

## 흑연계 및 비흑연계 탄소로 조합된 리튬이온 이차전지의 탄소부극 특성

김 현 중 · 이 철 태<sup>†</sup>

단국대학교 공과대학 화학공학과  
(1998년 7월 20일 접수, 1998년 9월 11일 채택)

### Performance of the Negative Carbon Electrode Prepared with Graphitic Carbon and Nongraphitic Carbon Material in Lithium Ion Secondary Battery

Hyun-Joong Kim and Chul-Tae Lee<sup>†</sup>

Department of Chemical Engineering, College of Engineering, Dankook Univ., Seoul 140-714, Korea  
(Received July 20, 1998; accepted September 11, 1998)

**요 약:** 리튬이온 이차전지에 사용되는 탄소부극의 성능을 향상시키기 위하여 결정성계 탄소재료와 비결정성계 탄소재료의 혼합비율에 따른 조합형 탄소전극을 제조하였으며, 이들의 전기화학적 특성과 충방전 특성을 조사하여 조합비율에 따른 리튬의 삽입과 탈삽입 반응기구 및 최적의 조합조건을 찾고자 하였다. 탄소전극은 결정성계 탄소재료인 natural graphite와 700 °C에서 1시간 동안 열처리된 비결정성계 탄소재료인 petroleum cokes를 사용하였다. 조합비에 따라 제조된 조합형 탄소전극은 두 가지 형태의 탄소재료가 갖는 전극특성을 지니며 50:50 wt %로 조합하였을 때 가장 우수한 전기화학적 특성과 충·방전 특성을 나타냈다.

**Abstract:** This study was investigated to improve performance of carbon negative electrode for lithium ion secondary battery. The carbon electrode was prepared by mixing with graphitic carbon material, natural graphite, and nongraphitic carbon material, petroleum cokes, which was heat-treated at 700 °C for 1 hour. Its electrochemical and charge-discharge characteristics were tested according to mixing ratio of different two types of carbon material. The carbon electrode prepared with various mixing ratio showed both characteristics of two different types of carbon materials and the best characteristics as carbon electrode was demonstrated at mixing ratio of 1:1.

**Key words:** Lithium Ion Secondary Battery, Carbon Negative Electrode, Graphitic Carbon, Nongraphitic Carbon

#### 1. 서 론

리튬이온 이차전지용 부극활물질로서 가장 활발히 연구되어지고 있는 탄소전극재료에는 크게 흑연계 탄소재료와 비결정성계 탄소재료로 구분될 수 있다. 이중 흑연계 탄소전극은 탄소의 층상구조가 잘 발달되어 있으며 이들 층간에 리튬이 이상적으로 삽입되어 LiC<sub>6</sub>를 형성하였을 때 372 mAh/g의 높은 이론 에너지 밀도를 갖는다[1]. 그러나 리튬이온전지의 전극활물질로 이용한 흑연계 탄소전극의 경우 충·방전이 진행됨에 따른 용량감소에 의하여 이론용량 만큼의 에너지를 충분히 활용치 못하고 있어 리튬이차전지의 에너지 이용효율에 많은 문제점을 지니고 있다. 또한 비결정성 탄소재료로서 대표적인 탄소는 petroleum cokes와 pitch cokes가 주로 이용되고 있으며 이들 cokes를 1000 °C 부근의 온도에서 열처리하게 되면 탄소 결정립이 불규칙하게 배향하게 된다. 이러한 탄소재료를 soft carbon이라고 부르며 이들 soft carbon을 리튬전지의 탄소부극으로 적용하게 되면 전기화학적으로 삽입된 리튬이 탄소의 층간은 물론 불규칙하게 배향된 탄소 결정립간에도 삽입되므로 흑연부극의 이론용량보다도 큰 방전용량을 나타내게 된다[2-4].

그러므로 이들 흑연계 탄소전극과 비결정성 탄소재료인 soft carbon을 적절히 조합하게 된다면 보다 큰 용량을 갖게 되어 수명

이 향상된 탄소부극의 특성을 얻게 될 것이며 두 가지 탄소재료의 장단점을 보완하게 될 것으로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 흑연계 탄소재료로서 natural graphite와 비흑연계 탄소재료로서 저온에서 열처리한 petroleum cokes를 이용하여 이들의 혼합비율에 따른 조합형 탄소전극을 제조하였으며, 조합형 탄소전극에 따른 리튬전지의 전기화학적 특성과 충·방전 특성을 조사하여 이들 흑연계와 비흑연계 탄소재료의 조합비율에 따른 리튬의 삽입과 탈삽입 반응기구 및 최적의 조합조건을 찾고자 하였다.

#### 2. 탄소 전극활물질의 구조적 특성

탄소재료의 생성과정을 대표적으로 분류하여 Figure 1에 나타내었다[5]. 탄소가 결정화된 인조흑연은 유기물을 약 3000 °C에서 열처리하여 생성되며 천연흑연과 같은 결정구조를 형성한다. 2000 °C 이하의 영역에서는 탄소의 천이상태로 준 안정적인 구조를 형성한다. 그 구조는 soft carbon(graphitizable)과 hard carbon(non-graphitizable)으로 구분될 수 있는데 이러한 원인은 출발물질이 다른 탄화과정에 기인한다. Soft carbon의 출발물질로는 cokes나 vapor-grown carbon fiber 등을 액상탄화하여 얻어지게 되고 hard carbon의 경우는 출발물질로 열경화성 수지 등을 탄화하였을 때 얻어지게 되며 이들에 대한 모델을 Figure 2에 나타냈다[6]. 그림에서 볼 수 있듯이 이들은 대부분 무질서한 구조를 가지며 결정

<sup>†</sup> 주 저자 (e-mail: chult823@ns.dankook.ac.kr)

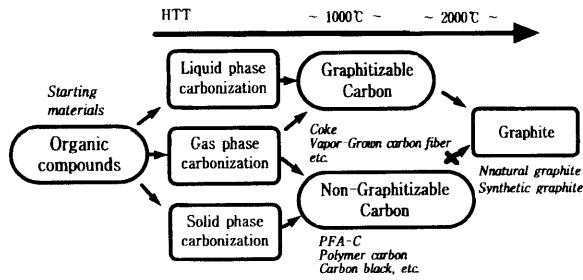


Figure 1. Carbonization process[5].

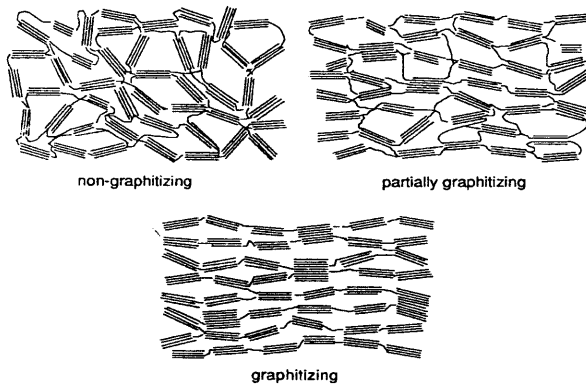
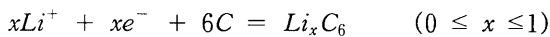


Figure 2. Franklin models of carbon structures[6].

립의 크기가 매우 작은 편이다. 주위의 탄소층이 불규칙하게 적층되어 기본적으로 평행한 탄소 결정립이 주위의 층사이에 불규칙하게 전이되어 있거나 회전되어 있으며 이러한 종류의 무질서를 turbostatic disorder라고 한다. 대표적인 soft carbon 재료인 petroleum cokes와 pitch cokes를 이용하여 2200 °C 이하 온도에서 열처리를 행하면 turbostatic disorder는 제거시킬 수 있으나 hard carbon의 경우에는 어떤 온도에서도 제거하기 어려우며 흑연화가 되지 않는 카본의 경우는 일반적으로 밀도가 낮고, 표면에 기공이 많으며 결정립의 크기가 작고 또한 방향이 불규칙하며, 층간거리(interplanar spacing,  $d_{002}$ )가 길다.

적층된 구조화된 탄소재료를 리튬이온전지로 구성하여 탄소재료의 층상에 Li가 전기화학적으로 삽입되어  $LiC_6$ 를 형성하였을 때의 이론적인 방전용량은 372 mAh/g으로 최대용량을 갖는다. 이의 부극반응은 다음과 같다.



그러나 비결정성 탄소재료인 petroleum cokes와 pitch cokes를 1000 °C 이하에서 저온소성 탄화물계에서는 이론적인 방전용량 372 mAh/g을 넘는 전극재료가 상당수 보고되고 있다[4,7]. Dahn 등[2-4]은 “저온”-열처리온도(550 °C~1000 °C)에서의 pyrolysis에 의해 만들어진 soft와 hard carbon에 대해 0~2.5 V 사이의 전위에서 400~900 mAh/g의 가역성 capacity를 보인다고 하였다. 이러한 결과에 따라서 흑연이 갖는 372 mAh/g의 이론값 이상의 초과 capacity에 대해서 다음의 이론들이 제안되고 있다. (i) 리튬은 가장 가까운 이웃 sites에 점유될 수 있다[8], (ii) nanoscopic cavity 속으로 리튬 이온종들의 삽입[9], (iii) 카드의 집구조(single graphene sheets)와 같은 리튬에 대하여 큰 함유량을 갖는 매우 무질서한 탄소들에서 single layer sheets의 양쪽 면으로 흡착될

Table 1. Physical Properties of Graphites and Petroleum Cokes used in this Study

	Fixed Carbon [wt %]	Volatile Matter [wt %]	Ash [wt %]
Natural Graphite	80 ~ 85	2.5 ~ 3	< 10
Petroleum Cokes	85 ~ 92	8.0 ~ 11	< 0.5

수 있다[10,11], (iv) 이론용량 이상의 과잉용량과 H/C 비의 상관관계는 리튬이 수소원자들의 근접지역에서 경계를 이루고 있기 때문이라는 제안으로부터 나온 것이다, (v) 무정형 탄소로부터 결정성인 외부 graphene plane상에서의 리튬의 multi-layer 형성 가능성 [12], (vi) zigzag와 armchair sites에서의 리튬의 결합[13]등이 제시되어 저온소성 탄화물계의 용량증가를 설명하고 있다.

### 3. 시료 및 실험

#### 3.1. 시료

조합형 탄소전극으로 사용된 탄소재료로는 흑연계 탄소재료로서 natural graphite를 사용하였고, 비흑연계 탄소재료로는 국내 모정유회사에서 부산물로 생산되는 petroleum cokes를 사용하였다. Table 1에 natural graphite와 petroleum cokes의 물리적인 특성치를 나타내었다. Petroleum cokes는 아르곤 분위기에서 상온부터 5 °C/min의 승온속도로 700 °C까지 승온한 후 700 °C에서 1시간 동안 유지하여 열처리된 petroleum cokes를 사용하였다. 준비된 natural graphite와 petroleum cokes를 0:100, 25:75, 50:50, 75:25, 100:0의 무게비로 혼합하여 전극 활물질의 시료로 준비하였다.

#### 3.2. 실험

사용된 natural graphite와 petroleum cokes 결정구조 특성을 조사하기 위하여 시료의 X-선 회절분석을 실시하였다. 회절분석에 사용된 X-선은 Ni-filter로 단색화시킨  $CuK\alpha_1(1.54050 \text{ \AA})$ 선이었으며 이때의 전압과 전류는 20 kV, 15 mA였다. 비표면적의 측정에는 BET법을 이용하여 측정하였으며 이때의 carrier gas는 질소를 사용하였다.

조합형 탄소전극으로 사용하기 위하여 제조된 조합형 탄소전극 활물질을 120 °C에서 24시간 이상 진공건조하여 도전재로서 KJ-Black을 3 wt %, 결합재로서 콜로이드 상태의 J6-(polytetrafluoroethylene(PTFE)를 5 wt %로 하여 이들을 에탄올 용매상에서 혼합시킨다. 에탄올을 증발시키고 고르게 반죽하여 paste로 만들고 rolling press를 이용하여 100~150 μm의 두께로 rolling한 후 건조기에서 60 °C로 건조하였다. 건조된 paste를 재단한 후 아르곤 분위기 하에서 150 °C로 1시간 동안 열처리하여 전극으로 사용하였다.

탄소전극의 반쪽전지 특성을 조사하기 위하여 anode로서 리튬급속을 사용하였으며 분리막으로는 Cellgard 2500을 사용하였다. 집전체로는 Cu-mesh를 사용하였다. 사용된 전해질은 1 M-LiPF<sub>6</sub>/EC + DEC (1:1 v/v)를 사용하였다.

충·방전 시험용 cell은 SUS 304인 stainless steel과 테프론으로 제작되었으며 cell 조립 후 외부 공기와의 접촉을 막기 위하여 O-ring와 테프론 테이프를 이용하여 밀봉하였다. 또한 cell 조립시 수분과의 접촉을 피하기 위하여 모든 조립은 dry box내에서 실시하였다.

제조된 탄소전극의 전기화학적 특성을 조사하기 위하여 시험 cell을 Potentiostat/Galvanostat(EG&G model 273A)에 연결하고 5 mV/sec의 주사속도로 0~2 V의 전위영역에서 순환전위전류법

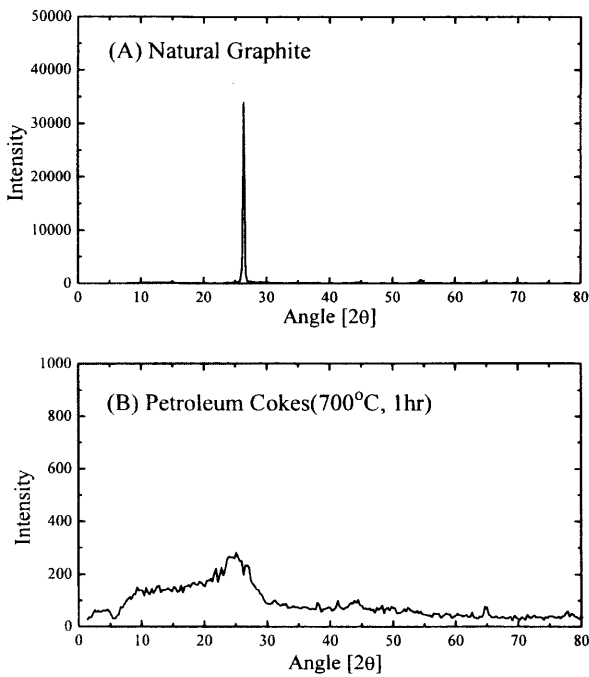


Figure 3. XRD patterns of graphite and nongraphitic carbon.

(CV ; cyclic voltammetry)을 행하였다. 또한 제조된 탄소전극면의 특성을 조사하기 위하여 Solartron사의 Si1255 high frequency response analyzer를 personal computer에 연결하여 impedance 측정을 행하였다. 측정주파수 범위는  $10^{-2}$ 에서  $10^5$  Hz였고, 전압진폭은 5 mV<sub>rms</sub>로 하였다.

구성된 carbon/electrolyte/Li cell의 충·방전 특성을 조사하기 위하여 test cell을 dry box 내에 설치하고 연결선을 통하여 특별히 제작된 충·방전 시험기에 연결하고 전류밀도를 0.1~0.5 mA/cm<sup>2</sup>으로 달리하면서 정전류 충·방전 시험을 수행하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1. 전극 활물질의 재료특성

사용된 전극활물질은 결정구조 및 물리적 특성이 현저하게 다르며 이들의 결정구조 특성을 조사하기 위하여 X-선 회절분석을 실시하여 Figure 3에 나타내었다. Figure 3(A)에서 보는 바와 같이 흑연계 탄소재료인 natural graphite(NG)는 예리한 회절선을 나타내어 잘 발달된 층간구조를 갖는 것을 확인할 수 있었으며, Figure 3(B)의 petroleum cokes는 전형적인 비결정성 구조를 갖는 것으로 Figure 2에서 설명된 바와 같은 흑연화가 이루어지지 않은 회절선 형태를 보여 주었다.

Figure 3의 결과로부터 층간거리  $d_{002}$ 값과 결정립의 c-축( $L_c$ )길이와 a-축( $L_a$ )의 길이를 구하고 BET 비표면적을 측정하여 Table 2에 나타내었다. Table 1에서 보는 바와 같이 natural graphite는 이론적으로 적층된 층간거리 3.35 Å과 유사한 3.356 Å을 가지며  $L_c$  및  $L_a$ 는 각각 12.44, 909 Å으로 petroleum cokes의  $d_{002}$ ,  $L_c$ ,  $L_a$ 가 각각 3.543, 6.69, 506 Å보다 우수한 결정성을 보이는 것을 확인할 수 있었다. 또한 BET 비표면적은 각각 7.71과 4.14 m<sup>2</sup>/g으로 natural graphite가 보다 높은 값을 보이는데 이는 natural graphite의 평균입도가 6 μm이고 petroleum coke의 평균입도가 40 μm로서 입도분포의 차이에 의하여 기인 하는 것으로 사료된다.

따라서 이들 재료특성의 차이는 후에 논의될 현저하게 다른 전

Table 2. Specification of Samples in this Work

Samples	$d_{002}$ [Å]	$L_c(002)$ [Å]	$L_a(100)$ [Å]	BET specific surface area [m <sup>2</sup> /g]
Natural Graphite	3.356	12.44	909	7.71
Petroleum Cokes (HTT ; 700 °C, 1 hr)	3.543	6.69	506	4.14

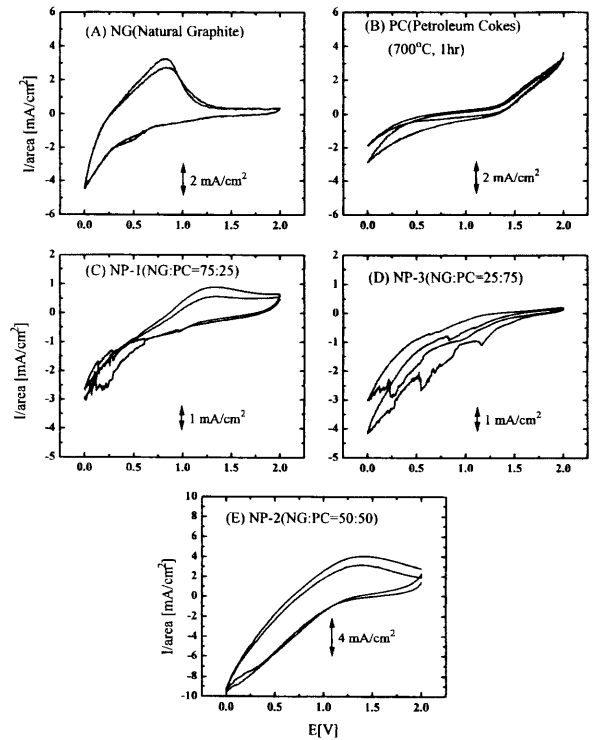


Figure 4. Cyclic voltammograms of the composite carbon electrode (electrolyte ; 1 M LiPF<sub>6</sub>/EC + DEC, scan rate ; 0.5 mV/sec, potential range ; 0-2 V<sub>Li/Li</sub>).

기화학적 특성을 나타내며 조합비에 따른 조합형 탄소전극의 전극 특성은 흑연계 탄소재료와 비흑연계 탄소재료의 혼합된 특성으로서 리튬이온 이차전지용 탄소전극의 우수한 성능을 나타낼 것을 시사하는 것으로 사료된다.

4.2. 조합형 탄소전극의 전기화학적 특성

4.2.1. 조합형 탄소전극의 순환전위 전류(CV)특성

Figure 4는 흑연계 탄소재료인 natural graphite와 비흑연계 탄소재료인 petroleum cokes를 100:0, 75:25, 50:50, 25:75,, 0:100 wt %의 조합비로 제조된 조합형 탄소전극을 이용하여 측정한 cyclic voltammogram(CV)이다. Figure 4(A)와 Figure 4(B)는 각각 natural graphite와 petroleum cokes의 2회와 3회째 CV 거동을 나타낸 것이다. Natural graphite의 경우 0.7 V 부근과 0.3 V 부근에서 환원전류의 변화를 볼 수 있으며 0.8 V 부근에서 산화전류의 최고값을 나타내며 1.2 V 부근에서 산화전류의 감소를 볼 수 있다. 이러한 현상은 잘 발달된 탄소재료의 층간에 리튬이 삽입되고 탈삽입되는 현상으로 이해될 수 있으며 이후의 충·방전거동과 함께 설명되어질 수 있다. 반면에 petroleum cokes의 경우 지속적인 상승값을 나타내던 환원전류는 1.4~0.5 V 부근에서 정체되는 값을

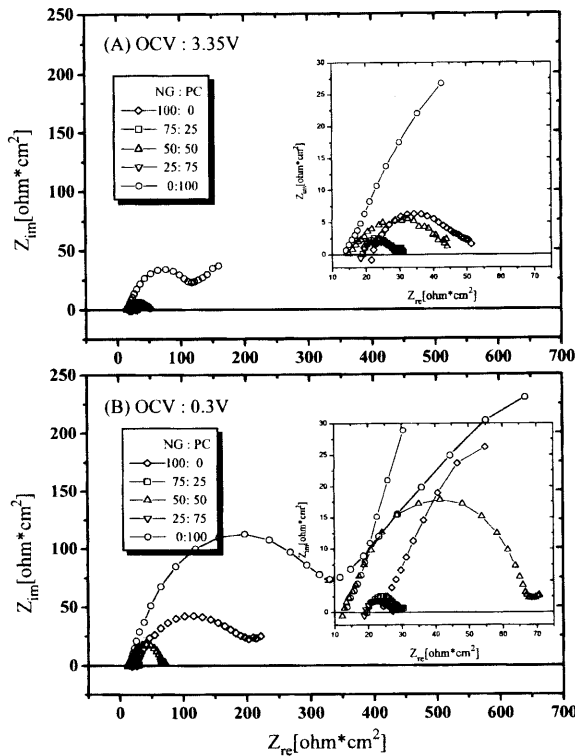


Figure 5. The Nyquist plots of the composite carbon electrode (electrolyte ; 1M LiPF<sub>6</sub>/EC + DEC, 10<sup>-2</sup>-10<sup>5</sup> Hz, 5 mV<sub>rms</sub>).

나타내는 것을 볼 수 있고 산화전류도 유사한 현상을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 리튬의 삽입과 탈삽입에 의한 반응이 결정화도가 높은 natural graphite에 비하여 반응전위가 높아지고 완만하게 일어나는 것을 나타내는 것이라고 사료된다. Figure 4(C)와 Figure 4(D)의 경우 natural graphite와 petroleum cokes의 조합비가 각각 75:25, 25:75 wt %인 경우의 CV 거동을 나타내었다. 이들의 조합비를 변화시키에 따라서 Figure 4(C)의 경우 natural graphite의 0.8 V 부근에서 나타나던 산화전류의 최고값이 1.3 V 영역으로 이동하는 것을 볼 수 있으며 Figure 4(D)의 경우는 Figure 4(C)에 비하여 매우 불안정한 환원전류를 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 반면에 Figure 4(e)와 같이 natural graphite와 petroleum cokes를 동일한 비율로 조합하였을 경우 이들 두 가지 탄소재료의 특성을 모두 나타내는 것을 볼 수 있었다. 이 경우 순수한 natural graphite에 비하여 CV에서 나타나는 전류값이 높은 전위 부근인 1.3 V 부근으로 이동하는 것을 볼 수 있으며 이러한 현상은 petroleum cokes에 존재하는 cavity[9]로 리튬이 집중하는데서 발생하는 영향으로 사료된다. 따라서 Figure 4(E)와 같은 안정된 순환거동이 보다 우수한 충·방전 성능을 가질것으로 사료된다.

4.2.2. AC Impedance 특성

Figure 5는 조합비에 따른 조합형 탄소전극의 교류 임피던스 측정 그림이다. Figure 5(A)는 개회로 전압(OCV ; open circuit voltage)을 3.35 V에서 Figure 5(B)는 개회로 전압을 리튬의 탄소 층간 삽입과정으로 사료되는 0.3 V에서의 측정값이다. Figure 5에서 보는 바와 같이 높은 전위영역과 낮은 전위영역에서 모두 natural graphite의 저항이 가장 크게 나타났고 다음으로 petroleum cokes의 저항이 다소 낮은 것을 보인다. 이러한 이유는 natural graphite의 경우 잘 발달된 탄소의 층간으로 리튬이 삽입될 때 발생하는

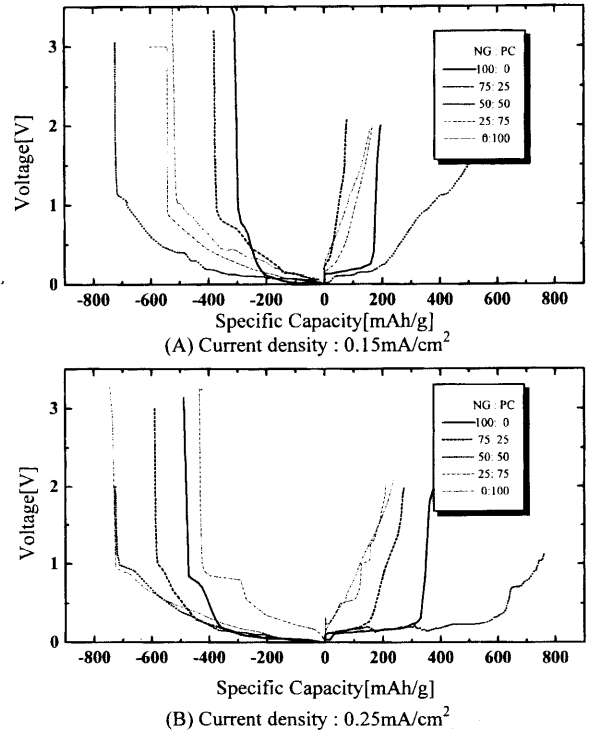


Figure 6. Charge-discharge characteristics of the composite electrode (electrolyte ; 1M LiPF<sub>6</sub>/EC + DEC).

반응에 의하여 나타나는 저항으로 사료되며 상대적으로 petroleum cokes의 경우 덜 발달된 층상구조와 cavity의 존재에 의하여 그 저항의 크기가 natural graphite의 경우보다 리튬의 삽입반응에 의한 역할이 상대적으로 작은 데서 기인하는 것으로 사료된다. 반면에 두 가지 형태의 탄소재료를 조합할 경우 높은 전위영역과 낮은 전위영역 모두에서 단독으로 사용된 탄소전극보다 낮은 저항을 갖는 것을 볼 수 있으며 특히 낮은 전위영역에서 나타나는 높은 저항값은 탄소전극의 표면에 형성된 solid electrolyte interface(SEI) film에 존재하는 리튬이온이 환원되어 탄소의 층간으로 확산되어 삽입되는 과정에서 발생하는 불균일 반응에 의한 것으로 사료된다. 따라서 결정성 탄소재료와 비결정성 탄소재료를 조합한 조합형 탄소전극의 낮은 저항은 이들의 단점이 보완된 새로운 탄소부극으로서의 사용 가능성을 시사하는 것으로 사료된다.

4.2.3. 정전류 충·방전 거동 특성

Figure 6은 조합된 조합형 탄소전극을 사용하여 충·방전 시험을 실시한 후 이들의 충·방전 거동을 나타낸 그림이다. Figure 6에서 보는바와 같이 natural graphite는 0.2 V 부근에서의 전위평탄영역이 전체 충전전위의 대부분을 차지하며 실제 탄소의 층간으로 리튬이 삽입되는 거동을 보이거나 petroleum cokes의 경우 0.8~0.9 V 이하에서부터 점진적인 전위 강하를 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 이들 두 가지 형태의 탄소를 50:50 wt %로 조합한 경우 natural graphite에서 볼 수 있는 0.2 V 부근의 전위평탄영역이 증가되는 것을 볼 수 있으며 순수한 natural graphite를 사용한 경우보다 비교적 높은 용량을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 또한 인가된 전류밀도는 0.15 mA/cm<sup>2</sup>(A)인 경우 보다 0.25 mA/cm<sup>2</sup>(B)인 경우에서 보다 높은 리튬의 삽입용량을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

Figure 7은 조합형 탄소전극을 이용하여 1M LiPF<sub>6</sub>/EC + DEC의

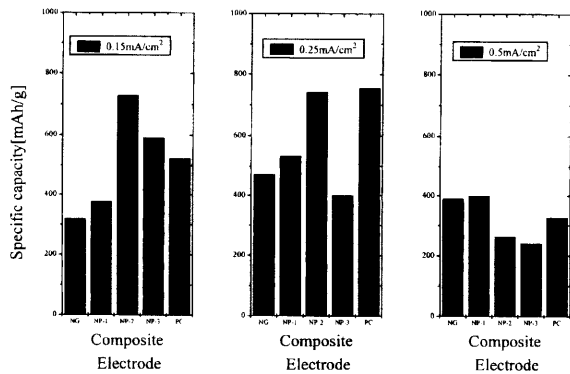


Figure 7. Initial charge capacity of composite carbon electrode of various constant current density (electrolyte ; 1M LiPF<sub>6</sub>/EC + DEC). NG = Natural Graphite; CNP-1 = NG:PC (75:25); CNP-2 = NG:PC (50:50); CNP-3 = NG:PC (25:75); PC = Petroleum Cokes (700 °C in Ar for 1 hr).

전해질에서 다양한 전류밀도로써 충·방전 시험을 한 후의 초기 충전 용량을 나타낸 그림이다. Figure 7에서 보는 바와 같이 전류 밀도가 0.5 mA/cm<sup>2</sup>으로 높아짐에 따라 흑연계 탄소재료가 과량인 전극의 경우 삽입용량의 변화는 작으나 비흑연계 탄소재료가 과량인 전극의 경우는 삽입용량이 크게 감소하는 것을 볼 수 있으며, 0.25 mA/cm<sup>2</sup>의 전류밀도로써 충·전 시험을 했을 경우 비교적 높은 초기용량을 나타내는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 0.25 mA/cm<sup>2</sup>의 전류를 인가한 후 cycle에 따른 용량변화를 Figure 8에 나타내었다. Figure 8에서 보는 바와 같이 두 가지 형태의 탄소재료를 50:50 wt %로 조합한 경우 순수한 탄소재료의 경우보다 비교적 높은 리튬의 삽입용량과 안정된 충·방전 특성을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

또한 앞에서 논의된 바와 같이 natural graphite계는 초기용량은 작으나 안정성이 우수하고 petroleum계는 초기용량이 우수하였으며 이들을 50:50 wt %의 비율로 조합된 전극이 가장 우수한 전극 성능을 유지하였다.

따라서 리튬이온 2차전지용 부극탄소전극으로서 향상된 성능을 입증하였으며 새로운 형태의 부극으로서의 조합형 탄소전극의 사용가능성을 제안하는 바이다.

#### 4. 결 론

흑연계 탄소재료로서 natural graphite와 비흑연계 탄소재료로서 700 °C에서 1시간 동안 열처리한 petroleum cokes를 조합형 탄소전극의 대상물질로 선정하여 조합형 탄소전극을 제조하였으며 이들의 재료특성과 전기화학적 특성을 조사하였다.

- 1) 선정된 두 가지의 탄소는 흑연계 탄소재료와 비흑연계 탄소재료는 각각의 대표성을 갖는 재료특성을 나타냈다.
- 2) 조합비에 따라 제조된 조합형 탄소전극의 전기화학적 특성은 두 가지 탄소 재료의 전기화학적 특성을 모두 포함하며 상호보완 관계를 이루었다.
- 3) Natural graphite와 petroleum cokes(HTT 700 °C, 1 hr)를 조합한 조합형 탄소전극의 충·방전기동은 단일재료전극의 경우보다 우수한 기동을 나타냈으며, 조합비가 50:50 wt %일 때 가장 우수하였다.
- 4) 리튬이온이차전지에서 향상된 성능을 입증함으로써 새로운 형태의 탄소부극으로의 적용을 제안하였다.

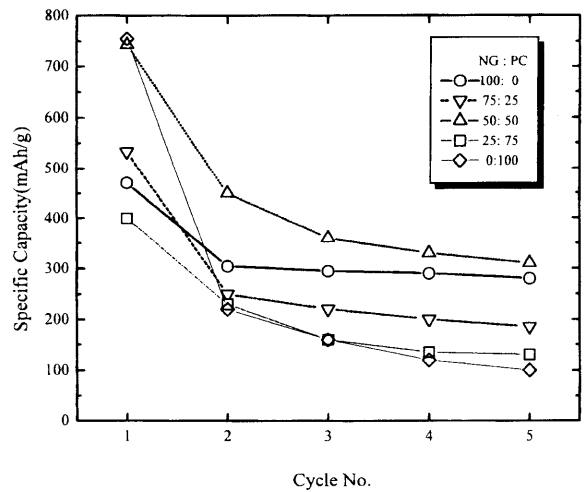


Figure 8. Specific capacity as a function of cycle number for the composite carbon electrode (electrolyte ; 1M-LiClO<sub>4</sub>/EC + DEC, constant current density ; 0.25 mA/cm<sup>2</sup>).

#### 감 사

이 연구는 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. B. Scrosati, "The Electrochemistry of Novel Material", ed., J. Lipkowski and P. N. Ross, VCH Publishers Inc., N.Y., 111(1994).
2. J. R. Dahn, A. K. Sleigh, H. Shi, J. N. Reimers, Q. Zhong, and B. M. Way, *Electrochimica Acta*, **38**, 1179(1993).
3. J. R. Dahn, A. K. Sleigh, H. Shi, B. M. Way, W. J. Weydanz, J. N. Reimer, Q. Zhong, and U. von Sacken, and Perspectives, G. Pistonia, Editor, Elsevier, New York and Amsterdam(1993).
4. T-Zheng, Y. Liu, E. W. Fuller, S. Iseng, U. von Sacken, and J. R. Dahn, *J. Electrochem. Soc.*, **142**, 2581(1995).
5. 小丸篤雄, 炭素原料科學の 進歩VII, CPC研究會, 106(1995).
6. R. E. Franklin, "Crystalite growth in graphitizing and non-graphitizing carbons", *Proc. Roy. Soc.*, **A209**, 196(1951).
7. Y. Maeda and S. Harada, *Synthetic Materials*, **31**, 389(1989).
8. K. Sato, M. Nogouchi, A. Demachi, N. Oki, and M. Endo, *Science*, **264**, 556(1994).
9. A. Mabuchi, K. Tokumitsu, H. Fujimoto, and T. Kasah, *J. Electrochem. Soc.*, **142**, 1041(1995).
10. S. Yata, H. Kinoshita, M. Komori, N. Ando, T. Kashiwamura, T. Harada, K. Tanaka, and T. Yamabe, *Synth Met.*, **62**, 153(1994).
11. R. Yazami and M. Keschamps, Proceedings of the 1994 MRS Fall Meeting.
12. E. Peled, K. Golodnitsky, G. Ardel, C. Menachem, K. Bar Tow, and V. Eshkenazy, Proceedings of the 1995 Spring MRS Meeting, San Francisco, April(1995).
13. M. Endo, Y. Nishimura, T. Takahashi and T. Tamaki, *TANSO*, **172**, 121(1996).