

# 수소 연료 생산의 효율향상을 위한 초음파 응용에 관한 연구

- 압력센서 계기에 의한 -

주은선<sup>†</sup>, 송민근<sup>\*</sup>, 손승우<sup>\*</sup>

(2003년 2월 3일 접수, 2003년 6월 17일 심사완료)

## A Study on the Ultrasonic Application for the Efficiency Elevation of the Hydrogen Fuel Production

- By the Pressure Sensor Gage -

Eun-Sun Ju, Min-Guen Song and Seung-Woo Son

**Key Words:** Ultrasonic Application(초음파 응용), Efficiency Elevation(효율 향상), Hydrogen Fuel Production(수소연료 생산), Pressure Sensor Gage(압력센서계기), Hydrogen Fuel Vehicle(수소연료 자동차)

### Abstract

The production of hydrogen fuel depends basically on the water electrolysis. The ultrasonic effects the decrease of the overpotential in a water electrolysis. A study on the overpotential which activates the hydrogen production is the core to elevate the hydrogen production efficiency on the principle. A pressure sensor system by a new idea is developed and applied. Solutions are 4 kinds of KOH concentration such as 0%, 10%, 20%, and 30%. Two frequency bands of the ultrasonic transducer are 28kHz and 2MHz. The directions of ultrasonic forcing are the vertical direction and the horizontal direction. The temperatures are two states, i.e., no constant and constant. Experiments are carried out sequentially in order in three cases of no ultrasonic forcing, ultrasonic forcing, and ultrasonic discontinuation. In results, it is clarified that the ultrasonic effects the decrease of overpotential to elevate the efficiency of hydrogen production.

### 1. 서 론

수소 연료 자동차의 구동 장치로는 수소 연료에 의한 내연기관과 수소 연료전지에 의한 전기 모터의 두 가지 방법에서 그 실현성이 이루어지고 있다. 그 어느 쪽이든 수소가 연소하면 물이 되므로 수소 연료 자동차는 자동차 매연으로 인

한 오염가스를 근본적으로 차단할 수 있는 무공해 차이다. 이를 실용화하기 위해 많은 연구자들이 오래 전부터 연구해 오고 있으며, 여기에는 수소의 저렴한 생산과 안전이용이 전제 조건이 된다. 이는 또한 수소가 궁극적 청정 대체 에너지원이 되기 위한 구비조건이기도 하다.

수소생산의 근본은 물의 전기분해이며, 많은 연구자들은 전해 재료의 개선에 의해 수소 생산의 효율 향상을 기하고 있다. 예로서 Giz<sup>(1)</sup> 등은 수소방출반응을 위한 Ni-P-Co합금에 의해 과전압을 200mV로 낮추는 저감효과를 얻었고, Uehara<sup>(2)</sup> 등은 물전해조 장치에 대한 최적 전류밀도를 알카리 전해조와 고분자 고체 전해질 등에 의해 비교 실험하였다. Avaca<sup>(3)</sup> 등은 Ni-Co 다공성 전기침전 연구에서 Raney-Ni 합금이 음극재료로서 성능과 안정성이 우수함을 보였다. Lincous<sup>(4)</sup> 등은

<sup>†</sup> 책임저자, 회원, 경상대학교 기계항공 공학부, 항공기 부품기술연구센터, 공학원 연구원  
E-mail : esju@nongae.gsnu.ac.kr  
TEL : (055)751-5311 FAX : (055)762-0227

<sup>\*</sup> 경상대학교 대학원

높은 온도에서 고효율 운동 및 열역학적 조건을 취할수 있는 물전해를 통해서 수소생산을 위한 양자교환막을 합성·조립하는 연구를 하였고, Schug<sup>(5)</sup>는 고압, 고효율 물 전기분해의 조작상의 특성에 대해서 연구를 하였고, Kulikova<sup>(6)</sup> 등은 황산용액과 SPE 전해조속에서 이온부착에 의해 수정된 전극의 전기화학적 거동에 대해 보고하였고, Peláez<sup>(7)</sup> 등은 수소발생 반응을 위한 전해조의 기하학적 특성, 전해질 용제 및 합성전극의 표면특성들 간의 관계에 관해 보고하는 등 그 외 많은 연구가 있다.

상기 대부분이 전극재료의 개선에 관한 연구가 주류를 이루고 있으며, 많은 연구자들은 이들 재료들을 수많은 실험을 통해서, 합금, 촉매, 다공성, 비결정성, 고분자성 등 다양한 특성 및 형태의 개선 또는 혼성·조합하므로 수소생산 효율향상을 위한 과전압저감 개선을 어느정도 달성하고 있으나, 재료만의 개선에는 나름대로의 한계가 있다.

초음파가 액체에 가해지면 초음파에 의한 기포의 진동은 기포의 압력 상승을 가져오고, 이는 고체면에서의 충격력을 유발하여 분산작용을 일으키므로 물의 전기분해에 관련되는 과전압 저감에 영향을 준다는 보고가 있다.<sup>(8,9)</sup> 기타 초음파 이용<sup>(10)</sup>이나 수소 저장<sup>(11)</sup> 등에 관한 보고 등은 있으나 초음파에 의한 과전압 저감으로 수소 생산 효율을 향상시키려는 실험보고는 미미하다.

본 연구에서는 초음파를 물전해에 가하여 과전압저감을 기함으로 전해재료개선에 의한 효율향상의 한계를 개선하고자 한다. 이를 위해 초음파 진동자는 저주파수 대역의 28kHz와 고주파수 대역인 2MHz의 두 가지를 택하고, 전해질로는 KOH의 농도 0%, 10%, 20%, 및 30%의 4가지를 택한다. 특히 수소 생산량 측정에는 부피측정에 의한 부정확성을 피하기 위해 초정밀 압력센서 계기를 개발하여 수소생산 증가부피를 압력증가에 의한 전압으로 변환 시켰다. 이를 매분 자동 기록되게 하여 전해 매개 변수에 따른 상대적인 수소생산량에 따른 전압을 비교검토 하여 전해에 초음파를 가진함으로써 나타나는 과전압저감에 의한 수소생산 효율향상을 위한 기초자료를 얻고자 하였다.

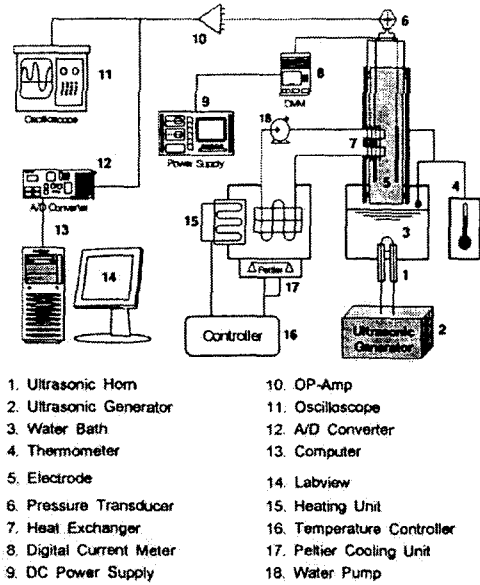


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental system

Table 1 Specification of 28 kHz BLT (200watt)

Frequency (kHz)	Admittance (S)	Capacitance (nF)	Max. Input Power(W)	Diameter (mm)	Total Length (mm)	Weight (gr)	Connection Torque (kg·cm)
28	0.05	25000	200	30	92	220	300

Table 2 Specification of 2MHz Tr. (30watt)

Resonance Frequency(kHz)	Diameter (mm)	Thickness (mm)	Static Capacitance (pF)	Rated Input voltage (V/Eac)	Power Consumption (W)	Operating water temperature range (°C)
1.6~1.75	20	1.3	1000	48±10%	30±5	0~45

## 2. 실험 장치 및 방법

Fig. 1은 수소생산량 측정장치의 개략도이다.

이는 초음파부(1,2), 전해조(5), 전원 공급장치(8,9), 압력변환부(6,10,11,12,13), 열교환 장치(7,15,16,17) 등으로 구성 되어있다. 직류전원 공급장치는 일정한 전압을 보내면서 용액중에 흐르는 전류를 측정하는 기능을 가지고 있다.

저주파로서의 28kHz 와 고주파로서 2MHz의 초음파 진동자의 사양은 Table 1과 2에 각각 나타내었다.

전해에 의한 누적 수소생산량의 뷰렛에 의한 목적은 상대 비교 고찰하는데 있어서 그 정밀도가 매우 낮으므로, 초저압에 민감한 압력센서를

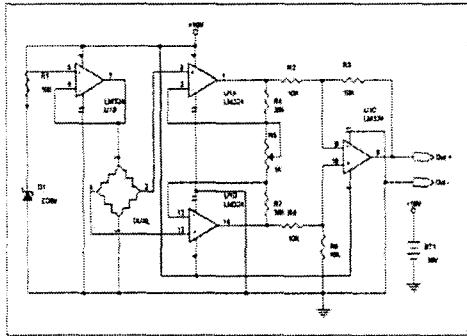


Fig. 2 Circuit diagram of DUXL-01D sensor gage

Table 3 Sensor Spec. (DUXL01D-1 in  $H_2O$ )

Spec.	Min.	Typ.	Max.	Units
Excitation Voltage	3.0	4.5	8.0	V
Span	4.0	6.0	8.0	mV
Null	-10	0	+10	mV
Offset Temperature Shift (0°C~50°C)	-	100	-	$\mu$ V
Span Temperature Shift (0°C~50°C)	-	100	-	$\mu$ V
Linearity, Hysteresis Error	-0.5	0.1	+0.5	%Span
Temperature Coefficient of Resistance	-	2600	-	ppm/°C
Temperature Coefficient of Sensitivity	-	-220 0	-	ppm/°C
Offset Warm-up Shift	-	+10	-	$\mu$ V
Offset Position Sensitivity	-	+15	-	$\mu$ V
Input Resistance	-	+2.0	-	k $\Omega$

사용하여 Fig. 2와 같은 신호증폭 회로도에 의한 압력센서 게이지를 고안하였다. 이것으로 수소 생산 증가량에 따른 압력증가를  $10^{-5}$ V감도의 전압으로 측정하여, 수소생산량의 상대적인 정밀·정량의 비교·검토가 가능하였다.

Table 3은 상기 사용된 압력 센서의 사양이다.

압력센서 계기에 실험으로 나타난 순시 수소 발생압력에 의한 전압을 측정 및 기록하기 위해 National Instrument사의 Labview를 이용한 데이터 저장 프로그램을 개발하였다.

전극으로는 가장 실용적인 티타늄으로 정하고, 용질로는 KOH로 정하고, 그 농도는 정수기를 통해 걸러진 수돗물에 KOH 농도 0%, 10%, 20%, 30%의 4가지 용액을 선정하여 실험하였다. 전원 공급은 전압과 전류를 digital로 동시에 측정 가능

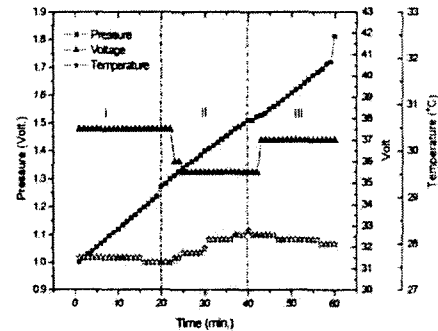


Fig. 3 Changes of electrolytic parameters according to the vertical ultrasonic forcing for KOH 0% solution

한 DRP-9303TP를 사용하여 농도에 따른 비교 가능한 최적의 전압·전류를 선택하였다. 초음파의 전달 방향으로는 수직과 수평 2방향으로 정하고, 초음파 전달 방법으로는 개질법, 직진법, 간접 진동법, 및 혼용법 등 여러 가지 방안이 검토되었다. 초음파에 의한 온도상승, 세정, 물질이동 등에서 가장 중요한 영향으로 사료되는 온도는 자연온도와 정온 2가지 경우에서 실험이 행해졌다.

실험은 초음파 비가진 경우에서 시작하여, 가진 경우, 초음파 단절의 3경우가 20분 간격으로 연속적으로 일관되게 이루어졌다.

### 3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 2MHz초음파를 수직으로 가진하고 전류가 0.03A일 때 KOH농도 0% 즉 무전해질 용액인 수돗물인 경우에서 초음파가진 유무에 따른 수소 생산량, 전압 및 온도 변화 등을 보여준다. I는 초음파 비가진영역, II는 초음파 가진영역, III은 초음파 가진제거 직후영역, 즉 초음파 단절영역으로 각 20분씩 연속하여 실험이 진행되었다.

I 영역에서는 온도와 전압이 거의 일정함을 보이고 있다. II영역에서는 수소 생산량이 비슷하게 이어지면서 전압이 2V 낮아지고 약간의 온도 상승을 보이고 있다. 이때의 온도 변화는 27.6°C에서 28.2°C로 0.6°C의 증가폭을 보이고 있다.

여기서 온도 상승은 초음파에 의한 물질진동에 따른 마찰열로 이론에 부합되며, 전압의 하락은 수소 발생에 친화적인 과전압저감으로 해석된다.

초음파 가진이 제거된 직후인, 즉 초음파가 단절된 III영역에서는 온도가 조금씩 하강하고 초음파 비가진시인 I 영역의 전압수준 가까이로 전압이 회복되면서 수소 생산률은 I 영역과 비슷하게 나타나고 있다. 이는 전해용액이 초음파를 받았음으로 해서 수소생산 친화적 구조로 개질되므로 수소생산률이 반드시 온도만의 함수가 아니라는 것으로 사료된다.

Fig. 3의 그래프를 Table 4에 기술된 자료에 의해 최소자승법으로 좀더 상세히 관찰하면, 3영역 각각의 수소생산률 즉 기울기는 I 영역은 0.0378, II 영역은 0.0356, III영역은 0.044로 나타나고 있다. 여기서 초음파가진 영역인 II영역에서의 기울기가 초음파 비가진시의 영역인 I 영역의 기울기에 비해 약간 낮아졌으나 큰 차이가 없음에도 전압이 2V 이하였음은 그만큼 초음파로 인한 전해에서의 전력소모가 절약되었음을 의미하며, 이를 I 영역의 전압에 대한 II영역의 전력(W=AV)을 적어볼수록 그에 반하면, 0.55378%에 해당한다. 이는 전력소모가 작은 만큼 수소생산의 효율향상이 나타났음을 의미하며, 따라서 KOH 0%, 즉 무전해질인 수돗물에서 초음파가 수소생산에 친화적 영향을 끼침을 말해 준다. 초음파 가진제거 직후인 III영역에서의 기울기가 I 영역의 기울기보다 우세하게 나타난 것은 초음파가 일단 가진된 전해액은 상기와 같이 전해친화성으로 개질되었음을 의미한다. II영역의 전압하강으로 인한 기울기 저조 때문에 III영역의 기울기가 여기서는 가장 크게 나타나고 있는데, 3영역의 전압이 일정하다면 II영역의 기울기가 전반적인 확률상 가장 크므로 나타날 것으로 사료된다

Fig. 4는 상기와 같은 조건에서 전류와 전압을 일정히 했을 때 전해변수의 변화를 보이고 있다. 초음파가 가진된 II영역에서 수소생산률이 가장 우세함을 볼 수 있다. 온도상승은 다소 작게 나타나고 있다.

정량적인 고찰을 위해 Fig. 4의 자료인 Table 5에 의해 상기 그래프를 최소자승법으로 나타낼때 주어지는 각 영역별 1차식들은 다음과 같다.

$$y_I = 0.02742 x + 0.96867 \quad (1)$$

$$y_{II} = 0.03154 x + 1.15899 \quad (2)$$

$$y_{III} = 0.02774 x + 1.36804 \quad (3)$$

초음파 영역(II)에서의 수소생산률이 0.03154로서 제일 크게 나타나고 초음파 받은 영역(III)에서는 그 다음으로 크게 나타나고 있다. 이는 농도 0% 즉 수돗물 같은 무전해질 용액의 전해에서 초음파의 수소발생 친화성이 뚜렷함을 증명하고 있다. 여기서 수리통계학적 최소자승법의 신뢰구간을 구하기 위해 신뢰수준을 95%로 잡고 구한 I 과 II영역의 각각의 기울기  $b_1$ 과  $b_2$ 의 회귀계수  $\beta_1$ 과  $\beta_2$ 는 다음과 같은 신뢰구간을 가진다.

$$\text{CONF } \{0.025824 \leq \beta_1 \leq 0.0290161\} \quad (4)$$

$$\text{CONF } \{0.029727 \leq \beta_2 \leq 0.0333662\} \quad (5)$$

여기서  $\beta_1$ 의 상한치가  $\beta_2$ 의 하한치에 미치지

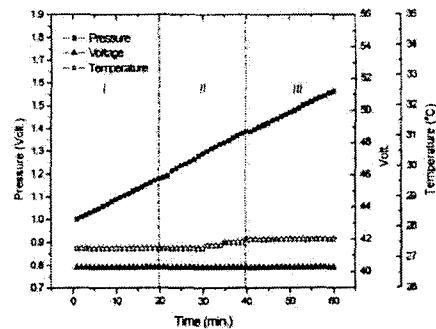


Fig 4 Changes of electrolytic parameters according to the vertical ultrasonic forcing for KOH 0% solution at constant A and V

Table 4 Data of Fig. 3

Time(min.) parameter	1	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60
Volt. (V)	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	37.5	36	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	37	37	37	37	37	37
Temp. (°C)	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.6	27.6	27.7	27.8	27.9	28.1	28.1	28.2	28.2	28.2	28.1	28.1	28.1	28.0	28.0
Pres.Volt(v)	1.000	1.029	1.067	1.108	1.146	1.185	1.223	1.282	1.325	1.361	1.399	1.430	1.465	1.498	1.522	1.549	1.583	1.619	1.656	1.694	1.812

Table 5 Data of Fig. 4

time(min.) parameter	1	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57	60	
Volt. (V)	40.3	40.3	40.3	40.3	40.3	40.3	40.3	40.3	40.3	40.3	40.3	40.3	40.3	40.3	40.3	40.3	40.3	40.3	40.3	40.3	40.3	40.3
Temp. (°C)	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.3	27.5	27.3	27.3	27.3	27.4	27.5	27.5	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.6
Pres.Volt(v)	1.0011	1.0187	1.0491	1.0786	1.1062	1.1330	1.1618	1.1856	1.2246	1.2541	1.2885	1.3204	1.3463	1.3758	1.3969	1.4223	1.4515	1.4782	1.5075	1.5340	1.5627	

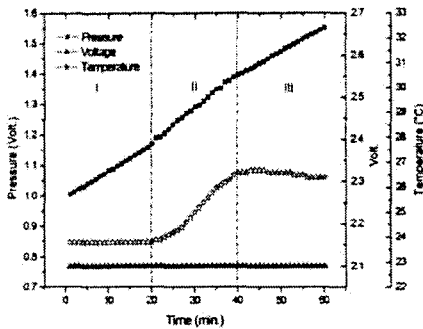


Fig. 5 Changes of electrolytic parameters according to the vertical ultrasonic forcing for KOH 20% solution

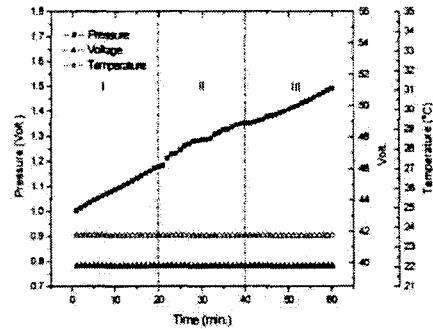


Fig. 6 Changes of electrolytic parameters according to the vertical ultrasonic forcing for KOH 0% solution at constant A, V, and T

못하므로 기울기  $b_1$ 과  $b_2$ 는 확연히 차별화 되고 있다. 이는 농도 0%, 즉 수돗물같은 무전해질 용액의 전해에서 상기와 같이 초음파의 수소생산의 친화성이 뚜렷함을 증명하고 있다.

Fig. 5는 KOH 농도 20% 일 때 상기와 같은 조건에서 초음파에 의한 전해 특성을 보이고 있다.

전류와 전압이 일정할 때 I 영역에 비해 II 영역에서는 온도상승과 수소생산율의 증가를 보이며 III영역에서는 완만한 온도하강에도 수소생산율은 I 영역과 비슷하게 나타나고 있다. 여기서 I 영역의 기울기는 0.02441, II영역은 0.03339로 주어지고 있다. 초음파 가진영역 II의 수소생산률, 즉 기울기가 비가진영역 I의 기울기에 비해 1.413배로서 상기의 무전해질 용액, 즉 KOH전해질 0%인 수돗물일 때에 비해 더욱 높은 값으로 나타나고 있다. 이는 초음파가 KOH 농도 20%일 때도 수소생산에 친화적임을 물론 비전해질에서 보다는 전해질 용액에서 더 친화적임을 말해준다.

Fig. 6은 0% 농도 즉 수돗물 무전해질 용액에 2MHz 초음파가 수직으로 가해질 때 일정한 전류·전압에서 정온일 때의 수소생산량을 보이고 있다.

II영역에서 초음파로 인한 수소생산량은 다소의 솟음을 나타내고 있으나 기울기는 비슷하게 나타나고 있다. 이는 수소 생산에 영향을 끼치는 초음파의 요소 중에 온도의 영향이 크음을 말해준다.

Fig. 7은 상기와 같은 조건에서 KOH농도 30%로서 정온일 때 시간에 따른 수소생산량의 변화를 보이고 있다. I 영역과 III영역은 기울기가 비슷하나 II영역은 다소 경사가 급하게 나타나고 있다. 정량적인 관찰을 위해 상기와 같이 자료에 의한 최소자성법을 통한 비교를 해 보면, II영역의 기울기 0.034871은 I 영역의 기울기 0.030168에 비해 1.156배의 크기로 나타났는데 이 역시 초음파 가진일 때가 비가진일 때에 비해 수소생산율이 증가함을 보이고 있다. 이는 KOH 30% 고농도 전해질 용액에 대해서도 초음파가 수소 생산율에 친화적임을 말해주고 있다. 그러나 Fig. 5인 경우에 비해 KOH농도가 높은 데도 증가율이 낮게 나타났음은 정온으로 인한 온도영향이 제거된 것으로 사료된다.

Fig. 8은 전류, 전압 일정시 KOH 0% 즉, 무전해질 용액인 수돗물에 2MHz 초음파를 수평으로 가졌을 때 수소 생산율과 온도변화를 보이고 있

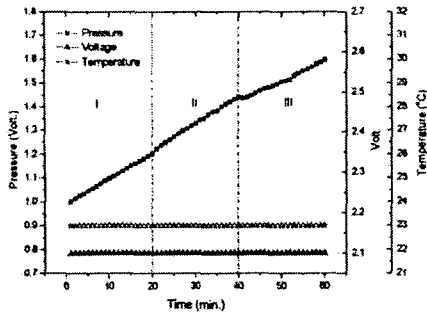


Fig. 7 Changes of electrolytic parameters according to the vertical ultrasonic forcing for KOH 30% solution at constant A, V, and T

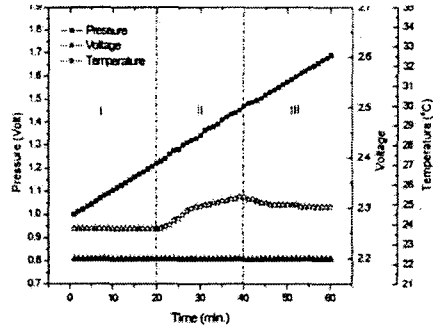


Fig. 9 Changes of electrolytic parameters according to the horizontal ultrasonic forcing for KOH 30% solution at constant A and V

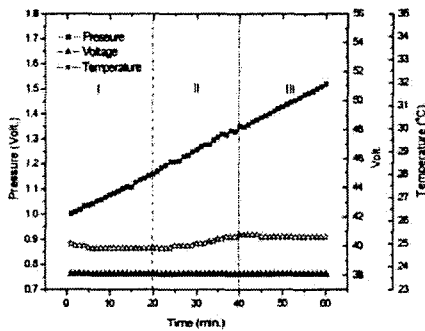


Fig. 8 Changes of electrolytic parameters according to the horizontal ultrasonic forcing for KOH 0% solution

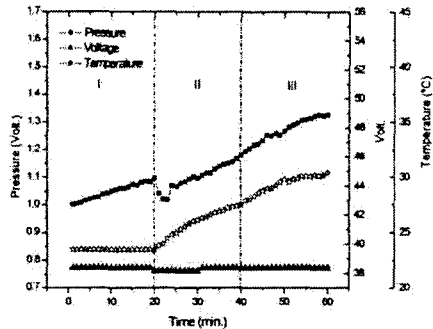


Fig. 10 Changes of electrolytic parameters according to the vertical ultrasonic forcing for KOH 0% solution, i.e., city water

다. II영역에서 초음파에 의한 기율기 증대가 상기 수직 가진때 보다도 뚜렷하게 보이지 않는다.

이는 초음파 가진 방향이 수평일 때가 수직일 때에 비해 수소생산에 덜 친화적임을 알 수 있다. 즉 초음파 가진방향의 최적을 구함이 중요함을 의미한다. 온도는 약간 상승하고 있음을 볼 수 있다.

Fig. 9는 2MHz 초음파가 KOH농도 30% 용액에 수평으로 가진되었을 경우 전류와 전압이 일정할 때 수소 생산율과 온도변화를 보이고 있다. II영역에서 초음파로 인한 온도상승이 뚜렷함에 비해 고농도인 데도 수소생산율의 증가가 뚜렷하게 나타나고 있지 않다. 이는 상기 무전해질 용액에서와 마찬가지로 초음파 가진방향이 수평일 때가 수직일 때 보다 덜 친화적임을 말해 준다.

Fig. 10은 28kHz 초음파가 상기와 같이 일정한

전류 0.03A에서 KOH농도 0%, 즉 무전해질 용액 수돗물에 수직방향으로 가진 되었을 때 전해 특성들의 변화를 보이고 있다. 초음파영역 II에서 수소생산율 즉 기율기와 온도상승이 급하게 나타나고 있다. II영역의 초기 영역에서 수소 생산량이 조금 낮아짐을 볼 수 있는데, 이는 약간의 전압의 하강 때문으로 사료된다. 여기서 수소생산율 즉 기율기는 I영역은 0.01508, II영역은 0.021187, III영역은 0.02101로 나타나고 있다. 역시 기율기의 크기는 범례대로 II영역, III영역, I영역의 순서를 보이고 있다. 이는 28kHz 저주파에서도 무전해질 용액에서의 초음파영향이 큼을 의미한다.

Fig. 11은 일정한 전류·전압에서 28kHz초음파가 KOH농도 30% 용액에 수직으로 가진되었을 때의 전해특성의 변화를 비교하고 있다. 수소생산율과 온도상승이 II구역에서 높게 나타나고 있다.

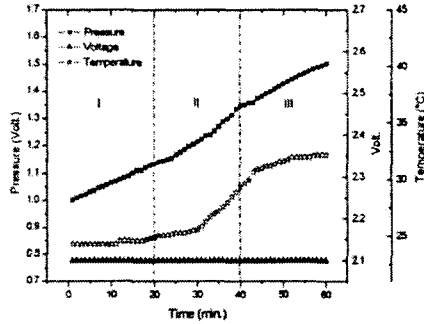


Fig. 11 Changes of electrolytic parameter according to the vertical ultrasonic forcing for KOH 30% solution

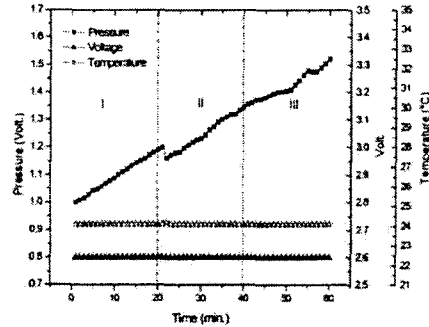


Fig. 12 Change of electrolytic parameters according to the vertical ultrasonic forcing for KOH 20% solution at constant T

이는 고농도 전해질 용액에서도 전해에서 28kHz 저주파로서의 초음파가 수소생산에 친화적임을 말해준다. 여기서 영역별 수소생산을 즉 기울기는 각기 0.020228, 0.032223 및 0.024413으로서, 기울기의 크기순서는 상기의 범례대로 II, III, I 영역의 순으로 나타나고 있다. 이는 상기와 같이 고농도 전해액속에서 저주파 초음파가 수소생산에 친화적 작용을 함을 정량적으로 말해준다.

Fig. 12는 일정한 전류·전압과 KOH 20%, 28kHz 초음파의 수직 가진 및 정온일 때의 그래프이다.

II 영역에서의 기울기가 다른 영역에 비해 급함을 볼수 있다. 최소자승법에 의한 정량적 비교를 위해 나타낸 I, II 영역의 1차식은 다음과 같다.

$$y_1 = 0.029645x + 0.96261 \quad (6)$$

$$y_2 = 0.032377x + 1.1429733 \quad (7)$$

여기서 초음파 가진영역 II인 경우의 기울기가 비가진영역 I보다 큰 것으로 보아 28kHz 초음파가 KOH 20% 용액에 가진되었을 때 정온에서도 수소생산율이 커짐을 볼 수 있다. 그러나 II 영역에서의 1차 기울기선이 I 영역에서 연속되지 않고 조금 하락하였음을 볼 수 있는데 이는 정온으로 인한 영향으로 사료되며, 정온에 대한 더욱 상세한 고찰이 요구된다.

Fig. 13은 전류·전압(0.03A, 2.1V)이 일정할 때 KOH농도 10% 용액에 초음파가 수평으로 가진되었을 때의 전해특성의 변화를 보이고 있다.

II 영역에서 수소 생산율과 온도의 변화를 볼 수 있다. 수소 생산율은 II 영역에서 초기 반은

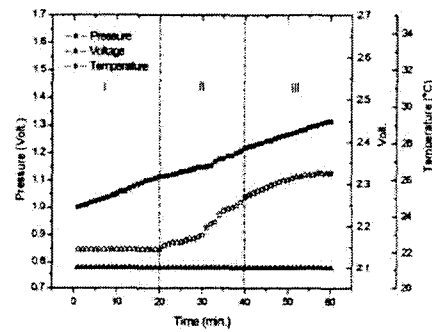


Fig. 13 Changes of electrolytic parameter according to the horizontal ultrasonic forcing for KOH 10% solution

감소하다가 후기 반이 증가함은 KOH 농도 0%와 비슷하게 나타나고 있다. 온도변환은 상승곡선을 그리고 있다.

그래프에서 보는 바와 같이 28kHz 초음파의 수평가진인 경우에는 온도 상승은 뚜렷함에 비해 수소생산율은 수직 가진일 때 비해 뚜렷하지 못함을 볼 수 있다. 이는 상기와 같이 초음파 가진 방향이 수소 전해에서 수소생산에 영향을 끼침을 말해주는 것으로서, 초음파의 최적 가진방향에 대한 고려가 필요한 것으로 사료된다.

#### 4. 결론

물전해에서 수소생산 효율향상을 위한 초음파의 비가진, 가진, 단절등의 연속실험을 통해 얻은

결론은 다음과 같다.

(1) 일정한 전류에서 2MHz 고주파 초음파를 KOH 농도 0%의 용액 즉 수돗물에 적용한 결과는 초음파 가진시 전압이 2V정도 하강하면서도 수소 생산율이 비가진시에 못지않게 나타났다. 이는 초음파에 의한 수소생산 효율향상의 근본 요인인 과전압저감으로 사료되며, 5% 이상의 전력절감을 나타내었다.

(2) 일정한 전류·전압에서 무 전해질 및 전해질 용액의 전해 모두에서 초음파 가진시의 수소생산율이 비가진시보다 높게 나타났다. 이는 초음파가 물 전해에서 수소생산 효율 향상에 친화적임을 말해준다.

(3) 28kHz저주파 및 2MHz고주파의 초음파 가진 모두에서 수소생산 친화적 성향을 나타내었다. 실험상 고주파 초음파가 저주파 보다도 더 안정적으로 작동하였다.

(4) 초음파의 수직·수평가진에서 수직가진이 수평가진에 비해 더 수소생산 친화적임을 보였다. 이는 초음파 가진방향이 초음파의 수소생산 효율 향상에 유의대상임을 말해준다.

(5) 초음파 가진시 온도의 상승이 수반되는데, 초음파 단절시의 온도하강에 비해 수소생산율은 큰 저감이 없었다. 이는 온도가 수소생산의 효율향상의 근본 요인인 과전압저감과는 반드시 함수 관계를 이루어야 한다고는 볼 수 없음을 말해준다. 그러나 정온시 수소생산율이 많이 저감되는데 이는 초음파의 과전압 저감요인인 물질이동, 세정, 온도상승 등 중 전해에서 온도상승이 과전압저감에 가장 큰 요인인 것으로 사료된다.

## 후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(R05-2000-000-00305-0)지원으로 수행된 연구의 일부이며, 이에 감사 드립니다.

## 참고 문헌

(1) Giz, M. J., Tremiliosi-Filho, G., and Gonzalez, E. R., 1994, "The Hydrogen evolution Reaction on Amorphous Ni and Co Alloys," *Proceedings of the 10th World Hydrogen Energy*

*Conference, Hydrogen Energy Progress X*, Vol. 1, pp. 587-595.

(2) Uehara, I., Tanaka, H., Oguro, K., Takenaka, H., Kato, M., and Maezawa, S., 1994, "Examination of Optimum Current Densities for Water Electrolysis Plants," *Proceedings of the 10th World Hydrogen Energy Conference, Hydrogen Energy Progress X*, Vol. 1, pp. 607-616.

(3) Avaca, L. A., Machado, S. A. S., Neto, P. L., and Tiengo, J., 1994, "Cathodic Performance of Newly Developed Ni-Co Porous Electrodes for Water Electrolysis," *Proceedings of the 10th World Hydrogen Energy Conference, Hydrogen Energy Progress X*, Vol. 1, pp. 623-630.

(4) Linkous, C. A., Anderson, H. R., Kopitzke, R. W. and Nelson, G. L., 1996, "Development of New Proton Exchange Membrane Electrolytes for Water Electrolysis at Higher Temperatures," *Proceedings of the 11th World Hydrogen Energy Conference, Hydrogen Energy Progress XI*, Vol. 1, pp. 559-567.

(5) Schug, C. A., 1996, "Operational Characteristics of High-Pressure, High-Efficiency Water-Hydrogen-Electrolysis," *Proceedings of the 11th World Hydrogen Energy Conference, Hydrogen Energy Progress XI*, Vol. 1, pp. 569-578.

(6) Kulikova, L. N., Fateev, V. N., and Rusanov, V. D., 1998, "Improved Electrodes for Water Electrolysis," *Proceeding of the 12th World Hydrogen Energy Conference, Hydrogen Energy Progress XII*, Vol. 1, pp. 711-716.

(7) Peláez, E., Trueba, M., González, H., Nuñez, C., Valdés, M., and Fernández, M., 1998, "Uses of Simple Electrochemical Methods for Production and Characterization of Composite Materials for HER," *Proceedings of the 12th World Hydrogen Energy Conference, Hydrogen Energy Progress XII*, Vol. 1, pp. 739-746.

(8) 藤森聰雄, 1980, "やさしい 超音波の 應用," 産報出版, 東京, 日本.

(9) 千葉 近, 1990, "超音波 噴霧," 山海堂, 東京, 日本.

(10) Sung-Jin Song, Young H. Kim, Dong Ho Bae, Min-Ho Jung and Sung-Duk Kwon, 2002, "Evaluation of Corrosion Degradation Character-



istics of Turbine Blade Material Using Backward Radiated Ultrasound," *Trans. of the KSME, A*, Vol. 26, No. 11, pp. 2322~2327.

(11) Kyu-jong Kim, Kwan-young Kim and Jae-ou Chae, 2001, "A Numerical Study on a

Prediction of Performance of the Metal Hydride Thermal Conversion System Through the Propagation Phenomena of Superadiabatic Thermal Waves," *Trans. of the KSME, B*, Vol. 25, No. 4, pp. 572~582.