

## A Study for Correlativity of Hydrogen Production Using Artificial Luminous Intensity

정유라\* · 홍창우\* · 최용성<sup>†</sup> · 이경섭\*\*  
 (You-Ra Jung · Chang-Woo Hong · Young-Sung Choi · Kyung-Sup Lee)

**Abstract** - This paper presents energy efficiency about an electrolyser which is related with the hybrid system of solar cell and fuel cell for using the system more fully. The water electrolyser is the exact reverse of a hydrogen fuel cell; it produces gaseous hydrogen and oxygen from water. Electrolyser technology may be implemented at a variety of scales wherever there is an electricity supply to provide hydrogen and/or oxygen for virtually any requirement. Also, this paper shows optimum operating point in the electrolyser for saving cost of the electrical energy with hybrid system..

**Key Words** : Solar Cell, Hybrid System, Energy Efficiency, Optimum Operating Point

### 1. 서론

21세기에 들어 석유, 천연가스 등 화석연료의 고가격이 지속되면서 신재생에너지 개발이 전 세계적인 화두가 되고 있다. 중국 등 개발도상국의 에너지 수요급증으로 국가 간의 자원개발 경쟁이 격화되고 각종 국제적 환경 규제도 강화 추세에 있다[1]. 이러한 여건의 변화는 친환경 재생에너지 개발에 대한 관심과 노력의 급증으로 이어졌다. 특히 태양광 에너지는 최근 기술혁신의 가속화로 2000년대 이후 풍력과 함께 가장 주목받고 있다[2]. 하지만 신재생에너지들이 가지는 가장 큰 단점은 에너지를 생산하는데 있어서 간헐성을 가지고 있다는 점이다. 때문에 연료전지를 결합한 하이브리드 시스템(2가지 이상의 에너지를 활용하는 기술)을 이용하여 에너지의 공급을 지속적으로 할 수 있게 하여 신재생에너지가 가지는 단점을 보완하게 한다[3]. 이러한 하이브리드 시스템을 구성하기 위한 하나의 방법으로 전기분해기는 수소연료전지에 정확하게 반대가 되는 이론을 가진 장치이다. 전기분해기는 물에서 산소/수소 가스를 전기적 분해를 통해서 얻는다. 이러한 전기 분해기에서 발생된 산소/수소로 연료전지를 작동시킴으로써 다른 신재생에너지의 발전에너지에서 얻은 에너지의 일부를 전기분해기가 수소를 발생시켜 그 에너지는 저장하고 필요한 시점에 사용을 가능케 한다[4].

태양전지와 연료전지의 하이브리드 시스템이 상업화되어 낮은 과전압 속에서 작동되게 하기 위해서 전기분해기는 에너지 효율이 높으면 높을수록 경제적인 이득을 낼 수 있다는 것을 알 수 있다. 에너지관리공단에서 조사한 국내 총발전량과 신재생발전량을 살펴보면, 02년도를 기점으로 신재생에너지의 발전량이 급격히 증가하였으나 그 후로는 뚜렷한

증가세를 보이지 못하고 있다[5]. 현재 신재생에너지의 발달을 가로막는 요인은 신재생에너지가 가지는 간헐성과 화석연료나 원자력 에너지에 비해 경제적인 측면에서 경쟁력이 떨어지기 때문이다. 즉, 전기 분해기에서 전류, 전압에 따른 수소의 발생량보다 전기분해기가 가진 에너지 효율에 더 중점을 맞춰야 가격이 비싼 전기적인 에너지의 사용 속에서 하이브리드 시스템이 좀 더 대체에너지로써 경쟁력을 가지게 될 것으로 사료된다.

따라서 본 논문에서는 점차적으로 늘어나는 신재생에너지의 발전에 따른 에너지를 하이브리드 시스템을 통하여 발전의 효율을 증가시키기 위해서 신재생에너지와 연료전지의 하이브리드 시스템에서 에너지들의 발전을 결합시키는 전기분해기의 효율을 구하고 최대 전력 전달 조건을 찾는 데 목적이 있다[6].

### 2. 실험

그림 1은 태양전지(Heliocentris)와 전기 분해기(Heliocentris)를 나타내고 있다. 할로겐램프(K05, Philips, BELGIUM)에 의해서 발전된 태양전지(hydro-Genius<sup>TM</sup>, Heliocentris, Germany)를 전력원으로 전기분해기(hydro-Genius<sup>TM</sup>, Heliocentris,

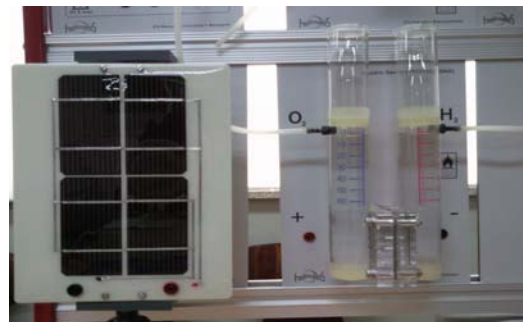


그림 1 태양전지와 전기분해기.  
 Fig. 1 Solar cell and Electrolyser.

<sup>†</sup> 교신저자, 시니어회원 : 동신대 공대 전기공학과 교수 · 공박  
 E-mail : yschoi67@dsu.ac.kr

\* 준 회원 : 동신대 대학원 석사과정 · 학사

\*\* 시니어회원 : 동신대 공대 전기공학과 교수 · 공박

접수일자 : 2009년 12월 16일

최종완료 : 2010년 3월 30일

Germany))에 전력을 공급하여 증류수를 산소와 수소로 분해하고 전류, 전압을 측정하였다. 표 1은 본 실험에 사용한 장치를 나타내었다. 태양전지는 (폭 × 높이 × 깊이) 200[mm] × 297[mm] × 100[mm]의 치수와 1.8[V]의 전압과 1000[mA]의 전류로 직류전압으로 전력을 공급하고 전기분해기는 수소 발생 시에 수소의 양을 측정하기 위해 수소 측 튜브에 클립으로 수소의 축적을 실린더 속에서 할 수 있게끔 하여 수소의 양을 측정하여 데이터를 얻었다. 기술적인 데이터에 따르면 전기분해기의 치수는 (폭 × 높이 × 깊이) 200[mm] × 310[mm] × 110[mm]이다. 표면 면적은 25[cm<sup>2</sup>]이고 작동 중 전압은 1.34-1.43[V]로 나타난다. 전류는 0-0.93[A]이고, 전기 분해기에서 수소의 생산 최대치는 25[ml/min.]이다. 조도계(DT-1300.CEM, China)를 사용하여 조도를 측정하였다. 실험 시 수소의 발열량을 일정하기 위해 실험실 내부의 온도를 20[°C]로 유지하였다.

표 1 Technical Data  
Table 1 기술적인 데이터

| 태양광장치                  |                              |
|------------------------|------------------------------|
| 크기(너비×높이×깊이) [mm]      | 200×297×100                  |
| 단자전압 [V]               | 2.2                          |
| 단락전류 [mA]              | 1200                         |
| 전해질장치                  |                              |
| 크기(너비×높이×깊이) [mm]      | 200×310×110                  |
| 표면적 [cm <sup>2</sup> ] | 25                           |
| 정격전압 [V]               | 1.4-1.8                      |
| 정격전류 [mA]              | 0-4000                       |
| 가변저항장치                 |                              |
| 크기(너비×높이×깊이) [mm]      | 100×297×100                  |
| 가변저항 수치 [Ω]            | 0.3/0.5/1/2/3/5/10/20/50/100 |

그림 2는 전기분해기의 에너지 효율을 측정하기 위한 회로도를 보여준다. 태양전지 측에서 할로겐램프를 통해 전압을 증가시키면 전기분해기의 수소-산소 발생량도 변화한다. 그림 2와 같은 방법으로 240초간 4번의 측정을 통하여 전기분해기에서 각 전압과 전류에 따라 발생하는 수소의 평균량을 구하고, 그 평균값을 이용하여 에너지 효율을 구하였다. 전체적으로 8번에 걸쳐 각각의 에너지 효율을 구하여 전기분해기의 에너지 효율이 가장 높게 나타나는 최적의 동작점을 찾았다. 전기분해기 내의 반응은 식 (1)과 같다[7].

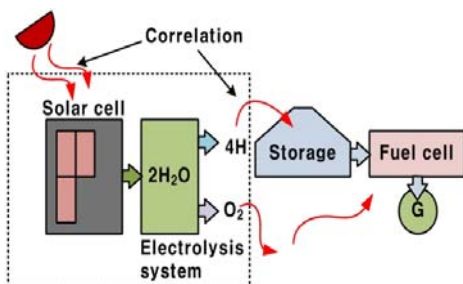
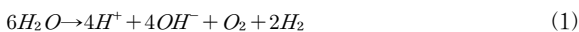


그림 2 직류전원을 이용한 전기분해기.  
Fig. 2 Electrolyser using DC power supply.

이때 사용된 전압계(MR-707, Magna Electric. co. Ltd, Korea)는 가동코일형의 0.5급 직류전압계이다. 전류계(MR-707, Hwa Shin Instruments. co. Ltd, Korea)도 가동코일형의 0.5급 직류 전류계이다. 직류전원(Han Il Electric. co.)은 정격전류는 3[A]이며 정격전압은 30[V]이다.

연료전지의 효율은 식 (2)의해서 구할 수 있다[8]. 여기서, ΔH는 수소의 발열량, Avg[ml]는 수소발생량의 평균, V는 태양전지의 전압, I는 태양전지의 전류이며 t 수소발생량 측정시간(초)이다.

$$\eta_E = \frac{\Delta H \cdot v_{avg}}{VRt} \quad (2)$$

### 3. 결과 및 검토

그림 3은 태양전지에 빛의 세기를 100[lx]에서 50[lx]씩 증가시키며 450[lx]까지 변화를 주며 태양전지의 전압-전류를 알아보았다. 100[lx]의 경우 모듈의 면적에 비치는 빛의 양이 적으므로 전압 1.34[V], 전류 0.35[A]의 다소 낮은 전압과 전류가 흘렀으면 450[lx]의 경우 모듈의 면적에 비치는 빛의 양이 많아지면서 전압과 전류는 100[lx]의 경우보다 많이 만들어냄을 볼 수 있다.

그림 4는 태양전지에서 만들어진 전압과 전류를 이용하여 전기분해기의 수소발생을 알아보았다. 전기분해기가 만들어진

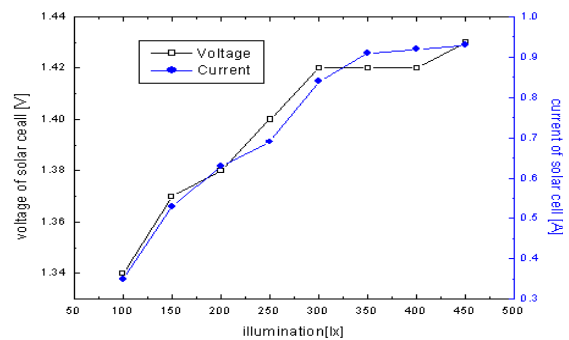


그림 3 태양전지의 전압-전류 특성.  
Fig. 3 I-V characteristic of the electrolyser.

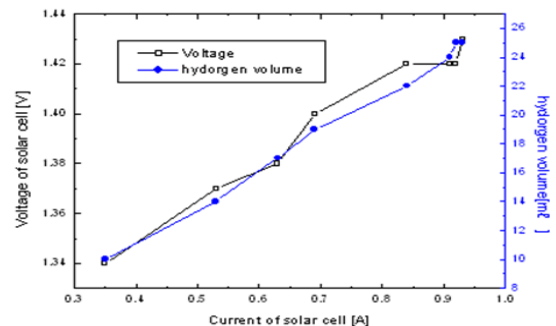


그림 4 태양전지를 이용한 전기분해기의 에너지효율 곡선과 전압-전류 곡선.  
Fig. 4 I-V curve and energy efficiency curve of the electrolyser using solar cell.

수소발생량을 이용하여 본 실험에 사용한 연료전지의 효율 측정된 결과이다.

그림 5는 식 (2), (3)에 의해 에너지 효율을 구한 결과이다. 그림 5에서 나타내었듯이 100[lx]에서부터 효율이 증가하다 250[lx]에서 가장 높은 효율을 나타낸 후 300[lx]에서 전압-전류와 수소 생산량이 늘어남에도 효율이 감소하여 87[%]의 효율을 나타내었다. 350[lx]에서 450[lx]까지 효율이 점차 증가하였다. 본 실험의 결과로써 전기분해기가 수소를 생산하는데 있어 가장 에너지 효율이 높은 최적의 동작점 [Optimum Operating Point (OOP)]이 있다는 것을 알 수 있었고, 이번 실험에 쓰인 전기분해기의 최적의 동작점은 250[lx]일 때, 높은 효율을 나타내었다[9].

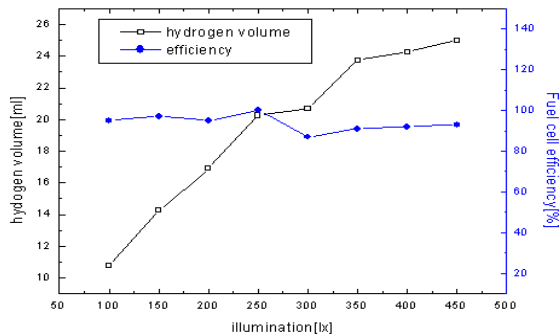


그림 5 태양전지를 이용한 전기분해기의 수소발생량과 에너지 효율곡선.

Fig. 5 Hydrogen volume and energy efficiency curve of the electrolyser using solar cell.

표 2는 그림 1의 실험을 통하여 전기분해기에서 얻은 수소의 양, 효율, 전압, 전류를 측정된 것을 보여준다. 전기분해기의 에너지 효율  $\eta_E$ 는 수소발생의 에너지 용량과 요구되는 전기의 에너지의 양 사이의 비율을 말한다. 표 1을 보면 전압과 전류의 증가에 따라 수소의 발생량이 증가함을 알 수 있으나 각각의 효율은 증가 또는 감소하는 것을 보여준다.

표 2 전기분해기의 전압-전류에 따른 에너지 효율.

Table 2 Energy efficiency table according to voltage and current of electrolyser.

| 조도 [lx] | 전압 [V/cell] | 전류 [A/cell] | 수소발생량 [ml/m] | 효율 [%] |
|---------|-------------|-------------|--------------|--------|
| 100     | 1.34        | 0.42        | 10.75        | 95     |
| 150     | 1.37        | 0.53        | 14.25        | 97     |
| 200     | 1.38        | 0.63        | 16.9         | 95     |
| 250     | 1.4         | 0.69        | 20.25        | 99     |
| 300     | 1.4         | 0.84        | 20.7         | 87     |
| 350     | 1.42        | 0.91        | 23.75        | 91     |
| 400     | 1.42        | 0.92        | 24.25        | 92     |
| 450     | 1.43        | 0.93        | 25           | 93     |

#### 4. 결 론

본 논문은 태양전지-연료전지의 하이브리드 시스템에 포함되어 있는 장치들 가운데 태양전지와 전기분해기의 에너

지 효율에 대해 다루었다. 특히 본 논문을 통해 에너지 효율을 이용하여 가장 최적화된 전기분해기의 작동 전압 및 전류를 구하였다.

연구 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 전기분해기는 1.34[V]에서 전류의 증가와 수소의 생산을 시작하였고, 이 때 전기분해기의 에너지 효율은 95[%]의 효율을 나타내었다.
2. 각 전압에 따라 각기 다른 효율을 나타냈고 전압이 1.4[V], 전류가 0.69[A]일 때 99[%]의 최고의 효율이 나타났다.

본 논문에서 효율이 99[%]까지 나왔지만 실제로는 그러하지 못하다. 그렇기 때문에 하이브리드 시스템에서 에너지의 환경적인 면과 경제적인 면을 앞으로 더욱 발달시키고 신재생에너지로부터 발생하는 전력의 한 부분을 활용하기 위해서 전기분해기의 용량에 관한 연구 또한 필요할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 2008년도 지식경제부의 재원으로 한국 에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (2008H100100016)

#### 참 고 문 헌

- [1] UNEF, Global Trends in Sustainable Energy Investment (2008).
- [2] Andrew Benson, Vidya Anant, European Solar Power Industry, Citigroup (2008).
- [3] Fischer M. Review of hydrogen production with photovoltaic electrolysis systems. International Journal of Hydrogen Energy, pp.495-501 (1986).
- [4] K. V. Lovell, N. S. Page, Membrane Electrolyte Technology for Solid Polymer Fuel Cells, Energy Technology Support Unit (1997).
- [5] R. E. Clarke, S. Giddey, F. T. Ciacchi, S. P. S. Badwal, B. Paul, J. Andrews, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 34, pp. 2531-2542 (2009).
- [6] R. García-Valverde, C. Miguel, R. Martínez-Béjar, "Optimized photovoltaic generator - water electrolyser coupling through a controlled DC - DC converter", A. Urbina, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 33, pp. 5352-5362 (2008).
- [7] Ozcan Atlam, "An experimental and modelling study of a photovoltaic / proton-exchange membrane electrolyser system", International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 34, pp. 6589-6595 (2009).
- [8] Yu .I. Kharkats, Yu. V. Pleskov, "A plant for solar energy conversion and storage: "Solar array + electrolyser + storage battery". Computation of the non-steady-state operating conditions and design optimization", International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 16, pp. 653-660 (1991).
- [9] Alfredo Ursúa, Luis Marroyo, Eugenio Gubía, Luis

M. Gandía, Pedro M. Diéguez, Pablo Sanchis, "Influence of the power supply on the energy efficiency of an alkaline water electrolyser", International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 34, pp. 3221-3233 (2009).

저 자 소 개



**정 유 라 (鄭 誘 羅)**

1985년 11월 2일생. 2008년 동신대학교 졸업(학사). 현재 동신대학교 대학원 전기전자공학과 석사과정.

Tel : 061-330-3218

Fax : 061-330-3105

E-mail : dbfk3305@naver.com



**홍 창 우 (洪 昌 佑)**

1985년 12월 27일생. 2010년 동신대학교 졸업(학사). 현재 동신대학교 대학원 전기전자공학과 석사과정.

Tel : 061-330-3218

Fax : 061-330-3105

E-mail : hongchangwoo@naver.com



**최 용 성 (崔 龍 成)**

1967년 11월 14일생. 1991년 동아대학교 전기공학과 졸업 (학사). 1993년 동대학원 전기공학과 졸업 (석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업 (공학박). 1999년~2001년 JAIST Post-Doc.. 2001년~2003년 Osaka Univ. Post-Doc.. 2002년~2005년 원광대학교 연구교수. 2006년~현재 동신대학교 전기공학과 교수. 2006년~현재 전력산업인력양성사업단 기획운영부장.

Tel : 061-330-3204

Fax : 061-330-3105

E-mail : yschoi67@dsu.ac.kr



**이 경 섭 (李 炘 燮)**

1956년 11월 09일생. 1983년 조선대학교 전기공학과 졸업(학사). 1986 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1988년~현재 동신대학교 전기공학과 교수. 1994년~ 1995년 동경공업대학 객원연구원. 2006년~현재 전력산업인력양성사업단 단장.

Tel : 061-330-3203

Fax : 061-330-3105

E-mail : kslee@dsu.ac.kr