

칼륨-탄소섬유층간화합물의 Intercalation-Deintercalation에 관한 연구

오원춘[†] · 조성준* · 최영재** · 고영신**

단국대학교 이과대학 화학과

*배재대학교 이공대학 무기재료공학과

**서울교육대학교 탄소화학연구소

(1994. 5. 2. 접수)

The Study on the Intercalation-Deintercalation of Potassium-Carbon Fiber Intercalation Compounds

WON-CHUN OH[†], SUNG-JUN CHO*, YOUNG-JAI CHOI**, YOUNG-SHIN KO**

Department of Chemistry, Dankook University, Seoul 140-714, Korea

**Department of Inorganic Materials, Paichai University, Dajoen 302-735, Korea*

***Institute of Carbon Chemistry, Seoul National University of Education, Seoul 137-070, Korea*

(Received May 2, 1994)

요약 : 변형된 two-bulb법에 의하여 K-CFICs를 합성하였다. 합성된 화합물은 X-선 회절법과 UV/VIS 분광기에 의하여 분석하였다. X-선 회절법에 의하면 탄소섬유에 칼륨을 삽입시킬 때 다른 삽입물질보다 Intercalation이 잘 이루어짐이 나타났다. 이들의 Deintercalation 과정에 대한 분석을 한 결과 칼륨이 탄소섬유층 속에 상당히 잔류하고 있었으며, 뿐만 아니라 이들 화합물은 상당 기간 안정성을 보이고 있었다. 따라서 새로운 재료로서의 이용 가능성을 보여 주고 있다. UV/VIS 결과에 의하면 250°C에서 얻어진 화합물의 경우만 R_{\min} 값을 얻을 수 있었으며, 그 밖에 화합물은 원래 탄소섬유의 에너지 준위에 칼륨이온이 영향을 덜 미치기 때문에 특징적인 스펙트럼이 나타나지 않은 것으로 여겨진다.

Abstract : We have synthesized K-CFICs by the modified two-bulb method. These synthesized compounds were analysed with X-ray diffractometer and UV/VIS spectrophotometer. According to X-ray diffraction analysis, the intercalation of potassium between the carbon layers of carbon fiber was better than other intercalants. From obtained data for this deintercalation process, we can see that a number of potassiums were presented as a residue between the carbon layers and this residue compounds had a stability for a long term. Therefore, it is appear that these compounds have a capability as new useful material. From UV/VIS spectrometry data, we can suppose that spectrum of K-CFICs synthesized at 250°C had only a R_{\min} , and spectra of any other compounds were not appeared charecteristic peaks because potassium ions were little affect the energy levels of original carbon fiber.

Key words : Carbon fiber intercalation compounds, Deintercalation, Potassium, Intercalant, Stage, Residue compound.

1. 서론

탄소섬유에 있어서 흑연 섬유에서와는 달리 원자, 분자, 이온 등의 Intercalation이 잘 일어나지 않는다. 탄소섬유와 흑연 섬유 사이에는 삽입되는 분자의 크기, 섬유 제조시의 열처리 온도나 삽입방법 등에 따라 많은 차이를 나타낼 수 있겠으나, 구조적으로 볼 때 흑연섬유는 층간구조가 잘 발달되어 있는 반면에 탄소섬유는 그렇지 못하고 복잡한 가교결합으로 이루어져 있다고 할 수 있다. 또한, 탄소섬유는 미세 섬유상 결정자가 무질서하게 배향되어 있거나 탄소리본들이 복잡하게 얽혀 있는 구조를 갖게 된다. 따라서 이들은 여러 가지 형태의 동공이나 섬유 자체의 파임, 흠, 균열 등의 비이상적인 결함을 갖게 되며, 이러한 결함은 삽입물질이 층간 삽입 현상을 일으키는 데 상당한 영향을 주고 있다.¹ 뿐만 아니라, 문헌에 따르면 Deintercalation 현상은 Intercalation 현상과는 전혀 다른 메커니즘을 따른다고 보고 있기 때문에^{2,3} 이들 조건에 상당한 영향을 받게 될 것으로 예상된다.

본 연구에서는 PAN계 탄소섬유(상품명: T300, Japan)를 사용하여 변형된 Two-bulb법을 이용하여 칼륨을 층간삽입시켜서 칼륨-탄소섬유층간화합물(K-Carbon Fiber Intercalation Compounds, K-CFICs)을 합성하고 이들의 Intercalation-Deintercalation시의 구조 변이, stage의 형성, 에너지 상태의 거동을 연구하였다.

이들 화합물은 Intercalation 전의 원래의 탄소섬유와는 전혀 다른 성질을 나타내며, 최근에는 이들 화합물에 대한 합성법^{5,6}, 전자물성의 연구⁷, stage 변화^{8,9} 및 여러 가지 물성 변화¹⁰에 대한 연구가 함께 진행되어 CFICs의 성질이 밝혀지고 있다. 그러나 실험에 사용되는 탄소섬유의 구조가 제조 회사마다 다르고, 출발물질에 따라 다르므로 CFICs의 구조와 성질에 관한 자료나 해석이 여러 가지 형태로 나타나고 타당성 있는 결론이 없다고 할 수 있으며, 이들 화합물에 대한 deintercalation에 대한 연구는 이루어지지 않고 있다. 뿐만 아니라 K-CFICs는 공기 중에서 불안정하여 공기와 접촉시 즉시 분해가 일어난다. 따라서 이들 화합물이 촉매, 새로운 도전성 재료, 수소 흡수제, 전지의 양극 등과 같은 우수한 특성을 가지고 있음에도 불안정성의 문제점이 뒤따라므로 deintercalation에 대한 새로운 연구분야가 도래하게 되었다.

따라서 본 연구에서 X-회절법에 의한 구조의 변이와 stage의 변화과정 및 UV/VIS 분광기를 이용하여 이들 과정에 따른 전자에너지 상태에 대한 특성을 제시하여 화합물의 안정성에 대하여 토의하고자 한다.

2. 실험

2.1. 시료

본 실험에 사용한 탄소섬유는 일본 Toray사의 폴리아크릴로나이트릴(Polyacrylonitrile)계 탄소섬유(상품명: T300)로, 1300℃에서 고온처리하여 얻어진 고탄성 섬유로 직경이 10μm이고, 층간에 삽입하기 전에 sizing을 제거하기 위해 질소 분위기에서 1시간 동안 500℃에서 열처리하였다. 삽입물질은 칼륨(K)[Merk-Schuchardt(Germany)]을 사용하였으며, 공기 중에서 반응성이 매우 크기 때문에 진공상태에서 모든 실험적 조작을 하였다. 합성된 K-CFICs는 공기 중에서의 산화를 방지하기 위하여 화합물 안정제로 유동 파라핀(Liquid Paraffin)[Yakuri Pure Chemical Co. (Japan)]을 사용하여 시료를 침적시켜서 분석하였다.

2.2. Intercalation

본 연구에서는 K-CFICs를 합성하는 데 Two-bulb법을 사용하였으며, 이 방법은 생성물의 고진공 및 반응기 내부의 기류의 생성 메커니즘을 고려하여 생성물의 특성에 맞게 개량하여 사용하였다. 칼륨과 탄소섬유를 변형된 Two-bulb 내의 각각 위치시킨 후, Two-bulb를 Pyrex 진공선(Pyrex vacuum line)에 연결시켜 진공펌프(ET-101, KOREA)를 사용하여 Two-bulb 내의 압력을 약 $10^{-1} \sim 10^{-2}$ Torr까지 내려 줌으로써 반응성이 좋도록 하였다. 이들 화합물의 생성은 진공도에 따라 stage의 형성이 달라지기 때문에 bulb 내의 압력을 일정하게 유지하여 주고 Pyrex 진공관의 코크(Cock)를 모두 막았다. 칼륨의 온도(T_i)는 일정하게 250℃로 유지하여 주었고 탄소섬유가 놓여 있는 bulb 내의 온도(T_g)는 350℃, 300℃, 250℃로 차례로 내려 주면서 그 때마다의 K-CFICs를 합성하였다. 이들 합성된 K-CFICs는 2.1절에서 언급한 바와 같이 진공상태하에서 유동 파라핀(Liquid Paraffin) 내에 침적시켜 화합물의 분해를 방지하였다. 이 때 침적된 화합물은 거의 안정성이 있었으며, 수 주일 동안 변화가 없었다.

2.3. Deintercalation

2.2절의 합성 방법에 의거하여 합성된 K-CFICs는 유동 파라핀 속에 침적시켜서 공기 중에서 수 주일 동안 방치하여 자발적으로 산화하여 Deintercalation이 일어나도록 분위기를 조성하여 주었다.

2.4. 분석 및 측정

탄소섬유 층간에 Intercalation시와 Deintercalation시에 있어서 이들 K-CFICs의 칼륨의 상태와 구조 변화를 알아보기 위하여 Debye-Scherrer 카메라를 이용하여 X-선 회절 분석을 하였다. 이 때의 X-선 회절 측정기는 Rich. Seifert & Co(ISO-DEBYEFLEX 3000) 제품의 X-선 발생 Generator를 사용하였으며, Cu K α 를 조사선(incident beam)으로 사용하였다. 직경이 0.3mm ϕ 의 모세관에 시료를 최대한의 고밀도로 충전하여 이중 회절선이 나오지 않도록 하였다. 준비된 시료는 45kV, 40mA에서 7~8시간 조사하여 결과를 얻었으며, 얻어진 회절 필름은 회절 필름 분석기를 통하여 해석하였다. K-CFICs의 경우 Deintercalation시에 회절선이 비교적 많고 판독이 용이하지 않기 때문에 Debye-Scherrer법을 사용하여 분석하였다. X-선 회절 분석결과는 Table 1 과 Table 2에 각각 나타내었다.

K-CFICs와 K-CFDICs의 전자 에너지 상태를 알아

Table 1. The d value of X-ray diffraction on K-CFICs : d(\AA)_{mea} : measured d value, d(\AA)_{cul} : calculated d value.

(a) Pristine Fiber(T300)

d(\AA) _{mea}	(hkl)	Intensity
3.49	002	D. S
2.10	100	W

*D.S : Diffused Strong, W : Weak

(b) K-CFICs at 350 $^{\circ}$ C

d(\AA) _{mea}	d(\AA) _{cul}	(hkl)	Intensity
5.09	5.00	8s 006	D. W
3.49	3.49	F 002	D. S

*D.S : Diffused Strong, D.W : Diffused Weak

**F : Fiber

(c) K-CFICs at 350 $^{\circ}$ C

d(\AA) _{mea}	d(\AA) _{cul}	(hkl)	Intensity
5.07	5.00	8s 006	D. M
3.43	3.49	F 002	D. S

*D.S : Diffused Strong, D.M : Diffused Middle

**s : Stage, F : Fiber

(d) K-CFICs at 250 $^{\circ}$ C

d(\AA) _{mea}	d(\AA) _{cul}	(hkl)	Intensity
5.04	5.00	8s 006	D. M
2.90	3.01	2s 003	W
2.77	2.77	1s 002	W
2.67	2.67	4s 006	S
1.97	1.95	5s 0010	M

*S : Strong, D.M : Diffused Middle, M : Middle,

W : Weak

**s : Stage

보기 위하여 광분산 반사장치(Diffuse Reflectance Accessory)를 부착시킨 PU 8700 Series(UNICAM, P8710/01, FALCAN-SCAN)의 UV/VIS 분광기를 사용하였다.

각각의 T_g에서 얻어진 K-CFICs와 산화시켜서 얻어진 K-CFDICs는 석영 Cell 속에 넣어서 반사율(Reflectance(R, %))값을 측정하였으며, 측정 전 순백의 표준 BaSO₄를 사용하여 Baseline를 하여 기기를 표준상태로 보정하여 주었다. 이 때의 측정범위는 1.

Table 2. The d value of X-ray diffraction on K-CFDICs : d(\AA)_{mea} : measured d value, d(\AA)_{cul} : calculated d value.

(a) K-CFDICs after 2 days

d(\AA) _{mea}	d(\AA) _{cul}	(hkl)	Intensity
5.05	5.00	8s 006	D. M
2.90	3.01	2s 003	W
2.77	2.77	1s 002	W
2.67	2.67	4s 006	S
1.98	1.95	5s 0010	M

*S : Strong, D.M : Diffused Middle, W : Weak

**s : Stage

(b) K-CFDICs after 4 days

d(Å) _{mea}	d(Å) _{cul}	(hkl)	Intensity
5.01	5.00	8s 006	D. M
4.01	4.01	4s 004	W
3.70	3.79	7s 007	W
3.35	3.31	7s 008	W
3.07	3.01	2s 003	W
2.94	2.94	7s 009	M
2.69	2.67	4s 006	S
2.40	2.41	7s 0011	W
2.30	2.30	6s 0010	M
1.97	1.95	5s 0010	S
1.83	1.80	2s 005	W
1.63	1.63	5s 0012	M

*S : Strong, D.M : Diffused Middle, W : Weak

**s : Stage

(c) K-CFDICs after 1 week

d(Å) _{mea}	d(Å) _{cul}	(hkl)	Intensity
3.53	3.49	F 002	D. W
2.92	2.94	7s 009	M
2.69	2.67	4s 006	S
2.30	2.30	3s 0010	W
2.08	2.08	2s 006	M
1.83	1.80	2s 005	S

*S : Strong, M : Middle, D.W : Diffused Weak ,
W : Weak

**s : Stage, F : Fiber

(d) K-CFDICs after 2 Weeks

d(Å) _{mea}	d(Å) _{cul}	(hkl)	Intensity
5.05	5.00	8s 006	D. W
3.49	3.49	F 002	D. M
2.99	2.94	7s 009	W
2.74	2.67	4s 006	S

*D. S : Diffused Strong, S : Strong, D.M : Diffused
Middle, W : Weak

**s : Stage, F : Fiber

(e) K-CFDICs after 3 Weeks

d(Å) _{mea}	d(Å) _{cul}	(hkl)	Intensity
4.99	5.00	8s 006	D. M

3.51	3.49	F 002	D. S
------	------	-------	------

*D. S : Diffused Strong, D.M : Diffused Middle

**s : Stage, F : Fiber

(f) K-CFDICs after 4 Weeks

d(Å) _{mea}	d(Å) _{cul}	(hkl)	Intensity
5.06	5.00	8s 006	D. M
3.53	3.49	F 002	D. S

*D. S : Diffused Strong, D.M : Diffused Middle

**s : Stage, F : Fiber

(g) K-CFDICs after 5 weeks

d(Å) _{mea}	d(Å) _{cul}	(hkl)	Intensity
5.00	5.00	8s 006	D. M
3.51	3.49	F 002	D. S

*D.S : Diffused Strong, D.M : Diffused Middle

**s : Stage, F : Fiber

(h) K-CFDICs after 6 weeks

d(Å) _{mea}	d(Å) _{cul}	(hkl)	Intensity
3.50	3.49	F 002	D. S

*D.S : Diffused Strong

**F : Fiber

(i) K-CFDICs after 7 weeks

d(Å) _{mea}	d(Å) _{cul}	(hkl)	Intensity
3.50	3.49	F 002	D. S

*D.S : Diffused Strong

**F : Fiber

37~4.96eV (Wave length : 900~250nm) 사이에서 실행 하였다.

3. 결과 및 고찰

일반적으로 알칼리 금속, 알칼리 토금속, 금속 염화물 등이 흑연이나 섬유상 탄소체와 같은 Host 물질에 층간 삽입될 경우, 이러한 삽입 반응은 온도, 시간, 압력 및 기

타의 요인을 제거해 주는 상태하에서 수행되어진다. 특히 Intercalation이 진행될 때, Host 물질에 전자를 주고 받는 형태가 주계형인 칼륨은 반응 제어 온도와 반응 용기의 구조, 용기 내의 분위기 등이 화합물을 형성하는데 중요한 요소로 작용하고 있다. 또한 여러 가지 흑연섬유 및 탄소섬유는 제조방법이나 출발물질에 따라서 이들의 구조가 전혀 다르게 형성되고 있다. 일반적으로 천연 흑연과 같이 방향족 고리를 갖는 탄소평면의 층상구조가 잘 형성되었을 때 Intercalation이 잘 이루어진다고 할 수 있다. 2900℃ 이상에서 기상성장시킨 흑연섬유(Vapor-grown Graphite Fiber)는 이미 보고된 바와 같이 Intercalation이 잘 이루어져 화학적 특성이나 물리적 특성에서 우수한 성질을 나타내고 있다.¹¹ 뿐만 아니라 매조페이스계 피치 베이스 흑연섬유(Mesophase-pitch based Graphite Fiber)도 기상성장 흑연섬유보다는 특성면에서 약간 떨어지지만 비교적 Intercalation이 잘 이루어짐이 확인되었다.¹² 그러나 PAN계 탄소섬유는 구조발달 정도를 확인하기 어려울 정도로 층상구조가 잘 발달되어 있지 않을 뿐만 아니라 유기 고분자 구조를 하고 있기 때문에, 그 구조는 상당히 복잡하고 아주 많은 가교결합을 형성하고 있어 Intercalation이 잘 이루어지지 않는다고 보고하고 있다.

본 연구에서 사용된 PAN계 탄소섬유는 구조가 복잡하고 흑연화가 잘 발달되어 있지 않기 때문에, 크기가 큰 분자나 원자는 Intercalation이 잘 이루어지지 않는다고 보고하고 있다.¹³ 특히 황산이나 금속 염화물과 같이 구조적으로 큰 분자나 원자들은 더욱 그러하다. 그러나 본 연구에서는 비교적 분자의 크기가 작은 칼륨을 선택해서 K-CFICs의 Intercalation-Deintercalation 과정에 있어서 구조적 변이를 살펴 보았다. 합성된 층간화합물의 구조를 결정하는데 있어서 가장 널리 이용되는 방법 중의 하나는 X선 회절법이다. 뿐만 아니라, 본 연구에서는 이들 과정에서 있어서 K-CFICs의 구조 변이, 에너지 상태 및 stage와 관련된 안정성에 대하여 토론하였다.

X선 회절 분석결과는 Intercalation 과정에 대하여 Table 1에, Deintercalation 과정에 대하여는 Table 2에 각각 나타내었다. Table 1의 (a)에 의하면 원래의 탄소섬유는 흑연화가 잘 이루어지지 않았음을 알 수 있다. 또한 (d)의 결과에서는 온도가 약 250℃인 경우에 K-CFICs가 가장 잘 형성되었음을 알 수 있다. 구조적 결함이나 발달하지 못한 결정구조 때문에 순수한 1

stage는 얻어질 수 없었으며, 여러 가지 stage가 혼재된 상태의 화합물이 얻어졌다. 일반적으로 탄소섬유는 축합 다환화에 의한 결정이 잘 형성된 부분과 가교결합이나 여러 가지 결합에 의한 분자간 결정화(Intermolecular crystallization)가 이루어지지 않은 부분으로 나눌 수 있다. 따라서 회절선의 분석에도 상당한 어려움이 뒤따른다. Deintercalation 과정에 있어서 Table 2의 (a)와 (b), (c)에 의하면, 공기 중에서 연기를 내면서 상당히 불안정한 화합물임에도 불구하고 유동 파라핀 내에서 1주까지는 비교적 안정함을 보여 주고 있다. Table 2의 (d)는 화합물의 stage 전이과정인 것으로 나타났다. Table 2의 (e), (f), (g)에서는 탄소섬유층에서 칼륨이 계속해서 빠져 나가는 과정으로 8 stage의 높은 stage가 형성됨을 알 수 있다. Table 2의 (h), (i)의 결과에 의하면 Intercalation 전의 원래의 섬유에 (100) 회절선이 관찰되지 않았으며, 하나의 분산된 강한 회절선만이 나타났다. 이러한 결과로 보아 이들 화합물은 완전히 Deintercalation이 이루어지지 않은 것으로 여겨진다.

또한 각 stage에 해당하는 계산된 값들은 측정된 값들과 거의 일치함을 보이고 있으며, 이들 값의 계산은 원래 탄소섬유의 d값으로부터 칼륨의 원자반경을 고려하여 계산되었다. Bragg식으로부터 계산된 d값은 측정값의 정확성을 제시하여 준다. Intercalation 전의 원래 탄소섬유의 d_{002} 값이 3.49Å인데, 칼륨이 Intercalation되었을 경우 5.54Å으로 되고, 이들의 격자면은 d_{001} 가 된다. 이때 1 stage라 하고, 이 값을 2로 나누면 d_{002} 가 된다. 지금까지의 Deintercalation 과정에 대한 X선 회절 결과를 가지고 볼 때, 탄소섬유의 층 속에 상당량의 칼륨이 특정 기간 동안 잔류하고 있다고 생각할 수 있다. 또한 이들 화합물은 화학적 및 물리적으로 원래의 탄소섬유와는 전혀 다를 것으로 여겨진다. 이들 결과는 원래의 K-CFICs는 공기 중에서 상당히 불안정하여 노출 즉시 분해가 일어나지만 위의 결과에서 제시된 바와 같이 유동 파라핀 속에서 이들 화합물은 상당히 안정하였으며, 새로운 재료로서의 이용 가능성을 제시하여 주고 있다.

결과에 의하면 Intercalation 과정에 있어서의 온도구배에 따른 합성법은 stage의 형성 과정을 알 수 있다. K-GFICs의 경우 stage의 형성과정이 질서→무질서→질서의 과정으로 전이되었다.¹² 그러나 본 연구에서 나타난 바와 같이 K-CFICs는 Intercalation 과정에서는

질서→무질서→무질서 과정을 거쳐서, Deintercalation 과정에서 무질서→질서과정으로 전이함을 알 수 있었다. 합성된 화합물을 단위 시간별 Deintercalation 과정을 살펴볼 때, 초기 탄소섬유의 규칙적인 구조에서 분해과정의 무질서한 과정을 거쳐서 다시 규칙적인 구조로 되돌아오는 과정임을 알 수 있다. Table 1과 2에 나타내어진 바와 같이 중간과정인 무질서한 과정은 여러 가지 stage가 혼재되어 있음을 알 수 있다.

X선 회절 결과에서 나타났듯이 K-CFICs는 고차 stage가 형성되었음을 볼 수 있다. 고차 stage가 형성되므로 UV/VIS 분광기에 의하여 특징적인 스펙트럼이 나타나지 않는 것으로 여겨진다. 이들 스펙트럼의 변화는 Fig. 1에 나타내었다. 탄소섬유에 칼륨이 삽입될 때 다른 삽입 물질보다 Intercalation이 잘 되지만, 구별 가능한 특징적인 스펙트럼이 나타나지 않는 것에 대하여는 흑연화가 잘 이루어지지 않은 탄소섬유에 대한 영향 및 탄소섬유에 나타나는 Fermi Surface의 에너지 준위에 미치는 Intercalants에 대한 영향 등을 고려해 볼 수 있다. 탄소섬유의 전자준위에 칼륨의 전자가 영향을 덜 미치기 때문에 전자 수 변화에 의하여 나타나는 K-CFICs의 색깔 변화는 관찰할 수 없는 것으로 판단된다. 이들 스펙트럼에서 대부분의 K-CFDICs의 최종 생성물인 잔류 화합물의 경우 반사율의 최소값(R_{min})은 역시 관찰할 수 없었으며, 250°C에서 형성된 K-CFICs의 경우만 420nm(2.96eV)의 에너지 영역

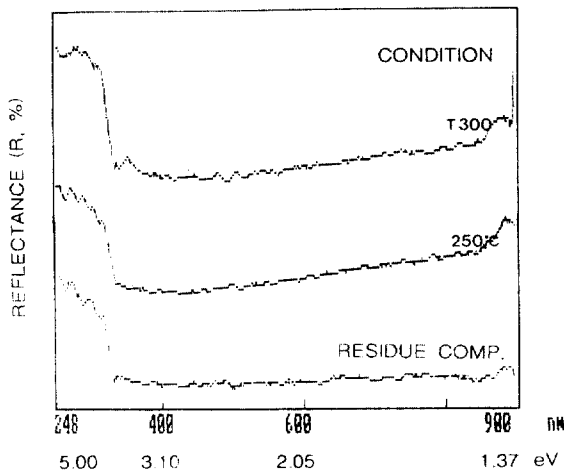


Fig. 1. UV/VIS energy state spectra pattern for pristine fiber, K-CFICs and K-CFDICs

에서 R_{min} 값을 얻을 수 있었다. 따라서 그밖의 화합물의 경우 고차 stage의 혼재로 인하여 특성화되지 않으므로 Fig. 1에서 생략하였다. 이들 스펙트럼상에서의 R_{min} (%)의 최소값의 높은 에너지의 영역에서 형성될 경우 삽입된 칼륨에 의한 탄소의 Fermi Surface의 완전한 변화를 나타낸다. 그러나 K-CFICs 또는 K-CFDICs에 대한 스펙트럼의 경우에서 이러한 사실을 구별할 수 있는 특징적인 변화를 나타내 주고 있지 않다. 이들 스펙트럼은 구조변이와 관련하여 섬유층 사이에 존재하는 삽입 물질의 농도와 관련이 있다. 잔류 화합물의 경우, 분광학적인 결과는 뚜렷하지 않지만 장시간 동안의 안정성을 가지는 것으로 보아 본 연구에서 다루어진 방법에 의거하여 이들 화합물을 전기전도성 재료 또는 촉매재 등으로 이용할 경우 효율이 한층 더 증대되어질 것으로 예상되어진다.

4. 결론

지향성이 좋지 않은 탄소섬유에 변형된 twp-bulb법에 의하여 칼륨을 삽입시켜서 K-CFICs를 합성하였다. 합성된 이들 화합물은 X선 회절법과 UV/VIS 분광기에 의거하여 특성화하였다. X선 회절법 결과에 의하여 칼륨을 탄소섬유에 삽입시킬 때 다른 삽입 물질보다 Intercalation이 잘 이루어지는 것으로 나타났으며, 이들 화합물은 고차 stage를 형성하고 있었다. 또한 이들 화합물의 Deintercalation 과정에서 K-CFICs는 유동 파라핀 속에서 상당 기간 안정성을 보였으며, 촉매 또는 섬유 자체로서의 전기전도성 재료와 같은 새로운 재료로서의 이용 가능성을 보여 주고 있다. 분광학적 결과에 의하면 250°C에서 얻어진 화합물의 경우 R_{min} 값을 얻을 수 있었으며, 고차 stage의 형성으로 인해 특징적인 스펙트럼이 나타나지 않았다. 이들 결과는 삽입된 칼륨이 원래의 탄소섬유의 Fermi Surface에 영향을 덜 주었음을 시사하고 있다

References

1. I. N. Ermolenko, I. P. Lyublinder, N. V. Gulko, "Chemically Modified Carbon Fiber", VCH publishers, Inc., p. 177(1990).
2. K. Youngshin, H. P. Boehm, *Z. Naturforsch.*, **39a**, 768(1984).
3. W. C. Oh, S. J. Cho, J. H. Lee, Y. S. Ko, In Ext.

- Abs. of the Biennial Conf. on Carbon, Buffalo, p. 612(1993).
4. C. Herinckx, R. Perret, W. Ruland, *Carbon*, **10**, 711(1972).
 5. L. Guoxiang, L. Daozhi, W. HuaFu, *Carbon*, **30**, 961(1992).
 6. C. Manini, J. F. Mareche, E. McRae, *Synth. Met.*, **8**, 261(1983).
 7. 壽榮松, 宏仁, 炭素, **109**, 53(1992).
 8. P. Delhaes, J. Amiell, K. Ohhashi, J. F. Mareche, D. Guerard, A. Herald, *Synth. Met.*, **8**, 269(1983).
 9. C. Manini, E. McRae, J. F. Mareche, A. Herold, *Carbon*, **23**, 465(1985).
 10. J. R. Gaier, M. L. Lake, A. Minuddin, M. Marabito, *Carbon*, **30**, 345(1992).
 11. T. Nakajima, A. Mabuchi, R. Hagiwara, *Carbon*, **26**, 357(1988).
 12. 오원춘, 김명전, 고영신, 한국분석과학회지, **6**, 479 (1993).
 13. 김인기, 최상훈, 고영신, 한국요업학회지, **30**, 797 (1993).