

알칼리형 연료전지의 Raney Ni 수소극 성능

조정윤 · 조장호 · 김형진[†] · 문세기

한양대학교 화학공학과
(1994년 1월 10일 접수, 1994년 8월 2일 채택)

The Performance of Raney Ni Hydrogen Electrode for Alkaline Fuel Cell

Jeong-Yoon Cho, Jang-Ho Jo, Hyung-Jin Kim[†] and Sei-Kee Moon

Dept. of Chem. Eng., Hanyang Univ.
(Received 10 January 1994; accepted 2 August 1994)

요 약

Raney Ni 촉매와 PTFE 분말을 사용하여 반형수성 이중구조의 다공성 수소전극을 제작하여 분극특성을 조사하였다. 촉매층의 최적 PTFE 분말 첨가량은 25 wt%였다. Ni 전극에 비해 Raney Ni 전극의 성능은 월등히 뛰어났고, dopant가 첨가되지 않은 Raney Ni 전극들의 성능은 비슷하였다. Raney Ni 촉매제조시 dopant로써 Mo를 9 wt% 첨가함으로써 촉매활성을 향상시킬 수 있었으며 이 촉매로 제작한 전극은 비교적 안정한 전극성능을 나타내었다. 범람응집모델에 적합하도록 전극구조를 개선하여 전극성능을 향상시킬 수 있었는데, 촉매층 제작의 적절한 조건은 발수처리된 촉매분말과 미 발수처리된 촉매분말의 비가 5:1일 때가 적당하였다.

Abstract—The polarization characteristics of semihydrophobic double-layered porous hydrogen electrode manufactured with Raney Ni and PTFE powder was investigated. The optimum PTFE powder content in the catalyst layer was 25 wt%. Compared the electrode performance of Raney Ni with Ni, the former was by far better than the latter. There was little electrode performance difference among various Raney Ni electrodes without dopant. The activity of Raney Ni was improved by adding 9 wt% Mo power as dopant, and the electrode composed of this catalyst showed relatively a stable electrode performance. It was possible to improve the anodic performance of Raney Ni electrode by modifying the electrode structure according to the flooded agglomerate model. The preferred condition for the preparation of Raney Ni catalyst layer was mixing the water repellent catalyst with non-treated hydrophilic catalyst at the ratio of 5 to 1.

1. 서 론

알칼리형 연료전지의 수소극에는 내식성과 전도성 문제를 고려해서 전극구성 기본재료로써 거의 탄소와 니켈이 사용되고 있다. 탄소를 촉매로 사용하는 전극은 탄소 그 자체의 활성이 미약하기 때문에 일반적으로 활성이 우수한 촉매를 담지하여 사용하고 있는데, 이러한 방법으로 전극촉매의 제조시에는, 첫째 가격이 비

싼 귀금속을 촉매로 사용하여야 한다는 것, 둘째 이들 촉매는 사용하는 수소속에 존재할 수 있는 적은 양의 불순물에 의해 쉽게 피독될 수 있다는 단점이 있다[1]. 그러나 니켈을 사용할 경우에는 위와 같은 단점이 없기 때문에 Bacon은 니켈분말소결전극을 만들어 알칼리형 연료전지의 수소극으로 사용, 6 kW급 전지를 제작하여 fork-lift의 동력원으로써, 더욱이 용접기의 전원으로 사용할 수 있는 전기를 생산하였다. 이후 Justi와 Winsel이

표면적이 넓은 다공성 니켈인 Raney Ni를 제조하여 이를 수소극 촉매로 사용하여 수소극 성능을 향상시켰다. 그런데 이들이 사용한 전극은 제작과 연료공급 압력조절방법이 용이하지 않아 새로운 전극제작방법의 필요성이 대두되었다. 따라서 이를 해결할 방법 중의 하나가 친수성인 Raney Ni 분말에 혐수성인 PTFE를 적당량을 혼합하여 상압에서 연료가스 공급이 가능한 기체확산전극을 제작하는 것이었다. 즉, 혼합된 PTFE에 의해서 Raney Ni 촉매의 macropore의 적당한 양이 혐수성을 띠도록 만들어 이 부분에는 전해액이 침투하지 못하도록 하여 연료가스의 공급부분으로 작용하게 만들고, 반면에 나머지는 전해액이 침투할 수 있는 친수성 부분으로 남겨두어 이 부분을 통해 전해액이 micro-pore까지 공급되도록 한 구조로 만드는 것이다[2-4].

이러한 방법으로 제작된 수소극에서의 전극반응 mechanism을 살펴보면, 먼저 전극내부로 확산되어온 연료가스는 전극촉매 표면에 형성된 얇은 전해액막의 가장자리 부근에서 녹아 촉매표면으로 확산되고, 확산된 기체는 전해액/전극촉매 경계면에서 수소 원자로 해리되어 촉매표면에 화학흡착된다. 화학흡착된 수소원자는 산화되어 수소이온 상태가 되어 전해액 중의 수산화이온과 반응하여 물을 생성하게 된다[5-8]. 결국 수소극 성능향상을 위해서는 수소의 해리흡착이 용이하게 이루어질 수 있는 우수한 촉매의 제조와 이온의 침투가 쉬운 구조를 갖도록 전극을 제작하여야만 한다.

따라서 본 실험에서는 우수한 수소산화능을 갖는 촉매 및 전극을 제작하기 위해서 전고에서 이미 보고한 방법[9]으로 제조한 Raney Ni 촉매와 PTFE 분말로 반 혐수성 이중구조의 가스확산 수소전극을 제작, 이의 분극특성을 조사하여, Raney Ni과 doped Raney Ni 촉매의 성능을 비교하였고, 수소극 성능을 향상시킬 수 있는 전극제작방법도 고찰하여 보았다.

2. 실험방법

2-1. 시약 및 재료

Raney Ni 촉매를 제조하기 위한 precursor로 Ni(Inco 255)과 Al(Shinyo pure chemical Co. Ltd)분말을 사용하였으며, 수소전극 제작시 집전체(current collector)와 전극지지체(structural support)로 60 mesh stainless steel 망을 사용하였다. 전극의 binder로 PTFE powder (Du pont 7A-J)를 사용하였고, 그 외의 시약은 모두 특급시약을 사용하였다.

2-2. 촉매 및 전극제작

2-2-1. 촉매제조

Table 1. Compositions of catalyst

| Catalysts | Compositions of slurry(wt%) | | | |
|-----------------|-----------------------------|----|--------|-------------|
| Raney Ni | 50.0% | Ni | 50.0% | Al |
| Raney Ni-Mo9 | 9.0% | Mo | 41.0% | Ni 50.0% Al |
| Raney Ni-Ti1.5 | 1.5% | Ti | 48.5% | Ni 50.0% Al |
| Raney Ni-Co0.75 | 0.75% | Ti | 49.25% | Ni 50.0% Al |

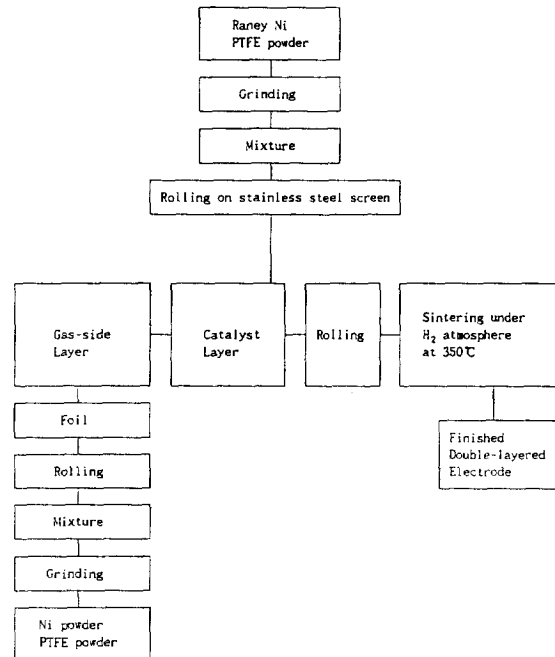
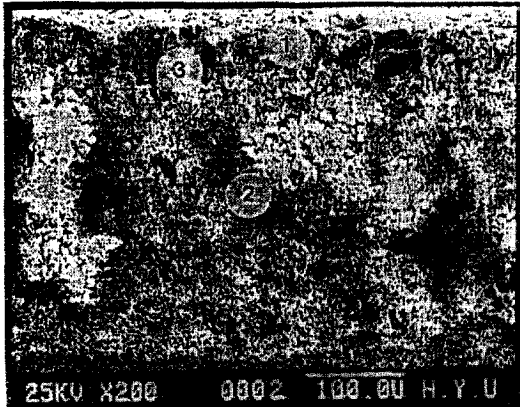


Fig. 1. Flow sheet for production of double-layered electrode.

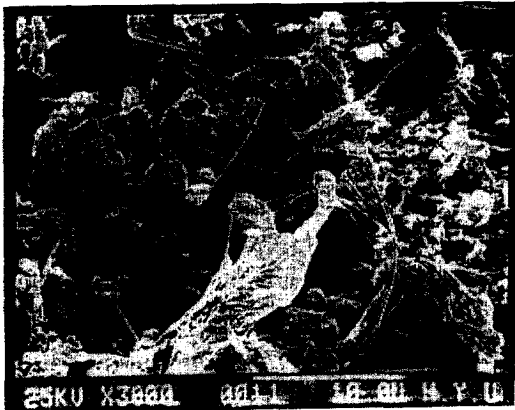
수소극 촉매로 사용된 Raney Ni 촉매를 전고[10]에서 보고한 최적조건으로 제조하였으며, 제조된 촉매의 종류는 Table 1에 나타내었다. 이 중 Raney Ni-Mo9 촉매의 표면적을 BET방법으로 측정하였는데 98 m²/g 이었다. 사용기기는 ASAP 2000(Micromeritics)이었다.

2-2-2. 전극제작

이중구조를 갖는 다공성 전극 제작방법은 Fig. 1에 나타난 바와 같이, 일정량의 Raney Ni과 Ni 분말에 PTFE의 함량을 달리하여 촉매층, 가스층을 제작할 촉매와 PTFE의 혼합물을 만든다음, two rolling방법으로 stainless steel 망위에 먼저 촉매층을 만들었다. 반대면에 가스층을 같은 방법으로 접합시켜 이중구조(double-layer)를 갖도록 하였는데, 전체 전극의 두께는 약 0.7 mm정도로 제작하였으며, 촉매의 loading density를 약 67 mg/cm²가 되도록 하였다. Fig. 2는 Raney Ni-Mo9촉매를 사용하여 제작한 수소전극의 단면(cross-section)



(a)



(b)

Fig. 2. Morphology of Raney Ni-Mo9 electrode.

(a) Cross section

(1) Gas diffusion layer, (2) Catalyst layer, (3) Stainless steel screen

(b) Surface of gas diffusion layer

및 가스층표면(PTFE 35 wt% 포함)의 전극반응후의 morphology로, 단면사진으로부터 촉매층과 가스층이 구별됨을 볼 수 있었다. 가스층 두께는 약 0.1 mm 정도 였는데, 실험결과 본 실험에서 제작하여 사용한 Ni 가스층이 완벽한 발수성을 보여 연료기체의 공급에 전혀 문제가 없으므로, 굳이 PTFE를 침적시킨 carbon paper를 사용할 필요가 없었다. 이러한 사실은 가스층의 표면사진으로부터 뒷받침될 수 있었는데, 소결로 인해 섬유 또는 솜털모양으로 변한 PTFE입자가 뛰어난 발수성을 나타낼 수 있었다고 생각된다.

2-2-3. 전극성능 측정

이층구조로 제작된 다공성 수소전극의 전류밀도-전압 특성(current density-voltage characteristics)을 chro-

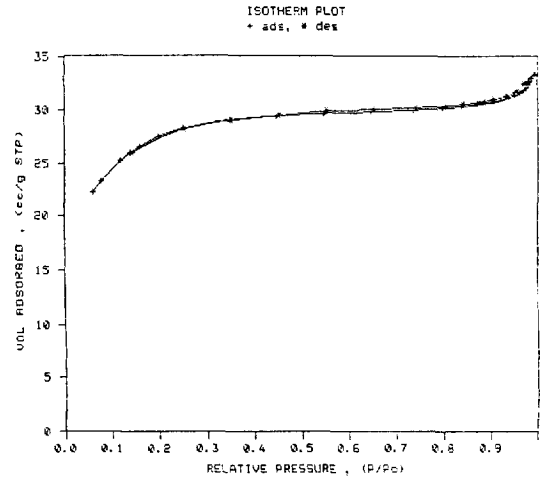


Fig. 3. Nitrogen adsorption-desorption isotherm on Raney Ni-Mo9 pretreated in vacuo at 300°C.

noamperometry 방법으로 고찰하기 위하여, 측정할 반쪽전지(half cell)를 Potentiostat/Galvanostat(EG & G Parc, Model 273A) 및 IBM computer와 연결하여 측정하였는데, 전극성능측정에 사용한 장치는 전고[11]에 나타낸 바와 같다. 반쪽전지의 기준전극으로서는 백금을 도금시켜 만든 백금흑선이 AFC의 전해액인 KOH 수용액(pH 12)속에서, 수소의 가역 전위를 나타내는 전극 {Pt/H₂ in KOH sol. at 70°C : -0.93 V vs SHE : 이하, alkaline hydrogen electrode(AHE)}을 직접 제작하여 사용하였고, 상대전극은 백금망전극을 사용하였다. 전극성능 측정시 촉매층이 전해질과 접촉하는 면적은 1 cm²가 되도록 하였으며, IR강하의 보정은 Potentiostat/Galvanostat에서 자동보정되도록 하였다. 본 실험에서는 수소를 공급하면서 cell을 작동시킨 후 2-3시간 이내에 대부분의 전극이, 0.0-0.2 V vs. AHE 전위에서 안정한 전류밀도값을 보였으므로, 본 실험에서는 3시간 후의 전류밀도값을 측정하여 촉매와 전극성능을 비교하였다. 측정조건으로, 반응온도는 70°C, 전해질 수용액은 6 N KOH, 반응기체는 99.0%수소를 사용하였으며, 가스 유속은 50 cc/min으로 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. Raney Ni의 질소 흡착-탈착 등온선

Dopant로 Mo를 9 wt% 첨가하여 제조한 Raney Ni-Mo9촉매의 질소 흡착-탈착 등온선을 Fig. 3에 나타내었으며, 온도 300°C, 3×10^{-3} mmHg 진공하에서 전처리하였다. 그림으로부터 이 촉매는 낮은 pore volume을

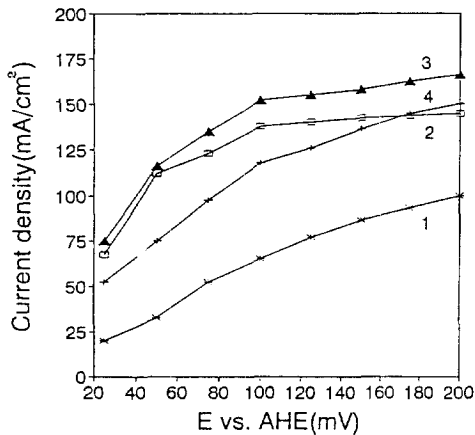


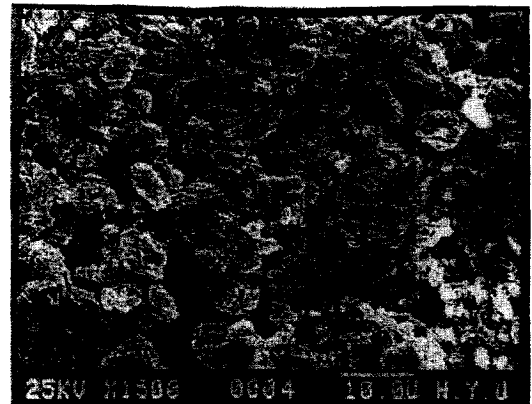
Fig. 4. Effect of PTFE content in catalyst layer of Raney Ni electrodes on the anodic polarization.

(1) 15 wt%, (2) 20 wt%, (3) 25 wt%, (4) 30 wt%

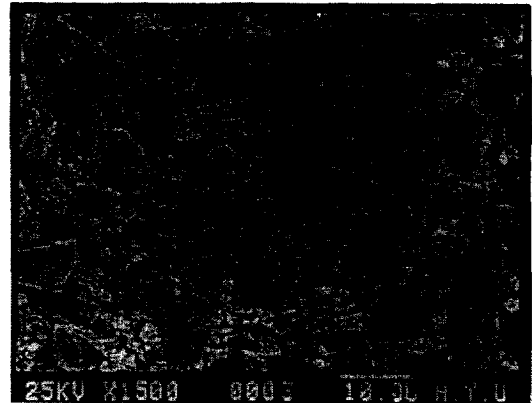
맞는다는 것을 알 수 있는데, 이는 촉매의 제조온도가 낮기 때문이며, 등온선의 히스테리시스 형태로부터 이 촉매가 inkpot모양의 기공을 가지고 있는 것으로 생각된다[12]. 직접제조한 Raney Ni(Ni:Al=50:50)의 기공분포도 살펴보았는데 평균기공크기(average pore diameter)가 약 20 \AA 이었다. 반면 Aldrich사가 제조한 Raney Ni(이하: A-Raney Ni)의 경우는 25 \AA 인 결과를 얻었다. 따라서 직접제조한 Raney Ni에 비해 A-Raney Ni의 평균기공크기가 크다는 사실로부터 전자가 후자에 비해 전극촉매로써 유리할 것으로 사료된다(data Fig. 4, 6). 여기서 평균기공크기는 서로 교차하지 않는 실린더 모양의 기공(nonintersecting cylindrical pore)에 대한 식, $d=4Vs/A$ 를 이용하여 계산하였는데, d 는 평균기공 크기, V_s 는 기공부피, A 는 표면적을 나타낸 것이다.

3-2. Raney Ni 전극성능

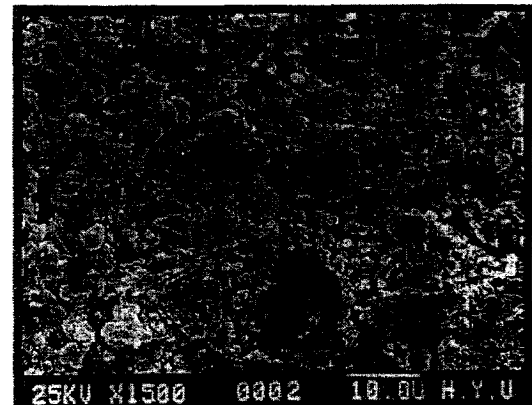
촉매층의 PTFE함량이 전극성능에 미치는 영향을 보기 위하여 A-Raney Ni에 PTFE의 함량을 15-30 wt% 까지 변화시키면서 촉매층을 제작하여 전극성능을 측정한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 촉매층 제작시 촉매 무게에 대해서 25 wt%로 PTFE가 첨가된 수소전극의 촉매층이 가장 우수한 전극성능을 나타내었으며, 30 wt%가 첨가된 경우 0.175 V vs. AHE이하에서는 비교적 낮은 전극성능을 보였지만 측정범위의 전위에서 대단히 안정한 전극성능을 보여주었다. Fig. 5는 촉매층 표면의 SEM사진으로 전극반응후에 찍은 것이다. PTFE의 함량이 15에서 30 wt%로 증가되면서 촉매입자와 입자사이의 간격이 좁아짐을 볼 수 있는데 이는 촉매의 binder로 작용하는 PTFE에 의해 전극표면이 치밀해진 결



(a)



(b)



(c)

Fig. 5. SEM photographs of Raney Ni electrodes with different PTFE content.

(a) 15 wt%, (b) 25 wt%, (c) 30 wt%

과이다. 이 현상은 PTFE의 발수작용에 의해 PTFE의 함량증가에 따라 전해액이 전극내부로 침투하기 어렵게 하는 결과를 낳게 하고, 따라서 전극표면에 적당한 틈이

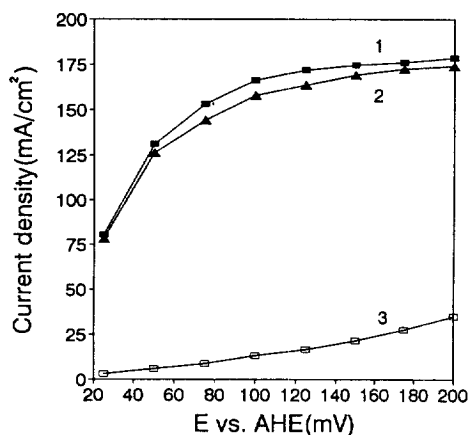


Fig. 6. Anodic polarization curves for Raney Ni and Ni electrodes.

(1) Raney Ni catalyst made from INCO 255 Ni, (2) Raney Ni catalyst from Janssen, (3) INCO 255 Ni

존재하는 촉매층표면을 갖는 전극이 우수한 전극성능을 나타낼 수 있으리라 생각되어 지는 바, Fig. 4의 실험 결과에 비추어 볼 때 25 wt%의 PTFE가 혼합된 촉매층의 표면이 전해액의 이동에 적절한 구조를 갖고 있다고 생각된다. 30 wt% PTFE가 혼합된 촉매층은 전자에 비해 발수성의 강화로 전해액의 침투가 용이하지 않아 전극성능이 낮아졌다고 사료되지만 촉매층내부에 전해액의 범람(flooding)이 일어나지 않아서 앞서 언급한 것처럼 안정한 전극성능을 보여주었다고 사료된다 [13]. INCO 255 Ni 분말로 직접 제작한 Raney Ni과 Janssen사가 제조한 Raney Ni(이하: J-Raney Ni)의 전극성능을 비교한 것이 Fig. 6인데 모두 PTFE를 25 wt%로 혼합하여 촉매층을 제작하였다. 직접 제조한 것이 J-Raney Ni보다 우수한 촉매능을 보였으며, Fig. 4와 비교시 촉매활성은 Raney Ni>J-Raney Ni>A-Raney Ni순임을 알 수 있으나, 전극성능의 차이는 크지 않았다. 또 Fig. 6에 INCO 255 Ni에 PTFE 10 wt%를 혼합하여 촉매층을 제작한 Ni 전극의 성능도 나타내었는데, 0.1 V vs. AHE 분극시켰을 때 약 13 mA/cm²의 전극성능을 보임으로써 Raney Ni 전극성능과는 현저한 차이가 있음을 알 수 있었다[14]. Dopant의 첨가로 촉매능을 향상시키기 위해서 Raney Ni 제조시 Mo, Ti, Co를 촉매무게에 대해서 각각 9, 1.5, 0.75 wt%를 첨가하여 doped Raney Ni 촉매성능을 비교한 것이 Fig. 7이다. Dopant의 종류와 첨가량은 전고[15]에서 보고한 벤젠의 수소화반응, Raney Ni의 hydrogen content측정결과 가장 우수한 성능을 나타낸 촉매를 선택한 것이다. 전극촉매

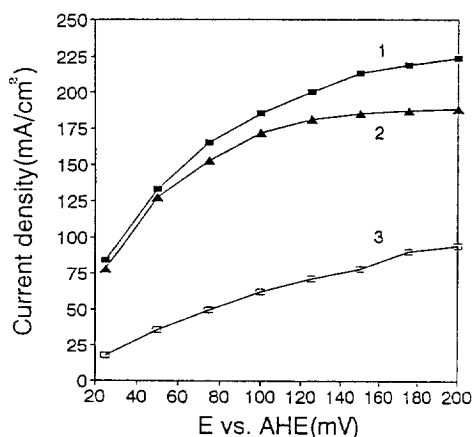


Fig. 7. Anodic polarization curves of Raney Ni electrodes doped with transition metals.

(1) Raney Ni-Mo9, (2) Raney Ni-Ti1.5, (3) Raney Ni-Co0.75

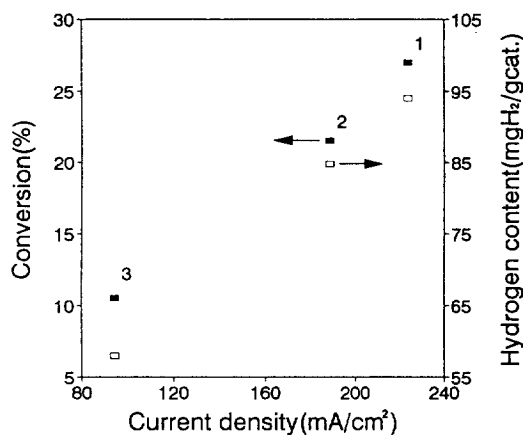


Fig. 8. Comparison of electrode performance and catalytic activity of Raney Ni.

(1) Raney Ni-Mo9, (2) Raney Ni-Ti1.5, (3) Raney Ni-Co0.75

성능이 Mo9>Ti1.5>Co0.75순으로 나타났는데, 이는 Ewe 등[16]의 전극반응 실험결과와도 잘 일치하였다. Fig. 8에 이미 실험을 행한 벤젠의 수소화반응, Raney Ni의 hydrogen content측정 결과와 Raney Ni의 전극성능을 비교하였는데 전극성능과 촉매활성이 거의 비례적으로 증가하는 경향을 보임으로써, Co보다는 Mo과 Ti이 Raney Ni 촉매의 성능을 향상하기 위한 적당한 dopant라고 생각되었다. Fig. 9는 Raney Ni-Mo9 촉매를 사용한 전극을 0.05 V vs. AHE에서 약 35분간 분극시켰을 때의 실험결과로 약 132 mA/cm²의 안정한 전류

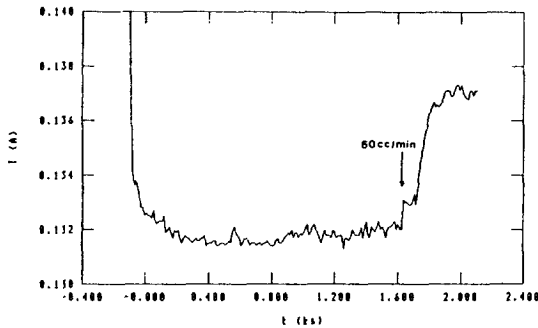


Fig. 9. Chronoamperometry of Raney Ni-Mo9 electrode at 0.05 V/AHE.

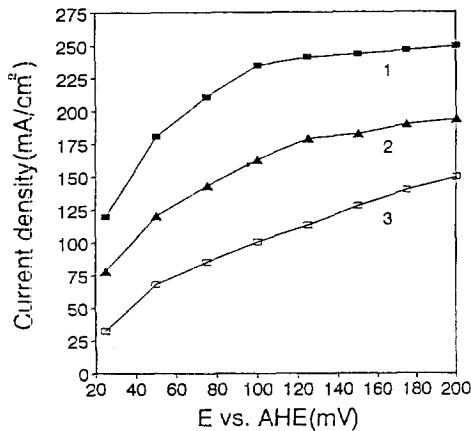


Fig. 10. Anodic polarization curve of Raney Ni electrodes with different catalyst layer components

- (1) mixing ratio of water repellent Aldrich Raney Ni catalyst and non-treated hydrophilic Raney Ni-Mo9 catalyst was 5 to 1.
- (2) mixing ratio of water repellent Aldrich Raney Ni catalyst and non-treated hydrophilic Aldrich Raney Ni catalyst was 5 to 1.
- (3) mixing ratio of water repellent Aldrich Raney Ni catalyst and non-treated hydrophilic Aldrich Raney Ni catalyst was 2 to 1.

밀도를 보임으로써 이 촉매가 안정한 촉매성능을 갖고 있다고 생각되었다. 1,600 s 지날쯤 연료기체공급을 50에서 60 cc/min로 증가시키에 따라 전류밀도가 향상됨으로써 1기압하에서 연료기체 공급속도의 증가가 전극 성능향상으로 이어질 수 있음을 알 수 있었다. 전극성능을 향상시키기 위한 방법으로 촉매층의 향상과 더불어 전극구조를 최적화시키는 방법을 생각할 수 있는데, 본 실험에서 사용한 촉매층구조의 변화를 통해 전극성능의 향상을 꾀하려는 목적으로, Giner와 Hunter의 범람응

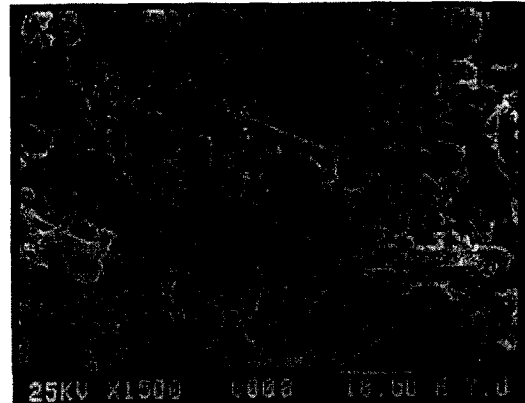


Fig. 11. Morphology of catalyst layer surface in which mixing ratio of water repellent Aldrich Raney Ni catalyst and non-treated hydrophilic Aldrich Raney Ni catalyst was 5 to 1.

집모델(flooded agglomerate model)에 적합한 촉매층 구조를 갖는 전극을 제작하였다[17]. 즉 촉매층내부에 발수처리된 부분(Raney Ni에 25 wt% PTFE를 혼합하여 200℃, H₂분위기에서 미리 소결한 촉매분말)과 미 발수처리된 부분(Raney Ni 분말)을 응집되게 하여, 전자의 부분은 연료기체의 확산통로로, 후자는 전해액의 투과경로로 이용할 수 있도록 고안한 구조이다. Fig. 10은 위에서 언급한 구조를 갖는 전극의 성능을 비교한 것으로 먼저 발수처리한 A-Raney Ni 분말과 미 발수처리한 A-Raney Ni 촉매분말을 5 : 1(16.7 wt%)의 A-Raney Ni 촉매분말 포함), 2 : 1(33.4 wt%)의 A-Raney Ni 촉매분말 포함)의 비로 혼합하여 촉매의 loading density가 같은 전극을 제작하여 실험한 것이다. 전자가 후자보다 더 우수한 전극성능을 나타내었고, Fig. 4에서 이미 언급한 25 wt% PTFE와 혼합된 촉매층보다도 우수한 전극성능을 보여줌으로써 촉매층구조 개선이 전극성능의 향상으로 이어질 수 있음을 알았다. 따라서 발수처리된 촉매분말과 미 발수처리된 촉매분말의 적절한 혼합비로 5 : 1이 적합하다고 생각되어져, 이번에는 발수처리된 A-Raney Ni에 미발수처리된 Raney Ni-Mo9 촉매분말을 5 : 1로 혼합하여 촉매층을 제작, 전극성능을 비교해 본 결과 A-Raney Ni로만 제작한 전극의 성능보다 매우 우수한 전극성능을 보여주었다. 이것은 범람응집모델에 적합하도록 제작한 전극이 일반적인 형태의 전극에 비해 전극구조가 개선되었다는 점과 Fig. 7에서 이미 언급하였듯이 Raney Ni-Mo9이 우수한 촉매활성을 갖고 있었다는 점 때문에 두 인자의 상승작용으로 나타난 결과라고 생각된다. Fig. 11은 발수처리된 A-Raney Ni과 미 발수처리된 A-Raney Ni이 5 : 1로

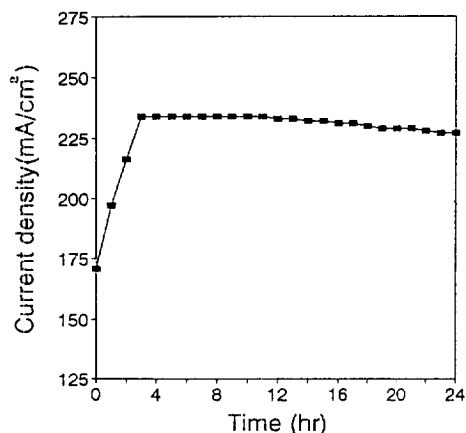


Fig. 12. Current density as a function of operation time on a Raney Ni hydrogen electrode at 0.1 V/AHE. (Mixing ratio of water repellent Aldrich Raney Ni catalyst and non-treated hydrophilic Raney Ni-Mo9 catalyst was 5 to 1)

응집되어 있는 촉매층의 SEM사진으로, 발수처리된 부분은 비교적 큰 덩어리로 존재하는 반면 미 발수처리된 촉매는 덩어리 사이사이에 끼워 들어간 구조로 촉매층이 구성되어 있음을 볼 수 있다. 따라서 발수처리된 부분과 미 발수처리된 부분의 응집체에서 전극반응이 일어난다고 생각할 수 있는데, 이러한 촉매층구조가 일반적인 형태의 촉매층구조에 비해 전극성능이 증가함을 보임으로써, AFC수소전극반응시 전자가 반응물의 물질이동을 용이하게 하거나 또는 전극반응이 일어나는 유효표면적이 넓은 전극구조를 갖고 있다고 사료된다.

반응시간에 따른 수소전극의 전극성능 감소를 알아보기 위해서 발수처리된 A-Raney Ni과 미 발수처리된 Raney Ni-Mo9을 5:1로 혼합응집시켜 제작한 전극을 24시간동안 반응시키면서 그 때의 전극성능 변화를 Fig. 12에 나타내었다. 반응 후 11시간 이후부터 전극성능의 감소를 관찰할 수 있었는데 비교적 안정한 전극성능을 나타낼 수 있었다. 또한 Fig. 12에서 사용한 전극과 같은 전극을 사용하여 전극반응온도 냉각에 따른 전극성능의 감소를 살펴보았는데 반응온도 70°C 에서 40°C 로 냉각시킴에 따라 10°C 간격으로 반응온도가 감소될 때마다 전극성능이 비교적 큰 폭으로 감소함을 알 수 있었다. 따라서 소폭의 반응온도감소가 수소전극성능에 상당한 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 한편 40°C 에서 30°C 로 냉각시에는 전극성능의 감소가 크지 않았다. 그리고 Raney Ni 전극으로 촉매의 loading density를 증가시킴에 의한 전극성능 향상정도를 알아보기 위한 실험도 행하였는데, loading양을 두 배이상 증가

시켰을 때 낮은 분극에서는 전극성능의 차이가 거의 없다가 0.1 V vs. AHE에서는 약 20 mA/cm², 0.2 V vs. AHE에서는 약 50 mA/cm²의 전극성능의 차이를 보임으로써 loading양 증가에 따른 전극성능의 향상정도가 낮은 분극전위에서는 크지 않음을 알 수 있었다.

4. 결 론

(1) 수소전극의 촉매층 제작시 최적 PTFE분말 첨가량은 사용촉매질량에 대해 25 wt%였다.

(2) Ni 전극에 비해 Raney Ni전극성능이 현저하게 우수하였다. INCO 255 Ni로 제조한 Raney Ni, J-Raney Ni, A-Raney Ni 촉매로 제작한 전극활성은 거의 비슷하였는데, 전극성능의 차이는 10 mA/cm² 안팎이었다.

(3) Dopant로 Mo를 9 wt% 첨가하여 제조한 Raney Ni-Mo9 촉매가 가장 우수한 촉매활성을 나타내었으며, 이 촉매를 사용하여 제작한 전극은 안정한 전극성능을 보여 주었다.

(4) 범람응집모델에 적합한 전극구조를 갖는 촉매층의 제작시 발수처리된 촉매분말과 미발수처리된 촉매분말의 혼합비는 5:1이 적당하였으며, 이 구조를 갖는 전극은 일반적인 형태의 전극에 비하여 양호한 분극특성을 나타냈다.

감 사

본 연구는 1990년 국방과학연구소에서 시행한 장기 기초 연구 사업의 일환으로 이루어진 바 이에 감사드립니다.

참고문헌

- Despić, A. R., Dražić, O. M., Petrović, C. M. and Vujčić, V. Lj.: *J. Electrochem. Soc.*, **1109**, 111(1914).
- Niedrach, L. W. and Alford, H. K.: *J. Electrochem. Soc.*, **112**, 117(1965).
- Austin, L. G. and Almaula, S.: *J. Electrochem. Soc.*, **114**, 927(1967).
- Fritz, G. B. and David, J. B.: *J. Electrochem. Soc.*, **933**, 116(1969).
- Went, H. and Rohland, B.: *Kerntechnik*, **56**(3), 161 (1991).
- Rockett, J. A. and Brown, R.: *J. Electrochem. Soc.*, **113**, 207(1966).
- Srinivasan, S. and Hurwitz, H. D.: *Electrochim. Acta*, **12**, 495(1967).

8. Matsushima, T. and Enyo, M.: *Electrochim. Acta*, **117**, 19(1974).
9. Cho, J. Y., Kim, J. H., Kim, Y. W., Kim, H. J. and Lee, J. S.: *Korean J. Chem. Eng.*, **32**(1), 86(1994). (1994).
10. Cho, W. I., Cho, J. Y. and Kim, H. J.: *Korean J. Chem. Eng.*, **30**(3), 328(1992).
11. Cho, J. Y., Kim, Y. W., Kim, H. J. and Lee, J. S.: *Korean J. Chem. Eng.*, **31**(4), 475(1993).
12. Freel, J., Pieters, W. J. M. and Anderson, K. B.: *J. Catal.*, **14**, 247(1969).
13. Kenjo, T.: *J. Electrochem. Soc.*, **1583**, 132(1985).
14. Los, P., Rami, A. and Lasia, A.: *J. Appl. Electrochem.*, **135**, 23(1993).
15. Cho, J. Y., Kim, Y. H. and Kim, H. J.: *Korean J. Chem. Eng.*, **31**(2), 244(1993).
16. Ewe, H., Justi, E. and Schmitt, A.: *Electrochim. Acta*, **19**, 799(1974).
17. Giner, J. and Hunter, C.: *J. Electrochem. Soc.*, **116**, 1124(1969).