

분리판에서 기포의 거동에 관한 연구

유철휘¹ · 김종수² · 박대흠³ · 정영관^{4†}

¹호서대학교 일반대학원 그린에너지공학과, ²한국기계연구원 첨단생산장비연구본부,
³현대건설 연구개발본부, ⁴금오공과대학교 기계공학과

Study on the Behavior of Bubbles in the Separators

CHEOLHWI RYU¹, JONGSOO KIM², DEAHEUM PARK³, YOUNGUAN JUNG^{4†}

¹Graduate School, Department of Green Energy, Hoseo University, 165, Sechulri, Baebangeup, Asan, Chungnam, 336-795, Republic of Korea

²Laser & Electron Beam Application Department, Korea Institute of Machinery & Materials, 156 Gajeongbuk-ro, Yuseong-Gu, Daejeon, 305-343, Republic of Korea

³Research & Development Division, Hyundai Engineering & Construction Co., Ltd., 102-4, Mabuk-dong, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, 446-716, Republic of Korea

⁴Department of Mechanical Engineering, Kunoh National Institute of Technology, 61 daehak-ro, Gumi, Gyeongbuk, 730-701, Republic of Korea

Abstract >> The bubbles made of hydrogen and oxygen gases produced by electrolysis disturb the electrolysis, but the behavior of these bubbles in the electrolysis stack isn't clearly defined. In order to study on the behavior of bubbles in the flow pattern of the meshes type separator, the flow visualization experiment was performed by using of a visible alkaline electrolysis stack and a stereoscopic microscope. As the results, a fine size bubbles adhered to the separator's surface in the electrolyte solution have grown large sized bubbles until each bubble's buoyance is larger than the sum of surface adhesion force and weight. And then the large bubbles flow into the upper area of the separator. Also, as wide area of the separator have been occupied by various sized bubbles, the electrolysis efficiency is declined.

Key words : Alkali(알카리), Electrolysis(전기분해), Separator(분리판), Hydrogen(수소), Bubble(기포), Behavior(거동), Flow visualization(유동 가시화)

Nomenclature

H₂O : water

H₂ : hydrogen

O₂ : oxygen

NaOH : sodium hydroxide

KOH : potassium hydroxide

F_n : net force

F_g : force by gravity, weight

F_b : force by buoyancy,

F_e : external force, surface adhesion force

Subscripts

n : net

g : gravity

b : buoyancy

e : external

[†]Corresponding author : jy_g_kr@kumoh.ac.kr

[접수일 : 2012.10.12 수정일 : 2012.10.25 게재확정일 : 2012.10.26]

Copyright © 2012 KHNES

1. 서 론

탄화수소계인 화석에너지의 이용 증가로 유해 배출가스와 온실가스인 이산화탄소의 막대한 배출에 의한 환경오염과 지구온난화 문제를 해결할 수 있는 대안으로 재생에너지원을 주목하고 있다.

에너지원은 기후환경의 변화에 따라서 그 수요가 매우 민감하게 변화를 한다. 태양광발전과 풍력발전으로 대표되는 재생에너지원의 최대 단점은 자연환경의 변화에 의해 발전 출력이 불안정하게 변화하여, 에너지 수요에 대해 탄력적인 공급이 불가능한 것이다. 따라서, 신재생에너지를 사용하기 위해서는 이러한 문제점을 보완하여야 한다.

수소에너지는 다양한 에너지 발생원의 잉여전기 등을 이용하여 물의 전기분해 등으로부터 생산, 저장¹⁾되며, 다양한 에너지원들의 공급 안정성을 보완할 수 있는 중심에너지원으로 이용된다. 수소 생산에는 다양한 방법들이 있다. 그중 수전해는 지구표면적의 72% 정도를 차지하고 있는 물을 원료로 이용하여, 원료가 무한하다는 장점이 있어 다양한 수전해에 대한 연구²⁾들이 진행되고 있다.

전기분해를 이용한 대표적인 수소생산 방법인 알칼리 수전해의 핵심 구성부품에는 전기분해로 생성된 수소와 산소의 배출 유로가 포함된 분리판이 있다. 하지만, 이러한 분리판 내에서 유동하는 수소와 산소의 유동현상에 대하여 구체적으로 규명한 연구^{3,4)}가 부족한 실정이다.

본 연구에서는 수전해의 효율을 향상시키기 위한 연구의 일환으로, 전기분해에 크게 영향을 미치는 분리판 유로에서의 생산된 수소 기포의 거동을 유동가시화(flow visualization) 장치를 이용하여 관찰 연구하였다.

2. 수전해 및 기포의 유동 이론

2.1 수전해 이론

물로부터 전기분해를 통하여 수소를 얻을 수 있는

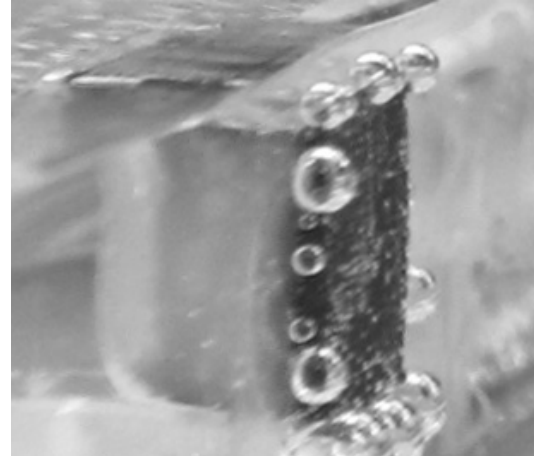
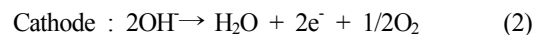
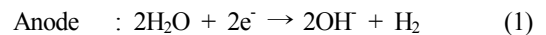


Fig. 1 Bubbles adhered to the electrode surface

대표적인 방법에는 알칼리 수전해, 고온고압 알칼리 수전해, 고분자 전해질막 수전해, 그리고 고온 수증기 수전해의 4가지 종류가 있다. 그중에서 알칼리 수전해와 같은 전기분해 기술은 널리 사용되는 기술이며, 석면격막 등의 양면에 탄소강 음극 및 Ni 도금 탄소강 양극을 배치하여 직류에 의해 NaOH 또는 KOH 수용액을 전해질로 하여, 음극에서 수소, 양극에서 산소를 발생시킨다. 기본적인 원리는 다음과 같다.



수전해에 의해 생산되는 수소의 경우 전해질 수용액 중에서 발생하므로 기포를 형성하며, 전기분해 효율을 저하시키는 대표적인 원인이다.

2.2 기포의 유동 이론

양극과 음극의 전극에서 발생한 수소와 산소는 기체이나 전해질 수용액 중에서 발생하므로, Fig. 1과 같이 전극표면 등에서 기포를 형성한다. 수소 및 산소 기포는 전극의 표면과 분리판의 유로 등에서 커다란 저항으로 작용을 하여, 전기분해 효율을 크게

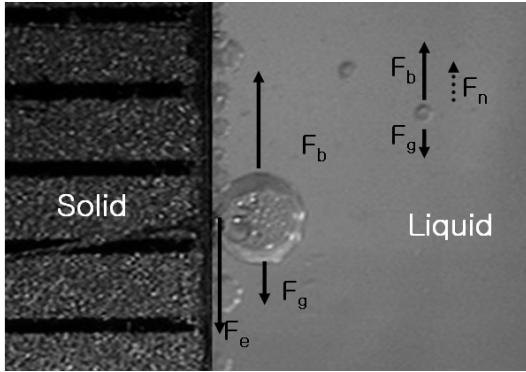


Fig. 2 Forces acted on the bubbles in liquid

저하시킨다.

액체 중에서는 깊이에 따라 정수력이 증가하기 때문에 액체에 잠긴 기포는 정미력(net force) F_n 을 받는다. 액체 중의 기포에 작용하는 수직방향의 정미력을 부력이라고 하며 정수력에 의한 것이다. 아르키메데스(Archimedes)의 원리에 의하면, 부력 F_b 은 중력 F_g 에 반대방향으로 작용을 하며, F_b 의 크기는 기포에 의해서 배제된 액체의 무게와 같다. Fig. 2에 나타난 것과 같이 액체 중의 기체의 기포에 작용하는 F_g 은 기포의 무게와 같으며, 전해액 중의 기포에 작용하는 합력 F_n 은 기포의 무게와 그 부피만큼의 액체와의 차이가 되어 중력의 방향과 반대 방향으로 떠오른다.

$$F_n = F_g - F_b \tag{3}$$

또한, Fig. 2에서 알 수 있듯이, 액체속 고체의 표면에 부착되어 정지해 있는 하나의 기포에는 중력, 부력, 외력이 작용을 하고 있다. 이와 같이 고체 표면에 부착되어 정지된 기포의 경우에 대하여 뉴턴의 제2법칙을 적용하면, 식 (4)와 같다.

$$F_e + F_g - F_b = 0 \tag{4}$$

여기서 F_e 는 전극 또는 분리판에 부착되는 힘을 의미하는 외력이다.

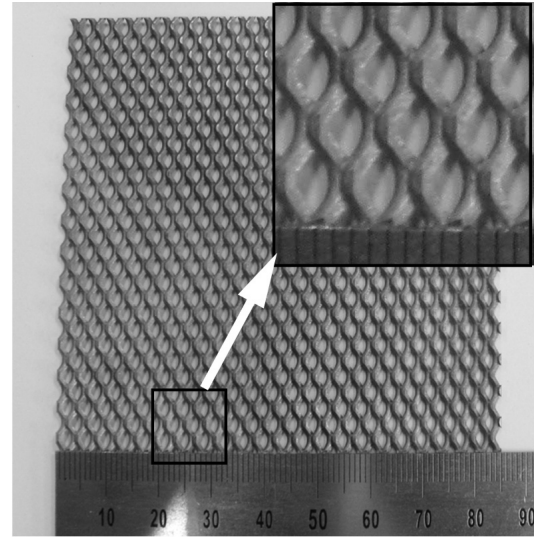


Fig. 3 A photograph on the meshes type separator

이와 같이 전해질 수용액 중에서 전극과 분리판의 표면에 부착되어 정지해 있는 기포를 가정할 경우, 이 기포에는 F_g , F_b , F_e 이 작용을 한다. 또, 기포가 전극에서 분리되어 분리판 유로 내의 전해질 수용액 중에서 유동을 할 경우에는 F_b , F_e 이 작용하거나, 유로 표면에 부착될 경우는 F_g , F_b , F_e 가 작용한다고 예측할 수 있으나, 그 힘들의 크기는 많은 연구가 필요하다.

3. 실험 방법

전기분해에 의해서 생산되는 수소와 산소 기포의 거동을 관찰하기 위하여, 상용화 장치에 사용되고 있는 그물형 분리판이 적용된 투명한 수전해용 스택과 실험 장치를 제작 구성하여 연구를 수행하였다.

3.1 수전해 분리판과 투명 수전해 스택

Fig. 3은 본 연구의 수소극과 산소극에 적용된 그물형 분리판을 보여주고 있다. 1.65mm 두께의 사선 방향으로 유로와 다공성을 갖는 그물형 분리판을 85 × 85mm² 크기로 가공하여 이용하였다. 알카리 수전

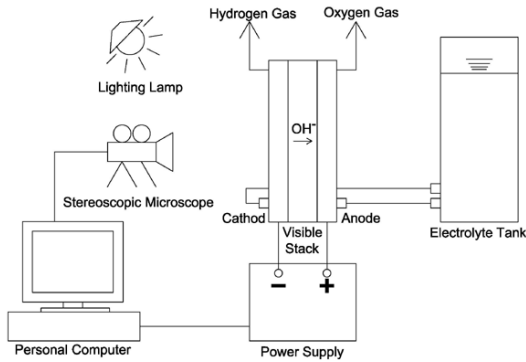


Fig. 4 Schematic drawing on experimental apparatus for visualization of the alkaline electrolysis stack

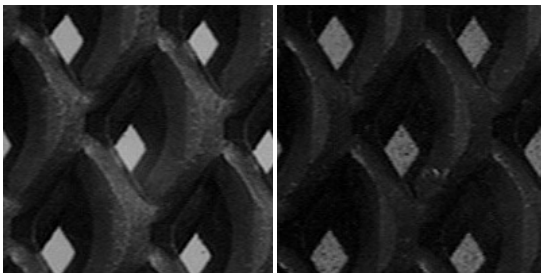
해에 적용되고 있는 그물형 분리판에서의 기본적인 기포 유동은 사선방향이다.

또한 그물형 분리판이 적용된 알카리 수전해 스택은 투명한 아크릴을 지지판으로 이용하여 내부를 관찰할 수 있도록 제작하였으며, 전극의 경우 니켈도금된 탄소강을 적용하였다.

3.2 실험 장치의 구성 및 실험 방법

Fig. 4는 본 연구를 위해 구성하여 사용한 알카리 수전해 실험장치의 개략도를 보여주고 있다.

투명 알카리 수전해 스택 내부에 필요한 30%의 KOH 전해질 수용액은 공급 탱크로부터 공급된다. 수전해 스택의 전기분해에 필요한 전압 1.8V와 전류 0.05A는 직류전원 공급장치를 이용하여 공급한다.



(a) Before electrolysis

(b) After electrolysis

Fig. 5 A photograph on the fine sized bubbles of gases produced by the alkali electrolysis

투명 알카리 수전해 스택에 전압과 전류를 공급한 후, 분리판에서 발생된 수소와 산소기포의 거동은 실제 현미경을 이용하여 관찰하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서 투명 알카리 수전해 스택에 전력의 인가로부터 생산되는 수소 기포의 거동은 다음과 같다.

Fig. 5의 (b)는 알카리 수전해의 전력인가 초기에 생산된 수소의 미세기포가 분리판 유로를 따라 부상하고 있는 사진을 나타낸다. 발생된 기체들의 미세한 기포들이 분리판 유로의 표면에 접촉할 때까지 중력 방향과 반대방향인 상부를 향하여 유동하고 있는 것을 볼 수 있다. 이것은 수소와 같은 기체 기포의 F_g 보다 기포의 체적에 상당하는 F_b 의 크기가 크므로 기포에 작용하는 F_n 은 중력장과 반대 방향으로 부상하기 때문이다.

Fig. 6은 분리판의 유로 표면에서 다양한 크기의 기포가 부착되어 계속 성장하고 있는 것을 나타낸다.

Fig. 6의 Time 1은 유로 내에서 부상하던 미세한 기포가 분리판의 유로 표면에 부착되어 성장한 작은 기포들을 보여준다. 분리판의 표면에 부착된 수소 기포의 크기는 기포에 의해 발생한 F_b 의 크기가 수소 기포의 F_g 과 분리판 표면 부착력인 F_e 의 크기의 합보다 커질 때까지 분리판의 표면에서 계속하여 성장을 한다.

특히, Fig. 6의 Time 4와 Time 5에 표시한 A 부위의 서로 다른 작은 크기의 기체가 결합을 하여 보다 큰 크기의 기포로 성장하는 것을 알 수 있다. 이로부터, 다양한 크기의 기포들이 서로 결합을 하여 성장한다는 것을 알 수 있다.

Fig. 6의 Time 6는 Time 5의 A영역의 분리판의 표면에 부착되어 크게 성장한 기포가 사선방향의 유로를 따라 유동하고 있는 것(Time 6의 C영역으로)을 나타낸다. 분리판의 유로 표면에 부착된 수소 기포의 F_b 의 크기가 수소 기포의 F_g 과 분리판 표면 부착력인 F_e 의 크기의 합보다 커지는 크기의 커다란 기포로 성장을 한 후에 사선방향의 유로를 따라 상부로

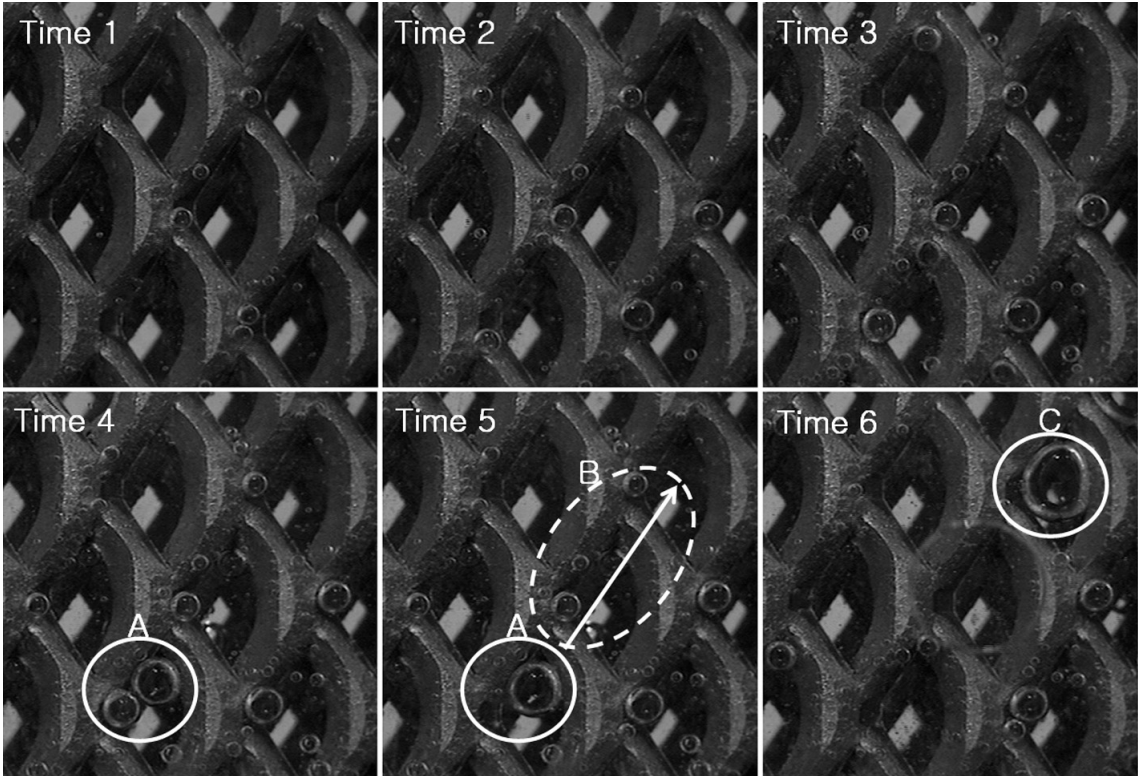


Fig. 6 Photographs on the growth of bubbles adhered to the surface of the separator

이동 한다.

F_b 의 세기가 F_g 과 F_c 의 세기보다 작을 경우에는, Fig. 8에서 알 수 있는 것과 같이, 분리판의 유로 등에서 F_g 과 F_c 보다 충분한 크기로 커질 때까지 성장

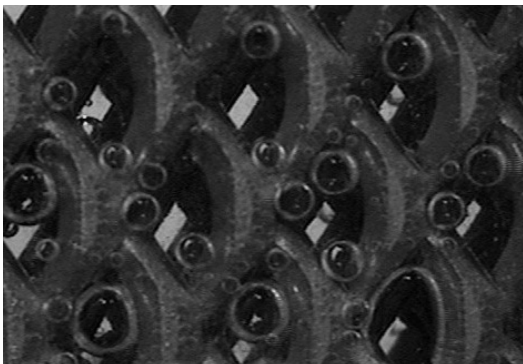


Fig. 7 A photograph on many different sizes of bubbles filled in the flow channels of a separator

을 계속한다. 이로 인하여 미세한 기포의 배출 억제 하고 분리판 유로를 매우게 하여, 생성 가스의 배출 방해와 수산화기의 이동을 방해하는 저항이 되어 전 기분해 반응과 수전해 효율을 저하시킨다.

아울러, Fig. 6의 Time 5의 A부에서 성장하여 사 선 방향의 유로를 따라 유동하는 기포는 유동 방향 인 B영역의 유로에서 성장하고 있는 다른 기포들과 결합하여 더 큰 크기의 기포로 성장을 하며, 유동 속도도 기포의 크기에 비례하여 빠르게 유로를 따라 이동을 한다. F_b 의 크기가 F_g 과 F_c 의 크기보다 작을 경우에는, Fig. 7에서 알 수 있는 것과 같이 분리판의 유로 등에서 F_g 와 F_c 보다 충분한 크기로 커질 때까지 성장을 계속한다.

특히 넓은 \wedge , \vee , \langle , \rangle 모서리에서 대부분 기포가 성장하고 있으며, F_b 에 물리적으로 가장 큰 저항력을 갖는 \wedge 모서리에서 성장하는 기포의 크기가 가장

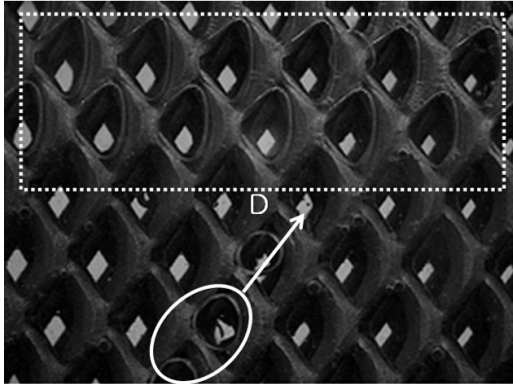


Fig. 8 A photograph on the huge size of bubbles filled in the upper area of a separator

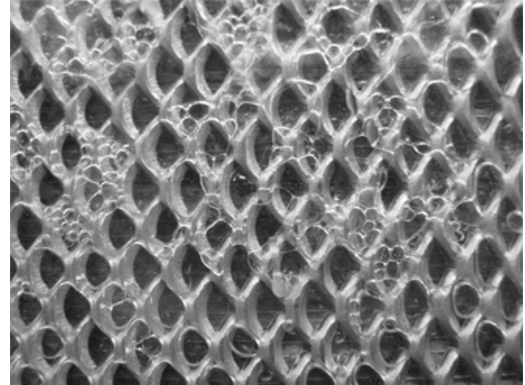


Fig. 9 A photograph on the bubbles applied high currents

크다는 것을 알 수 있다. 아울러, 기포의 하단부가 접촉된 단순한 사면에서 성장하는 기포는 F_c 가 상대적으로 작아, 작은 F_b 크기인 작은 기포에서도 F_n 에 의한 유동이 가능하므로, 그 크기가 작고, 기포의 수도 적다는 것을 알 수 있다. 이로부터, 기포의 성장은 기포가 부착되는 유로 표면의 기하학적인 형상에 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

대형으로 성장한 기포는, Fig. 8에서 볼 수가 있듯이 스택의 배출구 부위에 있는 전해질 수용액을 밀어낼 정도의 F_n 에 도달할 때까지 분리판 상단부의 넓은 공간의 유로를 점유하고 있다.

수소생산량을 높이기 위해서는 큰 전류의 인가가 필요하며, Fig. 9에서 알 수 있는 것과 같이, 0.4A의 상대적으로 높은 전류를 인가한 경우에는 생산된 기체의 증가로 인하여 기포의 발생과 성장 그리고 유동이 매우 빠르고 복잡하게 일어나는 것을 알 수 있다.

이와 같이 다양한 크기로 성장하여 수전해 스택의 내부 공간을 차지하는 생산 기체들의 기포들이 전해질 수용액의 공급 등을 방해하고, 전기분해의 반응 면적을 감소시켜, 전기분해 반응과 효율을 크게 저하시킨다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

수전해의 효율을 향상시키기 위한 연구를 위하여,

그물형 분리판이 적용된 투명 수전해 스택과 실체현미경을 포함한 유동 가시화 장치를 구성한 후, 전기분해로부터 생산되는 수소 기체 기포의 분리판에서의 거동을 연구하여, 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 발생된 미세한 기포의 경우 분리판 유로의 표면에 접촉하지 않을 경우 자중 F_g 보다 큰 부력 F_b 로 인한 정미력 F_n 에 의해 유로를 따라서 유동한다.
- 2) 분리판 유로의 표면에 부착된 기포의 경우 부착력인 외력 F_c 과 자중 F_g 의 합력보다 큰 부력 F_b 을 갖는 크기까지 성장한다.
- 3) 외력이 크게 작용을 하는 접촉 면적이 넓은 모서리에서 기포가 크게 성장을 한다.
- 4) 분리판 유로를 따라 이동하는 큰 기포는 유동 방향의 유로에서 성장하고 있는 기포들과 결합하여 거대한 기포로 성장을 하며, 다양한 크기의 기포들은 넓은 면적을 점유한다.
- 5) 분리판을 넓은 면적을 점유하는 다양한 크기로 성장을 하는 기포로 인하여, 전해질 수용액의 공급 차질과 전기분해 효율에 영향을 미친다.

후 기

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. Y.G. JUNG, S.W. KIM, K.H. KIM, S.D. CHOI, T.I. JANG, C.M. WHANG, "SA study on the hydrogen supply for variation in output from a metal hydride canister", Trans. of the Korean Society of Hydrogen and New Energy Society, Vol. 20, No. 3, 2009, pp. 218-223.
2. H.S. CHOI, D.S. YiM, C.H. RHYU, J.C. KiM, G.J. HWANG, "Study on the electrode characteristics for the alkaline water electrolysis", Trans. of the Korean Society of Hydrogen and New Energy Society, Vol. 23, No. 2, 2012, p. 15.
3. H.H. JO, S.H. LEE, B.J. JANG, J.Y. SONG, "A study on the bipolar plate of electrolytic cell of hydrogen gas generation system by numerical system", J. of the Korean Oil Chemists' Soc., Vol. 27, No. 1, 2010, pp. 61-68.
4. H.H. JO, B.J. JANG, J.Y. SONG, "A study on the channel design of bipolar plate of electrolytic cell by flow dynamic simulation in the two phase flow system", J. of the Korean Oil Chemists' Soc., Vol. 27, No. 4, 2010, pp. 415-420.