

수소가스발생 장치의 전해조 분리판의 유로설계에 관한 전산모사 연구

조현학·장봉재*·송주영†

창원대학교 공과대학 화공시스템공학과

*EM Korea (주)

(2010년 4월 13일 접수 ; 2010년 6월 16일 채택)

A study on the channel design of bipolar plate of electrolytic cell of hydrogen gas generation system by flow dynamic simulation

Hyeon-Hak Jo · Bong-Jae Jang* · Ju-Yeong Song†

*Department of Chemical Engineering, Changwon National University,
Changwon, Gyeongnam, 641-773, Korea*

**EMKorea Ltd. Ungnam-dong, Changwon, Gyeongnam, Korea*

(Received April 13, 2010 ; Accepted June 16, 2010)

Abstract : This study is focused on the channel design of bipolar plate in the electrode of hydrogen gas generator. The characteristics of hydrogen gas generation was studied in view of efficiency of hydrogen gas generation rate and a tendency of gas flow through the riv design of electrode. Since the flow rate of generated gas is the most crucial in determining the efficiency of hydrogen gas generator, we adopted the commercial analytical program of COMSOL Multiphysics™ to calculate the theoretical flow rate of hydrogen gas from the outlet of gas generator.

Keywords : *Electrode, Bipolar plate, Simulation, COMSOL Multiphysics.*

1. 서론

본 연구는 미래의 중요한 에너지원으로 주목 받고 있는 수소의 생산방법으로 친환경적이고 무한의 에너지원인 태양광을 이용하여 전기를 생산한 후 그 전기로 물을 전기분해 하여 수소를 얻는 장치인 수전해 장치에 관한 연구로, 그 중에서도 수전해장치의 수소 생산에 중요한 부분인 전해조(electrolytic cell)의 단위전기분해

셀 내에서의 분리판(bipolar plate)의 유로설계에 관한 연구이다. 일반적인 물을 이용한 전기분해 장치에서 모듈설계는 여러 인자에 의해 영향을 받을 수 있겠지만 구조에 의한 영향을 크게 받을 수 있다. 이러한 영향들에 의해 전기분해 효율의 감소 등 수소생산의 저해 요소가 발생하게 된다. 이 전산모사는 전해조 내의 단위 전기분해 셀 내에서의 분리판으로 들어오는 전해액을 분리판 내에서 유동을 균일하게 분포시키고 gas의 흐름을 원활하게해주는 분리판의 유로설계에 관한 것이다. 분리판에 유입되는 전

†주저자 (E-mail : jusong@changwon.ac.kr)

해액의 유속은 3 m/h로 하였으며, 분리판의 원형판에 위치한 격자(Riv.)들의 형태와 위치를 변화시키면서 분리판의 유로설계를 하여 전해액이 들어왔을 때 Riv. 가 어떠한 형태일 때 더 좋은 유동현상을 보이는지 전산모사를 수행하였다. 분리판의 전산모사에 사용된 프로그램은 다중물리현상 프로그램인 COMSOL Multiphysics이다. 전해조에서의 수소 생산 효율을 향상시키기 위한 단위전기분해 셀 내에서의 분리판의 전산모사 결과 분리판의 원형판에 위치한 Riv.의 각기 다른 유로설계에 따라 유동현상이 달라지는 것을 확인할 수 있었으며, 특정한 위치에서 유속이 빨라지는 현상이 보였으며, 4개의 유로설계 결과 특정 유로설계에서 더 좋은 유동현상을 보였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 전해조 원리

본 연구의 전산모사에 사용된 분리판은 PEM형 수전해장치의 구성부분이며, PEM형 수전해장치의 원리도는 Fig. 1과 같다. 물이 양극으로 공급되면 양극에서는 물이 분해되어 산소와 전하이동체인 수소이온, 전자가 생성된다. 수소이온은 PEM내에서 surfonic acid 그룹의 고정이온에서 인접한 다른 고정 이온그룹으로 이동하여 음극으로 이동한다. 음극으로 이동한 수소이온은 전기화학적으로 전자와 결합하여 수소분자(H₂)가 된다. PEM은 물리적 차단막으로 수소와 산소를 분리하는 기능을 가진다. 전해조는 전극 배치형식을 수평으로 나열한 복극식이며 그 모양은 Fig. 2와 같다[2].

2.2. 전해조 분리판의 모델링

본 연구에서는 PEM형 수전해장치의 분리판을 모델로 전산모사를 하고, 전해조의 수소 생산 효율을 높이기 위해 전기분해 셀 내의 분리판에서의 유량 흐름을 균일하게 분포되게 하기 위하여 최적화된 유로설계를 하는데 목적을 두었다[4].

분리판을 모델링 하기 위해 제작된 전해조 분리판을 CAD program (autocad® 2002)을 통해 도면화 하고(Fig. 3(a)~(d)), 도면화된 2차원

적인 모델을 전산모사 하기 위해 다중물리현상 해석 program인 COMSOL Multiphysics® (ver. 3.5a)을 이용하였다[3]. 분리판의 원형판에 위치한 격자들을 Riv. 라고 명명하며, 단위 전기분해 셀 내에 전해액이 공급되었을때 분리판의 모든 부분에서 유속과 농도를 일정하게 유지되도록 하기 위하여 Riv. 의 모양과 위치들을 다르게 하여 유로 설계를 하여 전해액의 유속을 일정하게 하고 one-phase로 전산모사 하여 유동현상을 알아보았다[7 ~ 10]. One-phase로 분리판의 전산모사를 수행했을 때의 조건들은 Table 1과 같으며 전산모사를 할 전해조의 system은 정상상태일 때를 고려했으므로 초기 조건은 설정하지 않았다[5 ~ 6].

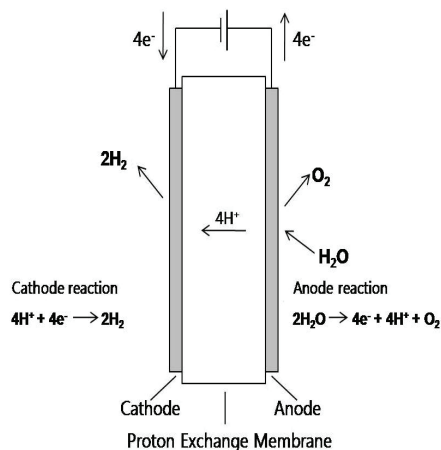


Fig. 1. Principles of proton exchange membrane(PEM).

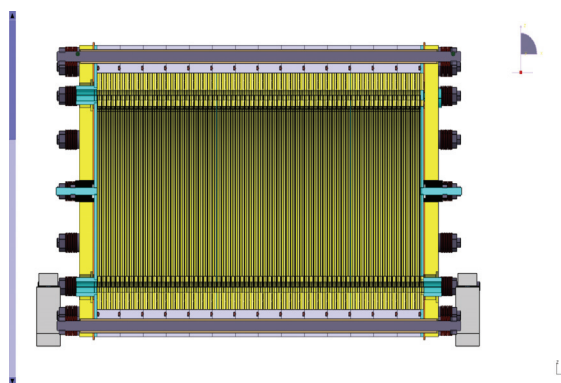


Fig. 2. Sections of the electrolytic cell.

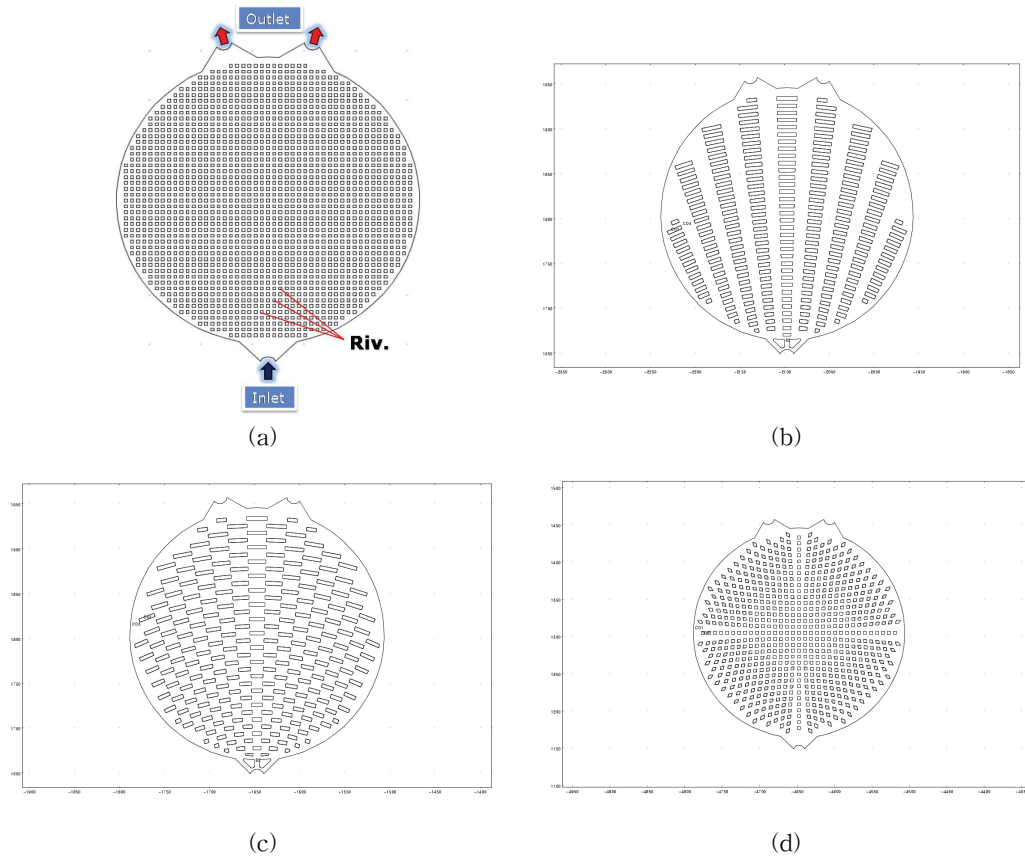


Fig. 3. Schematics of the bipolar plate designed by various array of Riv. (a) ~ (d).

Table 1. Simulation conditions of the bipolar plate by one phase flow

| | | |
|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| Density(kg/m ³) | 1280(300 K) | 1260(325 K) |
| Viscosity(kg/m·s) | 1.2x 10 ⁻¹ (300 K) | 1.5 x 10 ⁻¹ (325 K) |
| Velocity | 3 m/h | |
| Riv. distance | 4 mm | |

3. 지배방정식

이 전산모사에 사용되어진 시뮬레이션 프로그램인 COMSOL Multiphysics에는 여러 가지 모듈이 있는데 본 연구의 전산모사에서는 화학

공학모듈을 사용하였다.

3.1. One-phase flow

전해조의 단위 전기분해 셀 내의 분리판의 전산모사는 one-phase flow를 이용하였으며 유동분포에 사용되어진 지배방정식은 Navier-Stokes 방정식이고 아래와 같다[1].

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u) = 0$$

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + \rho(u \cdot \nabla)u = \nabla \cdot [-pI + \tau] + F$$

$$\rho C_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + (u \cdot \nabla)T \right) = -(\nabla \cdot q) +$$

$$\tau : S - \frac{T}{\rho} \frac{\partial p}{\partial t} + \left(\frac{\partial p}{\partial t} + (u \cdot \nabla)p \right) + Q \quad (1)$$

- ρ = density(kg/m³)
 - u = velocity vector(m/s)
 - p = pressure (Pa)
 - τ = viscous stress tensor (N/m³)
 - F = body force vector (N/m³)
 - C_p = specific heat capacity at constant pressure (J/(kg·K))
 - T = absolute temperature (K)
 - q = heat flux vector (W/m²)
 - Q = contains the heat sources (W/m³)
 - S = strain rate tensor
- $$S = \frac{1}{2}(\nabla u + (\nabla u)^T) \quad (2)$$

4. 결과 및 고찰

4.1. 유로설계에 따른 유동분포

Fig. 4는 분리판에 전해액이 유입되었을 때 분리판의 원형판에 위치한 Riv. 들의 유로설계에 따른 유동현상을 나타낸 결과이다. Riv. 의 형태를 직사각형으로 일정하게 배치한 (a)의 결과는 분리판의 중앙 쪽으로 유동이 몰리는 현상을 나타내었으며 전체적으로 고른 분포현상을 보이지 않았다. 이는 전극인 분리판에서 전해액이 고르게 퍼지지 않아 수소 생산 효율이 떨어질 것으로 판단된다.

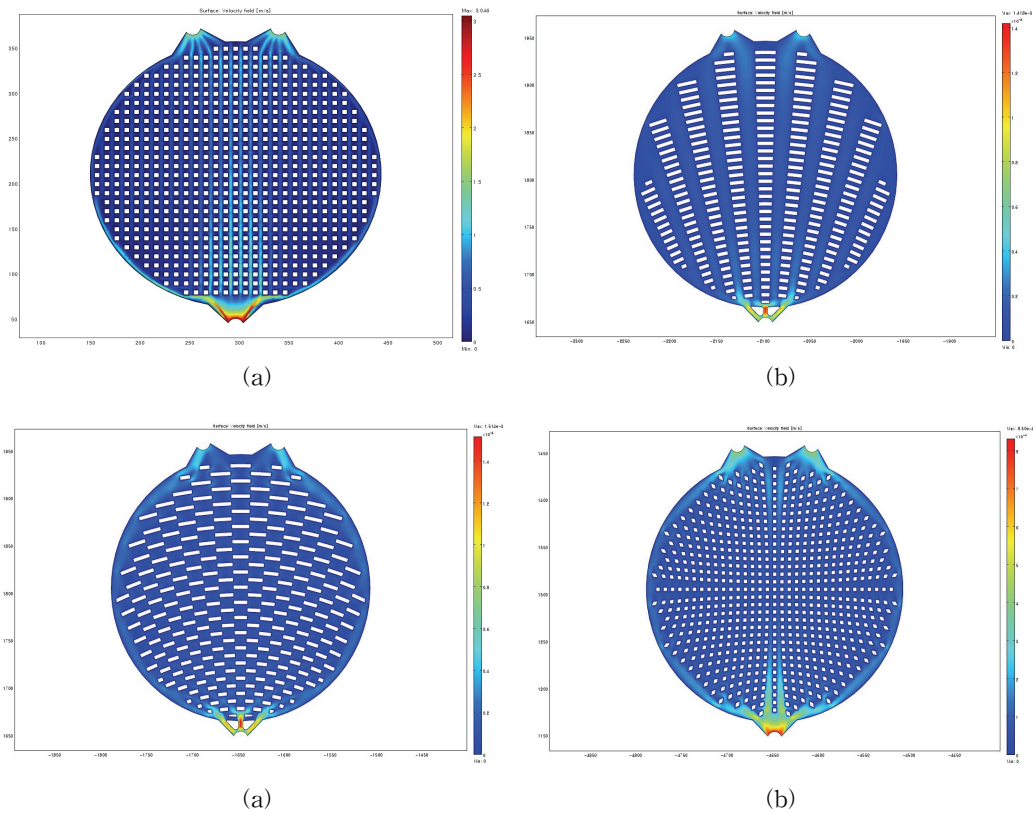


Fig. 4. Simulation results of the bipolar plate by channel design in one phase flow(H₂O/KOH). Electrolyte inflow rate 3 m/h.

(b)~(d)는 (a)에 비해서 비교적 고른 유동분포를 보였으나 (b)의 전산모사 결과 Riv. 사이 공간이 넓은 쪽은 유동이 좋았으나, 좁은 곳에서는 유동이 좋지 않은 것을 알 수 있었으며, (c)는 Riv.를 지그재그형태로 곡선의 형태를 배치한 결과 유동분포가 Riv. 사이사이로 고르게 분포되고 있음을 확인 할 수 있었으며, (d)의 결과 역시 유동분포가 좋았으나, 분리판의 원형 테두리쪽에 Riv.의 배치가 상대적으로 적어 공간이 많이 생겨 유속이 상대적으로 큰 현상을 확인 할 수 있었다. 이는 후에 Riv.를 좀 더 배치시키고 유속이 몰리는 곳의 Riv.의 형태를 변화시킨다면 좀 더 좋은 유동분포를 나타낼 것으로 본다.

5. 결론

물을 전기분해하여 수소를 얻는 전기분해 장치의 전해조의 한 부분인 단위전기분해 셀 내의 분리판에서의 유동분포를 고르게 하기 위하여 유로설계에 따른 전산모사 결과 전해액의 유속을 3 m/h로 일정하게 하고 Riv.의 간격을 4 mm로 하여 분리판에 위치한 Riv.의 모양을 다르게 하여 배치한 결과 각기 다른 유동분포를 보였다. 직사각형의 일정한 모양의 Riv.를 일정하게 배치한 유로설계는 유동분포가 중앙 쪽으로 몰려 다른 유로설계보다 좋지 않은 결과를 보였으며, Riv.의 배치가 많이 되지 않은 쪽으로도 유속이 몰리는 현상을 알 수 있었다. 본 연구를 통해 전해조의 단위 전기분해 셀 내의 분리판의 유로설계에 따라 유동분포가 확연히 차이가 난다는 것을 알 수 있었다. 좀 더 다양한 Riv.의 모양과 조건들을 가지고 유로설계를 한다면 수소생산 효율을 더 높일 수 있는 결과를 얻을 수 있을 것이다.

감사의 글

본 과제는 지식경제부의 출연금으로 수행한 지역전략기획기술개발사업의 연구결과입니다.

참고문헌

1. James O. Wilkes, "Fluid Mechanics for Chemical Engineers", 214, (2008).
2. S. S. Kang, "Expandable electrolyte cell", Korea patent, No. 0511155 (2005).
3. Ilkka. S, Laitinen, Juha. T and Tantt, "FEM Modeling of an Industrial Scale Electrolysis Cell", Excerpt from the Proceedings of the 2006 Nordic COMSOL Conference, (2006).
4. Deshmukh, S.A.R.K., Van Sint Annaland, M. Kuipers, and J.A.M., Effect of fluidization conditions on the membrane permeation rate in a membrane assisted fluidized bed, *J. Chem. Eng.*, 96, 125 - 131 (2003).
5. H. H. Jo, S. H. Lee, B. J. Jang and J. Y. Song, A study on the bipolar plate of electrolytic cell of hydrogen gas generation system by numerical system *J. Kor. Oil Chem. Soc.*, 27(1), 61 (2010)
6. Li. A, C. J. Lim, Boyd. T, and Grace. J.R, Simulation of autothermal reforming in a staged-separation membrane reactor for pure hydrogen production. *Can. J. Chem. Eng.*, 86, 387 (2008).
7. Dehkordi, A.M., and Memari. M, Compartment model for steam reforming of methane in a membrane-assisted bubbling fluidized-bed reactor. *Int. J. Hydrogen Energy*, 34, 1275 (2009).
8. Horio, M., Wen, C.Y., An assessment of fluidized-bed modeling. *A.I.Ch.E. Symp. Ser.*, 73, 9 - 21 (1977).
9. Grace, J.R., Clift, R., On the two-phase theory of fluidization. *Chem. Eng. Sci.*, 29, 327 - 334 (1974).
10. Turner, J.C.R., On bubble flow in liquids and fluidised beds. *Chem. Eng. Sci.*, 21, 971 - 974 (1966).