

Electric Conduction Properties of NaCl Electrolyte as a Function of Electrode Materials

김 용 혁*
(Yong-Hyuk Kim)

Abstract - The electrical characteristics of galvanic cell which is composed of the cathode electrode(graphite, carbon and copper) and the anode electrode(Zn and Mg) were investigated. For this research as electrolyte 2~12 wt% NaCl aqueous solution were used. At graphite cathode electrodes which use Zn and Mg with the anode electrode, the open circuit voltage was 1.3V most highly. The maximum output power increased as the electrolyte concentration increased, due to a increase in ion density. When Zn and Mg with the anode electrode, the maximum output power respectively was evaluated as 2.2mW and 5.5mW about the graphite cathode electrode in the NaCl 4wt%. The research results indicated that the output power of cell which is composed with graphite with the cathode and Mg with the anode was most excellent and the efficiency of the cell could be enhanced by increasing the electrolyte concentration.

Key Words : Galvanic cell, NaCl electrolyte, Graphite electrode, Cathode, Anode

1. 서 론

21세기에 들어서면서부터 IT산업의 급격한 발전으로 인해 새로운 이동통신기기 및 다양한 멀티미디어 장치들이 소형 경량화 내지는 고성능화에 초점이 맞추어 개발되고 있다. 이와 같은 전자장치들은 휴대가 간편하면서 복합기능을 겸비해야만 하기 때문에 소형이면서 고용량의 에너지 저장 장치에 대한 요구가 한층 강조되고 있다. 또한 화석연료의 고갈에 대한 에너지 부족문제나 화석연료를 사용함으로써 방출되는 CO₂가스나 유해성 가스 배출 문제가 대두되면서 화석연료에 대한 대안으로서 연료전지와 같은 미래형 전력원에 대한 기대가 한층 고조되고 있는 상황이다. 이에 따라서 에너지를 가장 효율성 있게 집전하고 저장할 수 있는 높은 에너지밀도를 갖는 전극재료에 대한 관심이 집중되고 있다[1-5].

일반적으로 전기화학전지의 성능은 전극재료는 물론 전극과 화학반응을 일으키는 전해질에 의해서도 좌우되기 때문에 전극재료와 전해질의 반응을 활성화시키기 위하여 전해질특성에 맞는 전극재료의 선택은 전기화학전지에 있어서 무엇보다도 중요하다고 하겠다[6-7]. 볼타의 화학전지를 토대로 하여 1864년 Leclanch 전지가 발명된 이래로 현재까지 가정이나 산업용으로 사용되고 있는 망간전지의 경우 음극재료가 아연전극이 사용되고 양극전극으로는 탄소체가 사용되며 전해질로는 MnO₂+NH₄Cl+C등이 혼합된 고체전해질이

사용되고 1.5V의 기전력을 발생한다. 2차 전지인 리튬이온 전지의 경우는 전극재료로 리튬을 사용하기 때문에 전압이 약 3.7V 정도로 높게 나타난다. 또한 연료전지의 경우에는 전극재료로 그래파이트(+Pt촉매)를 사용하고 전해질로는 인산이나 알카라인 또는 고분자 전해질 등의 고체전해질을 사용하는데 단위전지의 생성 전압이 1.2V 정도로 망간전지에 비해 다소 낮게 나타난다. 이와 같이 전극재료는 전해질과의 화학작용에 의해서 양 전극간의 전위차를 발생시키는 동시에 부하에 전달하는 에너지량을 결정짓게 된다. 또한 전극은 집전체 기능뿐만 아니라 도전체로서 전지의 내부저항을 줄이고 이온이나 전하의 이동매체 작용에 의한 전류흐름을 제어하기 때문에 전해질과의 화학적 반응을 활성화시킬 수 있는 전극재료에 대한 연구개발이 전해질의 종류 및 전지특성에 맞추어 개발되고 있다[8-9].

따라서 화학전지의 전극재료와 전해질 사이의 화학반응에 따른 전기적 변화를 전극재료의 관점에서 평가함으로써 사용 전해질에 맞는 최적의 전극조건을 찾을 수 있으리라 보며 최적의 전극-전해질 조건을 통해서 전지의 발전성능을 보다 향상시킬 수 있을 것으로 생각된다. 이 결과를 바탕으로 수용성 전해질만을 사용하는 새로운 개념의 화학전지 개발에 대한 정보를 제공할 수 있으리라 본다.

본 논문에서는 전해질을 NaCl 수용액으로 하는 갈바니전지 구조에 대해서 음극전극재료(Zn, Mg)와 양극전극재료(Cu, Carbon, Graphite)가 화학전지의 전기적 특성에 미치는 영향에 대해서 연구하였다. 이를 위하여 NaCl 수용액 전해질과 음극전극간의 화학반응에 따른 이론적 전위를 검토하였으며 음극 및 양극전극이 전압-전류변화와 에너지 변환출력에 미치는 영향에 대해서 조사하였다.

* 정 회 원 : 경원대학교 전기공학과 교수 · 공박

E-mail : kimyh@kyungwon.ac.kr

접수일자 : 2009년 9월 7일

최종완료 : 2010년 10월 11일

2. 실험

본 실험에서 사용한 양극재료는 금속재료 중에서 전기 전도성이 뛰어난 Cu와 화학적으로 안정되면서 전기도전성이 우수한 Carbon과 Graphite재료를 사용하였다. 음극재료는 이온화 경향이 큰 Mg(순도 99.9%)와 Zn(순도 98%)재료를 사용하였고 전해질로는 2~12wt%의 NaCl 수용액을 사용하였다. 각 전극판은 판상으로서 3cm×3cm의 일정 크기로 하였고 전극간 거리는 10cm를 유지하였다. 전해질 용기는 두께 0.5mm의 아크릴 재질을 사용하여 15cm(L)× 5cm(W)×5cm(H) 크기로 제작하였다. 전해질 농도에 따른 전압-전류특성은 전압계(DA-101A), 전류계(DA-101B), 포텐시오미터로 구성된 전기측정회로를 사용하였다. NaCl전해질 농도는 Digital salt meter(GMK50)로 측정하였다.

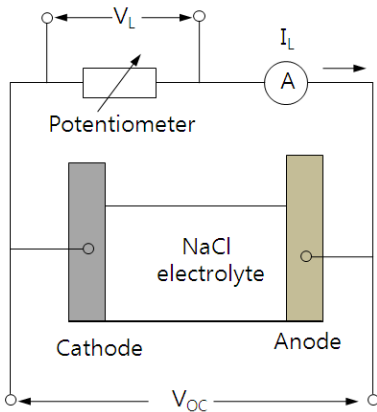


그림 1 측정회로
Fig. 1 Measurement circuit arrangement

그림 1은 전지의 전기적 특성을 측정하기 위한 전기 회로도를 나타낸 것으로 전지의 부하특성은 포텐시오미터(0.2Ω~20kΩ)의 조절에 의해서 전지를 통해서 흐르는 전류 I_L 과 포텐시오미터 양단의 전압 V_L 을 측정하여 구하였다. 그리고 전지의 개방전압 V_{OC} 와 단락전류 I_{SC} 는 포텐시오미터를 개방하거나 단락한 상태에서 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 양극전극에 따른 개방전압 V_{OC}

일반적으로 갈바니전지 방식의 화학전지에 있어서 음극전극인 Zn은 전해질 내의 수산화(OH⁻)와 산화반응을 일으키면서 Zn²⁺이온과 2개의 전자를 내놓는다. 양극전극은 전자를 받아들여서 전해질 내의 수소이온과 환원반응을 일으키면서 수소가스를 발생시킨다. 이 과정의 화학반응은 다음 식으로 나타낸다[10].



NaCl 수용액 농도 4 wt%인 전해질에 있어서 음극전극을 Zn으로 하였을 때, 양극전극재료 Cu, Carbon, Graphite에 있어서의 전지 개방전압 V_{OC} 의 변화를 그림 2에 나타내었다. 개방전압은 개방회로의 전압측정으로 나타낸 것이므로 실제로는 전지의 화학작용에 의해서 생성된 전지의 기전력으로 볼 수 있다.

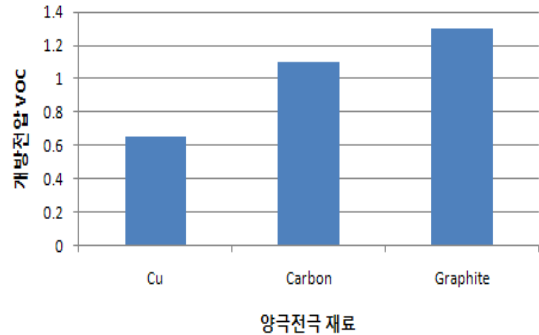


그림 2 양극전극에 따른 개방전압
Fig. 2 Open circuit voltage with cathode electrode materials

그림에서 Carbon과 Graphite전극의 기전력이 각각 1.1V와 1.3V 정도로 높게 나타났으며 Graphite전극은 Cu전극에 비해 기전력이 2배 정도 높은 값으로 측정되었다. 금속 전극으로 구성된 Cu-전해질-Zn의 갈바니전지의 경우, Cu보다 이온화 경향이 큰 Zn전극은 전해질과의 산화반응에 의해서 전자를 생성하면서 이론적으로 0.76V의 전위를 만들어 낸다.

이에 반하여 이온화 경향이 비교적 적은 Cu전극은 전해질과의 화학반응이 미비하여 전위를 생성하지 못한다. 따라서 Cu-Zn전극 사이의 전위차는 이론적으로 0.76V로 되며 이 전위차가 전지의 기전력으로 작용하게 된다. 그러나 실험결과 두 전극사이의 기전력은 약 0.65V로 측정되었다. 이는 전해질과 전극간의 화학반응 정도나 전해질 내 이온들의 이동효과 등에 따른 전지 내부저항의 영향에 의한 결과로 생각된다. 이와 같은 반응관계를 통해서 Zn 음극전극에 대한 Carbon, Graphite전극의 기전력 변화를 해석할 수 있다. 즉 실험적으로 측정된 Cu-Carbon, Graphite의 전위는 0.5V와 0.7V로써 Carbon, Graphite전극이 +전위, Cu전극이 -전위를 나타내었다. 그러므로 전체적으로 Zn에 대해서 Carbon, Graphite의 전위차가 1.1V와 1.3V로 측정된 결과로 나타났다고 할 수 있다.

3.2 기전력의 시간 의존성

전극과 전해질 사이의 화학반응에 의해서 생성된 기전력은 전지의 성능과 밀접하게 관계된다. 기전력은 전해질 내 이온들을 움직이는 동력원이 되기 때문에 전지의 성능을 향상시키기 위해서는 보다 큰 전위차가 요구되는 동시에 기전력의 시간적 변화가 안정적이어야 한다.

그림 3에 NaCl 4wt% 수용액에 대해서 양극전극재료에 따른 기전력의 시간적 변화를 나타내었다.

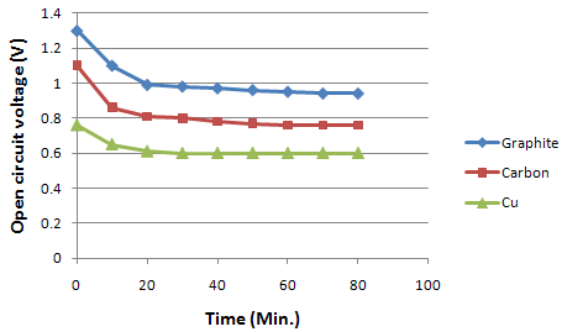


그림 3 시간에 따른 개방전압
Fig. 3 Open circuit voltage with time

전반적으로 20분이 경과할 때까지 전압이 감소하는 특성을 나타내었으며 20분 이후부터는 거의 안정된 전압 값을 나타내었다. 초기상태에서는 전해질과 전극간의 화학반응이 장애없이 매우 원활하게 일어나지만 시간이 지나면서 화학반응에 의해서 생성된 식 (2)의 수소가스 등에 의해서 기전력이 감소되는 소위 분극작용에 의한 영향으로 볼 수 있다. 20분 후 부터는 분극작용에 의해서 감소된 기전력의 영향으로 전압감소현상이 완만하게 진행된다고 생각된다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 전압이 안정된 상태에서, Graphite, Carbon, Cu전극을 사용한 전지의 기전력이 각각 0.9V, 0.7V, 0.6V로 측정되었으며 기전력 크기 면에서 Graphite전극이 가장 우수한 전극재료로 확인되었다.

3.3 전류-전압 특성

그림 4에 Zn 음극전극, NaCl 전해질 농도 4wt%에 있어서 양극전극재료에 따른 전류-전압특성을 나타내었다. 전반적으로 부하전류가 증가할수록 부하전압이 낮아지는 경향을 나타내었으며 양극전극 종류에 따라서 매우 현저한 전류-전압특성을 보이고 있다. Cu전극의 경우 전류증가에 대해서 부하전압이 매우 빠르게 감소되었으며 Graphite전극에서는 완만한 기울기를 나타내었다. 전극과 전해질의 화학반응에 의해서 발생된 전지의 기전력은 외부도선을 통한 전자의 이동과 전해질을 통한 이온의 작용에 의해서 부하를 통해서 전류가 흐르게 된다. 이 과정에서 화학반응으로 발생된 수소 기체나 전해질 이온들의 상호작용 등에 의해서 내부저항이 생기게 된다.

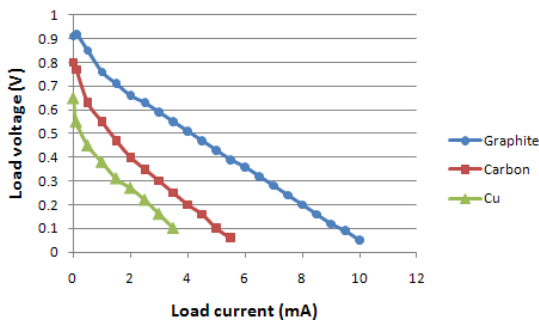


그림 4 양극전극재료에 따른 IL-VL특성곡선
Fig. 4 IL-VL curve according to cathode electrode materials

따라서 전지의 기전력 E , 전지 내부저항 r , 부하저항 R 이라고 할 때, 저항 R 을 통해서 흐르는 부하전류 I_L 는 다음 식으로 된다.

$$I_L = \frac{E}{r+R} \tag{3}$$

이때 저항 R 양단에 생기는 전압강하 V_L 는 다음 식과 같다.

$$V_L = \frac{R}{r+R} E \tag{4}$$

내부저항 r 이 일정한 경우, 부하저항 R 이 감소함에 따라서 전류는 증가하지만 전압강하 V_L 은 오히려 감소하는 특성을 나타내게 된다. 따라서 그림 3과같이 부하전류가 증가함에 따라서 부하전압이 감소하는 특성을 나타낸 것으로 볼 수 있다.

그림에서 동일한 부하전압에 대해서 부하전류가 Graphite > Carbon > Cu 순으로 크게 증가된 것은 각 전극과 전해질의 반응효과가 다르기 때문인 것으로 볼 수 있다. 즉, Cu 전극이 경우는 이온화 경향이 낮기 때문에 전해질과의 반응도가 낮으므로 단지 양극전극으로서의 작용만 하지만 Carbon은 양극전극으로서의 작용뿐만 아니라 전위를 생성할 수 있는 작용을 하며 Graphite는 결정구조면에서 Carbon과는 달리 구조적으로 방향성을 갖고 있기 때문에 전해질과의 반응성이 뛰어난 결과로 생각된다.

그림 5는 Zn음극전극에 대해서 양극재료로 Graphite를 사용했을 때, NaCl 전해질 농도 변화에 따른 부하전류와 부하양단의 전압관계를 나타낸 것이다. 부하전류가 증가함에 따라서 부하전압은 전반적으로 감소하는 특성을 나타내었다. 또한 부하전압은 전해질 농도의 증가에 따라서 높아지는 경향을 보였다.

화학전지에 있어서 전해질 농도가 전류변화에 많은 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 이 현상은 전해질 농도의 증가는 결국 이온밀도를 증가시키는 것으로 나타나기 때문에 $I=q/t$ 의 관계에서 단위시간 당 전하량이 증가에 의한

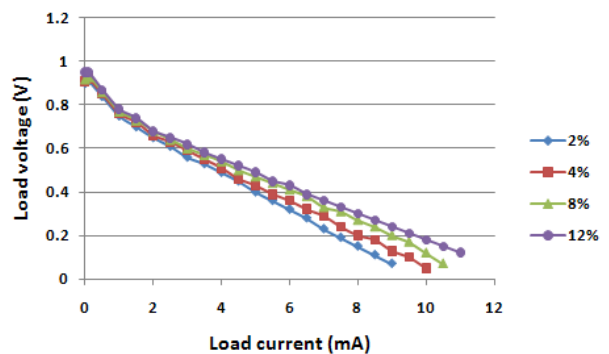


그림 5 전해질 농도에 따른 IL-VL특성곡선
Fig. 5 IL-VL curve according to electrolyte concentration

도전을 증가로 인하여 전류가 증가되었다고 볼 수 있다. 이러한 현상은 부하전압이 전해질 농도에 대해서 현저한 차이를 나타내는 큰 전류영역에서 쉽게 확인할 수 있다. 1~2mA의 영역에서는 부하전압의 감소기울기는 전해질 농도에 의존되지 않고 거의 일정하였으나 부하전류 2mA 이상부터는 전해질 농도가 감소할수록 부하전압의 감소기울기는 크게 나타났다. 그리고 초기전류 영역인 0~1mA에서 전압의 감소가 급격하게 일어난 것은 분극작용에 기인된 현상으로 볼 수 있다. 즉 앞에서 설명한 분극작용으로 기전력 생성을 저해하는 에너지장벽 효과로 인해서 전압강하가 크게 나타났다고 생각된다 [11].

3.4 출력특성

전지가 방출하는 에너지의 량을 나타내는 출력특성은 화학전지의 성능을 결정하는데 있어서 매우 중요한 요소로서 화학에너지를 전기에너지로 변환되는 효율을 평가하는 파라미터가 된다. 부하단에서 소비되는 전력은 부하전류와 부하단자전압의 곱으로서 다음 식으로 나타낸다.

$$P = V_L \cdot I_L \tag{5}$$

그림 4의 양극전극재료에 따른 IL-VL 특성곡선으로부터 구한 부하전력 그래프를 그림 6에 나타내었다. 부하전류에 대한 전력곡선은 저항부하에서 나타나는 전형적인 종모양의 특성을 나타내었으며 최대 전력값은 양극재료에 따라서 큰 차이를 보이고 있다. Graphite 전극의 경우 최대출력은 2.2mW로 나타났고 Carbon 전극의 경우는 0.9mW, Cu 전극은 0.6 mW를 나타냈다. 즉 Graphite 전극을 사용한 전지의 출력은 Carbon 전극에 비해서 2배 이상 높았으며 Cu 전극에 비해서는 3배 이상 높게 나타났고 최대출력을 나타내는 전류값의 크기가 Graphite > carbon > Cu 전극 순으로 나타났다. 이와 같은 특성으로부터 전해질과 전극간의 화학반응성 면에서 Graphite 전극이 Carbon 전극이나 Cu 전극에 비해서 매우 우수한 반응을 나타내는 것으로 확인하였다.

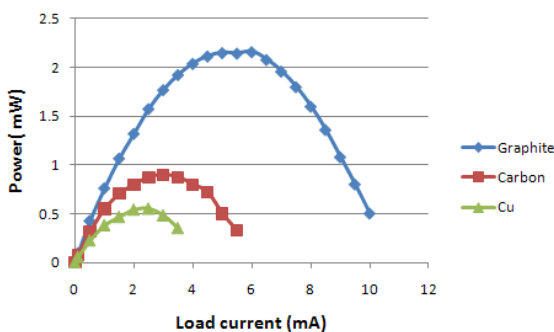


그림 6 양극전극재료에 따른 출력특성곡선
Fig. 6 Power curve according to cathode electrode materials

그림 5의 전해질 농도에 따른 IL-VL 특성곡선으로부터 구한 출력특성을 그림 7에 나타내었다. 전해질 농도가 증가함에

따라서 출력이 증가하는 특성을 나타내었으며 최대출력을 나타내는 전류값도 전해질 농도에 따라서 증가하였다. 이와 같은 특성은 전해질 농도 증가에 따라서 이온밀도가 증가된 영향으로 볼 수 있다. 실험결과에서 알 수 있는바와 같이 전해질 농도 2wt%의 경우에는 전류 5mA에서 최대출력을 나타냈으며 12wt%에서는 전류밀도 7mA에서 최대출력을 나타내었다. 이와 같이 전해질 농도 증가에 따라서 최대출력을 나타내는 전류값이 증가되는 것은 전해질 내 이온농도 증가에 따라서 전하밀도가 증가된 결과로 생각된다.

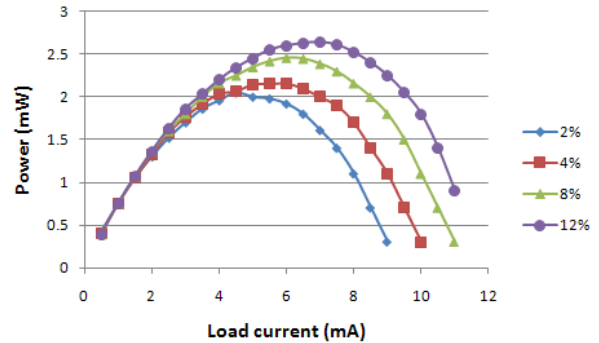


그림 7 전해질 농도에 따른 출력특성곡선
Fig. 7 Power curve according to electrolyte concentration

3.5 Mg 음극전극의 영향

전기화학전지에 있어서 음극전극은 전지의 전위를 발생시키는 역할을 하므로 전지의 기전력 생성에 있어서 매우 중요한 구성 요소이다. 전극전위는 음극과 전해질 계면의 화학작용에 의해서 생성되며 그 크기는 음극재료의 환원전위에 의해서 결정된다. 환원전위는 전극재료의 이온화 경향이 클수록 높아지므로 큰 전위차를 얻기 위해서는 이온화 경향이 큰 금속재료를 사용하는 것이 바람직하다. 화학전지에는 주로 이온화 경향이 큰 Li, K, Ca, Mg, Al, Zn 등의 금속들이 음극전극재료로 사용되는데 이 중에서 화학적으로 안정되고 비교적 가격이 저렴한 Mg, Al, Zn 재료들이 상업용 1차전지의 음극재료로 주로 사용되고 있다.

따라서 전지의 출력특성에 미치는 음극전극의 영향을 관찰하기 위하여 Mg 전극과 Zn 음극전극을 비교 검토하였다.

음극전극으로 Mg를 사용한 경우, 전극반응은 다음 식으로 된다[12].



즉 Mg는 수분의 수산기(OH-)와 산화반응을 일으키면서 2개의 전자를 내놓고 전해질 속에서 수산화 마그네슘으로 이온화 된다. 양극에서는 Mg에서 생성된 전자를 받아들여서 전해질 내의 수소이온과 환원반응을 일으키면서 수소를 발생시킨다. 이 과정에서 양 전극 사이에 전위차가 생겨난다.

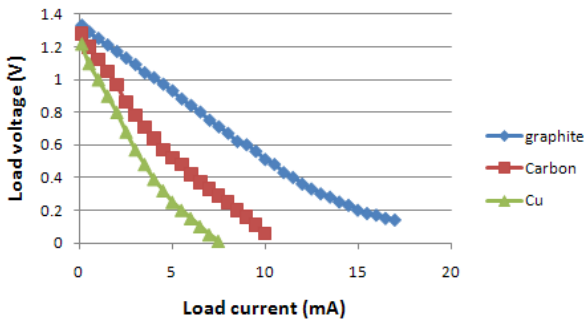


그림 8 양극전극에 따른 I_L-V_L 특성곡선
 Fig. 8 I_L-V_L curve according to cathode electrode materials

그림 8에 전해질 농도 4wt%에서 음극전극으로 Mg를 사용했을 때의 양극전극에 따른 전류-전압특성을 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 개방상태의 전압 즉 기전력은 양극전극재료에 따라서 1.2~1.3V로서 별 차이를 보이지 않았지만 부하전류가 증가함에 따라서 큰 차이를 나타내었다. 전류증가에 따른 부하전압의 감소현상은 그림 3의 Zn 음극전극과 거의 같은 특성을 보이고 있다. 그러나 Mg전극을 사용했을 때의 기전력은 0.6~0.9V인 Zn전극에 비해서 상대적으로 높게 나타났고 같은 부하전압에 대한 부하 전류값도 크게 증가되었다. 따라서 Mg전극을 사용하는 것이 출력 특성 면에서 매우 우수할 것으로 예상할 수 있다.

그림 8의 음극전극으로 Mg전극을 사용한 I-V 그래프와 그림 5의 음극전극으로 Zn을 사용한 I-V 그래프로부터 구한 Graphite 양극재료에 있어서의 전력비교를 그림 9에 나타내었다.

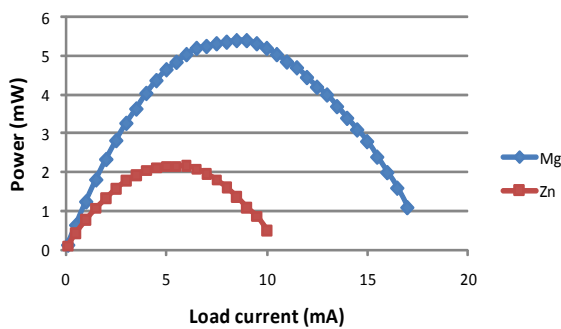


그림 9 음극전극재료에 따른 출력특성곡선
 Fig. 9 Power curve according to anode electrode materials

Mg음극전극의 경우 부하전류 9mA에서 최대출력 5.5mW를 나타내었고 Zn음극전극에서는 전류 5mA에서 최대출력 2.1mW를 나타내었다. Zn전극에 비해서 Mg전극의 출력이 2배 이상 증가된 것으로 나타났다. 이와 같은 결과로서 같은 전해질 상태에서의 전극반응이 Mg전극재료가 Zn전극재료에 비해 매우 활성적으로 일어난다는 사실을 알 수 있다. 따라서 동일 출력을 얻는 조건이라면 Mg전극재료를 사용하는 것이 효율성이 크다고 할 수 있다.

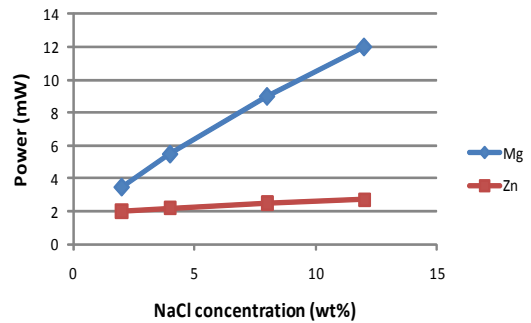


그림 10 전해질 농도에 따른 출력특성곡선
 Fig. 10 Power curve according to electrolyte concentrations

그림 10은 양극전극으로 Graphite를 사용했을 때, 전해질 농도에 따른 출력변화를 음극전극에 따라서 나타낸 것이다. Mg전극을 사용한 경우 전해질 농도에 따른 출력은 3.5~12mW로 매우 큰 폭으로 증가하였으나 Zn전극에서의 출력변화는 2~2.5mW 정도로 매우 미비하게 나타났다. 이와 같은 특성은 이론 표준환원전위가 Mg의 경우 2.37V로서 0.76V인 Zn에 비해 상대적으로 높기 때문에 전해질과의 화학반응에 의해서 생성되는 기전력 차이에 의한 영향으로 볼 수 있으며 또한 이온화 경향 면에서 Mg전극이 우수하므로 전해질과의 반응성이 Zn전극에 비해서 뛰어난 결과로 전해질의 농도효과가 크게 나타난 것으로 생각된다.

3. 결 론

본 연구에서는 NaCl 수용액을 전해질로 하는 갈바니 화학전지에 있어서 양극전극재료인 Graphite, Carbon, Cu와 음극전극재료인 Zn, Mg전극이 전지의 전기적 특성에 미치는 영향에 대해서 조사하였다. 음극전극으로 Zn과 Mg를 사용한 두 경우 모두 Graphite 양극전극에서의 기전력은 1.3V로서 가장 높게 나타났다. 전해질 농도가 증가할수록 출력이 전반적으로 증가되었으며 Graphite양극전극의 경우 Zn전극에서 최대출력 2.2mW를 나타냈고 Mg전극에서 최대출력 5.5mW를 나타냈다. 상기 결과로부터, 전극효과 면에서는 Graphite를 양극전극으로 하고 Mg를 음극재료로 구성한 전지에서 발전특성이 가장 우수한 것으로 평가되었으며 또한 NaCl 전해질 농도를 증가시키므로써 전지의 성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] J.M. Friedrich et al, "Reticulated vitreous carbon as an electrode material," J. Electroanal. Chem. Vol. 561 pp. 203 - 217, 2004.
- [2] V. Subramanian, H. Zhu, and B. Wei, "Nanostructured manganese oxides and their composites with carbon nanotubes as electrode materials for energy storage devices," Pure Appl. Chem., Vol. 80, No. 11, pp. 2327 - 343, 2008.
- [3] Yu Il Yoon and Jang Myoun Ko, "CoNi Oxide/Carbon-, Nanofiber Composite Electrodes for

- Supercapacitors," Int. J. Electrochem. Sci., Vol. 3, pp. 1340-1347, 2008.
- [4] K. VYTRÁS, I. ŠANCARA and R. METELKA,"Carbon paste electrodes in electro analytical chemistry," J. Serb. Chem. Soc., Vol. 74 No.10, pp. 1021 - 033, 2009.
- [5] 박인준, 송진수, 김영유, "다공질 구조의 EL특성과 접촉전해질의 영향," 대한전기학회논문지, 제44권, 12호, pp. 1617-1622, 1995.
- [6] U. Balachandran, T. H. Lee, B. Ma, and S. E. Dorris,"Solid Oxide Fuel Cells Based on Proton Conducting Electrolytes," Mater. Res. Soc. Symp. Proc. Vol. 972, 2007.
- [7] 김선재, 황중선, "저온형 고체산화물 연료전지를 위한 20 mol% Gd-doped CeO₂ 전해질의 제조에 관한 연구," 1997년 대한전기학회 추계학술대회 논문집, 11, pp. 305~307, 1997.
- [8] 박권필, 전해수, "전해질 첨가제가 알루미늄-공기전지의 성능에 미치는 영향," J. Kor. Ind.&Eng. Chem. Vol. 9, N0.1, pp. 52-57, 1998.
- [9] A. Hassibi, R. Navid, R. W. Dutton and T. H. Lee, "Comprehensive study of processes in electrode electrolyte interfaces," J. Appl. Phys. Vol. 96 No. 2, pp. 1074-1082, 2004.
- [10] M. J. Smith and C. A. Vincent, "Electrochemistry of the zinc-silver oxide system, Part 1: Thermodynamic studies using commercial miniature cells," J. Chem. Educ., Vol.66, No.6, pp. 529-531, 1989.
- [11] Richard K. Morris, Gerry A. Ottewill and B. Des Barker,"The aluminium-air cell," Int. J. Eng. Ed., Vol. 18, No. 3, pp. 379-388, 2002.
- [12] K. F. Blurton and A. F. Sammells, "Metal-air batteries : their status and potential-A Review," J. power sources, Vol. 4, p. 263, 1979.

감사의 글

이 연구는 2010년도 강원대학교 지원에 의한 결과임

저 자 소 개



김 용 혁 (金 龍 赫)

1988년 인하대학교 전기공학과 (공학박사)
 1993년 일본 명성대학 연구교수
 현재 강원대학교 전기공학과 교수
 주 관심분야 : 전자세라믹 센서, 화학센서