

# 인버스 가스 크로마토 그래피를 이용한 소수화된 MCC의 표면 특성 분석

이학래<sup>†</sup> · 이용민 · 박 일 · 이진희 · 조중연<sup>\*1</sup> · 한신호<sup>\*2</sup>

(2002년 6월 20일 접수; 2002년 8월 5일 채택)

## Surface Characterization of Hydrophobically Modified MCC Using Inverse Gas Chromatography

Hak Lae Lee<sup>†</sup>, Yong Min Lee, Il Park, Jin Hee Lee, Jung Yeon Jo<sup>\*1</sup>, and Sien Ho Han<sup>\*2</sup>

(Received on June 20, 2002; Accepted on August 5, 2002)

### ABSTRACT

The adsorption characteristics and surface energetics of hydrophobically modified MCC have been investigated by the inverse gas chromatography technique at infinite dilution. The thermodynamic parameters of adsorption,  $\Delta G$ ,  $\Delta H$  and  $\Delta S$ , for n-alkanes were determined at infinite dilution. Heats of adsorption of the n-alkanes increased as the level of hydrophobic modification increased. The hydrophobically modified MCC also showed greater entropy of adsorption indicating restricted mobility of the adsorbed n-alkanes. The acid/base characteristics of the MCC were evaluated using polar probes. As the hydrophobicity of MCC increased, the basicity of the MCC decreased.

*Keywords: Surface energetics, inverse gas chromatography, heat of adsorption, entropy, acid/base characteristics*

### 1. 서론

자원재활용과 원가절감에 대한 관심의 증가와 함께 국내 제지산업분야는 고지에서 잉크를 제거하는 탈묵 공정을 통해 만들어진 재활용 탈묵펄프의 사용량이 해마다 큰 폭으로 증가하고 있는 추세이다. 이에 따라 앞

으로 고지 사용량의 증가와 함께 고지 수거율과 사용 용 또한 지속적으로 증가할 것으로 판단되며, 이는 다시 고지원료의 품질저하로 이어질 것으로 전망된다. 하지만 소비자의 고품질 지류제품에 대한 요구는 문화의 발달과 경제수준의 향상과 더불어 더욱 높아질 것으로 예상되고 있으며, 저렴한 제품에 대한 선호도 역

• 본 논문은 한국과학재단 특정기초연구과제 지원(과제번호: 1999-2-317-001-3)에 의해 수행되었음.

• 서울대학교 농업생명과학대학 임산공학과(Department of Forest Products, College of Agricultural and Life Sciences, Seoul National University, Suwon 441-744, Korea).

\*1 용인송담대학 제지?패키징시스템과(Department of Paper Technology, Yong-In Songdam College).

\*2 한국산업기술대학 화학공학과(Dept. Chemical Engineering, Korea Polytechnic University, Shihung 429-793, Korea).

† 주저자(Corresponding author): e-mail: lhakl@plaza.snu.ac.kr

시 지속적으로 요청될 것으로 믿어진다. 이러한 환경 변화는 열악해지는 고지원료로부터 고품질의 제품을 경제적으로 생산하기 위한 많은 연구개발이 요청되고 있음을 의미한다.

고지로부터 고품질 신문용지 혹은 인쇄용지에 사용 되는 섬유자원을 얻기 위해서는 탈묵 공정이 필수적으로 요청되며, 이 과정을 통하여 재생 펄프의 품질이 좌 우된다고 할 수 있다. 즉 탈묵이란 고지 재활용 기술의 핵심이라 할 수 있으며, 우리 나라 등에서는 주로 부유 부상 방식을 이용한 탈묵기술이 활용되고 있다. 따라서 탈묵을 통한 고품질 재생 펄프를 생산하기 위해서는 부유부상 현상에 대한 체계적인 연구와 과학적 구 명이 필수적으로 선행되어야 할 것이다.

현재까지 부유부상 공정의 핵심적인 인자로 고품질 의 표면 특성, 특히 소수화 정도가 가장 중요한 인자 라는 사실은 인식되고 있었으나 고품질입자의 표면 에너 지가 부유부상 효율에 미치는 영향에 관한 정량적인 평가는 아직 미진한 실정이다.<sup>1,2)</sup> 이러한 원인은 고품 질입자의 표면 에너지 뿐 아니라 입자의 크기, 형태, 밀 도 등 다양한 변수가 부유부상 효과에 영향을 미치기 때문이다. 따라서 이처럼 다양한 변수 가운데 특정한 인자의 영향을 독립적으로 구명하기 위해서는 평가 의 대상으로 선정된 특정 변수만을 변화시킨 시료를 준비하여 분석하는 것이 필요하다. 하지만 이러한 시 료 준비가 어렵다는 사실이 고품 입자의 표면 에너지 에 의한 부유부상 효과를 분석하는데 장애가 되어 왔 다. 또 기존의 연구가 각 변수의 독립적 영향을 구명하 기 보다는 실제 공정에서의 탈묵 효율 평가에 주안점 을 두고 진행되었기 때문에 기초 연구가 등한시 되었 다고 생각된다.

본 연구에서는 부유부상 공정의 효율성에 미치는 고품 입자의 표면 화학적 특성 중 표면 에너지의 역할을 독립적으로 구명하기 위해 준비된 마이크로 크리스탈린 셀룰로오스(microcrystalline cellulose: MCC) 모델 물질의 알칸 흡착특성, 흡착 열역학 및 극성 표면 특성 을 인버스 가스 크로마토 그래피(Inverse Gas Chromatography: IGC) 방법을 이용하여 분석하였다.

일반적으로 가스 크로마토 그래피(Gas Chroma tography: GC)는 혼합된 휘발성 물질들의 성분을 분 리, 정량하는 방법으로 사용되나 인버스 가스 크로마 토 그래피(IGC)는 컬럼 내에 존재하는 고정상의 물리 화학적인 특성을 평가하기 위해서 사용되는 방법이다.<sup>3-5)</sup> 일반적으로 인버스 가스 크로마토 그래피는 입 상 혹은 분말상 시료를 이용하여 칼럼을 제조하고 여 기에 기지의 휘발성 물질을 이동상으로 주입하여 칼럼

내의 고정상과 주입된 이동상의 물질 사이에서 발생하 는 상호작용 현상을 체류시간을 통하여 평가함으로써 고정상의 표면 특성을 평가한다.<sup>6)</sup>

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 공시재료

#### 2.1.1 MCC와 AKD

본 연구에서는 평균 입도가 60 $\mu$ m인 Mingtai Chemical사의 MCC를 사용하였으며, MCC의 소수화 를 위해서는 왁스 형태의 AKD(alkyl ketene dimer) 를 사용하였다. MCC를 소수화하기 위해서 무처리 MCC 300g을 1000mL의 diethyl ether에 넣고 충분히 교반한 뒤 여기에 MCC 전건무게에 대해서 0.05, 0.10, 0.15, 0.20%의 AKD를 30mL의 diethyl ether에 용해시켜 투입하고 10분간 더 교반하였다. 이를 증발기로 옮기고 약 30분간 diethyl ether를 증 발시켰다. 이 때 증발기의 항온수조 온도를 40  $^{\circ}$ C로 유지하였으며 MCC 슬러리는 잘 교반되도록 증발기 플라스크의 회전수를 조정하였다. 30분간에 걸쳐 diethyl ether를 증발시키고 난 후 항온수조의 온도 를 90  $^{\circ}$ C로 높여 30분간 더 가열하였다. 이러한 과정 을 통하여 diethyl ether에 용해되어 있던 AKD 분자 는 MCC 표면에 균일하게 도포되고 가열 건조 과정을 통하여 셀룰로오스의 수산기와 반응하도록 유도하였 다. 건조된 MCC는 다시 4 L의 diethyl ether를 이용 하여 세척함으로써 미반응 AKD를 용출시킨 다음 다 시 위와 동일한 조건으로 증발 건조를 실시하여 백색 분말상의 AKD로 사이징 처리된 MCC를 제조하였다.

#### 2.1.2 이동상 시료

인버스 GC의 이동상으로 순도 99.9% 이상의 n-pentane, n-hexane, n-heptane, n-octane을 사 용하였다. 또 극성성분의 평가를 위해 acetone, tetrahydrofuran 및 chloroform을 사용하였다. 또 IGC 분석을 위해서는 초고순도의 질소를 캐리어 가스 로, 수소와 공기를 FID(flame ionization detector) 용으로, 그리고 메탄가스를 비흡착성 가스 시료로 사 용하였다.

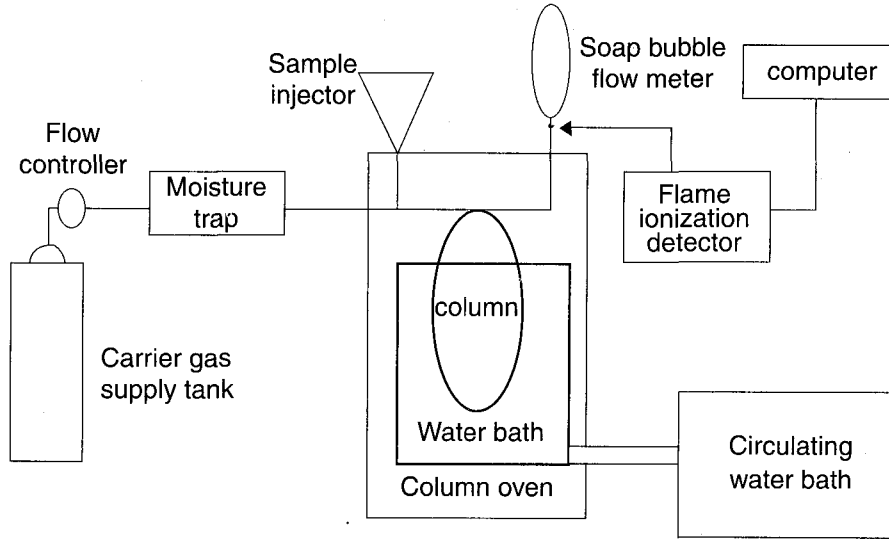


Fig. 1. Schematic diagram of inverse gas chromatograph.

## 2.2. 실험방법

### 2.2.1 Inverse Gas Chromatography

Agilent사의 4890D GC를 본 연구목적에 맞는 인버스 GC로 개조하여 사용하였다. 본 실험에서는 AKD로 소수화된 MCC를 고정상으로 한 칼럼을 제작하고, 온도 30, 35, 40 °C의 조건에서 다양한 이동상 가스의 체류시간을 측정함으로써 고정상의 표면 에너지 뿐 아니라 흡착현상과 관련된 엔탈피, 엔트로피 및 자유에너지를 평가하였다. 본 연구에 사용된 IGC의 모식도는 Fig. 1에 나타내었다. 여기에서 보는 것과 같이 칼럼은 온도가 ±0.1 °C로 유지되는 수조 내에 설치하였다.

### 2.2.2 칼럼 제조 및 전처리

지름이 1/4"인 teflon 재질의 column에 소수화된 MCC를 충전시켜 길이 110-121 cm 정도의 칼럼을 제조하였다. 제조된 칼럼을 24시간 동안 90 °C에서 건조시켜 칼럼 내의 수분을 완전히 제거한 후 측정을 실시하였다. 칼럼 내의 고정상 물질의 표면적은 BET법으로 측정하였다.

### 2.2.3 체류시간 측정 및 자료 분석

FID를 장착한 Agilent 4890D의 GC 칼럼 내에 AKD로 소수화된 MCC를 채우고 세 가지 온도에서 이동상 가스의 체류시간을 측정하였다. 캐리어 가스의 유량은 비누거품 유량계를 칼럼의 배출구에 설치하여 측정하였고, 측정치를 온도, 수증기압 및 칼럼의 압력 강하에 따라 아래 Eq. [1]-[2]로 보정하여  $F_{col}$ 을 구하였다.

$$F_{col} = F_m \times \frac{T_c}{T} \times \left( \frac{P - P_{H_2O}}{P} \right) \times j \quad [1]$$

$F_{col}$  : corrected average flow rate within the column  
 $F_m$  : flow rate at the end of the column  
 $T_c$  : temperature of the column  
 $T$  : temperature of the gas at the bubble meter  
 $P_{H_2O}$  : saturated vapor pressure of water in the flow meter  
 $P$  : atmospheric pressure

$$j = \frac{3}{2} \left( \frac{(P_i/P_o)^2 - 1}{(P_i/P_o)^3 - 1} \right) \quad [2]$$

$j$  : gas compressibility factor  
 $P_i, P_o$  : total pressures at the inlet and outlet

Net retention volume,  $V_N$ 은 아래 Eq. [3]에 의해 산출하였다.

$$V_N = (t_R - t_M) F_{col} \quad [3]$$

$t_R$  : retention time of the probe

$t_M$  : gas hold up time by injecting methane

여기에서  $t_R$ ,  $t_M$ 의 값은 Fig. 2와 같이 실험적으로 얻어진 측정값을 이용하여 구하였다.

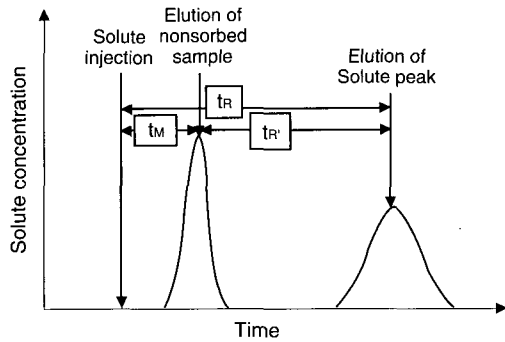


Fig. 2. Typical chromatogram at infinite dilution.

### 3. 흡착 열역학

#### 3.1 알칸의 흡착 열역학

Eq. [3]에서 얻어진  $V_N$  값을 이용하면 surface partition coefficient 값을 아래 Eq. [4]로부터 얻을 수 있다.

$$V_N = K_s A \quad [4]$$

$K_s$  : surface partition coefficient

$A$  : surface area of the stationary phase

열역학적 파라미터인 흡착자유에너지( $\Delta G_A^\circ$ ), 흡착 엔탈피( $\Delta H_A^\circ$ ), 그리고 흡착 엔트로피( $\Delta S_A^\circ$ )는 아래의 Eq. [5]-[7]을 이용하여 계산하였다.

$$\Delta G_A^\circ = -RT(K_s \times 2.99 \times 10^8) \quad [5]$$

$$\Delta H_A^\circ = -R \frac{d(\ln K_s)}{d(1/T)} \quad [6]$$

$$\Delta S_A^\circ = (\Delta H_A^\circ - \Delta G_A^\circ) / T \quad [7]$$

#### 3.2 극성시료에 의한 흡착 및 산/염기 특성 분석

MCC 표면의 산/염기 특성을 분석하기 위해서 극성을 지닌 acetone,  $\text{CHCl}_3$ , THF를 사용하여 체류시간을 측정하고 이로부터 극성 표면에너지를 산출하였다. (Eq. [8])

$$\Delta G_A^\circ = \Delta G_A^d + \sum \Delta G_{sp,A} \quad [8]$$

$\Delta G_A^d$  : disperse component of the surface free energy

$\Delta G_{sp,A}$  : specific component of the surface free energy

여기에서  $\Delta G_{sp,A}$  는 아래와 같이 계산하였다.

$$\Delta G_{sp,A} = -RT \ln \left( \frac{V_N}{V_N^{alkane}} \right) P_0 \quad [9]$$

$P_0$  : the vapor pressure of a pure adsorbate which may be determined from the Antoine equation<sup>4)</sup>

인버스 가스 크로마토 그래프로부터 얻은 데이터로부터 고체 표면의 산/염기 특성을 산출할 수 있으며, 여기에는 Gutmann<sup>5)</sup>에 의한 실험적인 정량법이 주로 사용된다. 이 실험에서는  $\text{CHCl}_3$ , THF, acetone의 세 가지의 극성시료를 사용하였다. 이들의 donor number(DN)와 acceptor number(AN)를 이용하여 고정상인 소수화된 MCC의 극성 특성을 평가하였다. 고정상의 극성 표면에너지는 흡착물질인 극성 기체의 AN과 DN과 Eq. [10]의 관계를 갖는다. 따라서 이를 Eq. [11]과 같이 정리하면 고정상 물질의 C와 C\* 즉 칼럼 내 물질의 산성성분과 염기성성분을 구할 수 있다.

$$\Delta G_{sp} = C(DN) + C^*(AN) \quad [10]$$

C and C\* : constants which qualify the acidity or basicity of the solid

$$\frac{\Delta G_{sp}}{AN} = C \frac{DN}{AN} + C^* \quad [11]$$

**Table 1.**  $-\ln K_s$  of AKD columns at three different temperatures

	303K					308K					313K				
	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20
Pentane	13.3	13.0	13.0	13.1	13.1	13.4	13.1	13.6	13.2	13.3	13.6	13.3	13.4	13.4	13.5
Hexane	12.1	11.8	11.8	11.9	12.0	12.2	12.0	12.2	12.1	12.1	12.4	12.1	12.3	12.3	12.4
Heptane	10.9	10.6	10.6	10.7	10.7	11.1	10.8	10.9	10.9	11.1	11.3	11.0	11.1	11.1	11.3
Octane	9.6	9.4	9.4	9.5	9.6	10.0	9.7	9.7	9.8	9.9	10.3	9.9	10.0	10.0	10.2

### 3. 결과 및 고찰

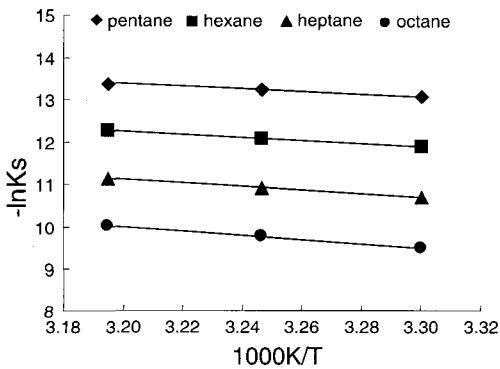
#### 3.1 MCC 표면의 열역학적 흡착

먼저 온도 변화에 따른 소수화된 MCC 칼럼의 zero surface coverage에서의 n-alkane에 대한 열역학적인 흡착현상을 알아보기 위해서 n-alkane의 체류 시간을 세 온도에서 측정하였다. 측정치와 Eqs. [1]–[2]를 이용해서 corrected flow rate,  $F_{cor}$ 을 구하고, Eq. [3]을 이용해서 net retention volume,  $V_n$ 을 구하였다. 그리고  $V_n$ 과 Eq. [4]를 이용해서 Henry 상수  $K_s$ 를 계산하고 이를 Table 1에 나타내었다. 여기에서 보는 것과 같이 온도가 증가함에 따라서  $K_s$  값은 감소하는 경향을 보였다. 얻어진  $K_s$ 의 로그값을 온도의 역수에 대해 도시한 결과 Fig. 3에서 보는 것과 같이 직선적인 경향을 나타내었다.

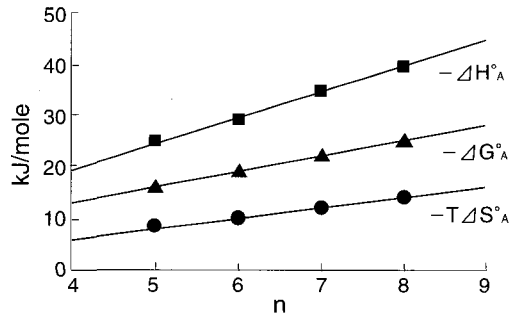
Fig. 4에는 AKD 0.05%를 이용하여 소수화된 MCC 칼럼의 303 K에서의 네 가지 n-alkane의 흡착 자유에너지, 흡착 엔탈피 및 흡착 엔트로피 변화를 알칸의 탄소 수에 대하여 도시하였다. 여기에서 보는 것과 같이 n-alkane 계열의 탄소 수가 증가함에 따라서 흡착 자유에너지, 흡착 엔탈피 등이 직선적으로 증가

하였다. 이는 이동상으로 사용된 n-alkane의 흡착 특성이 분자량이 증가함에 따라서 커진다는 사실을 보여주는 것이다.

또한 AKD로 소수화된 MCC의 경우가 소수화되지 않은 MCC보다 n-alkane의 흡착열이 증가하였다. (Fig. 5) 이는 AKD로 소수화된 MCC의 경우 n-alkanes 계열의 probe와 더욱 강한 반응을 하고 있음을 보여주는 것이다. 또한 흡착 엔트로피의 변화는 AKD로 소수화시킨 MCC의 경우가 소수화되지 않은 경우보다 컸으며, AKD의 첨가량이 증가함에 따라 증가하였다. (Fig. 6) 그러나 0.10%와 0.15%의 AKD로 소수화된 경우에는 큰 차이를 보이지 않았으며, 0.20%의 AKD로 소수화한 경우에는 오히려 감소하는 경향을 보였다. 이는 n-alkane 계열의 시료가 AKD로 소수화된 MCC 표면에 보다 강하게 흡착하는 성질이 있다는 것을 의미하지만 소수화도가 과도할 경우에는 흡착 엔트로피가 오히려 감소하는 경향이 있음을 보여준다.<sup>9)</sup> 이와 같은 현상은 MCC 표면에 n-alkane의 표면 이동현상을 MCC와 반응한 AKD의 알킬기가 방해하기 때문이다. 온도에 따른 흡착 자유에너지는 온도가 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며 n-alkane의 탄소수와 직선적인 관계를 보였다. (Fig. 7)



**Fig. 3.**  $-\ln K_s$  against  $1000 K/T$  for AKD 0.15% column.



**Fig. 4.** Thermodynamics of adsorption in Henry's law region on AKD 0.05% as a function of the number of carbon atoms of the alkanes at 303 K.

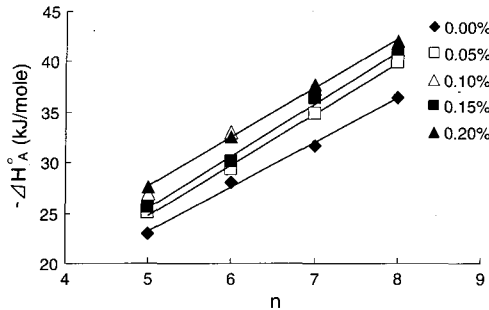


Fig. 5. The enthalpy of adsorption of n-alkanes vs. number of carbon atoms of the probe on AKD 0.00-0.20% at 303 K.

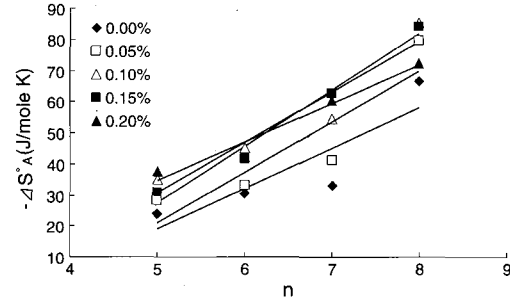


Fig. 6. Adsorption entropy of n-alkanes vs. number of carbon atoms of the probes at 303 K.

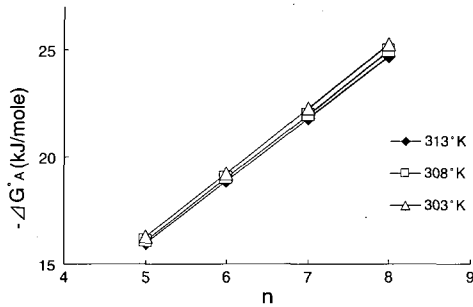


Fig. 7. The standard free energy of adsorption for n-alkanes on AKD 0.10% column at three column temperature as a function of the number of carbon in the alkane chain.

### 3.2 MCC 표면의 극성 시료에 의한 흡착 및 산/염기적인 성질분석

MCC 표면의 산/염기 특성을 분석하기 위해서 극성을 가지는 acetone, CHCl<sub>3</sub>, THF를 프로브로 하고, Eqs. [8]과 [9]를 이용하여 AKD의 함량을 달리한 각각의 MCC에 대해서 흡착 자유에너지를 산출하였다. 또 극성시료를 투입해서 얻은 시료의 흡착 자유에너지 값과 이와 같은 포화증기압을 갖는 가상의 n-alka-

nes의 흡착 자유에너지의 차이, 즉 ΔG<sub>sp</sub>를 Fig. 8과 같이 구하였다. 이와 같은 방법으로 얻어진 ΔG<sub>sp</sub>는 Table 2에 나타내었다. 여기에서 보는 것과 같이 AKD의 첨가량이 증가됨에 따라서 ΔG<sub>sp</sub>의 값은 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 MCC의 표면이 AKD에 의해서 소수화되어 감에 따라 극성 상호작용이 감소한다는 것을 잘 보여주고 있으며, AKD에 의한 소수화가 예상과 같이 진행되었음을 나타내고 있다.

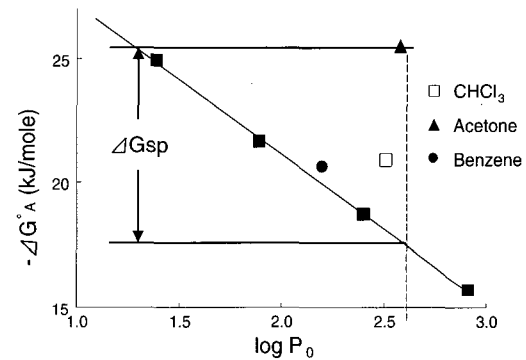
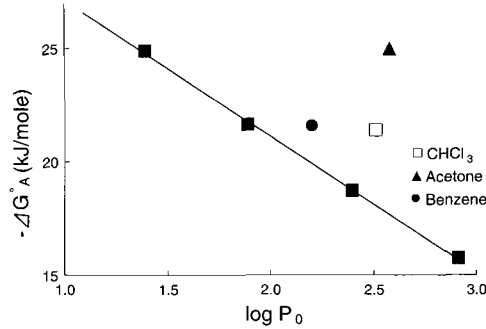


Fig. 8. Adsorption free energy on MCC column with 0.0% of AKD vs. saturated vapor pressure of the probe (Filled square : alkanes).

Table 2. Specific interaction, ΔG<sub>sp</sub> in kJ/mole of polar probes on AKD 0.00-0.20% at 303 K

AKD	Amount of AKD used for hydrophobic modification of MCC				
	0.00%	0.05%	0.10%	0.15%	0.20%
CHCl <sub>3</sub>	2.799	3.323	2.727	2.600	2.319
THF	0.697	1.642	0.905	0.585	0.297
Acetone	7.846	7.346	7.765	7.527	6.813



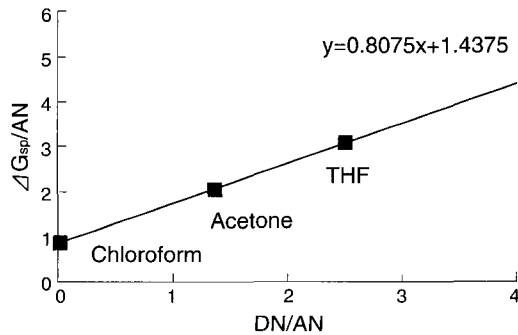
**Fig. 9. Adsorption free energy on MCC column with 0.05% of AKD vs. saturated vapor pressure of the probe(Filled square : alkanes).**

인버스 GC에 의해 측정된 데이터를 이용하여 MCC 표면의 산/염기 특성을 평가하였다. 실험에서 사용된 극성 시료의 donor number(DN) 와 acceptor number(AN) 는 Table 3과 같다.

**Table 3. Donor(DN) and acceptor (AN) numbers of polar probes**

Probes	DN	AN	Remarks
CHCl <sub>3</sub>	0.0	23.1	Acid
THF	20.0	8.0	Base
Acetone	17.0	12.5	Amphoteric

각각 다른 함량의 AKD로 소수화시킨 MCC에 대한  $\Delta G_{sp}$ 의 값과 DN, AN의 값을 이용하여 Eq. [11]에 따라 도시한 결과 모두 직선적인 경향을 보였다.(Fig. 10)



**Fig. 10. Change of the specific component of surface free energy against DN/AN for AKD 0.00% column at 303 K.**

**Table 4. Acidity and basicity parameters of AKD sized MCC**

AKD	0.00%	0.05%	0.10%	0.15%	0.20%
C	0.808	0.739	0.783	0.750	0.823
C*	1.438	0.948	0.922	0.926	0.869

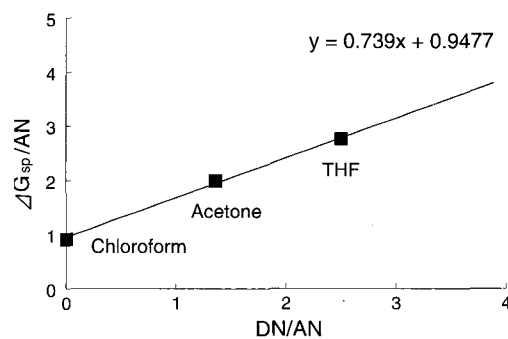
C, C\* : constants which qualify the acidity or basicity of the solid

이 직선으로부터 Eq. [11]의 C와 C\* 값을 구하고 이를 Table 4.에 나타내었다. 여기에서 보는 것과 같이 MCC의 산/염기 특성을 분석한 결과 C\*, 즉 염기성 수치가 소수화가 진행됨에 따라서 감소하는 경향을 보였으며, 산성의 경우는 불규칙한 수치를 나타내었다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 AKD를 이용하여 소수화 정도를 달리한 MCC 표면의 열역학적 특성을 인버스 가스 크로마토 그래피를 이용하여 분석하였다. 분석한 열역학적 파라미터로는 흡착 자유 에너지, 흡착 엔탈피, 흡착 엔트로피, 극성 흡착 자유 에너지 및 표면의 산/염기 특성이 포함되었다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1.  $-\ln K_s$ 의 값은 알칸 계열의 탄소수 및 온도가 감소할수록 증가하는 경향을 보였다.
2. 소수화에 사용된 AKD의 함량이 증가할수록 흡착 엔탈피가 증가하였으며 흡착 엔트로피는 0.15%의 AKD를 사용한 경우에 가장 높은 수치를 나타내었다.
3.  $\Delta G_{sp}$ 는 AKD의 함량을 증가시키기에 따라 감소하였으며, AKD를 처리한 MCC의 경우 AKD 첨가량을 증가시켰을 때 표면의 염기적 성질이 감소하였다.



**Fig. 11. Change of the specific component of surface free energy against DN/AN for AKD 0.05% column at 303 K.**

## 인 용 문 헌

1. Christenson, H. K., Claesson, P. M., and Parker, J. L., Hydrophobic attraction: A reexamination of electrolyte effects, *J. Phys. Chem.* 96, p.6725 (1992)
2. Attard, P., Long-range attraction between hydrophobic surfaces, *J. Phys. Chem.* 93, p. 6441(1989)
3. Glueckauf, C., *J. Chem : Soc.*, 1302 (1947)
4. Kiselev, A.V., and Y.I. Yashin, *Gas-Adsorption Chromatography*, p. 104, Plenum Press, New York (1969)
5. Conder, J.R., and C.L. Young, *Physicochemical Measurement by Gas Chromatography*, Wiley Interscience, New York (1979)
6. Guillet, J.E., in *New Developments in Gas Chromatography*, p. 187, J.H. Purnell, Ed., Wiley Interscience, New York (1973)
7. Boublik, T., V. Fried, and E. Hala, *The Vapor Pressure of Pure Substances*, Elsevier, Amsterdam (1973)
8. Gutmann, V., *The Donor-Acceptor Approach to Molecular Interactions*, Plenum Press, New York (1978)
9. Lee, H.L. and Luner, P.: Characterization of AKD sized papers by inverse gas chromatography, *Nordic Pulp and Paper Research Journal*, 4(2):164-172 (1989)