

## 알카라인 수전해 시스템 성능 특성 및 안전에 관한 연구

박순애<sup>1</sup> · 이은경<sup>1</sup> · 이정운<sup>1,†</sup> · 이승국<sup>1</sup> · 문종삼<sup>1</sup> · 김태완<sup>2</sup> · 천영기<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국가스안전공사 가스안전연구원, <sup>2</sup>(주)주진테크

## A Study on Performance Characteristic and Safety of Alkaline Water Electrolysis System

SOON-AE PARK<sup>1</sup>, EUN-KYUNG LEE<sup>1</sup>, JUNG-WOON LEE<sup>1,†</sup>, SEUNG-KUK LEE<sup>1</sup>, JONG-SAM MOON<sup>1</sup>, TAE-WAN KIM<sup>2</sup>, YOUNG-KI CHEON<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institute of Gas Safety R&D, Korea Gas Safety Corporation, 1390 Wonjung-ro, Maengdong-myeon, Eumseong 27738, Korea  
<sup>2</sup>JUJINTECH, 81-16 Giheungdanji-ro, Giheung-gu, Yongin 17086, Korea

†Corresponding author :  
wooni@kgs.or.kr

Received 22 November, 2017

Revised 18 December, 2017

Accepted 29 December, 2017

**Abstract >>** Hydrogen is a clean, endlessly produced energy and it is easy to store and transfer. So, hydrogen is regarded as next generation energy. Among various ways for hydrogen production, the way to produce hydrogen by water electrolysis can effectively respond to fossil fuel's depletion or climate change. As interest in hydrogen has increased, related research has been actively conducted in many countries. In this study, we analyzed the performance characteristics and safety of water electrolysis system. In this study, we analyzed the performance characteristics and safety of water electrolysis system. The items for safety performance evaluation of the water electrolysis system were derived through analysis of international regulations, codes, and standards on hydrogen. Also, a prototype of the overall safety performance evaluation station was designed and developed. The demonstration test was performed with a prototype 10 Nm<sup>3</sup>/h class water electrolysis system that operated stably under various pressure conditions while measuring the stack and system efficiency. At 0.7MPa, the efficiency of the alkaline water electrolysis stack and the system that used in this study was 76.3% and 49.8% respectively. Through the GC analysis in produced H<sub>2</sub>, the N<sub>2</sub> (5,157ppm) and O<sub>2</sub> (1,646 ppm) among Ar, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO and CO<sub>2</sub> confirmed as main impurities. It can be possible that the result of this study can apply to establish the safety standards for the hydrogen production system by water electrolysis.

**Key words :** New and renewable energy(신재생에너지), Hydrogen(수소), Water electrolysis(수전해), Safety(안전), Purity(순도), Performance(성능), Efficiency(효율)

## 1. 서론

화석연료에 기반을 둔 무분별한 산업의 발달로 기후변화, 에너지 수급 부족, 자원 고갈, 에너지 빈곤 같은 21세기 에너지 환경 문제가 도래하였다<sup>1)</sup>. 이에 전 세계 각국에서는 기후변화협약, 도쿄의정서, 신 기후변화체제 협상 등을 추진하며 적극 대응하고 있고 특히, 국내에서는 신정부 출범과 함께 탈 원전, 탈 석탄발전을 목표로 2030 신재생에너지 정책 등을 추진하고 있다. 그 결과 에너지 패러다임이 나무와 석탄 중심으로 돌아가던 탄소 중심 경제에서 석유, 메탄을 거쳐 수소 중심 경제로 변화하고 있다<sup>2)</sup>. 수소는 청정하며 무한생산 가능한 에너지일 뿐 아니라 저장 및 수송이 용이하기 때문에 차세대에너지로 주목받고 있다<sup>3-5)</sup>.

수소는 탄화수소나 물로부터 수증기 개질, 부분산화, 자열 개질, 직접분해, 열화학분해, 생물학적 분해, 광화학적 분해, 전기분해 등의 방법을 통해 수소를 추출함으로써 제조할 수 있는 데 이 중에서

순수한 물을 전기분해하여 수소를 제조하는 방식이 에너지 고갈 및 기후변화 문제에 대응할 수 있는 방법으로 기대되어 진다<sup>6-11)</sup>.

수전해 방식은 사용하는 전해질의 종류에 따라 알칼리 수전해법(alkaline electrolysis, AE), 양이온 교환막 전해법(proton exchange membrane electrolysis, PEM) 및 고온 수증기전해법(high temperature electrolysis, HTE)의 3가지 방법으로 분류할 수 있다. 수전해 기술별 특징을 Table 1에 나타내었다<sup>12,13)</sup>. 다양한 수전해 방식 중 가격이 저렴하고 신뢰성이 높은 알칼리 수전해 방법은 20-30 wt% 수산화칼륨(KOH), 수산화나트륨(NaOH) 등의 전해질을 스택으로 공급하고, 전기화학반응을 통해 음극에서는 수소, 양극에서는 산소를 2대 1의 몰 비율로 제조하는 방법이다<sup>14,15)</sup>.

현재 국내외적으로 수소에 대한 관심이 높아졌음에도 불구하고 아직 국내에는 수전해 시스템에 대한 보급이 활성화되어 있지 않은 실정이다.

수소는 무색, 무취하며 발화에너지가 낮은 기체이기 때문에 연소 조건이 갖춰졌을 경우 폭발로 이어져 위험할 수 있다. 따라서 수소의 안정적인 생산과 공급을 확보하고, 수소 산업 보급 활성화를 위해 수전해 시스템에 대한 안전성 확보의 필요성이 대두되어 진다.

최근 일부에서는 태양광, 풍력 등 다양한 신재생에너지와 에너지저장장치(energy storagr system, ESS)를 수전해와 연계하여 에너지의 활용도를 높이는 시스템에 대한 연구가 수행되고 있다<sup>16)</sup>. 본 연구에서는 수전해 시스템의 성능과 안전에 영향을 미칠 수 있는 평가 항목인 시스템 효율, 수소 가스 순도, 압력 등을 도출하고 안전성능 평가 실증 실험시, 압력 및 투입되는 전력량과의 상관관계를 확인함으로써 신재생에너지 연계 수전해 수소 제조 시스템의 안전기준을 마련할 수 있는 기초 자료를 확보하고자 하였다.

## 2. 실험

본 연구에서는 수전해 안전성능 평가 장치를 통

Table 1. Comparison of water electrolysis technologies<sup>17)</sup>

Type	AE	PEM	HTE
Electrolyte used	Alkaline aqueous solution	Solid polymer electrolyte	Ceramic ion-conducting electrolyte
Operating temperature	≤ 80°C	≤ 80°C	≥ 700°C
Current density	≤ 0.3A/cm <sup>2</sup>	≥ 1A/cm <sup>2</sup>	≥ 1A/cm <sup>2</sup>
Required power	4.5 kWh/m <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	6 kWh/m <sup>3</sup> H <sub>2</sub>	-
Power efficiency	50-60%	50-60%	45-60%
Equipment price	Cheap	Expensive	Moderate
Responsibility	Reliable	Common	Unreliable
Application field	Medium and Large system	Small system	Large system
Characteristic	Centrifugal power, Ultrasonic power, Alcohol can be used	Applicable on high pressure system	-

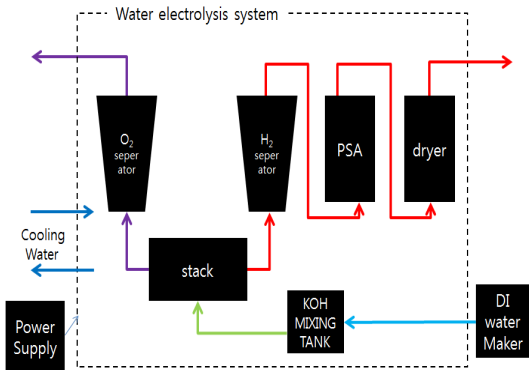


Fig. 1. A flow diagram of conventional alkaline water electrolysis

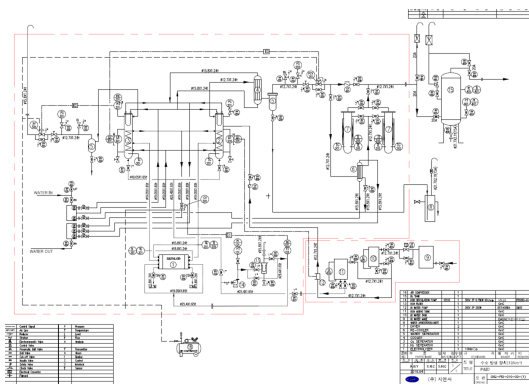


Fig. 2. P & ID of the alkaline water electrolysis system with capacity of 10 Nm³/h

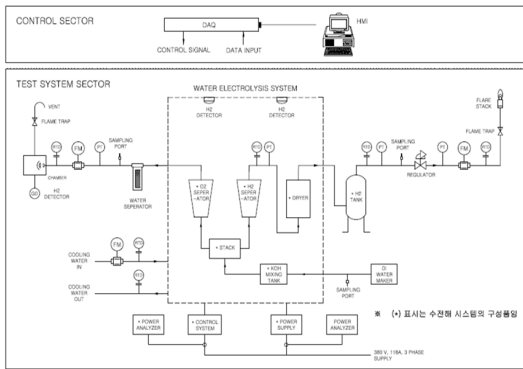
해 효율, 발생 수소의 품질 등 수전해 시스템의 안전 성능 실증실험을 실시하였다. 수전해 시스템으로는 알칼리 전해액(수산화칼륨 수용액, KOH)을 이용하여 90°C 이하에서 물을 전기분해하는 알칼리 수전해 시스템을 사용하였다. Fig. 1은 일반적인 알칼리 수전해 시스템의 모식도이고 Fig. 2는 본 연구에서 실제로 활용한 알칼리 수전해 시스템 시작품의 설계도이다. 실험은 수전해 시스템 시작품 안전성능 평가를 수행하기 위하여 국내 최초로 자체 설계하여 외부 제작사(ETIS)가 제작한 수전해 안전성능 평가 시작품을 이용하여 수행하였다. 수전해 안전성능 평가 시작품은 전력 검출부, 수소 검출부, 급수 및 수질 측정부, 온도/압력/유량/순도 검출부, 연결장치 및 지그부, 제어부(DAQ/PC 프로

그래밍)의 6개의 장치부로 구성되어 있으며, 알칼리 수전해 외의 양이온 교환막 전해법에도 모두 적용 가능하도록 설계하였다. 제작한 수전해 안전성능 평가 시작품의 설계도와 장비 사진은 Fig. 3에 나타내었다.

실험에 사용한 알칼리 수전해 시스템 시작품(주진테크 제작, 데모사이트 운전)은 시간당 10 Nm³의 수소를 생산하도록 설계된 스택에 5 Nm³/h의 배관을 연결한 것으로 자세한 정보 및 구동조건은 아래 Table 2에 나타내었다.

수전해 시스템의 안전성능 평가는 크게 수전해 시스템의 효율과 발생하는 수소의 순도를 분석하는 두 가지 방법으로 실험하였다. 먼저 효율 측정 실험은 정격의 전력 조건에서 수전해 시스템이 안정 상태에 도달한 후 일정 간격으로 power supply와 control panel에서 소모되는 전류와 전압 그리고 수소 토출부에서 발생하는 수소량을 측정하여 실험하였다. 수소의 순도 측정 실험은 정격의 전력 조건에서 수전해 시스템이 안전 상태에 도달한 후 시스템 후단의 수소 토출부에서 발생하는 수소를 샘플링하여 성분을 분석하였다. 성분 분석은 시료의 성분마다 이동상과 고정상에서 분배계수가 달라지는 원리를 이용하는 기체크로마토그래피(gas chromatography, GC)를 사용하였다. 분석기기는 열전도도형 검출기(thermal conductivity detector, TCD)를 사용하는 기체 크로마토그래피 장비(agilent technologies, 7890A-TCD)를 사용하였고 컬럼은 충전형 컬럼(molecularsieve 5a, MS-5A)과 캐필러리형 컬럼(packed poraplot Q, PP-Q)을 각각 1개씩 사용하였다.

수소 발생 압력에 따른 수전해 시스템의 안전성능 변화를 관찰하기 위해 3 bar, 5 bar, 7 bar의 압력 조건에서 실험을 진행하였다. 본 연구에서는 시스템 효율 측정 및 발생 수소의 순도 측정 실험에 대한 실험조건(system pressure, electric energy, time 등)을 명확하게 확립한 후 실험을 진행하여 정량적인 데이터를 얻고 이를 활용하여 신뢰성을 확보하고자 하였다.



(a)



(b)

Fig. 3. GC image of sampled H<sub>2</sub> gas (a) P&ID (b) Picture for the safety performance evaluation device of alkaline water electrolysis system

Table 2. Specification of hydrogen generator (10 Nm<sup>3</sup>/hr)

Content	Specification
Dimension(mm)	2,000 × 3,000 × 2,650 (LDH)
Working temperature (°C)	80 (actual operation 25-26)
Working pressure (MPa)	0.98
Material	STS 304

Table 3. Results of the system efficiency measurement as varying operating pressures

Pressure (MPa)	Time (min)	Amount of electricity (kW)		Accumulate flow of H <sub>2</sub> (Nm <sup>3</sup> )	System efficiency (%)
		Water electrolyzer	PLC		
0.3	0	63.7891	0.4	0	50.171
	10	63.0008	0.39	2.097	
	20	62.8851	0.38	3.205	
	30	63.2139	0.39	4.796	
	40	63.0732	0.38	6.174	
	50	63.0105	0.4	7.428	
0.5	0	62.4182	2.29	0	48.770
	10	61.5987	0.38	1.441	
	20	61.1709	0.41	2.920	
	30	60.2075	0.41	4.255	
	40	64.6146	2.07	5.510	
	50	65.1227	0.39	6.987	
0.7	0	66.8325	0.38	0	48.777
	10	64.2920	0.4	1.477	
	20	62.9037	0.38	2.931	
	30	63.2319	0.41	4.190	
	40	62.4782	0.42	5.539	
	50	62.2369	0.39	7.005	
60	56.6471	0.37	8.700		

### 3. 결과 및 고찰

#### 2.1 효율 측정 실험

10 Nm<sup>3</sup>/h급 알칼리 수전해 시스템의 안전성능 실험을 진행하기 위하여 효율 측정실험을 진행하였고, 한 회당 약 1시간을 운전시켜 총 3회를 구동시킨 결과 데이터를 Table 3에 나타내었다.

실험에 이용한 알칼리 수전해 시스템의 경우 3상 4선의 형태로 전력이 공급되기 때문에 아래의 식 (1)을 이용하여 시스템에 투입되는 총 전력량을 측정할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 P_{P.S} &= V_{P.S} \times I_{P.S} \times E_{P.S} \\
 P_{PLC} &= V_{PLC} \times I_{PLC} \times E_{PLC} \quad (1) \\
 P_{total} &= P_{P.S} + P_{PLC} \\
 &= V_{P.S} \times I_{P.S} \times E_{P.S} + V_{PLC} \times I_{PLC} \times E_{PLC}
 \end{aligned}$$

위의 식 (1)에서 수전해 시스템에 투입되는 전력량은  $P_{total}$ , 정류기 전단에서 측정되는 전압값은  $V_{p.s}$ , 전류값은  $I_{p.s}$ , 영률은  $E_{p.s}$ 이며 PLC (power line communication) 전단에서 측정되는 전압값은  $V_{plc}$ , 전류값은  $I_{plc}$ , 영률은  $E_{plc}$ 로 정의된다.

수소 발생량은 수전해 안전성능 평가 시작품의 수소 토출부 유량계를 사용하여 측정하였다. 발생된 수소량의 데이터는 Table 3에 함께 나타내었다. 수전해 시스템 후단에서 생산되는 수소는 100% 순수 수소가 아니다. 따라서 수소 내부에 불순물을 일부 포함하고 있다는 가정 하에 시료를 채취하여 순도시험을 수행하고 시스템의 효율을 보정하고자 하였다.

수전해 시스템의 효율은 아래의 식 (2)로 정의된다<sup>17)</sup>.

$$\text{수전해 시스템 효율(\%)} = \frac{\text{발생된 수소량}}{\text{투입된 총 전력량}} \times 100 \quad (2)$$

발생된 수소량과 투입된 총 전력량 단위의 일치를 위해서 수소의 연소열 등 에너지단위 환산 요소들을 적용하여 발생된 수소량은 이상기체 가정에 아래의 식 (3)을 사용하여 전력단위로 환산된다.  $H_{2_{pvo}}$  는 생산된 수소의 양을 의미한다.

$$\begin{aligned}
 H_{2_{pvo}} \text{ (m}^3\text{/h)} \times \frac{1000\text{ (l)}}{1\text{ (m}^3\text{)}} \times \frac{1\text{ (mol)}}{22.4\text{ (l)}} \times \frac{68.1\text{ (kcal)}}{1\text{ (mol)}} \quad (3) \\
 \times \frac{1\text{ (kWh)}}{860\text{ (kcal)}} = H_{2_{pvo}} \text{ (kw)}
 \end{aligned}$$

Fig. 4는 위의 계산식으로 도출한 알칼리 수전해 시스템의 압력에 따른 효율 변화 그래프이다.

Mazloomi와 Sulaiman, Dobó와 Palotás는 수전해 효율이 정류기 전압 변화, 온도, 압력 등에 영향을 받는다고 보고하였지만<sup>18-20)</sup>. 본 연구 결과에서는 수전해 시스템 효율이 압력 변화에 크게 영향을 받

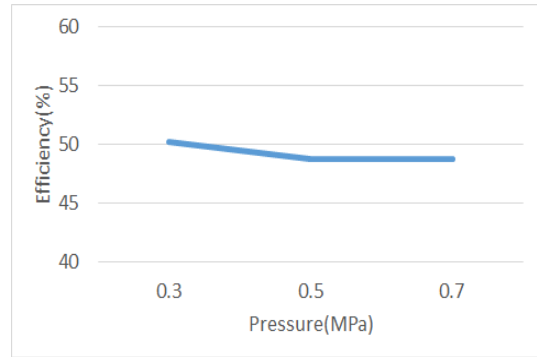


Fig. 4. Effects of operating pressure on alkaline water electrolyzer efficiency

지 않고 거의 일정한 값을 나타내는 경향을 확인할 수 있었다. 이는 수전해 시스템에 영향을 미칠 수 있는 요인이 다양하기 때문으로 파악되므로 압력과 효율 사이의 상관관계를 규명하기 위해서는 0.3-0.7 MPa보다 더 폭넓은 압력 범위에서 추가적인 실험을 수행하는 것이 필요해 보인다.

## 2.2 발생수소 순도 측정 실험

본 연구에서는 수전해 시스템의 정확한 효율 및 안전성을 평가하기 위해 시스템에서 발생하는 수소의 순도를 측정하는 실험을 실시하였다. 수전해 시스템이 정격조건에 도달한 후 0.7 MPa의 압력으로 안정화되었을 때 수소 토출부에서 발생하는 수소를 약 30분간 4.6 L 용기 2개에 샘플링하여 불순물의 농도를 측정함으로써 수소의 순도를 분석하였고 Fig. 5와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 비교적 무거운 성분인 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)는 캐필러리형 컬럼(packed poraplot Q, PP-Q)을 이용하여 검출할 수 있었지만 가벼운 성분인 아르곤(Ar), 산소(O<sub>2</sub>), 질소(N<sub>2</sub>), 일산화탄소(CO)는 검출시간이 짧아 충전형 컬럼(Molecularsieve 5a, MS-5A)으로 한 번 더 성분 분석을 진행하였다. 수분(H<sub>2</sub>O)의 경우, 함유 농도가 장비의 검출범위(400 μmol/mol)를 벗어나 분석이 어려워 이는 제외하였다. 순도 측정 결과 알칼리 수전해 시스템으로부터 생산된 수소의 순도는

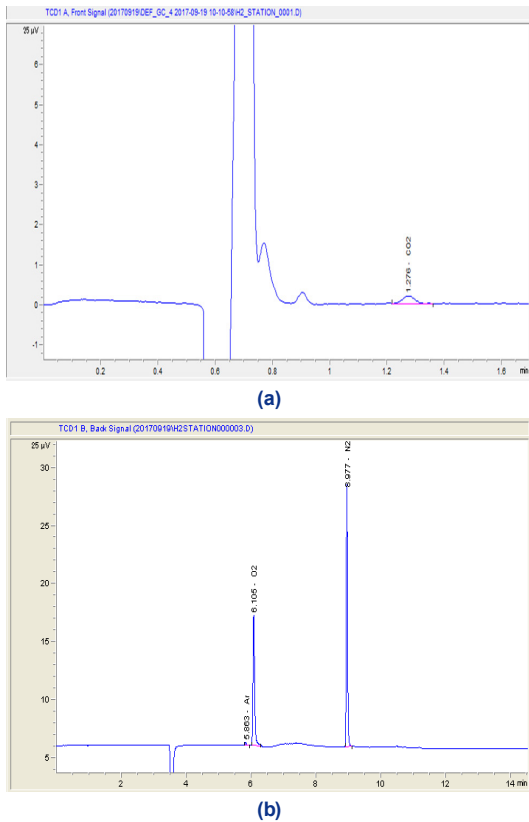


Fig. 5. GC image of sampled H<sub>2</sub> gas components (a) CO<sub>2</sub>, (b) Ar, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO

Table 4. Detected impurities by the GC analysis in sampled H<sub>2</sub> gas

Content	Unit	Result value
Ar	μmol/mol	50
O <sub>2</sub>	μmol/mol	1,646
N <sub>2</sub>	μmol/mol	5,157
CO	μmol/mol	N.D <10 μmol/mol
CO <sub>2</sub>	μmol/mol	3

99.31%임을 확인할 수 있었고 수소에 포함된 불순물의 농도는 Table 4에 나타내었다. 본 시스템으로부터 생산된 수소 기체 중 가장 높은 비율을 차지하는 불순물은 질소이다. 질소는 DI water 내 용해된 질소에서 기인한 것으로 보이며 발생 수소의 순도를 높이기 위해 수전해 시스템에 투입하는 DI

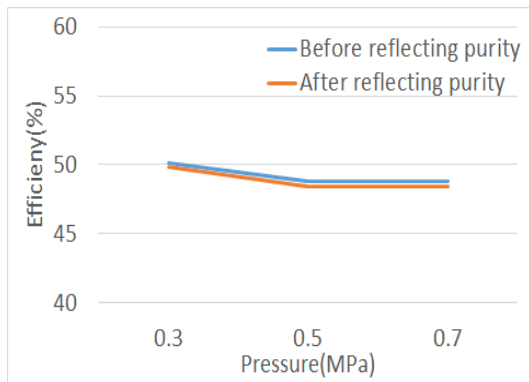
water의 수질을 깨끗하게 관리해야 할 것으로 판단된다. 또한 질소는 시스템 가동 전 내부에 잔류하던 성분들이 미처 purge되지 못한 것으로도 보이며 시스템 가동 전 내부 기체 관리에 신경 써야 할 것으로 판단된다. 두 번째로 높은 비율을 차지하고 있는 불순물은 산소이다. 이 역시 시스템 가동 전 내부에 잔류하던 성분들이 미처 purge되지 못한 것이거나 전해조에서 전기화학반응을 통해 수소가 생산될 때 양극에서 생산된 산소가 일부 분리되지 못하고 수소 흐름에 함유한 것으로 보인다. 산소는 조연성 가스로 일정 농도 이상의 수소와 함께 존재하면 연소 조건을 만족하게 되고 수소 가스의 경우 본래 폭발성이 매우 높은 기체이므로 시스템의 안전에 큰 지장을 줄 수 있을 것으로 보인다. 따라서 시스템의 가동 전주기에 걸쳐 모니터링을 통해 수소 토출부의 산소 농도를 관리해야 할 것으로 판단된다. 뿐만 아니라 양극의 산소토출부에서도 수소 농도가 일정 수준 이상이 되면 연소 및 폭발의 위험이 있기 때문에 마찬가지로 지속적인 모니터링이 필요하다. 참고로 공기 중 수소의 폭발 범위는 4-75%이고, 산소의 폭발 범위는 4.1-74.2%이다. 또한, 산소 중 수소의 폭발 범위는 4-94%이므로 시스템의 안전한 운전을 위해 이 범위를 넘지 않도록 주의해야 한다. 일산화탄소와 이산화탄소의 경우 시스템의 안전에는 큰 영향을 주지 않을 것으로 보이나 생산되는 수소의 품질을 높이기 위해 줄여나가는 것이 적절하다고 판단된다. 마지막으로 수분의 경우 장비 검출 범위를 넘을 만큼 과량 포함되어 있는데 이는 흡착탑이나 분리층의 높이를 높이는 방법 등의 대안을 고려하여 보완해야 한다고 판단된다.

### 3.3 수전해 시스템 최종 효율 산출

앞선 두 실험을 통해 알칼리 수전해 시스템의 효율과 시스템으로부터 발생된 수소의 순도를 확인할 수 있었다. 시스템에서 생산된 수소는 예상하였던 것과 같이 순도 100%의 수소가 아니므로 시스

**Table 5.** Amount of generated H<sub>2</sub> and efficiency of Alkaline Water electrolysis

Pressure (MPa)	Amount of generated H <sub>2</sub> (Nm <sup>3</sup> /h)	Efficiency (%)	
		Before reflecting purity	After reflecting purity
0.3	8.975	50.171	49.825
0.5	8.969	48.770	48.433
0.7	9.446	48.777	48.440



**Fig. 6.** The system efficiency correction with H<sub>2</sub> purity

템 효율의 보정이 필요하였다. Table 5와 Fig. 6은 발생 수소의 순도를 반영한 시스템의 효율이다. 기존에 활용한 수전해 시스템 효율 계산식에 수소의 순도를 곱해준 것으로 0.3 MPa, 0.5 MPa, 0.7 MPa의 압력 조건에서 평균적으로 약 50% 수준의 시스템 효율을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

### 3.4 수전해 스택 효율 산출

10 Nm<sup>3</sup>/h급 알칼리 수전해 시스템에서 정류기와 PLC에 소모되는 전력을 제외하고 순수한 스택의 효율을 측정하기 위해 같은 조건에서 실험을 진행하였다. 0.3 MPa, 0.5 MPa, 0.7 MPa의 압력 조건에서 1시간 동안 10분 간격으로 정류기 후단에서 스택으로 투입되는 전력량과 발생된 수소량을 측정하였고 측정 결과 데이터를 Table 6에 나타내었다.

스택 효율도 시스템 효율과 마찬가지로 위의 식

**Table 6.** Results of the stack efficiency measurement as varying operating pressures

Pressure (MPa)	Time	Amount of electricity (kW)	Accumulate flow of H <sub>2</sub> (Nm <sup>3</sup> )	Stack efficiency (%)
0.3	0	39.40	0	80.320
	10	39.50	2.097	
	20	39.70	3.205	
	30	39.30	4.796	
	40	39.00	6.174	
	50	39.00	7.428	
	60	38.70	8.975	
0.5	0	39.10	0	77.829
	10	38.70	1.441	
	20	37.80	2.920	
	30	37.60	4.255	
	40	41.39	5.510	
	50	41.91	6.987	
	60	39.62	8.745	
0.7	0	43.16	0	76.326
	10	39.70	1.477	
	20	39.80	2.931	
	30	40.87	4.190	
	40	40.76	5.539	
	50	40.14	7.005	
	60	35.67	8.700	

(2)와 (3)을 활용하여 도출하였고 식 (1)의  $P_{total}$  대신 스택 전단에서 측정된 전력값을 대입하였다. 분석 결과 순도를 반영한 수전해 시스템의 스택 효율은 0.3 MPa에서 80.320% (4.371 kW/Nm<sup>3</sup>), 0.5 MPa에서 77.829% (4.511 kW/Nm<sup>3</sup>), 0.7 MPa에서 76.326% (4.599 kW/Nm<sup>3</sup>)임을 확인할 수 있었고 시스템 효율에 비하여 약 30% 정도 높은 값을 나타내는 것을 확인하였다. 이는 전력 공급 장치의 효율이 전체 수전해 시스템 효율에 큰 영향을 미칠 수 있음을 알 수 있었다.

## 4. 결론

본 연구에서는 친환경적인 수소 제조 방법으로 주목받고 있는 알칼리 수전해 시스템의 효율과 발

생 수소의 순도 분석 실험을 통하여 안전성을 분석하였다. 압력 및 투입 전력과 시스템 효율 사이의 상관관계를 분석한 결과, 본 연구에 활용한 10 Nm<sup>3</sup>/h급 알칼리 수전해 시스템 시작품은 0.3 MPa에서 49.825%, 0.5 MPa에서 48.433%, 0.7 MPa에서 48.440%의 효율을 나타냈으며 평균 약 50%의 효율을 안정적으로 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 또한 수전해 효율은 투입되는 전력의 범위를 어떻게 선정하느냐에 따라 크게 달라질 수 있음을 확인하였고, 시스템의 총 효율을 측정하기 위해서는 전해조 외의 통신(PLC)이나 각종 열교환기 등 시스템을 구동하기 위해 투입되는 총 전력을 산정하는 것이 적절하다고 판단할 수 있었다. 또한 시스템의 온도 조절을 위해 투입되는 냉각수의 배열 회수 열을 활용한다면 시스템의 효율을 향상시킬 수 있는 방안이 될 것이라고 판단된다.

수전해 시스템에서 발생하는 수소의 순도는 시스템의 성능과 안전성에 영향을 미칠 수 있으므로 적정 수준 이상으로 유지하는 것이 필요하다. 발생하는 수소에 포함되는 불순물의 농도를 낮추기 위해 DI water의 수질 관리, 흡착제(molecular sieve tower 등)를 이용한 수분 제거, 안전한 시스템 제어 조건 확립 등 다양한 방법을 고려하여 적용해야 할 것이라고 판단되며, 시스템의 안전성 확보를 위해 수소 중 산소 농도뿐 아니라 산소 토출부의 산소 가스 중 수소 농도가 폭발 범위에 해당하지 않는지, 또 시스템에서 누출되는 가스는 없는지 지속적인 관리가 필요할 것으로 보여 진다. 또한 반응이 완전하게 진행되지 않을 경우, 잔존하게 되는 미 반응물에 대한 분리 방법에 대해서도 고려가 필요하다고 판단된다.

본 실험을 통해 수전해 시스템의 안전성 확보 방안을 확인할 수 있었으며, 본 연구 결과를 토대로 수전해 시스템의 평가 기준을 마련하여 국내 수전해 시스템의 성능과 안전성을 확보하고 보급 활성화에 기여하고자 하였다.

## 후 기

본 연구는 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제이다(20153010130310).

## References

1. R. W. Fri and M. L. Savitz, "Rethinking energy innovation and social science", *Energy Research & Social Science*, Vol. 1, 2014, pp. 183-187.
2. A. Alaswad, A. Baroutaji, H. Achour, J. Carton, A. I. Makky, and A. G. Olabi, "Developments in fuel cell technologies in the transport sector", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 41, No. 37, 2016, pp. 16499-16508.
3. K. L. Kovács, G. Maróti, and G. Rákhely, "A novel approach for biohydrogen production", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 31, No. 11, 2006, pp. 1460-1468.
4. K. Zeng and D. Zhang, "Recent progress in alkaline water electrolysis for hydrogen production and applications", *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 36, No. 3, 2010, pp. 307-326.
5. I. Dincer, "Green methods for hydrogen production", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 37, No. 2, 2012, pp. 1954-1971.
6. K. Mazloomi and C. Gomes, "Hydrogen as an energy carrier: Prospects and challenges", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, No. 5, 2012, pp. 3024-3033.
7. M. Wang, Z. Wang, X. Gong, and Z. Guo, "The intensification technologies to water electrolysis for hydrogen production—A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 29, 2014, pp. 573-588.
8. R. Fernández-Saavedra, M. B. Gómez-Mancebo, C. Caravaca, M. Sánchez, A. J. Quejido, and A. Vidal, "Hydrogen production by two-step thermochemical cycles based on commercial nickel ferrite: Kinetic and structural study", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 39, No. 13, 2014, pp. 6819-6826.
9. A. A. Ismail and D. W. Bahnemann, "Photochemical splitting of water for hydrogen production by photocatalysis: A review", *Solar Energy Materials and Solar Cells*, Vol. 128, 2014, pp. 85-101.
10. J. Pacheco, G. Soria, M. Pacheco, R. Valdivia, F. Ramos, H. Frías, M. Durán, and M. Hidalgo, "Greenhouse gas treatment and H<sub>2</sub> production, by warm plasma reforming", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 40, No. 48, 2015, pp. 17165-17171.



11. Y. Wang, S. Wang, G. Zhao, Y. Guo, and Y. Guo, "Hydrogen production by partial oxidation gasification of a phenol, naphthalene, and acetic acid mixture in supercritical water", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 41, No. 4, 2016, pp. 2238-2246.
12. B. G. Kim, G. S. Shin, K. S. Chio, and H. M. Kim, "A Theoretical Study on Proton Exchange Membrane Electrolyzer", *Journal of Automotive Engineering*, 2011, pp. 38-42.
13. M. H. Seo, H. S. Hong, K. H. Kang, J. M. Kim, S. K. Lee, and Y. S. Yun, "Development of preparation technology of materials for high temperature electrolysis", *Journal of Korea New & Renewable Energy*, 2007, pp. 61-64.
14. K. Moon and D. Pak, "The Characteristics of Hydrogen Production According to Electrode Materials in Alkaline Water Electrolysis", *Journal of Energy Engineering*, Vol. 24, No. 2, 2015, pp. 33-39.
15. F. ezzahra Chakik, M. Kaddami, and M. Mikou, "Effect of operating parameters on hydrogen production by electrolysis of water", *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 42, No. 40, 2017, pp. 25550-25557.
16. S. M. M. Ehteshami, S. Vignesh, R. K. A. Rasheed, and S. H. Chan, "Numerical investigations on ethanol electrolysis for production of pure hydrogen from renewable sources", *Applied Energy*, Vol. 170, 2016, pp. 388-393.
17. T. H. Lee, "Overview and prospect of the water electrolytic device technology", *Journal of the Electric World*, 2015, pp. 14-17.
18. M. H. Sellami and K. Loudiyi, "Electrolytes behavior during hydrogen production by solar energy", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 70, 2017, pp. 1331-1335.
19. S. K. Mazloomi and Nasri Sulaiman, "Influencing factors of water electrolysis electrical efficiency", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, No. 16, 2012, pp. 4257-4263.
20. Z. Dobó, and Á. B. Palotás, "Impact of the voltage fluctuation of the power supply on the efficiency of alkaline water electrolysis", *International journal of Hydrogen Energy*, Vol. 41, No. 28, 2016, pp. 11849-11856.