목재공학 33(6): 63~70, 2005
Mokchae Konghak 33(6): 63~70, 2005

저온 열처리 셀룰로오스의 염기성가스 흡착과 용해특성*1

조 태 수*2† · 안 병 준*2 · 최 돈 하*2 · 宮 越 昭 彦*3

Adsoptive Properties of Cellulose Thermally Treated at Low Temperature and Its Solubility to Water*1

Tae-Su Jo*2† · Byung-Jun Ahn*2 · Don-Ha Choi*2 · Miyakoshi Akihiko*3

요 약

225°C에서 325°C 이하의 저온에서 열처리한 셀룰로오스의 물성과 에틸아민 흡착특성을 열처리온도별로 조사하였다. 열처리온도의 증가와 더불어 수율이 감소하고, 탄소함량이 증가하는 반면, 수소나 산소의 함량은 감소하였다. 표면관능기량을 Boehm 법으로 측정한 결과, 열처리온도가 300°C까지 올라가면 산성관능기량이 증가하였으나 그 이상의 온도에서는 다소 감소하는 경향이 있었다. 염기성관능기는 거의 존재하지 않았으며 열처리온도 325°C에서 미량 확인할 수 있을 정도였다. 열처리셀룰로오스를 1점법으로 측정한 비표면적은 처리온도가 높으면 다소 증가하는 경향이 있었으나 매우 적었다. 열처리 온도가 증가할수록 셀룰로오스의 에틸아민증기 흡착량이 증가하여 300°C 처리 셀룰로오스의 에틸아민흡착에 의한 중량증가가 최대 113%를 나타내었다. 275°C에서 열처리셀룰로오스는 에틸아민 흡착 시, 팽윤이 일어나고 용해현상이 일어났다. 275°C 이상의 온도에서 열처리한 셀룰로오스는 X선회절도 상에서 무정형화 하는 것으로 나타났다. 에틸아민 흡착한 열처리셀룰로오스의 용해 현상은 셀룰로오스의 결정구조 붕괴와 염기성 가스의 흡착량 증가에 의한 것으로 추측된다.

ABSTRACT

The purpose of this study was to investigate how to modify the physical properties of cellulose after thermal treatment. Cellulose was treated between 225°C and 325°C for 3 hrs under air flow, and then the thermally treated cellulose was measured to specific surface area, constitute elements, consumption ofacid and base, as well as the adsorption capacity of ethylamine vapor. The higher was the treating

* 1 접수 2005년 6월 7일, 채택 2005년 10월 26일
* 2 국립산림과학원 화학미생물과 Div. Wood Chemistry & Microbiology, Korea Forest Research Institute, Seoul, 130-712, Korea
* 3 일본 旭川工業專門大學 物質化學工業科 Dep. of Material Chemistry, Asahikawa National College of Technology, Asahikawa, 071-8142, Japan
† 주저자(corresponding author) : 조태수(e-mail: tscho@foa.go.kr)

temperature from 225℃ to 325℃, the lower was the total yield of cellulose. Elemental analysis revealed that carbon content in thermally treated cellulose was gradually increased in proportion to temperature increment. The amount of acidic functional groups tended to increase up to 300℃, after then to be lowered slightly. In principle, no alkaline functional groups were found in thermally treated cellulose. In case of treatment with 325℃, only a few amount of alkaline functional groups were detectable. Specific surface area of thermally treated cellulose are determined to 1.9 m^2/g, which value can become higher when the treated temperature rises. The thermally treated cellulose at 275℃ shows the highest adsorption capacity of ethylamine at 40℃ for 4 hrs. Solubility of those two celluloses with WPG (Weight Percent Gain) value of 113% and 108%, respectively, was determined to almost 100%. X-ray diffractogram of thermally treated cellulose suggested that the crystalline structure of cellulose began to be destroyed at the temperature of 275℃. As a conclusion, changes of such a physical properties make it possible to weaken inter and/or intra hydrogen bond in crystal region of cellulose macromolecules. When thermally treated cellulose adsorbs ethylamine, it turns to be well soluble to water.

Keywords: heated cellulose, specific surface area, ethylamine adsorption, solubility, boehm, functional group, X-ray diffractogram

1. 서 론

최근 목탄은 전통적인 용도인 연료로서 뿐만 아니라, 습도조절[2], 유독가스의 무독화[12], 또는 전자파차폐[8] 등과 같은 공업재료로서의 용도가 제안되고 있다. 그러나 목재는 셀룰로오스, 헤미셀룰로오스 및 리그닌 등의 주요 구성 성분으로 되어 있는 복합체로 각 구성성분은 열에 대한 반응이 모두 다르다고 알려져 있다. 즉, 구성 성분 중, 헤미셀룰로오스가 가장 먼저 열분해가 시작되며, 셀룰로오스, 리그닌의 순으로 열분해된다. 셀룰로오스의 열분해에 관해 平田 등[5,17]은 목재와 주요구성성분을 TG와 DTA를 이용하여 속도론적 열분해기구를 구명하였으며, 또한 平田[17]는 셀룰로오스는 열에 의해 glucoside 결합이 절단되고 분자간 가교의 형성 등을 거쳐 levoglucosan이 최종적으로 생성된다고 하였다. 空閑[7]은 셀룰로오스 뿐만아니라 셀룰로오스유도체, 황산을 이용한 탈수제 탄화법 및 기능성셀룰로오스의 탄화 등을 통해 신재료 가능성을 검토하였다.

한편 목재는 탄화과정에서 세공이 형성되어 발달할 뿐 만아니라 구성성분의 화학적 변화가 예상된다. 人見 등[16]은 400℃~1000℃에서 탄화한 삼나무와 편백 목탄의 산염기수용액에 의한 흡착성을 통해 목탄의 화학적 특성을 검토하였고, 安部 등[15]도 탄화온도별 목탄의 세공특성과 더불어 목탄의 화학적 변화와 가스 흡착량과의 관계를 조사하였으며, 安部[14,15]목탄의 화학적 특성을 이용하여 환경정화에의 이용을 제안하였다.

목탄은 탄화온도에 따라 물리적인 특성 뿐 만아니라 화학적인 특성에 차이가 있다. 목탄강도나 흡착능을 평가할 수 있는 비표면적은 목탄품질을 나타내는데 많이 강조되고 있는 반면, 목탄의 화학적 특성을 근거로 목탄품질을 평가하는 예는 그다지 많지 않다. 또한 일반적으로 목탄은 알칼리성이라고 알려져 있는 것과는 달리 400℃에서 탄화한 목탄이 산성에 가까운 특성을 갖고 있다는 선행연구 결과[1]로부터 목탄의 화학적 특성을 명확히 할 필요가 있다고 생각한다. 그러나 복합물질의 열분해는 복잡하고 아직 충분히 해명되어 있지 않은 것이 현실이다. 본 연구에서는 복합물질인 목재와는 달리 단일 성분과 단일구조로 되어 있는 순수셀룰로오스를 일반적인 탄화온도보다 낮은 350℃ 이하의 저온에서 열처리하여 산성으로 예상되는 열처리 셀룰로오스와의 화학적 흡착성과 용해성을 효율적으로 진행하기 위하여 에틸아민가스[9]를 이용하여 화학적 흡착성을 평가하였으며 이러한 용해성 구명을 위해 결정구조 변화를 검토하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 열처리조건

셀룰로오스(Whatman 社製 CF-11)를 송풍건조기(YAMATO, Fine Oven, DHS62, 최고 500°C용량)를 이용하여 1시간에 걸쳐 목표온도로 승온 한 후, 목표온도인 225°C, 250°C, 275°C, 300°C, 325°C에서 각각 3시간동안 열처리하였으며, 송풍기 외부에 설치되어 있는 공기주입구 개폐기를 2/3만 열어 공기주입량을 조절하였다.

2.2. 비표면적

열처리 셀룰로오스의 비표면적 측정은 Monosorb Jr. (Quantachrome 製)를 사용하였다. 시료는 200°C에서 30분간 탈가스 처리를 위해 가열처리하였으며, 시료에 의한 흡착 대상 가스는 질소를 사용하였다. 각각의 시료에 대한 비표면적은 액체질소에 의해 냉각되어 흡착되었던 질소가 상온으로 승온되면서 탈착하는 때, 검출기에 의해 검출된 질소 양을 근거로 하여 BET 1점법, 연속유동법으로 계산하였다.

2.3. 원소분석

셀룰로오스 및 저온열처리셀룰로오스의 원소조성은 Acetanilide (C:71.09%, H:6.71%, O:11.84%, N:10.36%)를 표준물질로 하여 2.0 mg의 시료를 Combustion온도 1100°C로 하여 컬럼방식인 Elemental Analyzer (Flash EA1112)로 측정하였다.

2.4. 표면 관능기량 측정

열처리 셀룰로오스의 산염기 관능기량을 전위차 적정에 의한 Boehm법[3]으로 측정하였다. 0.2 N의 수산화나트륨, 탄산수소나트륨, 탄산나트륨수용액 20 mℓ를 시료 200 mg에 각각 넣고 일주일간 20°C의 항온실에서 정치하였으며, 그 후 여과, 세정하여 얻은 세정액 약 200 mℓ을 0.2 N수산화나트륨이나 0.2 N염산수용액으로 전위차 적정법에 의하여 관능기당량수를 구하였다.

2.5. 에틸아민 흡착과 용해율 측정

50 mℓ 용량의 평량병에 시료 1 g을 넣고 40°C로 유지된 항온수조에 70% 에틸아민이 포화되어 있는 데시케이타안에서 4시간 흡착하였다. 흡착종료 후, 흡착 시료가 들어 있는 평량병의 뚜껑을 닫고 데시케이타에서 꺼내어, 중량을 측정하여 중량증가율(WPG, Weight Percent Gain)을 계산하였고, 또한 흡착시료를 200 mℓ의 증류수로 용해시켜 유리섬유여과지(ADVANTEC, TOYO, GA100)로 여과하였다. 용해되지 않은 잔류물은 100°C에서 건조 후, 중량을 측정하여 용해율을 계산하였다.

2.6. X선회절

열처리시료를 직경 15 mm 알루미늄제 링에 충진한 후, 유압프레스로 1500 kg/cm^{2}로 압축성형하여, Geiger flex (Rigaku 製)를 이용하여 40 kV-30 mA, Cu-Ni, 0.5°/분의 조건으로 2θ의 10~30°를 측정하였으며, 결과는 백그라운드제거, Kα_2제거법으로 데이타처리하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 열처리 셀룰로오스의 비표면적

일반적인 실험에서의 탄화는 밀폐된 상태나 질소가스와 같은 불활성기체 분위기하에서 탄화하지만, 여기서는 국내 목탄제조업체의 현실적인 탄화법에 가까운 방법으로 열처리하기 위하여 공기의 순환이 잘 이루어지는 송풍건조기를 이용하여 산소 공급이 원활하도록 하는 분위기에서 열처리 하였으며, 송풍기 외부에 설치되어 있는 공기주입구 개폐기를 2/3만 열어 공기주입량을 조절하였다. 셀룰로오스를 225~325°C

Table 1. Yields and specific surface area of cellulose after thermal treating at various temperature for 3 hours

	thermal treating temperature (℃)					
	sound	225	250	275	300	325
yield (%)	-	98.7	85.7	42.6	33.3	28.4
specific surface area (m^2/g)	0.8	1.0	1.2	1.5	1.6	1.9

Table 2. Constitute elements of cellulose after thermal treating at various temperature

thermal treating temperature(oC)	content (%)		
	C	H	O
sound	43.23	6.72	50.05
225	43.85	6.80	49.35
250	47.28	6.45	46.27
275	59.42	3.41	37.17
300	60.09	2.94	36.97
325	60.34	2.74	36.92

에서 저온 열처리하였을 경우, 250°C~275°C 사이에서의 수율저하가 매우 급격하여 이 온도영역에서의 셀룰로오스 열분해가 매우 활발하게 일어나는 것을 알 수 있었다(Table 1). 本間 등[9]은 목재 및 셀룰로오스 탄화 시 산소의 양을 조절하여 탄화한 바, 산소공급이 많을수록 수율이 감소되었으며, 300°C에서 2시간 처리하면 산소농도 6%에서는 수율이 42.6%, 산소농도 21%에서는 수율이 35.2%라고 하였다.

열처리 셀룰로오스의 비표면적을 질소가스 흡착법을 이용한 BET법으로 조사한 바, 비표면적은 무처리 셀룰로오스의 0.8 m^2/g에서 열처리 온도 325°C에서 1.9 m^2/g로 열처리 온도가 증가함에 따라 비표면적이 증가하는 경향이 있었으나, 세공에 의해서 어떤 특정 물질의 물리적인 흡착에 큰 영향을 미칠 수 있는 양은 아니라고 생각된다(Table 1).

3.2. 열처리 셀룰로오스의 원소분석

Elemental Analyzer (Flash EA1112)로 측정한 셀룰로오스(Whatman 社製 CF-11)의 원소조성은 탄소가 43.23%, 산소 50.05%, 수소 6.72%로 참고치[8]인 탄소 44.2%, 산소 49.5%, 수소 6.3%와 약간의 차이가 있었다. 이는 분석기기 및 표준물질의 차이에 의한 것으로 생각된다. Whatman 셀룰로오스를 열처리 하면 탄소의 함량이 증가하는 반면 산소와 수소의 함량이 감소하는 경향이 있었다. 특히 275°C에서 열처리할 경우 탄소 59.42%, 산소 37.17%, 수소 3.41%로 열처리 온도별 셀룰로오스의 원소조성 변화 중 가장 큰 변화가 있어 이 온도 영역에서 열처리에 의한 셀룰로오스의 화학적 변화가 크다는 것을 알 수 있었다. 목재 중의 셀룰로오스는 240°C~400°C에서 열분해가 활발하여 300°C 이상에서도 셀룰로오스의 탄소화가 빠르게 진행될 것으로 예상되었으나 본 실험에서 사용한 순수셀룰로오스는 300°C 이상의 온도에서도 원소조성 변화가 거의 나타나지 않고, 많은 양의 산소나 수소가 존재하였다. 한편 本間 등[10]은 목재와 셀룰로오스에 대한 300°C의 열처리 결과, 탄소함량의 경우, 목재는 63.1~68.3%, 셀룰로오스는 61.9~66.7%로 목재의 탄소함량이 셀룰로오스보다 다소 많다고 하였으며, 300°C 부근에서 탄소함량이 급격히 증가하는 반면 산소함량은 크게 감소하여 화학적 변화가 현저히 나타난다고 하였다[8]. 본 연구에서 300°C 이상의 처리에서 탄소, 산소, 수소 함량의 경향과 다소 차이가 있었으나 이는 처리조건에 따라 민감하게 발생하는 처리물의 특성을 고려하면, 열처리 시의 시료처리량, 열처리시간, 승온속도 등의 실험조건차이에 의한 것으로 생각된다.

3.3. 에틸아민 가스흡착

70% 에틸아민이 포화되어 있는 데시케이타에서 열처리 셀룰로오스에 의한 가스흡착시, 열처리온도

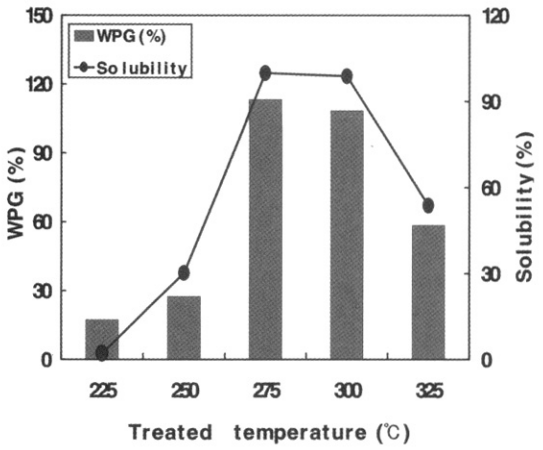

Fig. 1. Weight percent gain(WPG) of thermally treated cellulose after adsorption of 70% ethylamine vapor for 4 hours and its solubility to water.

가 증가하면 흡착에 의한 중량이 증가하여 275°C 열처리물은 113.4%에 달하였으며, 300°C 열처리물은 130.0%였다. 그러나 그 이상 열처리온도가 증가하여 325°C가 되면 오히려 가스흡착량이 감소되어 열처리 셀룰로오스의 중량증가는 58.6%로 급격히 감소되었다(Fig. 1).

에틸아민증기 흡착시작 후, 2시간 안에 열처리 셀룰로오스는 팽윤하고, 흡착시작 후 4시간 내에 275°C, 300°C에서 열처리한 셀룰로오스는 육안 관찰결과, 부피가 급격히 감소하면서 용해현상이 일어났다(Photo 1). 이 용해된 시료는 묽은 액체상태는 아니지만, 핀셋으로 가볍게 누르면 함몰자국이 나타나는 정도의 유동성을 나타내었다. 또한 이 용해셀룰로오스에 증류수를 첨가하면 거의 균일한 액상으로 되는 수용성을 띠고 있었다. 용해된 에틸아민 흡착 열처리 셀룰로오스를 유리섬유필터로 여과하여 용해정도를 조사한

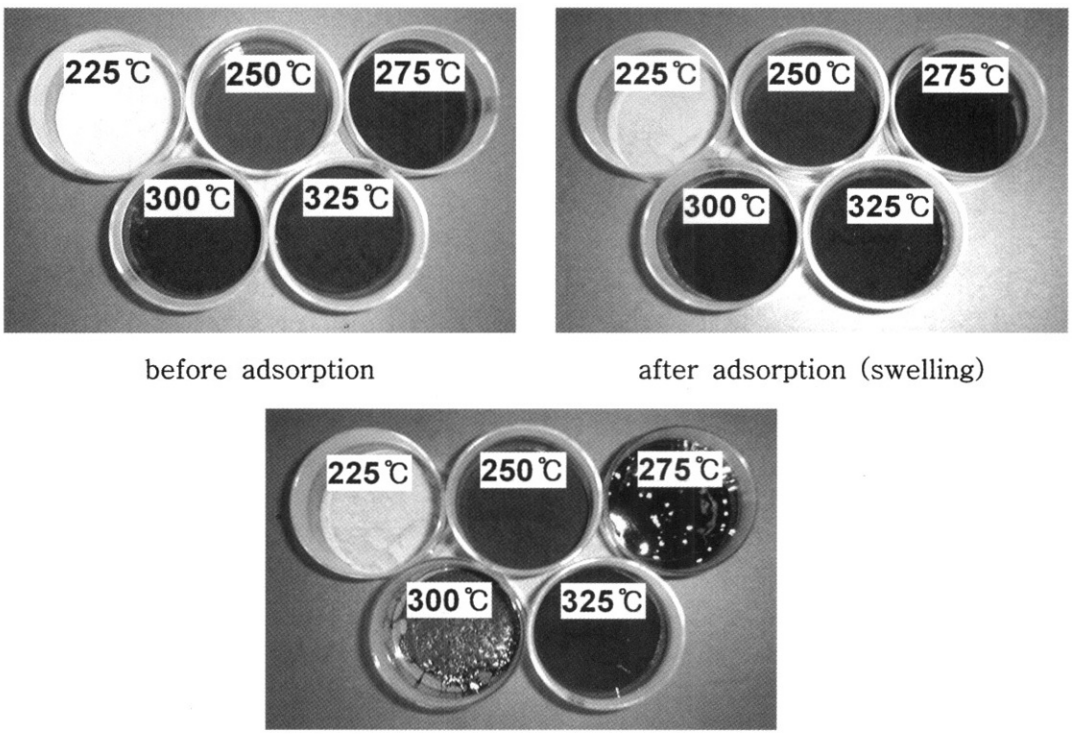

Photo 1. Photos of thermally treated cellulose after adsorption of 70% ethylamine vapor.

결과, Fig. 1에 나타낸 바와 같이 중량증가율이 높았던 275°C, 300°C에서 열처리한 셀룰로오스의 용해도가 98.8% 이상으로 거의 용해된 것을 알 수 있었다. 반면 흡착량이 적어 중량증가율이 낮았던 250°C 이하의 열처리물은 용해도가 30% 이하였고, 중량증가율이 58.6%였던 325°C 열처리물의 용해도는 53.7%이었다. 이는 용해가 어느 특정온도영역에서 열처리하였을 경우만 나타나는 것이라는 것을 알았다. 本間[11]는 260~280°C에서 목재를 열처리한 경우, 염기성가스 흡착 후, 물에 용해시키면 잔사는 0.9~3.9%로 대부분이 용해되고, 270°C에서 처리한 목재가 가장 낮은 0.9%를 나타냈다고 하고, 이는 함산소관능기의 생성이 현저하여 락톤이나 카르보닐기 등 반응성이 높은 관능기가 풍부하여 열처리 목재의 염기성가스 흡착은 화학적 흡착의 결과로 고찰하였다[9].

3.4. 열처리물의 표면 관능기

전항의 결과에서 300°C 이상에서 열처리하면 소량이지만 비표면적이 증가하여 에틸아민의 흡착량이 더욱 증가할 것으로 생각되었지만, 오히려 275°C에서 열처리한 셀룰로오스보다 에틸아민 흡착량이 감소하는 것으로 보아, 흡착 특성을 알아보기 위하여는 비표면적 이외의 원인이 있을 것으로 판단되어 열처리셀룰로오스의 관능기량을 추정해 보았다.

탄화물 표면의 산염기 관능기량을 측정하기 위하여 Boehm[3,4]는 일찍이 탄산수소나트륨, 탄산나트륨, 수산화나트륨 또는 염산수용액처리 하는 방법을 확립하였다. 그에 의하면 유리의 칼복시기 등의 강산성기량은 $NaHCO_3$ 흡착량으로, 락톤계의 칼복시기와 같은 약산성기량은 Na_2CO_3 흡착량으로, 강약의 전산성기량은 NaOH흡착량으로 알 수 있으며, 페놀성 수산기는 전산성기와 강, 약산성기와의 차로 추측할 수 있다고 하였다.

본 실험에서는 0.2 N의 수산화나트륨 및 0.2 N염산수용액으로 열처리 셀룰로오스를 처리한 후, 여과액을 0.2 N염산과 0.2 N수산화나트륨수용액으로 전위차 적정하여 열처리 셀룰로오스의 산염기 관능기량을 측정하였고, 그 결과는 Fig. 2와 같았다. 열처리온도가 상승함에 따라 $NaHCO_3$, Na_2CO_3 및 NaOH처리 후의 여과액의 염산소모량이 많기 때문에 열처리 온도가 증가할수록 산성기 함량이 많은 것으로 추측된다. 반면 열처리온도가 증가하더라도 염산처리한 셀룰로오스는 여과액의 알칼리에 의한 역적정시 거의 소모량이 없었기 때문에 염기성의 관능기는 거의 없는 것을 알 수 있었다. 600°C 이상에서 탄화한 목탄의 경우는 염기성 관능기가 풍부하고 그 이하의 온도에서 탄화한 목탄은 산성기가 풍부하다고 보고하였다. 열처리 셀룰로오스의 경우, 300°C에서 산성기 함량이 최대를 나타내고, 이상의 온도에서 열처리하면 산성기 함량이 다소 감소하며, 소량이지만 염기성 관능기가 325°C부터 생성되는 것을 알 수 있었다. 人見 등[14]은 400~1000°C에서 삼나무와 편백을 탄화하면 탄화온도의 증가와 함께 산성수용액에 대한 흡착량이 증가하나, 알칼리용액에 의한 흡착량은 감소하여 탄화온도가 증가할수록 염기성 관능기가 증가한다고 하며, 安部 등[15]의 목탄 제조조건과 흡착특성 연구에서도 목탄에 의한 산, 알칼리 소비량 조사에서 탄화온도가 높으면 HCl 소비량이, 탄화온도가 낮으면 NaOH 소비량이 높아지나, 1000°C가 되면 HCl 또는 NaOH 소비량이 모두 낮아지는데 이는 산성과 알칼리성을 나타내는 관능기가 고온으로 인해 이탈하기 시작하기 때문이라고 하였다.

전항의 에틸아민흡착에 의한 열처리셀룰로오스의 중량증가가 300°C에서 최대를 나타내고 325°C에서 감소한 것과 열처리셀룰로오스의 산성기 함량과 거의 일치한 것을 알 수 있는데 이는 열처리셀룰로오스의 화학적 특성이 에틸아민흡착에 크게 관여했기 때문으로 생각된다. 일반적으로 비표면적과 같은 물리적인 파라메타가 흡착성에 크게 영향을 주나 본 실험에서 열처리 후에 사용한 셀룰로오스의 비표면적은 2.0 m^2/g 이하로 매우 적었으며, 이것이 에틸아민 흡착에 크게 관여하였다고는 생각할 수 없다.

한편 325°C에서 열처리한 셀룰로오스에서는 산성기 함량이 감소하고, 소량이지만 염기성 관능기가 생성되기 시작하였는데, 350°C 이상의 온도에서 열처리하면 이러한 경향은 보다 뚜렷해져 600°C 이상이 되면 염기성 관능기가 오히려 풍부해져 에틸아민과 같

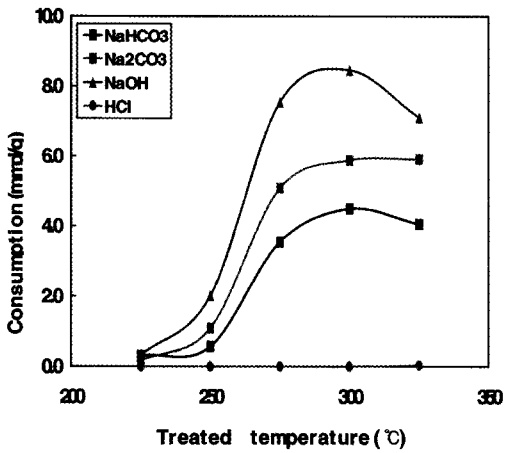

Fig. 2. Consumption of acid and base by thermally treated cellulose.

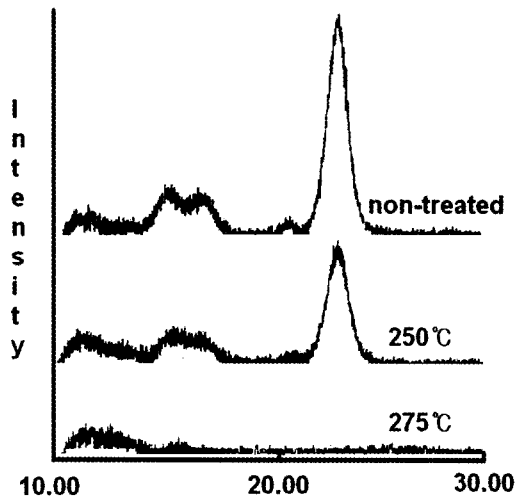

Fig. 3. X-ray diffractogram of thermally treated cellulose.

은 염기성 흡착질에 대한 흡착량은 감소하여 흡착성능이 감소할 것으로 생각된다. 本間 등[12]은 350°C 이하의 저온에서 탄화한 열처리물의 IR분석 결과, 탄화온도가 증가할수록 산성관능기인 칼복시기나 락톤기로 추측되는 1710 cm^{-1}, 1240 cm^{-1} 부근의 흡수대가 증가하였다고 보고하였다.

3.5. X선회절

열처리 셀룰로오스가 에틸아민 흡착 후, 팽윤의 과정을 통해 용해현상이 일어나는 이유를 구명하기 위한 일환으로 열처리 셀룰로오스의 결정구조를 알아보았으며, 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 시판셀룰로오스는 천연셀룰로오스의 X선회절 특성을 나타내었고, 250°C에서 열처리한 셀룰로오스의 경우, 회절강도가 약화되었으나 거의 셀룰로오스 I에 가까운 구조를 유지하여 250°C까지는 셀룰로오스결정성에 큰 변화는 없었다. 그러나 275°C 이상의 온도에서 열처리한 셀룰로오스는 이 영역의 회절피크가 거의 완전히 없어져, 무정형에 가까운 구조로 변화하였다는 것을 알았다. 셀룰로오스는 미셀결정영역 내에 매우 강한 수소결합으로 이루어져 약제 침투가 어려우나, 비결정영역은 약제침투가 용이한 것으로 알려져 있다. 열처리 셀룰로오스가 무정형화 하였다는 것은, 본 실험에서 사용한 에틸아민이 열처리시료의 내부표면에로의 침투가 용이하여져 에틸아민증기 흡착량이 증가하는 것으로 생각된다. 따라서 산성기가 풍부한 275°C, 300°C 열처리시료의 용해는 염기성약제와의 화학적 친화성 향상에 의한 흡착량 증가와 셀룰로오스의 무정형화에 결과에 기인하는 것으로 생각된다.

4. 결 론

최근 목질재료의 탄화에 대한 학계 및 업계의 관심이 높아져 가고 있다. 고온의 탄화처리와 건조온도사이에서의 열처리에 의한 목질재료 특성변화를 알아보기 위하여 셀룰로오스를 300°C 전후의 온도에서 저온열처리하였다. 저온열처리 결과, 셀룰로오스는 아민가스의 흡착량이 300°C까지 열처리 온도 증가와 함께 증가하며, 에틸아민을 흡착한 275°C 및 300°C 열처리 셀룰로오스는 거의 전량 물에 용해가 되었으며, 더 높은 온도에서의 열처리셀룰로오스는 오히려 물에 대한 용해도가 떨어졌다. 이는 열처리셀룰로오스의 관능기 함량 조사에서 300°C까지는 산성의 관능기가 증가하는 것으로 나타나서, 염기성인 에틸아민 흡착량이 급속히 증가하여, 결정구조의 붕괴와 더불어 수용성 증가에 크게 영향을 미친 것으로 생각된다.

열처리물의 이러한 특성을 활용하면 목탄을 액체상태로 이용할 수 있는 등, 가공성이 증가하여 탄화물 이용을 보다 다양하게 할 수 있으며, 이를 위해서는 용해를 위한 열처리나 탄화조건 확립 및 이용법 개발에 대한 연구가 필요하다고 생각된다.

참 고 문 헌

1. 조태수, 안병준, 최돈하. 2005. 한국목재공학회. 33(3) : 45~52.
2. Ikuo Abe, Mitsunori Hitomi, Nobuo Ikuta, Isao Kawafune, Kenichiro Noda, and Yoshiya Kera, 1995. Humidity-Control Capacity of Microporous Carbon. Seikatsu Eisei. 39(6): 333~336.
3. Boehm. H. P., 1966. Adv. in Catalysis. 16: 179~274.
4. Boehm. H. P., 1994. Carbon. 32(5): 759~769.
5. Toshimi. Hirata and Hiroshi Abe. 1973. Pyrolysis of Wood and Cellulose, and Effects of Inorganic Salts on the Pyrolyses, Measured by Thermogravimetric and Differential Thermal Analysis Techniques Ⅰ.-Kinetics of the pyrolyses of Untreated Wood and Cellulose in vacuo. Mokuzai Gakkaishi. 19(9): 451~459.
6. Tsutomu Suzuki, Tetsuo Yamada, Noriyasu Okazaki, Akio Tada, Mikio Nakanishi, Masami Futamata, and Hsin-Tai Chen. 2001. Electromagnetic Shielding Capacity of Wood Char Loaded with Nickel. Material Science Research International. 7(3): 206~212.
7. 空閑重則. 2001. SEN'I GAKKAISHI (繊維と工業). 57(8): 212~215.
8. 近藤民雄, 米澤保正, 右田伸彦. 1978. 木材化學. 共立出版株式會社. p.85.
9. 本間千晶. 2001. 木材の液化. 林産試だより. 3: 4~7.
10. 本間千晶, 梅原勝雄, 佐野彌生子. 1998. トドマツ材炭化物の化學構造と炭化時の酸素濃度 との關係. 日本木材學會北海道支部講演集. 第30号: 69~70.
11. 本間千晶, 寢田 實, 駒澤克己 1998. 特開平 10-251522.
12. 本間千晶, 佐野彌生子, 梅原勝雄, 駒澤克己. 2000. 木材學會誌. 46(4): 348~354.
13. 石原茂久. 1998. 殘廢木材の高溫燒成炭と遷移金屬元素酸化物の複合による無害化變換材 料の開發. 平成 8~9年度文部省科學研究費補助金 [基礎研究(A)(Ⅰ)] 研究成果報告書
14. 安部郁夫. 1994. 吸着劑として見直される木炭. 科學と工業. 68(4): 161~169.
15. 安部郁夫, 岩崎 訓, 岩田良美, 古南 博, 計良善也. 1998. 木炭の製造方法と吸着特性の 關係. 炭素. 185: 277~284.
16. 人見充則, 計良善也, 立体英機, 安部郁夫, 川舟功朗, 幾田信生. 1993. 多孔性炭素材料の 吸着性能評価法(スギ及びヒノキからの木炭の製造と物性). 炭素. 160: 247~254.
17. 平田利美. 1995. 木材およびセルロースの熱分解速度論. 木材學會誌. 41(10): 879~886.