

CO₂ gas를 이용한 탄소섬유의 활성화(I) -탄소섬유의 활성화 과정-

노재승·서동수
충남대학교 재료공학과

Activation of Carbon Fibers in CO₂ Gas(I) -Activation process of carbon fiber-

Jae-Seung Roh, Dong-Soo Suhr

Dept. of Materials Science and Engineering, Chung-Nam National University, Taejon 305-764

(1997년 10월 20일 받음, 1997년 12월 4일 최종수정본 받음)

초 록 등방성 피치계 탄소섬유를 CO₂ gas중에서 등온산화시켜 활성탄소섬유를 제조하였다. 산화된 섬유의 비표면적은 BET 장치를 이용하여 측정하였다. Burn-off가 증가하여도 반응속도는 크게 감소하지 않았으며, 800℃와 900℃에서 산화된 섬유의 비표면적은 40%~60%의 burn-off에서 급격히 증가하다가 60% 이상에서 감소하였다. 1100℃에서 산화된 시편은 40% 이상 burn-off되어도 비표면적은 크게 증가하지 않고 60%를 지나서도 계속해서 표면적이 증가하는 현상을 나타내었다. 1000℃에서 60.4%의 burn-off가 일어난 산화섬유의 비표면적은 3,614m²/g로 가장 큰 값이 얻어졌다. 등방성 탄소섬유는 미세한 후연결정립들이 무질서한 배향을 하고 있으며, 미세기공벽으로 작용할 수 있는 결정립층이 많기 때문에 활성탄소섬유 제조를 위한 원료로 적합하다고 판단된다.

Abstract Isotropic pitch-based carbon fiber was exposed to isothermal oxidation in CO₂ gas in order to get activated carbon fibers(ACFs). The specific surface area(SSA) of oxidized carbon fiber was measured by BET apparatus. As the degree of burn-off(B.O.) was increased, the reaction rate was not importantly decrease. The SSA was sharply increased about the range of 40%~60% B.O., and then it was decreased over the degree of 60% B.O. at 800℃ and 900℃. The SSA was smoothly increased until 88.3% B.O. at 1100℃. The maximum SSA was 3,614m²/g which was oxidized at 1000℃, 60.4% B.O.. Isotropic carbon fiber was randomly oriented of small graphitic unit. In conclusion, it is suggested that the isotropic carbon fiber was suitable for the activated carbon fiber(ACFs), because the carbon fiber contains large amount of the graphite lamella which can serve as micropore wall

1. 서 론

탄소섬유의 최고 약점이라 할 수 있는 산화반응은 섬유 본래의 성질을 나쁘게 하지만 탄소섬유의 종류 및 산화분위기 제어에 의하여 비표면적이 지금까지의 다른 재료에 비교할 수 없이 큰 활성탄소섬유(activated carbon Fiber, ACF)를 얻을 수 있다.

활성탄소섬유라 함은 산화분위기하에서 표면산화된 탄소 섬유를 말한다. 활성탄소섬유의 비표면적은 보통 1,000m²/g 이상을 가지며, 3,000m²/g 이상의 값을 얻은 것도 보고되고 있다^{1~5)}. 또한 평균기공 크기는 20Å 이하의 범위에서 대부분 미세공으로 이루어진 균일한 분포를 갖는다. 이러한 큰 비표면적을 갖는 특성 때문에 활성탄소섬유의 응용범위는 다양하다. 큰 비표면적을 이용한 공기청정이나 액상여과 등의 흡착제 및 촉매담체에의 응용, 균일한 기공특성을 이용한 분자체로의 응용, 그리고 비교적 높은 전도도와 고비표면적을 이용하여 전기이중층 capacitor의 전극으로 활용되는 등 그 응용범위는 다양하다^{6,7)}. 기존의 흡착제로 광범

위하게 이용되고 있는 활성탄소(activated carbon, AC)의 비표면적이 500-1,500m²/g 정도인 점을 고려해 보면 활성탄소섬유는 흡착제로써 매우 우수하다는 것을 알 수 있다^{8,9)}.

활성탄소섬유는 탄소섬유를 산화반응시켜 섬유표면에 기공을 발달시킴으로써 제조할 수 있다. 기공발달시키는 방법^{7,8)}을 크게 두가지로 분류하면 액상산화방법과 기상산화방법을 들 수 있는데, 액상산화법은 H₃PO₄나 HNO₃ 등의 액상산화제를 이용한 산화방법으로써 산화반응속도가 느리고 산화제의 제거를 위한 세척공정이 필요하다는 단점이 있다. 이에 비하여 기상산화법은 O₂, CO₂, H₂O 등의 산소함 유가스를 흘려보내면서 고온에서 산화반응시키는 방법으로써 잔존불순물이 없고, 빠른 시간동안에 고비표면적의 활성탄소섬유를 얻을 수 있기 때문에 공업적으로 널리 이용되고 있다. 기상산화방법은 섬유의 종류와 반응기체의 종류, 그리고 반응온도 및 시간 등의 산화반응조건에 따라 비표면적이나 미세공크기 등 활성탄소섬유의 최종특성이 달라진다⁷⁾. 따라서 원료섬유의 산화특성과 반응조건에 따른 산화기구를

평가하면 제조조건에 따라 여러 등급의 활성탄소섬유를 제조할 수 있다. 국내에서도 Rhee와 Ryu 등이 산화반응기체로 수증기를 이용하여 비표면적이 2,020m²/g에 이르는 우수한 활성탄소섬유를 제조하였으며¹⁰⁾, Kim과 Hong 등은 수증기에 의해 활성화된 탄소섬유의 비표면적이 3,285m²/g이 얻어진다고 보고하였다¹¹⁾.

본 연구실에서는 이미 TGA 장치를 이용하여 CO₂ gas 및 공기분위기에서 피치계 탄소섬유의 산화반응기구를 보고한 바 있다¹²⁾. 반응기체와 섬유의 종류에 따라 산화속도 및 표면변화에 심한 차이를 나타냈으며, CO₂ gas분위기보다 공기중에서 매우 빠른 산화속도를 보였다. 본 연구에서는 반응기체로 CO₂ gas를 이용하여 등방성 피치계 탄소섬유를 관상로에서 대량으로 산화반응시켰다. 반응온도와 반응시간을 변화시켜 산화조건에 따른 산화속도를 비교하였고, 산화된 섬유의 비표면적을 측정하여 활성화조건을 수립하고자 하였다.

2. 실험

2.1 원료

본 연구에서 사용한 시편은 본 논문 이전에 보고한 것과 같이 일본 Kureha사의 제품인 T-101S 피치계탄소섬유를

원료섬유로 사용하였다¹²⁾. 결정배향성에 따른 탄소섬유분류에 의하면 T-101S 섬유는 1000℃ 이하에서 제조되어 결정배향성이 무질서한 등방성 탄소섬유이다¹³⁾. 따라서 산화반응시 섬유내부에 많은 미세공을 발달시킬 것으로 기대되었다. 표 1에 T-101S 섬유의 물리적성질을 나타내었다.

2.2 산화반응

산화반응은 원료섬유를 수평식 관상로에 장입하여 800℃부터 1100℃까지 반응온도를 변화시키며 등온산화시켰다. 반응기체로는 CO₂ gas를 이용하였으며, 반응기체의 유량은 0.4 l/min으로 균일하게 흘려주었다¹²⁾. CO₂ gas가 흐르는 반응관내부의 온도가 반응온도에 도달하면 석영 boat를 이용하여 원료섬유를 반응관에 장입하였고, 반응관내에 일정시간 유지하여 산화시켰다. Burn-off는 섬유의 초기 무게와 산화반응후 무게를 비교하여 측정하였다.

2.3 분석

산화된 시편은 BET장치(Micrometric, ASAP 2000)를 이용하여 200℃에서 15시간 이상 진공(10⁻³Torr) 상태에서 degassing한 후에 77K에서 질소의 흡착등온곡선을 구하였다. 질소흡착에 의한 흡착등온곡선으로부터 BET식¹⁴⁾을 이용하여 비표면적(specific surface area; SSA)을 구하였다.

Table 1. Physical properties of T-101S carbon fiber.

Filament diameter(μm)	Tensile strength(MPa)	Modulus(GPa)	Elongation(%)	Density(g/cm ³)
14.5	720	32	2.2	1.65

3. 결과 및 고찰

3.1 등온산화반응

그림 1은 CO₂ 분위기에서 등방성의 T-101S 섬유의 중량 감소와 산화반응시간과의 관계를 나타낸 그림이다. 그림에서 중량변화가 0%인 반응의 초기점은 시편을 장입했을 때의 시간을 기준으로 하였다. TGA 장치를 이용한 실험결과와 마찬가지로 산화반응온도가 높아질수록 산화속도는 증가하였다¹²⁾. T-101S 섬유는 800℃에서 20%의 중량감소를 위해서는 10시간 정도의 시간이 필요하지만, 그 이상의 온도에서는 급격한 중량감소를 보여 900℃에서는 47분이면 20%의 중량감소가 일어나고 1000℃에서는 약 12분, 그리고 1100℃에서는 5분밖에 소요되지 않았다.

3.2 Rate constant

각 조건별 산화반응된 시편의 상대적인 반응성을 비교한 자료를 표 2에 나타내었다. T-101S 섬유를 산화반응시킨 후, 각 반응온도에서 20%의 중량감소가 일어났을 때의 기울기로부터 산화반응속도(mg/g min)를 계산하였다^{12, 15)}. 표의 오른쪽에는 normalized rate를 비교하였는데, 측정된 값중 가장 반응속도가 느린 800℃에서 산화시킨 시편의 반응속도를 기준(1.0)으로 하여 다른 시편들의 산화반응속도를 비교하였다. 반응온도가 올라갈수록 산화속도는 증가하여 1100℃에서 800℃에 비해 112.4배나 빠르게 산화되었

다.

그림 2는 반응온도와 섬유종류에 따른 반응속도를 보다 용이하게 비교하기 위하여 각각의 중량감소점에서의 normalized rate를 나타낸 그림이다. 반응온도가 높아질수록 산화속도는 커지고, 같은 온도에서 중량감소가 심해지면 산화반응속도가 감소하는 것을 관찰할 수 있다. 이렇게 중

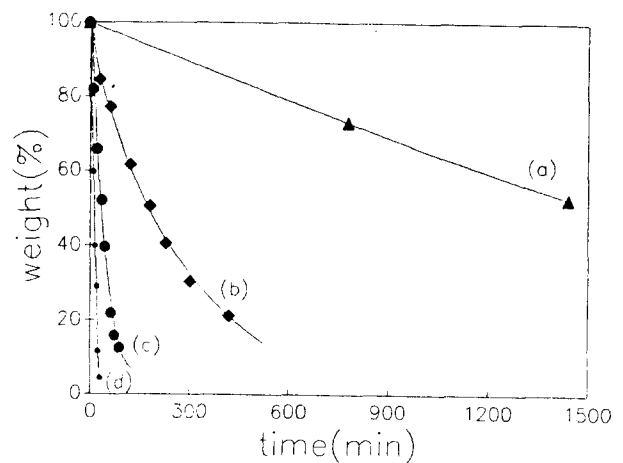


Fig. 1. Weight changes of T-101S carbon fibers as a function of reaction time in CO₂ gas : (a) 800℃, (b) 900℃, (c) 1000℃ and (d) 1100℃.

Table 2. Oxidation rates of T-101S carbon fiber at various temperature to 20% burn-off.

Temperature(°C)	Reaction rate (mg/g min × 10 ⁻³)	Normalized rates
800	0.3409	1.0
900	4.2346	12.4
1000	17.3010	50.8
1100	38.3142	112.4

Normalized to the rate at 800°C

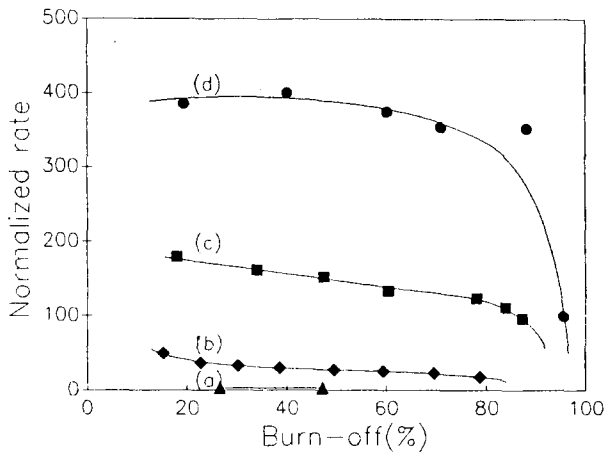


Fig. 2. Normalized oxidation rates of T-101S carbon fibers as a function of burn-offs : (a) 800°C, (b) 900°C, (c) 1000°C and (d) 1100°C.

량감소가 커질수록 산화반응속도가 저하하는 이유는 초기 산화반응이 급격하게 일어난 후 시간이 지날수록 반응에 기여할 수 있는 탄소섬유의 원자수가 감소하기 때문이다¹⁶⁾. 그러나 T-101S 섬유는 burn-off가 증가하여도 normalized rate의 변화는 미약한 편이다. 전보¹²⁾에서 실험한 HM-60 섬유는 burn-off에 따라서 연속적인 산화속도감소가 일어나 반면 T-101S 섬유는 burn-off가 상당히 일어나도 산화속도감소가 현저하지 않다. 1100°C에서 normalized rate는 19.3%의 burn-off가 일어났을 때 121.4이고 88%의 burn-off에서도 111.0의 속도로 유지하며, 그 후 95%의 burn-off에서는 31.4으로 감소한다. 이렇게 burn-off가 증가하여도 산화속도가 떨어지지 않는 것은 산화반응이 진행되어도 반응가능한 활성점의 수가 감소하지 않는다는 것을 의미하므로, T-101S 섬유의 섬유표면에서 안쪽으로 미세기공을 생성시키면서 진행된다고 판단된다.

3.3 활성화에너지

그림 3은 표 2의 산화반응속도에 자연대수를 취해 얻어진 Arrhenius도표이다. T-101S 섬유의 반응에너지는 46.3Kcal/mole이 얻어졌다. 그림 4의 활성화에너지값을 반응조절단계에 적용하면 T-101S 섬유는 zone 1의 영역에 해당한다^{15,17)}. T-101S 섬유가 zone 1의 화학반응에 의해 반응속도가 결정되므로 산화과정은 다음과 같은 단계에 의해 진행된다고 설명할 수 있다. 탄소원자와 기체와의 산화반응은

섬유의 결정립 모서리(활성점)에서 우선적으로 일어난다. T-101S는 등방성섬유이므로 섬유의 결정립 크기가 작다. 따라서 섬유표면은 반응가능한 활성점이 다량 존재하므로 반응초기에 활성점에서 탄소원자와 CO₂ gas와의 화학반응으로 섬유표면에 노출기공을 생성시킨다. 3.2의 결과에서 보았듯이 burn-off가 증가하여도 반응속도가 심하게 떨어지지 않는 것으로 보아 표면활성점이 열리는 초기반응 이후의 반응은 섬유표면으로부터 안쪽으로 진행되어 결국 기공이 깊어진다고 할 수 있다. Fuertes 등은 산화반응후 섬유의 비표면적과 기공도, 그리고 burn-off에 따른 반응성 등을 활성화과정의 반응조절단계를 이용하여 설명하였다¹⁸⁾. Fuertes 등은 zone 1의 영역에서는 비표면적이 크고 균일한 기공분포를 가지며, zone 2에서는 넓은 분포의 기공도를 나타내고 burn-off에 대한 반응성이 급격하게 변한다고 보고하였다. T-101S 섬유의 산화과정이 zone 1을 나타내며, 그림 2와 같이 burn-off가 증가하여도 반응속도가 감소하지 않는 것으로 보아 산화반응이 일어난 후 T-101S 섬유는 비표면적이 크고 균일한 미세공이 발달하였을 것으로 기대된다.

3.4 흡착등온곡선

그림 4는 CO₂ gas중에서 산화반응된 T-101S 섬유를 77K에서 질소흡착에 의해 얻어진 흡착등온곡선이다. 모든 섬유의 흡착등온곡선은 초기흡착량이 대단히 큰 Type 1의 곡선이 얻어졌다¹⁴⁾. 그림 4(a)에서 볼 수 있듯이 800°C

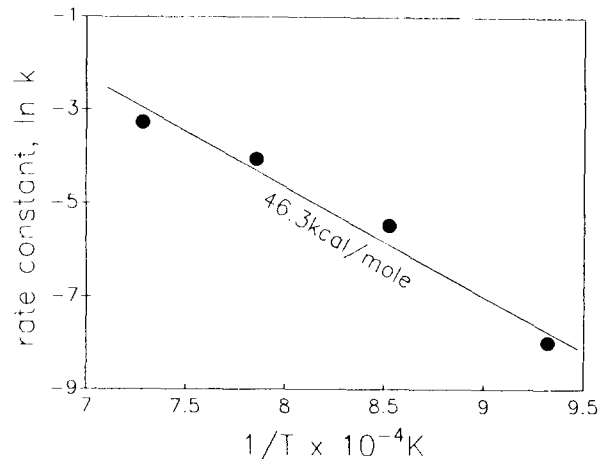


Fig. 3. Arrhenius plot for oxidation of T-101S carbon fiber in CO₂ gas.

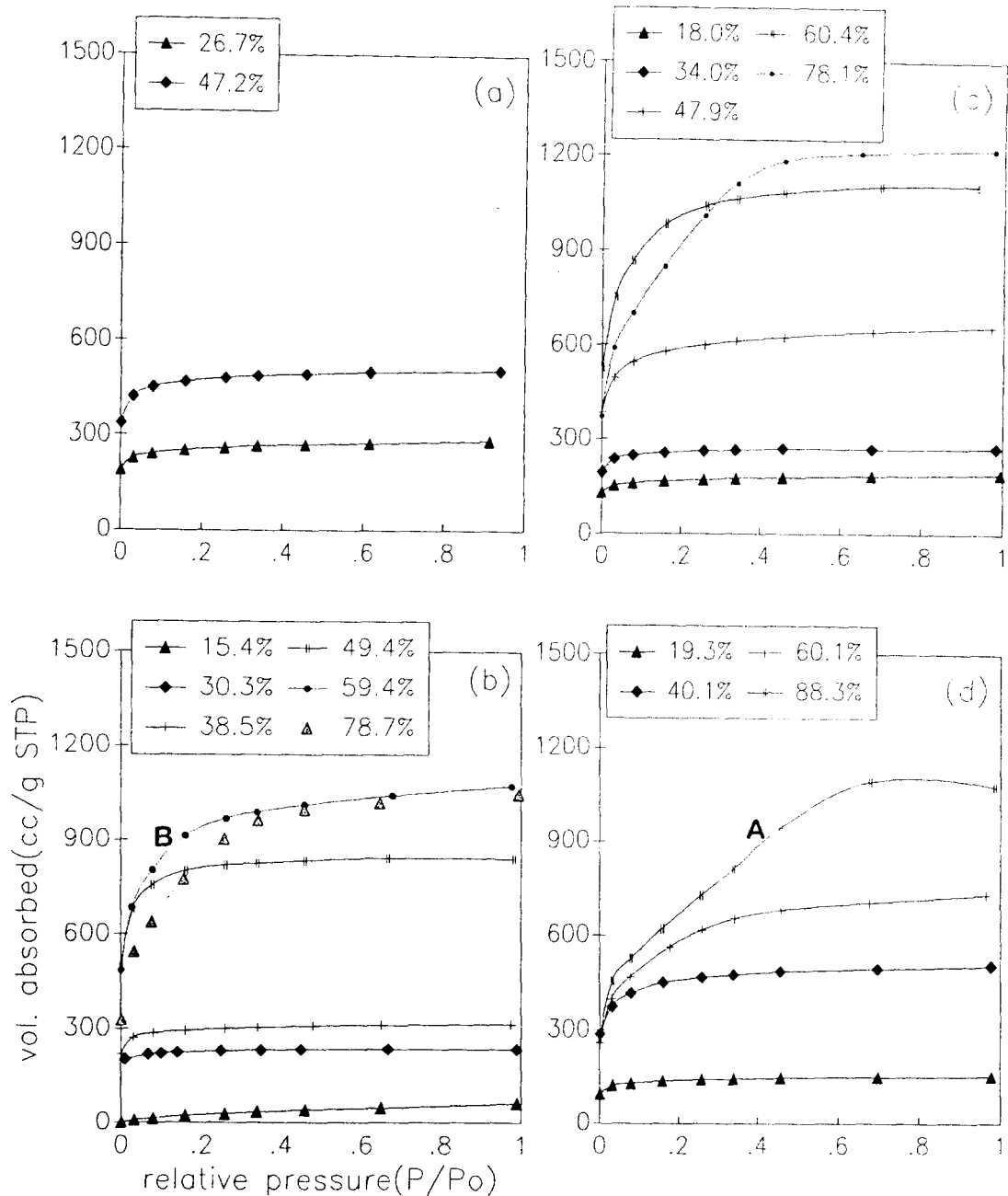


Fig. 4. Adsorption isotherms of nitrogen at 77 K on activated T-101S carbon fibers. The fibers were activated at (a) 800°C, (b) 900°C, (c) 1000°C and (d) 1100°C.

800°C에서 중량감소가 26.7%인 산화반응된 섬유는 77K에서 질소의 상대압 (P/P_o)이 0.0012일 때 190cc/g을 넘는다. Burn-off가 47.2%인 섬유도 상대압이 0.0015에서 336cc/g이나 되는 초기흡착량을 나타내었다. 측정된 시편 중 가장 작은 중량감소를 갖는 1000°C에서 18% burn-off된 섬유도 상대압 0.0013에서 129cc/g을 넘는 흡착량을 보였다. 그림에서 볼 수 있듯이 T-101S 섬유는 burn-off와 관계없이 초기흡착량이 크고, 탈착시에도 이력곡선이 나타나지 않는 것으로 보아 산화반응후 내부에 많은 미세기공이 형성되었음을 판단할 수 있다. 그러나 고온에서 산화된 섬유일수록, 또한 burn-off가 심할수록 흡착등온곡선의 형태는 Type I 으로부터 멀어지는 경향을 보인다.

그림 4 (d)는 1100°C에서 산화반응된 T-101S 섬유의 흡착등온곡선인데, 낮은온도에서 산화된 섬유의 흡착등온곡선과 차이가 있음을 알 수 있다. Burn-off가 40.1% 일어난 때까지는 초기흡착량이 대단히 크고 바로 이어서 평형부가 나타난다. Burn-off가 60.1%인 섬유는 초기흡착량은 대단히 크지만 상대압이 0.3이 될 때까지 약간의 기울기를 가지면서 흡착량이 증가하는 양상을 보인다. 더욱 산화되어 burn-off가 88.3%인 섬유는 burn-off가 작은 섬유에 비하여 초기흡착량은 크게 증가하지 않고 그래프에 표기한 'A'와 같이 상대압이 커지면서 점차로 흡착량이 증가하는 경향을 보인다. M.C. Mittelmeijer-Hazeleger 등과 F. Rouquerol 등은 이렇게 기울기를 보이는 흡착등온곡선은

미세기공(micropore)과 중기공(mesopore)이 발달된 매우 넓은 분포의 기공크기 분포를 갖는다고 보고하였다^{19, 20)}. 따라서 원료섬유에 존재하는 활성점의 수는 항상 일정하다고 볼 수 있으므로 고온에서 산화반응에 의해 생성된 기공은 저온에서 산화되어 생성된 기공보다 크다는 것을 의미한다.

그림 5는 900°C, 1000°C, 1100°C에서 각각 59.4%, 60.4%, 60.1%로 burn-off되어 산화정도가 비슷한 섬유의 흡착등온곡선을 비교한 그림이다. 900°C에서 반응된 시편보다 1000°C에서 산화된 섬유의 흡착량이 더 많은 것을 볼 수 있다. 그러나 1100°C에서 산화된 섬유의 흡착량은 900°C 시편에 비하여 오히려 크게 감소하였고 곡선의 경사부분도 완만하게 증가함을 알 수 있다. 이것으로 보아 고온에서 산화된 섬유에 발달하는 기공은 저온에서 산화된 섬유보다 더 크다는 것을 알 수 있으며, 전체적인 흡착량이 작은 것으로 보아 미세공부피도 작을 것으로 판단된다.

또한 900°C와 1000°C에서 산화된 섬유중 burn-off가 큰 산화섬유의 흡착등온곡선은(그림 4(b,c)) 1100°C와 유사하게 상대압이 커지면서 점차로 흡착량이 증가하는 경향을 보인다. 그러나 900°C 산화섬유의 흡착등온곡선을 유심히 살펴보면 1100°C 산화섬유의 곡선과는 다른 점을 발견할 수 있다. 그림 4(b)의 900°C에서 산화된 섬유의 흡착등온곡선을 보면 burn-off가 30.3%에서 59.4%로 증가함에 따라 1100°C에서와 유사하게 흡착초기 이후 평형부까지 도달하는 경사곡선 'B'의 길이가 길어지고 최종흡착량은 증가한다. 그러나 burn-off가 78.73%에 이르는 시편의 최종흡착량은 59.4% burn-off된 시편보다 작은 값을 갖는다. 이렇게 동일온도에서 burn-off가 심해지면 최종흡착량이 감소하는 것으로 보아 burn-off가 증가할수록 미세기공이 더 큰기공으로 성장하여 비표면적도 감소할 것으로 예상된다.

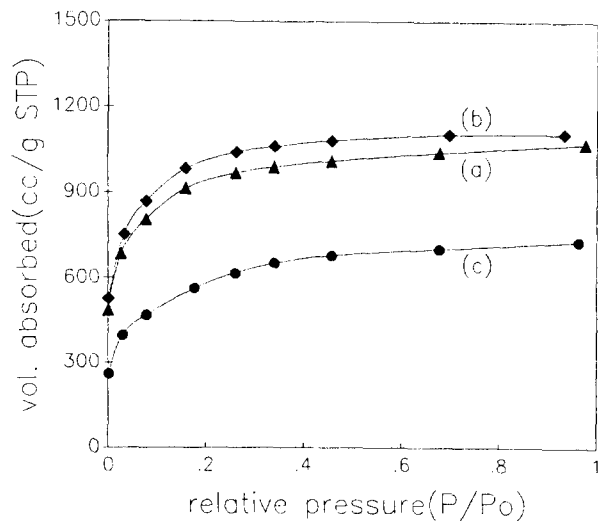


Fig. 5. Adsorption isotherms of nitrogen at 77 K on activated T-101S carbon fibers : (a) 900°C to 59.4% B.O., (b) 1000°C to 60.4% B.O. and (c) 1100°C to 60.1% B.O.

3.5 비표면적측정

그림 6은 burn-off에 따른 비표면적의 변화를 반응온도별로 나타낸 그림이다. 반응온도와 burn-off에 따라서 차이가 있지만 산화된 섬유는 모두 훌륭한 활성탄소섬유임을 알 수 있다. 전반적으로 burn-off가 커질수록 비표면적은 증가하였다. 800°C에서 26.7% burn-off된 시편의 경우 약 970m²/g의 비표면적을 가지며 47.2% burn-off된 시편은 1,825m²/g의 높은 비표면적을 나타내었다. 900°C와 1000°C에서 산화된 시편의 경우도 약 40% 정도의 burn-off가 일어난 시편까지의 비표면적은 800°C 산화시편의 비표면적 변화와 비슷한 경향을 가진다. 그러나 burn-off가 약 40%를 넘어서면서부터 비표면적변화의 양상은 달라진다. 900°C에서 산화되어 burn-off가 38.5%인 섬유의 비표면적이 1,156m²/g이고, 49.4% burn-off된 산화섬유의 비표면적은 3,072m²/g으로 매우 큰 증가를 나타내었다. 1000°C에서 산화된 시편도 900°C에서와 같은 양상을 보였다. 그러나 900°C와 1000°C에서 burn-off가 약 60%를 넘어서면 산화시편의 비표면적값은 오히려 감소하는 경향을 나타낸다. 이 결과로 미루어 보아 탄소섬유의 산화반응시 burn-off가 약 40%~60%사이의 범위에서 내부에 발달하는 기공구조에 특별한 변화가 있다고 판단된다. R.C. Bansal 등은 burn-off가 심해지면 미세공이 큰 기공으로 변한다고 하였다²¹⁾. 그림 4(b,c)에서 흡착등온곡선의 흡착량은 40~60%의 burn-off에서 크게 증가하였다. 따라서 40%~60% 정도의 burn-off가 일어나면 섬유내부에 발달하는 미세공이 섬유내부로 깊어지면서 균일해지는 것으로 생각된다. Burn-off가 증가하여 60% 이상에서 비표면적이 감소하는 것은 그림 4(b,c,d)의 흡착등온곡선에서 설명한 바와 같이 기공의 직경이 커지며, M. Molina-Sabio 등이 주장한 것처럼 burn-off가 커질수록 섬유의 외부표면에서의 산화가 심해지기 때문이라고 생각된다²¹⁾. 1100°C에서 산화된 시편은 40% 이상 burn-off되어도 비표면적은 크게 증가하지 않고 60%를 지나서도 계속해서 증가하는 현상을 보인다. 미세공이 발달할수록 비표면적은 증가한다. 1100°C에서 40% 이상 burn-off되어도 비표면적이

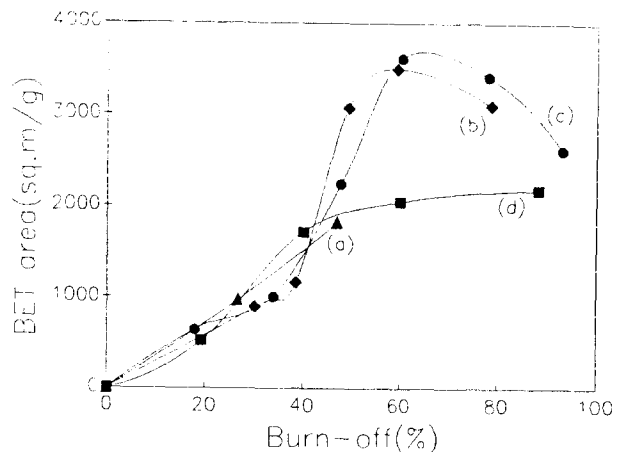


Fig. 6. Specific surface area of T-101S fibers as a function of burn-offs : (a) 800°C, (b) 900°C, (c) 1000°C and (d) 1100°C.

급격하게 증가하지 않는 것은 비표면적에 기여하는 미세공분율이 낮기 때문이라고 판단되며, 이것은 그림 5의 결과에서 본 것처럼 초기에 생성된 기공의 크기가 낮은 온도에서 생성된 기공에 비하여 크기 때문이라고 판단된다.

1000℃에서 산화되어 60.4% burn-off된 시편의 비표면적은 3,614m²/g으로 측정되어 가장 큰 값을 나타내었다. 탄소재료의 이론적인 비표면적은 2,630m²/g이 한계이지만 3,000m²/g 이상의 비표면적을 갖는 활성탄소재료가 여러 문헌에서 보고되고 있다⁵⁾. Kaneko 등은 활성탄소재료는 미세결정립의 크기가 매우 작으며(5nm 이하), c-축의 거리가 흑연결정보다 크기 때문에 무질서하게 적층되어 있는 미세한 흑연결정립층이 미세기공의 벽으로 작용한다면 2,630m²/g 이상의 높은 비표면적을 나타낼 수 있다고 주장하였다¹³⁾. 본 연구에 사용한 원료섬유는 미세한 흑연결정립들이 무질서한 배향을 하고 있는 등방성섬유이기 때문에 미세기공의 벽으로 작용할 수 있는 결정립층이 많다고 할 수 있다. 따라서 T-101S 섬유는 산화반응후 최고 3,000m²/g 이상의 높은 비표면적을 나타낸 것으로 판단된다.

4. 결 론

T-101S 섬유를 관상로를 이용하여 CO₂ gas 분위기에서 등온산화반응시킨 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) T-101S 섬유는 burn-off가 증가하여도 반응속도는 크게 감소하지 않았다. 이것은 산화반응이 진행되어도 반응가능한 활성점의 수가 감소하지 않는다는 것을 의미하므로, T-101S 섬유의 섬유표면에서 안쪽으로 미세기공을 생성시키면서 진행된다고 판단된다.

2) 800℃와 900℃에서 산화된 섬유의 비표면적은 40%~60% 정도의 burn-off 영역에서 급격한 증가를 나타냈으며, burn-off가 60% 부근에서 오히려 감소하였다. 또한 1100℃에서 산화된 섬유는 40% 이상 burn-off되어도 비표면적은 크게 증가하지 않고 60%를 지나서도 계속해서 표면적이 증가하는 현상을 나타내었다. 이 결과로 보아 섬유내부에 발달하는 기공구조가 반응온도와 산화도에 따라 달라진다고 생각된다.

3) CO₂ gas를 이용하여 T-101S 섬유를 산화반응시키면 비표면적이 큰 좋은 활성탄소섬유를 얻을 수 있으며, 1000℃에서 60%의 burn-off가 일어난 산화섬유의 비표면적은 3,614m²/g로 가장 큰 값이 얻어졌다.

4) 등방성 피치계 탄소섬유는 미세한 흑연결정립들이 무질서한 배향을 하고 있으며, 미세기공벽으로 작용할 수 있는 결정립층이 많기 때문에 활성탄소섬유 제조를 위한 원료로 적합하다고 판단된다.

참 고 문 헌

1. P. Ehrburger, N. Pusset and P. Dzedzinlo, Car-

- bon, **30**, 7, 1105 (1992)
2. A. Oya and S. Yoshia, Carbon, **34**, 1, 53 (1996)
3. J.J. Freeman, F.G.R. Gimblett and K.S.W. Sing, Carbon, **27**, 1, 85 (1989)
4. T. Suzuki and K. Kaneko, J. Colloid Interface Sci., **138**, 590 (1990)
5. K. Kaneko, C. Ishihi, M. Ruike and H. Kuwabara, Carbon, **30**, 7, 1075 (1992)
6. K. Koshida, 'Carbon', 403, John Wiley & Sons (1988)
7. T. Wigamns, Carbon, **27**, 1, 13 (1989)
8. Jose B. Para, Jose C. de Sousa, Jose J. Pis, Jesus A. Pajares and Roop C. Bansal, Carbon, **33**, 6, 801 (1995)
9. Shivaaji Sircar, Carbon, **25**, 1, 39 (1987)
10. J.S. Chae, K.R. Ko, C.H. Chung, B S. Rhee and S.K. Ryu, HWAHAK KONGHAK **31**, 1, 99 (1993)
11. J.Y. Kim and I.P. Hong, HWAHAK KONGHAK **32**, 6, 778 (1994)
12. J.S. Roh and D.S. Suhr, Korean J. Materials Reaserch, **7**, 2 (1997)
13. J.B. Donnet and R.C. Bansal, 'Carbon Fibers' 2nd ed., 84, Marcel Decker, inc. (1990)
14. T. Li and X. Zheng, Carbon, **33**, 4, 469 (1995)
15. P.L. Walker Jr., F. Rusinfo Jr. and L.G. Austine, 'Advnced in Catalysis', 11, 133, Ed. by D.D. Eley, P.E. Selwood and P.B. Weisz, Academic press, New York, 1959
16. Ismail M. K. Ismail, Carbon, **29**, 6, 777 (1991)
17. A.B. Fuertes, G. Marban and J. Muniz, Carbon, **34**, 2, 223 (1996)
18. S.j. Gregg and K.S. W. Sing, 'Adsorption, Surface Area and Porosity', 4, Academic Press, London, 1982)
19. M.C. Mittelmeijer-Hazeleger and J.M. Martin-Martinez, Carbon, **30**, 4, 695 (1992)
20. European carbon confarence '96, The univ. of Newcastle upon Tyne, pp. 2, 'Interpretation of Physisorption data on active carbons' - F. Rouquerol, J. & K.S.W. Sing, and P.J. M. Carrott, R.A. Roberts, K.S. W. Sing, in 'Characterization of porus solid', Elsevier, Amsterdam (1988) 89 - 100
21. M. Molina-Sabio, M.T. Gonzalez, F. Rodriguez-Reinoso and A. Sepulveda-Escribano, Carbon, **34**, 4, 505 (1996)