70.3	70.8	70.2	68.2	68.1	70.2	69.6
60[A]	79	80.2	75.1	70.1	74.1	74.4	74.6
65[A]	82	83.8	79.5	77	79.2	80.1	78.7
70[A]	84.4	86.8	86.7	83.8	87.5	85.2	92.1
75[A]	85	87.6	89.5	93.3	98.1	90.3	100.4

표 2는 일정 직류전류 인가시와 펄스전류 인가시의 10분 동안 운전하였을 때의 가스발생량을 측정한 값이다.

그림 9는 표 2의 일정 직류전류 인가시의 결과를 나타내며 그림 9를 통해 10[A]~60[A]의 평균전류를 전해조에 인가시 선형적인 가스발생량의 증가를 볼 수 있으며, 65[A] ~75[A]의 평균전류를 인가 할때는 가스발생량의 증가폭이 둔화되는 것을 확인할 수 있었다. 이때 일정 직류전류 인가시 가스 발생특성은 전류에 따라 발생량이 선형적으로 증가하는 선형영역과 발생량의 증가폭이 둔화되는 포화영역으로 나눌 수 있으며 이때 전해조 특성에 따라 포화점 존재하는 것을 알수 있다.

펄스 전류 인가시의 실험시 펄스의 듀티비에 따른 가스발생의 변화를 알아보기 위해 120[Hz]에서의 25[%], 50[%], 75[%]의 듀티비 변화에 따른 가스 발생량 실험을 하였다.

표 3은 이때의 듀티비 변화에 따른 가스발생량 및 이때 전해조에 인가되는 평균전류를 나타내고 있다. 표3에서 보는것과 같이 듀티비가 증가함에 따라 전해조에 인가되는 평균전류가 증가됨을 알 수 있었으며 따라서 이때의 가스 발생량 또한 증가함을 알 수 있었다. 따라서 각 주파수에서의 실험시 펄스 듀티비를 75%로 고정하여 실험을 수행하였다.

표 3 120[Hz]에서의 듀티비 변화와 가스발생량  
Table .3 Duty ratio and gas generating- quantity at 120[Hz]

듀티비	가스발생량[L]	평균전류 [A]
25%	966.2[L](발생후)- 960[L](발생전)= 6.2[L](발생량)	10[A]
50%	981.3[L](발생후)- 968[L](발생전)= 13.3[L](발생량)	15[A]
75%	947.4[L](발생후)- 925[L](발생전)= 22.4[L](발생량)	20[A]

펄스전류의 주파수는 120~400[Hz]로 변화시켜 실험하였다. 이때 펄스의 듀티는 일정하게 75[%]로 고정한다

표 2에서 펄스 전류인가시 각주파수에서의 가스발생량을 보여주며, 이때 전해조에 인가되는 전류는 50KHz 로 데이터를 샘플링하여 계산된 평균전류로서 전해조에 인가 하였으며 운전 시간은 10분간 하였다.

그림 10은 전해조에 인가되는 400[Hz]의 펄스 전류와 출력 평균전류 및 출력 전압을 나타내고 있다.

출력 전압은 각각의 주파수에서도 약 31.6[V]를 나타내고 있다.

그림 11은 일정 직류전류인시의 가스발생량과 각각의 펄스 전류 인가시의 가스발생량을 보여주고 있다. 그림 11에서 보는것과 같이 선형영역에서는 가스발생량이 큰차이를 보이지 않고 있으며 포화영역에서 펄스전류 인가시 각각 주파수에서의 가스발생량이 일정 직류전류와는 달리 포화곡선을 그리는 것이 아니라 성형적으로 변화하는 것을 고찰할 수 있으며 또한 일정직류 전류보다 많은 가스가 발생하는 것을 볼 수 있다.

따라서 펄스 전류 인가시에서의 운전은 포화점 이상에서 사용할 때 가 효과적인 것을 알 수 있다.

그림 12는 포화 구간에서의 일정 직류전류와 펄스전류에서의 가스발생량을 보여주고 있다. 그림 12에서 평균전류 65[A], 70[A]에서는 500[Hz]가 가장 많은 가스 발생량 보이고 있으며 평균 전류 70[A]에서는 500[Hz] 이외에 350[Hz]와 400[Hz]에서도 높은 가스 발생량을 보이고 있다, 75[A]에서는 400[Hz]에서 가장 많은 가스 발생량을 보이고 있다.

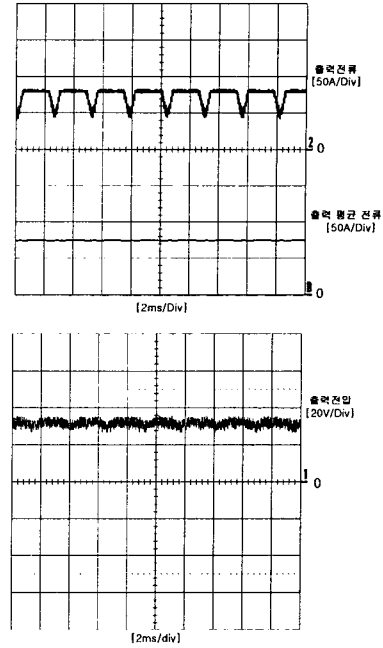


그림 10 주파수400[Hz]에서 부하전류[50A/div], 부하전압[20V/div]

Fig . 10 Load current[50A/div], Load voltage[20V/div] at 400[Hz]

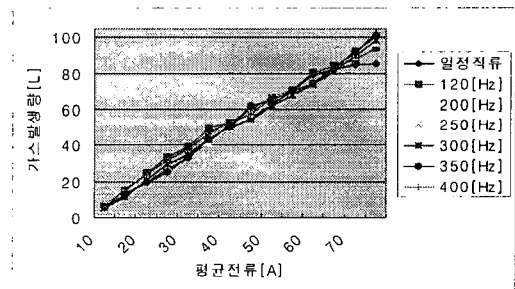


그림 11 일정직류 및 각 주파수에서의 가스발생량  
Fig . 11 Gas generating- quantity at DC Current and each Frequency

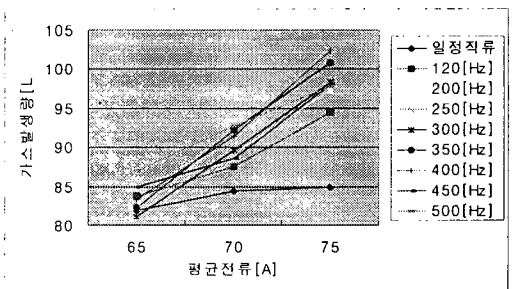


그림 12 포화영역에서의 가스발생량  
Fig . 12 Gas generating- quantity at saturation region

이는 일정 직류전류 인가시와 비교해서 펄스전류의 주파수가 물 전기분해반응에 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

표 4는 일정 직류전류와 120[Hz]~500[Hz]의 펄스전류를 평균 전류 65[A], 70[A], 75[A]로 전해조에 인가하였을 때의 입력전력당 가스발생량을 나타내었다.

그림 13에서 평균 전류 65[A], 70[A]인가시 500[Hz]에서, 75[A]인가시에는 450[Hz]에서 높은 입력전력당 발생 가스 수치를 나타내었다.

따라서 가스발생량과 입력 전력 관계를 통해 일정 직류 전류인가시와 비교해서 펄스전류 인가시가 더 높은 입력전력당 발생량을 나타내었다. 이를 통해 전기분해를 위한 컨버터 및 인버터는 일반적인 컨버터 설계시 리플 전류를 제거하기 위한 설계가 아닌 단상 컨버터 설계시 120[Hz]의 리플 전류, 3상 컨버터시 360[Hz]의 리플 전류 및 인버터 설계시 450[Hz]~500[Hz]의 리플 전류를 인가하는 것 물을 전기분해 하기 위해서 더욱 효과 적인 것을 알 수 있다.

표 4 실험 결과표

Table . 4 Experimental result table

	평균전류[A]	가스발생량 ([L],10분)	입력전력량 ([Wh],10분)	발생량/입력전 력량
일정직 류	65[A]	82	480.7	0.17
	70[A]	84.4	522.3	0.16
	75[A]	85	610.9	0.14
120[Hz]	65[A]	83.8	415.2	0.2
	70[A]	87.6	515.8	0.17
	75[A]	94.4	643.8	0.15
200[Hz]	65[A]	82.3	419.7	0.2
	70[A]	89.2	463.8	0.19
	75[A]	97.3	660	0.15
250[Hz]	65[A]	82.4	364.1	0.23
	70[A]	89.2	488.5	0.18
	75[A]	98.3	595.5	0.17
300[Hz]	65[A]	81.2	433	0.19
	70[A]	89.6	536.7	0.17
	75[A]	98.4	640.2	0.15
350[Hz]	65[A]	82.4	395.2	0.21
	70[A]	92.2	523.7	0.18
	75[A]	100.8	667.2	0.15
400[Hz]	65[A]	83.4	455	0.18
	70[A]	91.4	538.9	0.17
	75[A]	102.4	680.4	0.15
450[Hz]	65[A]	84.9	380.5	0.22
	70[A]	89.3	478.5	0.19
	75[A]	98.1	523	0.19
500[Hz]	65[A]	87	371.3	0.23
	70[A]	92.8	442.1	0.21
	75[A]	97.8	540.6	0.18

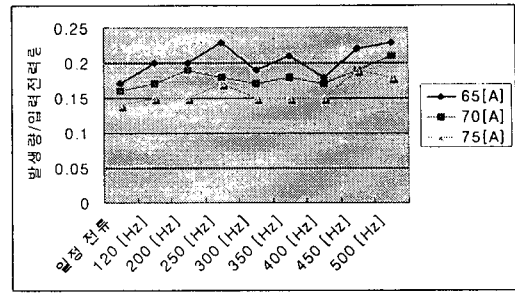


그림 13 평균 전류 65[A],70[A], 75[A]에서의 입력전력당 가스발생량

Fig . 13 Gas generating- quantity per input power at average current 65[A],70[A],75[A]

## 5. 결 론

물전기분해장치의 효율을 증가시키기위해서 전기적인 측면에서 전원의 제어를 통하여 접근하고자 하였다. 일정직류전원 보다는 전원의 제어가 가능한 펄스전원의 필요성이 이전의 연구결과에서 부각되었고, 이를 토대로 펄스전원을 구현하여 실험하였다.

본 논문에서의 일정 직류전류 인가시 가스발생량이 선형역으로 증가후 포화점에 접어들면서 가스발생량이 둔화되는 포화영역으로 나누어 볼수 있었으며 이를 토대로 펄스전원의 주파수를 변화시키면서 일정 직류 전류에서의 가스발생량 비교했을 때 주파수 400[Hz]에서 가장 많은 가스가 발생하였으며, 입력전력과의 관계에 있어서는 500[Hz], 450[Hz]에서 가장 효과 적으로 가스를 발생시킬수 있다는 것을 알수 있었다, 이는 전기분해시 일정 직류 전류인가시 보다 펄스 전류 인가시 이온들간의 마찰저항을 적게 하므로 손실이 작다는 것을 알 수 있다. 또한 전기분해를 위한 전원 설계시 리플전류를 포함한 설계를 해야하는 것을 알 수 있었다.

향후 좀더 넓은 범위의 주파수와 전해조구조에 따른 실험이 요구되고 있으며, 물의 특성을 고려하여 전기분해시 이온들의 이동간에 마찰을 적게 할 수 있는 주파수를 검출하여야 한다.

이 논문은 한국과학재단 목적기초 연구(특정기초 연구(R01-2000-00266)지원으로 수행되었습

## 참 고 문 헌

- [1] George Wiseman, "Super Gas Saver Secretes," Eagle Rearch, 1990
- [2] George Wiseman, "Brown's Gas, Book1," Eagle Rearch, 1995
- [3] 설수덕, "무기공업화학", 대영사, 1996, pp184~192.
- [4] 최규하, 채영민, "인버터 용접기의 전력변환회로 및 제어기법", 대한용접학회지 제16권 3호, 1998. 6., pp29~39.
- [5] Mohan, "Power Electronics", WILEY, 1989, pp17,302~353