

수산화가스 발생기의 모델링 및 특성해석

강병희\*, 이정민, 옥형수, 최규하

A Study on Analysis of the Hydrogen-Oxygen Gas Generator

B.H. Kang, J.M. Lee, H.S. Mok, G.H. Choe  
Dept. of Electrical Engr. Kon-Kuk Univ.

**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 electrical for the high efficiency of water electrolysis equipment. First, chemical analysis of electrolysis is conducted, and the relation of electrical energy and chemical energy is quantitatively investigated. For basic experiment, unit electrode of singular electrolysis electrode is manufactured and experimented, results are compared and analyzed with simulation, and the electrolysis is electrically equivalent.

1. 서 론

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. 이 혼합가스는 기존의 연료가스인 LPG와 아세틸렌가스 등에 비해 경제적, 환경적 측면에서 우수한 특성을 보여 큰 관심대상이 되고 있다.

수소와 산소의 혼합가스는 연소시 여러 가지 온도특성(600 ~ 6,400[°C])을 갖는 불꽃을 발생하며 경납 및 연납 등의 용접에 이용되며 우수한 불꽃 특성으로 인하여 이외에 가열장치에 응용할 수 있고 산업용 및 가정용 보일러 등 적용분야가 확대되고 있는 추세이다. 따라서, 산업용 연료에너지로 대체할 경우 전기분해장치의 대용량화가 요구된다. 그러나 현재 공급전원, 전극구조, 재료, 전해질농도 등 발생효율의 최적화가 이루어지지 않았으며 국내 관련기술이 거의 없으므로 연구의 필요성이 크게 부각되고 있다.

본 논문에서는 물을 전기분해 하여 발생하는 혼합가스 부피를 공급된 전기에너지에 대해 최대화시키기 위해 전기적인 측면에서 전원조건을 최적화하고자 하였다. 먼저 전기분해의 화학적 분석을 하고 전기에너지와 화학에너지 관계를 페르데이의 화학법칙에 의해 정량적인 고찰을 하였다. 기초적인 실험을 하기 위해 전기분해전극을 1개 사용한 단위전극을 제작하고 실험하여 결과를 분석하였다.

2. 본 론

2.1 수산화가스의 화학적인 분석

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.[1] 그림1은 물의 전기분해를 간단히 설명하기 위해 나타낸 모식도이며, 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.

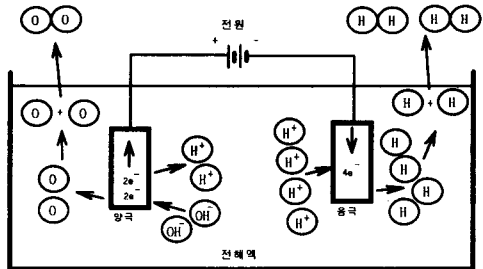
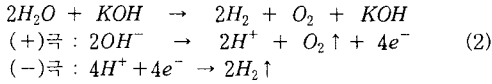


그림 1. 물 전기분해 모식도

전원이 인가되면 칼륨양이온( $K^+$ )보다 환원력이 더 큰 수소양이온( $H^+$ )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( $H_2$ )가 되어 발생한다. 한편 양극에서는 수산화음이온( $OH^-$ )이 전기적인 인력으로 끌려와서 산화반응( $H^-$ )이 전자 2개를 잃어서  $H^+$ 으로 바뀌는 반응을 하고 동시에 단원자인 산소(O)와 수소양이온( $H^+$ )으로 분리된다. 이 단원자 산소(O)역시 단원자로 발생할 수도 있지만 대부분 두 개의 단원자가 결합하여 이원자 분자인 산소기체분자( $O_2$ )가 되어 발생한다. 이때 산소원자와 분리된 수소양이온( $H^+$ )은 인력에 의해 음극으로 다시 이동하여 앞에서 언급한 환원반응을 한다.

위의 과정들은 실제반응에서  $H_2O$ ,  $KOH$ ,  $H^+$ ,  $OH^-$ ,  $K^+$ 와 용액에 포함된 불순물들의 상호작용으로 더욱 복

잡해진다. 이와 같은 내용을 화학반응식으로 표현하면 다음 식(2)와 같이 간단히 나타낼 수 있다.

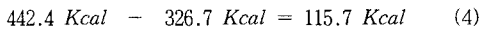
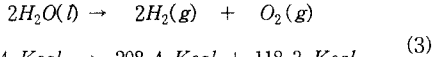


위의 반응을 결합에너지관계로 해석하면 표1에 나타난 원자들간의 결합에너지로 계산할 수 있다. 여기에서 결합에너지란 분자를 원자로 끊어내기 위해 필요한 에너지를 의미한다.

표1. 결합에너지관계

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-OH 결합과 H-O 결합이 함께 들어 있고, 수소분자와 산소분자의 결합에너지는 위의 관계를 대입하여 다음 식(3)과 (4)로 나타낼 수 있다.



일반적으로 물을 전기분해할 때 물분자의 결합에너지(442.4Kcal)는 전기에너지가 공급되어 물분자( $2H_2O$ )를 각각의 단원자로 분리하는데 사용되는 열에너지를 의미하고, 생성된 수소기체분자( $H_2$ )와 산소기체분자( $O_2$ )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( $H_2$ )와 산소기체( $O_2$ )가 연소 반응하여 다시 물( $H_2O$ )로 될 때, 열 에너지원으로 사용되는 에너지를 의미한다.

그런데, 발생된 수소( $H_2$ )와 산소( $O_2$ )가 이원자 분자가 아닌 단원자 상태라면 수소기체분자( $H_2$ )와 산소기체분자( $O_2$ )로 재결합할 때 밖으로 소모되는 열에너지가 없을 것이므로 공급된 전기에너지는 모두 열 에너지원으로 모두 사용될 수 있을 것이다.[2][3]

그러므로 위의 전기분해과정에서 언급된 물전기분해가스는 이원자분자인 수소기체( $H_2$ )와 산소기체( $O_2$ )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 에너지 사용 효율도 증가되며 일반적인 전기분해시 방출되는 열에너지보다 적은 열이 방출되기 때문에 반응시 온도상승이 적게된다.

## 2.2 수산화가스의 전기적 분석

물의 전기분해에 관한 기초적인 실험을 통하여 전기분해의 특성을 알아보고 전기적 회로로 증가화 하고자 한다. 먼저 전극이 1개인 단위전극을 제작하고 여기에 일정한 직류전압을 공급하여 나타나는 전압, 전류의 파형을 측정하는 실험을 한다. 실험과 같은 조건의 시뮬레이션을 하여 전기분해반응을 전기적인 회로로 증가화하고 실험과 시뮬레이션 결과로부터 이를 확인한다. 그림2와

같은 구조의 원통형 단위전극을 설계하였다. 기존의 전극모양은 양극과 음극이 직사각형 모양의 평면전극이지만 전극 구조의 효율적인 측면과 동일 부피 상에서 넓은 전극 표면적을 얻기 위하여 원통형 구조로 설계하였다.

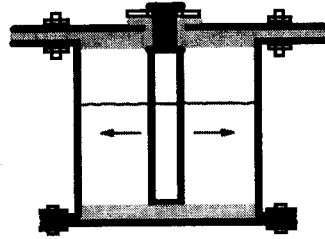


그림 2. 원통형 단위전극 구조

전해액은 일반적으로 25[%]농도의 수산화칼륨(KOH)을 사용하므로 실험에서도 같은 농도의 전해액을 사용한다. 전극의 재질을 산화되기 어려운 스테인레스를 사용한다. 그림3은 실제로 제작한 원통형 단위전극 사진을 나타내며, 두 개의 중심전극과 외각전극을 보이고 있다.

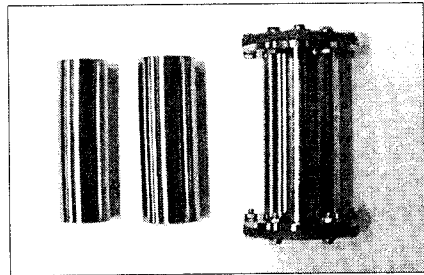


그림 3. 원통형 단위전극의 중심전극과 외곽전극

중심전극에 따라 크게 세 가지 경우의 실험을 하였다. 전원장치로부터 일정한 직류전압을 얻어 중심전극과 외각전극에 각각 (+)극, (-)극을 연결시킨다. 전원장치는 원하는 크기의 직류전압을 생성하기 위해 상용전원을 가변시킬 수 있는 슬라이더에 연결하고 출력교류전압을 정류기에서 정류시키도록 구성한다. 슬라이더의 다이얼을 조금씩 변화시켜서 원하는 직류전압을 전극에 공급하여 전압에 따른 실험을 하고 이 때 전압과 전류의 파형 및 값을 측정하였다.

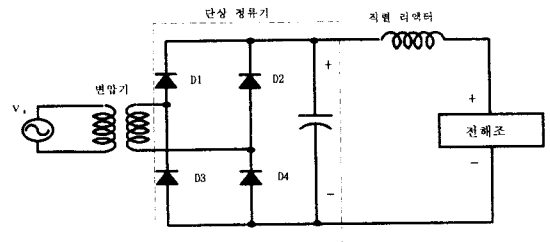


그림 4. 단위전극 전기분해용 전원부

그림4는 실험장치에 사용된 전원부 회로를 나타낸다. 실험결과는 표2와 그림5의 그래프와 같이 가스발생량은 전극간격과 반비례하고 인가되는 전압과 전류에 비례함

을 알 수 있다. 즉 공급된 전기에너지에 비례하여 가스 발생량이 증가함을 알 수 있다. 이때, 2[V]미만의 전압을 인가할 경우 가스발생량이 너무 작기 때문에 인가전압은 단위셀당 최소 2[V]이상을 인가시켜야 한다. 이것은 촉매인 수산화칼륨(KOH) 전해질이 혼합된 물에서 전기분해반응이 일어나기 위한 최소전압임을 알 수 있다. 2.3[V]이상의 전압을 인가시켜주어도 단위전극간의 전압이 더 이상 증가하지 않고 일정한 값을 유지한다. 따라서 전기분해반응을 전기부하로 등가화할 때, 일정전류를 유지하는 유도성부하가 아닌 일정전압을 유지하는 용량성 부하로 결정할 수 있으며 전기적으로 수하특성을 갖으며 커패시터와 제너다이오드와 같은 소자로 대신할 수 있다는 것을 알 수 있다. 따라서, 전기분해반응을 정전용량이 큰 커패시터 부하로 모델링하여 시뮬레이션하고, 전류를 소모하는 성분을 저항으로 간주하여 저항과 커패시터가 병렬 연결된 회로로 등가화하여 시뮬레이션 할 수 있다. 이러한 특성 때문에 전극에서 발생하는 가스량을 전기적으로 제어하기 위해서 전압제어보다는 전류제어가 필요하다는 것을 알 수 있으며 가스발생량을 최대화 하기 위하여 고효율 전원제어장치는 전류제어에 중점을 두어야 한다는 것을 알 수 있다.

전극 사이의 거리가 최소 2[mm]까지도 가능하므로 동일한 전해조부피 내에서 전극간격이 좁을수록 더 많은 전극을 넣을 수 있으며, 전극개수 역시 가스발생량에 비례하므로 같은 양의 가스 발생을 위한 전해조 부피는 더 작게 된다. 이는 전해조 설계 시에 참고할 사항이며, 그 적정 수준을 3[mm]간격으로 보고 있다.

표 2. 단위전극 간격에 따른 실험 결과표

전극간격 [mm]	전극전압 [V]	전극전류 [A]
6	2.03	6.42
	2.112	13.60
	2.208	25.96
	2.307	45.74
4	2.006	4.2
	2.108	16.1
	2.203	29.1
	2.294	51.4
2	2.006	6.75
	2.109	22.9
	2.208	47.2
	2.302	64.4

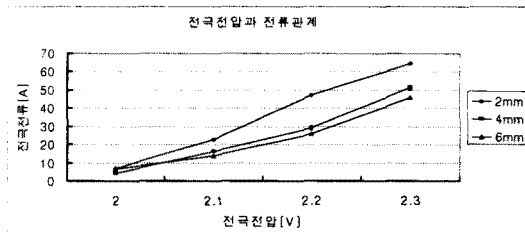


그림 5. 전극전압과 전극전류의 관계

전기분해를 전기적으로 등가화하면 R-C-Zenor 병렬 회로로 간단히 나타낼 수 있다. 이를 확인하기 위하여 다음과 같은 실험을 한다. 단위전극에 전압을 인가한 후 스위치를 차단하면 그림6과 같이 전하가 방전하는 파형을 얻을 수 있다. 이는 두 개의 전극판이 커패시터와 같은 역할을 하기 때문이다. 그림에서 스위치를 차단하는 시간과 전압크기가 초기전압의 36.8[%]가 되는 시간을 측정하여 시정수를 구할 수 있다.

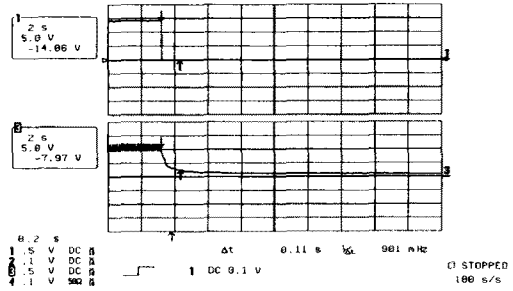


그림 6. 전원차단시의 단위전극 전압

위 파형에서 시정수는 0.11[sec]이며 전기분해장치를 전기적으로 R-C병렬회로로 등가화할 수 있으며 시정수에 의해서 저항과 커패시턴스의 값을 계산할 수 있다.

$$\tau = R \times C \text{ [sec]} \quad (5)$$

그러나, 저항성분과 C 값의 경우에는 이상적인 R-C로 보기 힘들며 또한 수하특성을 갖는점을 고려할 때 실험을 통한 R-C 값을 선정할 수 있으며 본 연구에서는 커패시턴스는 1[F]으로, 저항값은 0.11[Ω]이 됨을 알 수 있었다. 이 관계를 시뮬레이션에서 적용하고 시뮬레이션결과와 실험결과를 비교 검증해 보았다.

### 2.3 시뮬레이션 및 실험결과

전기분해반응을 앞에서 정의한대로 전기적인 회로로 등가화하면 저항과 커패시터가 병렬로 연결되며 수하특성을 고려한 제너다이오드는 생략하였다. 그림6 및 식(5)의 결과를 증명하기 위해서 단위전극 실험과 동일하게 그림 7과 같은 회로를 구성하고, 실험결과를 시뮬레이션의 결과와 비교하였다. 시뮬레이션 조건은 단위전극 실험에서 사용한 소자 및 전원조건으로 입력하였으며 표 3과 같다.

PSpice8.0 Tool을 사용하여 시뮬레이션하고 결과파형을 실험결과 파형과 비교하였다.

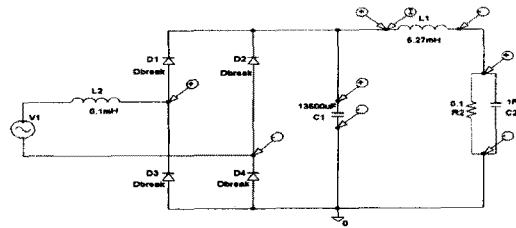


그림 7. 단위전극 실험용 시뮬레이션 회로도

표 3. 시뮬레이션 조건

시뮬레이션(Simulation) 조건	
입력교류전압(pk)	13.57[V], 60[Hz]
커패시터	13600[uF]
직류 리액터	6.27[mH]
부하(전해조)	R-C 병렬로 모델링
부하저항	0.1[Ω]
부하커패시터	1.0[F]

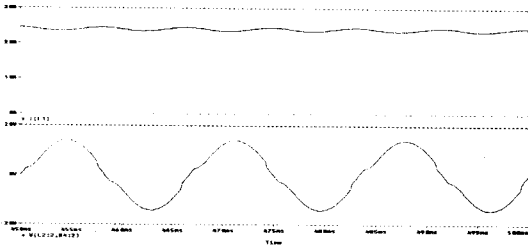


그림 8. 전극전류 및 입력교류전압 시뮬레이션 결과

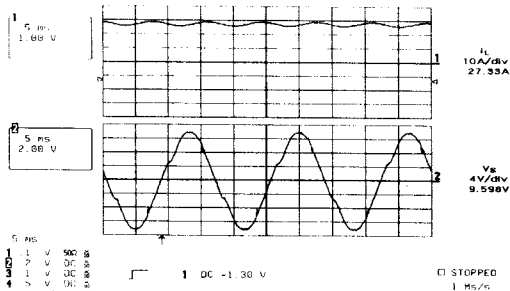


그림 9. 전극전류 및 입력교류전압 실험결과

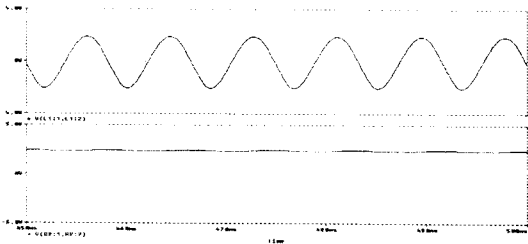


그림 10. 직류 리액터전압 및 전극전압 시뮬레이션 결과

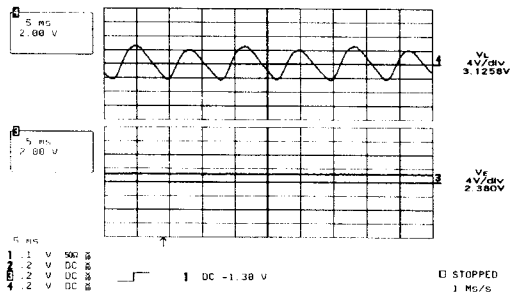


그림 11. 직류 리액터전압 및 전극전압 실험결과

그림8~그림11을 통해서 알 수 있듯이 실험을 통해서 얻는 등가화 모델을 파라미터를 적용한 결과 등가화 모델과 실험결과 파형이 같은 추이를 따라가고 있음을 알 수 있다. 전원을 구성하는 소자와 같은 소자를 시뮬레이션에서 사용하고 부하인 전기분해장치는 등가화시킨 소자로 시뮬레이션 하였다. 결과파형이 정확히 일치하지 않는 이유는 실험에서 사용된 단위전극 전해조를 근사화 하여 모델링하였기 때문이다. 또한 전기분해반응의 화학적인 부분과 전극의 기계적인 부분을 제외하고 모델링하였기 때문에 전기회로적인 R-C병렬구조로 모델링한 것

에 오차가 있음을 알 수 있으나 시뮬레이션결과가 실험 결과의 전압과 전류파형에 크게 차이를 보이지 않으므로 근접한 모델링임을 알 수 있다. 따라서 이러한 결과를 토대로 물 전기분해장치의 고효율의 전원장치를 적용할 경우에도 같은 결과추이가 나올 것으로 예상된다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 물의 전기분해를 전기적으로 등가화하기 위해 단위전극을 제작하여 실험하였으며 실험결과를 통해서 저항과 커패시터 성분의 부하로 모델링 할 수 있었다. 이를 확인하기 위해서 실험조건과 동일하게 시뮬레이션을 하였고 실험결과 파형과 시뮬레이션결과 파형이 일치함을 알 수 있었다. 그러므로 물의 전기분해는 전기적으로 저항과 커패시터의 병렬회로로 등가화 할 수 있으며 이러한 특성 때문에 부하전압은 변동이 거의 없다. 결국 물을 전기분해 할 때 전기적으로 제어해야 할 부분은 전압제어 보다는 전류제어라는 사실을 알 수 있었다. 향후 연구에서는 전기분해반응을 정밀하게 분석하기 위하여 전원측면 이외에 전극개수, 전극의 구조, 전극간격, 반응온도, 전해액에 따른 수산화가스 발생장치의 전기적 모델링을 발전시켜야 하며 이를 토대로 고효율전원장치의 토대를 마련할 수 있을 것으로 기대된다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 설수덕, "무기공업화학", 대영사, 1996, pp184~192.
- [2] George Wiseman, "Brown's Gas, Book1," Eagle Research, 1995
- [3] George Wiseman, "Super Gas Saver Secretes", Eagle Research, 1990.