

담배용 흡착제들의 동공 특성에 관한 연구

임광수, 정용순*, 이영택
한국인삼연초연구원 상품개발부, 충북대학교 화학과*

Studies on Pore Characteristics of Several Adsorbents

Kwang Soo Rhim, Yong Soon Chung*, Young Taek Lee
Div. of product development, KGTRI
*Dept. of chem., Chung Buk National Univ.**

ABSTRACT : Various active carbons were made from plant sources of coconut shell, pine tree, oak tree and lignite coal. Pore characteristics of these adsorbents were investigated.

1. With increasing activation time, specific surface area and pore volume increased, but the development of micropores was limited at a certain level. The average pore diameter, by BET, of coconut active carbon was 15.5 - 21.8 Å and that of lignite carbon was 15.6 - 31.3 Å. The pore diameters of silica - gel, sepiolite and zeolite was 30.9 Å, 58.6 Å and 55.7 Å, respectively.

2. The Horvath - Kawazoe micropore diameter of coconut shell active carbon was under 10.5 Å and that of the other active carbon was under 20.9 Å but silica - gel 33 Å, sepiolite 103 Å and zeolite was unexpectedly large to be 175 Å. From the difference between BET micropore diameter and Horvath - Kawazoe diameter, it could be said that silica - gel has comparatively uniform pore diameter but sepiolite and zeolite have very uneven diameter.

3. Total pore volume of coconut shell active carbon was 0.27 - 1.04 cm³/g but that of the other active carbon, 0.23 - 0.62 cm³/g, was much lower than that of coconut shell active carbon. Hydrophilic adsorbent silica - gel and sepiolite showed big difference in specific surface area, but pore volumes of these were 0.47 and 0.56 cm³/g showing similar value and micropore volumes of these were, respectively, 0.06 cm³/g and 0.04 cm³/g. Total pore volume of zeolite was 0.1 cm³/g and that of micropore was only 0.02 cm³/g.

* 연락저자 : 임광수. 305 - 345. 대전직할시 유성구 신성동 302, 한국인삼연초연구원

Corresponding Author : Kwang Soo Rhim, Korea Ginseng & Tobacco Research Institute. 302 Shinsong - Dong, Yusong - Ku, Taejeon City 305 - 345, Korea.

서 론

담배 연기 중 입자상 물질의 제거에는 섬유상 필터 (fibrous filter)에 의한 여과나 공기 회석 방법이 효과적이고, 증기상 물질이나 가스상 물질은 공기 회석이나 흡착제에 의한 제거 방법이 효과적인 것으로 되어 있다¹⁻⁶⁾. 이러한 증기나 가스상 물질의 제거는 주로 활성탄, 제올라이트, 규산마그네슘 및 실리카 겔등⁷⁻¹⁰⁾에 의한다는 연구결과가 많이 보고되어 있으나, 흡착제 자체 특성과 연관한 보고는 거의 없다.

활성탄이 다른 흡착제에 비하여 흡착력이 큰 것은 비표면적이 클 뿐만 아니라 잘 발달된 미세한 동공이 많기 때문이다. 또한 활성탄은 동공 크기 분포가 큰 까닭에 분자량이 작은 증기상 성분은 물론 비교적 분자량이 큰 방향족 탄화수소¹¹⁾ 까지도 흡착하므로, 흡연시 향기 성분마저 흡착하여 담배 맛에 부정적 영향을 미치기도 한다. 따라서 일부 제품에서는 활성탄을 사용하면서 활성탄 이외의 보조 흡착제를 사용하기도 한다.

활성탄은 원료에 따라 물리적 특성과 흡착 특성이 서로 다르기 때문에, 본 연구에서는 원료별로 식물계 활성탄인 소나무, 참나무 및 coconut char와 석탄계인 lignite char로 활성화 조건을 달리한 활성탄을 제조하여, 그들의 동공 특성을 분석하고 활성탄 외에 근래에 담배 연기 흡착제로서 관심을 갖기 시작한 세피얼라이트와 제올라이트 및 실리카 겔에 대한 동공특성도 함께 분석하였다.

재료 및 방법

1. 흡착제 시료

활성탄 제조에 사용된 원료중 야자각 char는 필리핀 민다나오산('93), 갈탄 char는 호주산으로 고압성형한 것을 14-35 mesh로 분쇄하여 사용하였다. 소나무와 참나무는 chip을 탄화한 후 활성화하였다.

실리카 겔은 극동 규산소다 공업사에서 제조한 한국공업규격 KSA 2110의 A type을, 세피얼라이트는 스페인 Tolsa Group에서 채굴 건조한 담배 필터용을, 그리고 제올라이트는 경상북도 영일군에서 채취가 공한 것을 사용하였다.

2. 활성화 장치

본 연구에 사용한 활성탄과 char의 제조 공정 및 제조 장치는 Fig.1과 같다.

야자각과 갈탄 활성탄 제조는 수직 8 단의 다단로 내에 char를 투입하기전, 로 shaft를 0.25 rpm으로 조정하고, 로의 온도를 920℃(첫째단 로의 온도는 700℃)로 올린 후 수증기를 850 kg/hr씩 공급하면서 로 내부를 활성화 분위기로 유지하였다.

분위기가 이렇게 유지된 로에 char를 투입하고

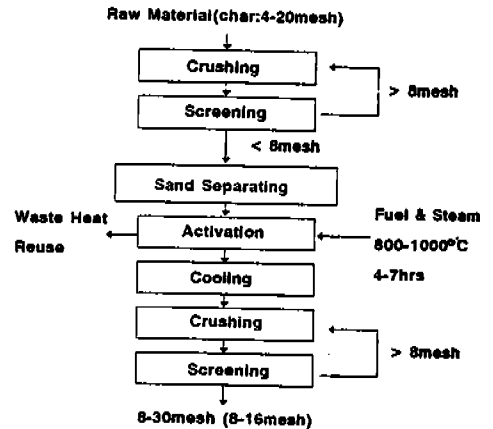


Fig. 1 Flow chart of granular active carbon manufacturing.

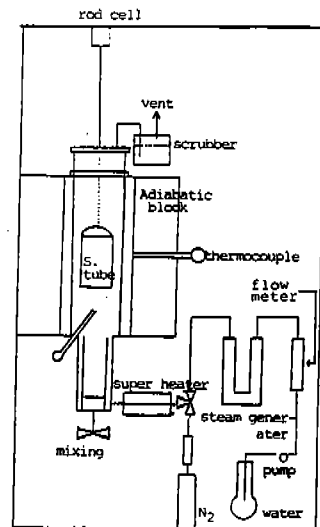


Fig. 2 Schematic diagram of activation apparatus.

활성화 시간을 조절하면서 제조한 활성탄을 본 연구에 사용하였으며 이후 흡착제에 표기된 1,2,3...은 활성화된 시간을 의미하여 야자각 활성탄은 Co-1, Co-2,...으로, 참나무 활성탄은 Oa-1, Oa-2,..., 소나무는 Pi-1, Pi-2,..., 갈탄은 Li-1, Li-2,...식으로 표기하였다.

참나무 및 소나무 활성탄의 제조는 Fig.2에 도시한 활성화 장치에서 80 mesh의 스테인레스강 망으로 된 반응로에 일정량의 char(약 80 g)를 넣고 20 °C/min로 500 °C까지 상승시켜 10분간 유지한 후, 반응온도인 800 °C까지 10 °C/min로 상승시켰다. 이때 예열된 수증기는 다시 700 °C의 super heater를 통해 반응로에 공급하면서 활성탄을 각각 1,2,3시간 반응시켜 제조하였으며, 이때 수증기 투입량은 6.5 cm³/g 이었다.

3. 비표면적, 동공 용적 및 동공 크기¹²⁾

본 실험에 사용한 활성탄 및 무기 흡착제의 동공 용적과 크기 및 분포는 주어진 압력에서 흡착된 흡착질의 양으로부터 계산 하였다. 시료의 동은 흡탈착곡선은 ASAP 2000 (미국, Micromeritics사) 용량식 흡착장치를 사용하여 얻었다.

한편, ASAP 2000 system에서의 측정결과를 보완하고 흡착제의 20 Å미만의 동공 분포를 구체적으로 측정하기 위하여 진공도 10⁻⁶ mmHg의 Molecular Dragon Pump가 부착되어 있는 ASAP 2000M에 액체 아르곤을 사용하여 상대압력 10⁻⁶부터 1까지 65 points 등은 흡착선을 얻고 이로부터 BET식, Horvath-Kawazoe¹³⁾(H-K)식과 MP-method¹⁴⁾를 이용하여 micropore의 분포를 알아보았다.

결과 및 고찰

활성화 시간별로 제조한 야자각 활성탄 8종과 소나무, 참나무 및 갈탄을 원료로 한 9종의 활성탄에 대한 흡탈착 등온선을 Fig.3에, 무기흡착 제3종의 흡탈착 등온선은 Fig.4에 도시하였으며 이 식으로부터 BET 및 Langumir 비표면적, 미세동공 비표면적과 single point 측정법에 의한 총동공 용적, t-plot법에 의한 미세동공 용적 및 동공의 크기를 계산하여 table 1, 2 나타내었다.

활성화 시간이 경과함에 따라 야자각 활성탄의

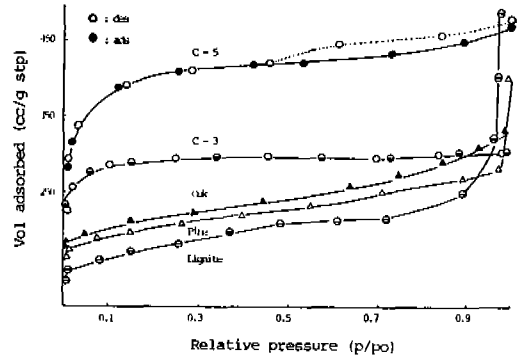


Fig. 3 Adsorption isotherm of active carbon

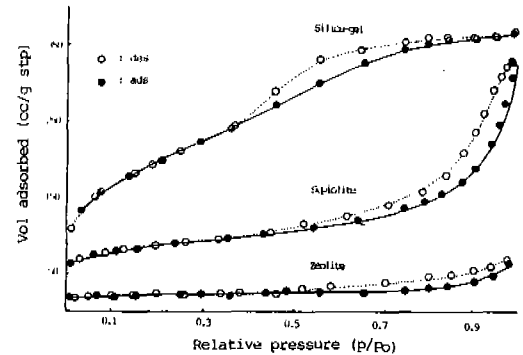


Fig. 4 Adsorption isotherm of silica-gel, sepiolite and zeolite

BET 비표면적은 1,905 m²/g, 총동공 용적은 1.04 cm³/g 까지 증가하였으나, 미세동공 비표면적이나 미세동공 용적은 BET 비표면적 1,510 m²/g 이상에서는 오히려 감소하는 경향이 있었다.

총 동공 용적에 대한 미세동공 용적의 비율은 야자각 활성탄의 경우, 활성화 시간이 짧아, 비표면적이 작을 때에는 93%(Co-1)까지 점하였으나 활성화 시간이 길어지면서 비표면적이 최고점에 이른 Co-7의 경우에는 44%까지 낮아졌다. 그러나 실리카 겔(7.1%)이나 세피올라이트(13%), 제올라이트(20%)는 활성탄에 비하여 현격히 낮은 미세동공 용적을 나타내었다.

소나무 활성탄의 BET 비표면적은 최대의 경우 796 m²/g, 참나무 활성탄은 818 m²/g, 갈탄은 735 m²/g이였으며, 총동공 용적은 각각 0.62 cm³/g, 0.52 cm³/g, 0.55

Table 1. Surface area and pore volume of adsorbents analyzed by ASAP 2000

Sample	SSA (m ² /g)			Pore volume(cm ³ /g)	
	BET	Micro	Langmuir	Total	Micro
Char	458	397	491	0.21	0.15 (71)
Co-0.5	791	749	847	0.31	0.29 (93)
Co-1	958	903	1025	0.38	0.35 (92)
Co-2	1089	1008	1168	0.44	0.39 (88)
Co-3	1170	1064	1256	0.48	0.41 (85)
Co-4	1290	1150	1389	0.60	0.44 (73)
Co-5	1510	1202	1618	0.74	0.48 (65)
Co-6	1836	1124	1972	0.98	0.48 (46)
Co-7	1905	1041	2035	1.04	0.46 (44)
Char	469	401	501	0.20	0.16 (80)
Pi-1	550	511	589	0.22	0.20 (91)
Pi-2	620	516	664	0.30	0.20 (67)
Pi-3	796	585	854	0.62	0.23 (37)
Char	376	313	403	0.17	0.12 (71)
Oa-1	555	502	594	0.23	0.19 (83)
Oa-2	625	474	670	0.36	0.19 (53)
Oa-3	818	587	876	0.52	0.23 (44)
Char	374	323	400	0.17	0.12 (71)
Li-1	574	432	615	0.28	0.17 (61)
Li-2	699	515	748	0.54	0.20 (37)
Li-3	735	540	787	0.55	0.21 (58)
Silica-gel	722	92	1016	0.56	0.04 (7.1)
Sepiolite	319	150	363	0.47	0.06 (13)
Zeolite	74	49	80	0.10	0.02 (20)

* Values in parenthesis represent the ratio(%) of micropore volume to the total pore volume and the number in sample column means the activation time(hr).

cm³/g으로 야자각 활성탄보다는 월등히 낮았다. 이때 총동공 용적 대비 미세동공 용적의 비율은 야자각 보다는 낮지만 유사한 경향을 보이고 있다. 미세동공 용적은 최대 수준이 0.17-0.23 cm³/g으로 야자각 보다 낮을뿐 아니라 활성화 시간에 따라 큰 변화를 주지 않았다. 활성탄의 동공경은 활성화 시간이 증가함에 따라 증가하는 경향이었으며 원료간에는 큰 차이가 없었다.

그리고 BJH법에 의한 20 Å이하의 미세동공경은 (table 2)야자각이 13.4-15.3 Å, 소나무 참나무 및

갈탄이 12.5-14.0 Å으로 유사하지만, mesopore의 동공경은 갈탄이 월등히 높고, BET 동공경도 다른 활성탄에 비하여 약간 높게 나타났다.

무기 흡착제의 미세동공경에 있어서는 제올라이트가 가장 작은 값(12.1 Å)을 나타내고 실리카 겔이 가장 높은 값(17.4 Å)을 나타내고 있다.

동일한 흡착제의 미세동공을 좀 더 심도있게 비교하기 위하여 아르곤 가스를 이용한 ASAP 2000M으로 분석한 결과 BET 비표면적 뿐만 아니라 미세동공 비표면적 및 동공 용적등도 질소 측정값과 아

Table 2. Average pore diameter of adsorbents analyzed by ASAP 2000

Samples	BET	BJH		
		< 20 Å	20 - 500 Å	> 500 Å
Char	18.1	13.6	30.4	613
Co - 0.5	15.5	13.5	425	904
Co - 1	15.6	13.4	22.7	
Co - 2	16.1	13.6	29.0	
Co - 3	16.3	13.6	28.5	
Co - 4	17.0	13.7	30.4	
Co - 5	19.5	14.0	36.0	569
Co - 6	21.2	15.0	33.4	613
Co - 7	21.8	15.3	34.6	615
Char	16.9	14.0	21.8	
Pi - 1	15.6	13.2		1027
Pi - 2	19.0	13.7	38.3	
Pi - 3	31.3	13.6	42.7	769
Char	17.7	13.4		
Oa - 1	16.4	13.7	26.5	
Oa - 2	22.7	13.8	42.1	
Oa - 3	25.2	13.7	47.5	613
Char	18.6	12.5	402	578
Li - 1	25.1	13.4	91.8	598
Li - 2	31.2	13.8	66.7	656
Li - 3	30.1	13.7	62.0	630
Silica - gel	30.9	17.4	33.6	668
Sepiolite	58.6	16.0	85.0	593
Zeolite	55.7	12.1	77.5	712

르곤값에 차이가 나는데, 이는 측정기체의 quadrupole moment 크기(질소 : $0.31 \times 10^{-24} \text{cm}^2$, 아르곤 : 0) 나 분자 크기(질소 분자는 한쪽방향으로 3 및 4.1 Å이고 아르곤 분자는 3.83 Å) 및 측정 온도차이(질소 : 77.3 K, 아르곤 : 87.4 K) 때문으로 생각된다.^{15,16, 17)}

ASAP 2000M으로 측정한 BET 비표면적에 대비한 t - plot에 의한 미세동공 비표면적의 비율을 보면(table 3) 야자각은 94% 이상, 기타 활성탄은 총비표면적의 58 - 96%가 미세동공에 의한 비표면적이었다.

활성화 시간이 증가하면 BET 비표면적 뿐만 아니라 미세동공 비표면적도 증가하지만 어느 정도

한계가 있다는 것을 알 수 있었다. 실리카 겔과 세피올라이트 및 제올라이트의 미세동공 비표면적 비율은 20 - 58% 수준으로 낮았다.

Matsumura¹⁸⁾는 야자각 활성탄에서 대부분의 비표면적이 직경 7.1 Å 이하의 동공에 의한 것이라고 하였는데 table 3에서 H - K법에 의한 야자각 활성탄의 median 동공경은 모두 10.5 Å 이하이고 Co - 4까지는 모두 7 Å이하인 것을 볼때 본 연구 결과와 상당히 일치하는 시험결과라 할 수 있다.

소나무나 참나무의 H - K median 동공경은 어느 정도 야자각과 일치하지만, 3시간 활성화한 제품의 동공경은 현저히 높아졌다. 이는 원료나 활성화 방

Table 3. Surface area and pore diameter of adsorbents analyzed by ASAP 2000M

Sample	SSA (m ² /g)			Diameter(Å)	
	BET	Micro Pore	MP	Median	MP
Char	392	217	249	6.1	6.0
Co-0.5	788	781	947	6.2	6.4
Co-1	872	854	1012	6.5	6.8
Co-2	1014	1000	1150	6.7	7.0
Co-3	1095	1081	1196	7.0	7.4
Co-4	1394	1372	1504	6.9	7.4
Co-5	1470	1395	1510	8.3	8.6
Co-6	1725	1629	1750	10.0	9.8
Co-7	1656	1551	1683	10.5	10.0
Char	274	184	351	5.6	6.0
Pi-1	540	476	623	7.6	8.8
Pi-2	773	628	866	9.2	9.4
Pi-3	812	600	860	13.4	11.4
Char	391	201	500	6.3	6.0
Oa-1	489	467	596	6.4	7.2
Oa-2	644	376	748	7.1	8.0
Oa-3	781	496	785	20.9	12.6
Char	405	289	510	6.5	6.2
Li-1	613	375	633	12.1	8.4
Li-2	610	509	554	17.4	6.6
Li-3	666	534	629	13.8	7.0
Silica-gel	575	115	545	33.2	20.2
Sepiolite	258	95	215	102.8	24.6
Zeolite	69	40	24	174.9	6.4

법에 따라, Burn-off가 증가할 때 micropore가 넓어져서 mesopore 용적이 증가한다고 한 F.R-Reinoso¹⁹⁾ 등의 실험 결과와도 일치하는 것이다. 갈탄의 median 동공경은 12.1-17.4 Å으로 식물계 보다 매우 높은 값을 나타내고 있는데 이는 갈탄의 mesopore 경이 다른 원료 활성탄에 비하여 월등히 높게 나온 결과와도 일치한다. Fig.5에 원료별 활성탄의 동공경에 대한 미분 동공용적을 나타내었는 바 비슷한 비표면적 수준에서 야자각 활성탄의 micropore가 가장 잘 발달된 것을 쉽게 알 수 있었다. Fig.6에는 무기 흡착제의 MP법에 의한 미분 동공용적을 비교하였는데 H-K법에 의한 실리카 겔의 median 동공경

33.2 Å, 세피올라이트 102.8 Å, 제올라이트 174.9 Å와 같은 경향이였다.

모든 동공이 균일한 원통형이라고 가정하고 도출한 식(4V/S)에서 산출한 BET 동공경과 총 동공 용적의 반이 되는 점에서의 동공경을 나타내는 H-K median 동공경의 차이를 비교할 때 (table 2, 3) 동공경의 상대적인 균일성을 알 수 있다. 야자각 활성탄은 그 차이가 9.3-11.3 Å(BET법, 15.5-21.8 Å~H-K법, 6.2-10.5 Å), 소나무 8-17.9 Å(15.6-31.3 Å~7.6-13.4 Å), 참나무 10-4.3 Å(16.4-25.2 Å~6.4-20.9 Å), 갈탄 13-12.8 Å(25.1-30.2 Å~12.1-17.4 Å), 실리카 겔 2.3 Å(30.9-33.2 Å), 세피올라이트 44.2 Å(58.6

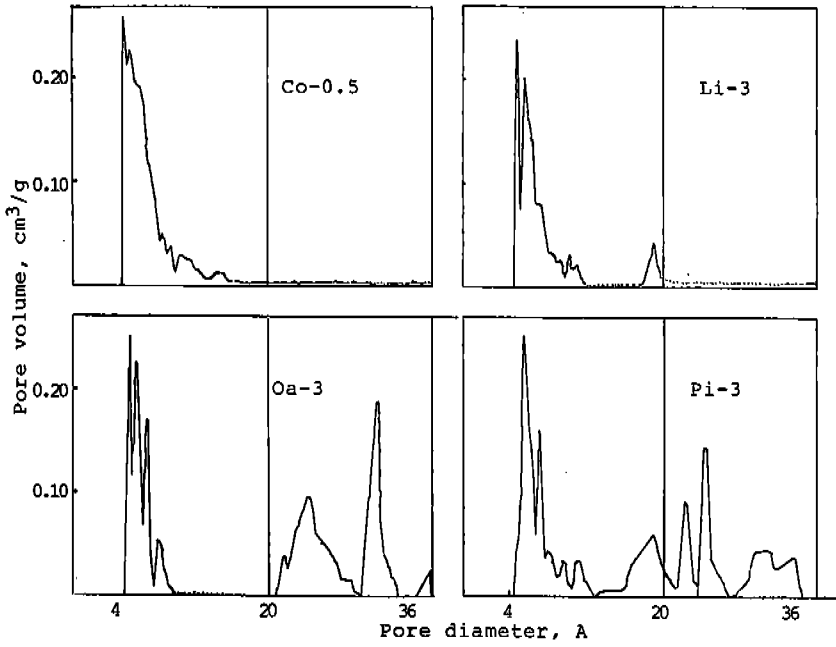


Fig. 5 Plots of differential pore volume versus pore diameter of active carbons made from plant source.

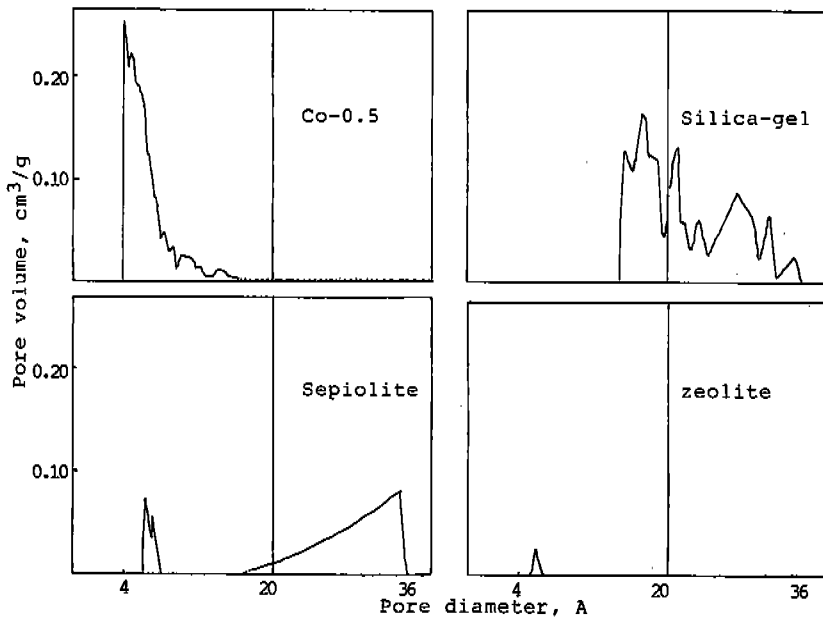


Fig. 6 Plots of differential pore volume versus pore diameter of mineral adsorbents.

Table 4. Pore volume of adsorbents analyzed by ASAP 2000M

(unit : cm³/g)

Samples	t - Plot 미세동공	Maxi - mum	H - K		MP	
			< 20 Å (%)	< 8 Å (%)	< 20 Å	< 8 Å
Char	ND*	0.06	0.06 (100)	0.05 (83.8)	0.10	0.08
Co - 0.5	0.29	0.30	0.29 (96.7)	0.22 (73.3)	0.30	0.25
Co - 1	0.33	0.37	0.35 (94.6)	0.18 (48.7)	0.36	0.28
Co - 2	0.38	0.40	0.37 (92.5)	0.27 (67.5)	0.39	0.31
Co - 3	0.42	0.44	0.41 (93.2)	0.28 (63.6)	0.44	0.30
Co - 4	0.55	0.57	0.54 (94.7)	0.36 (63.2)	0.57	0.42
Co - 5	0.58	0.70	0.58 (82.9)	0.34 (48.6)	0.60	0.31
Co - 6	0.77	0.93	0.73 (78.5)	0.37 (40.0)	0.80	0.11
Co - 7	0.75	0.93	0.71 (76.3)	0.35 (37.6)	0.77	0.06
Char	0.06	0.11	0.10 (90.9)	0.08 (72.7)	0.10	0.08
Pi - 1	0.20	0.28	0.21 (75.0)	0.15 (53.6)	0.21	0.13
Pi - 2	0.26	0.46	0.30 (65.2)	0.21 (45.7)	0.29	0.18
Pi - 3	0.26	0.56	0.32 (57.1)	0.21 (37.5)	0.29	0.16
Char	0.15	0.14	0.14 (100)	0.12 (85.7)	0.15	0.13
Oa - 1	0.10	0.21	0.18 (85.7)	0.14 (66.7)	0.20	0.14
Oa - 2	0.23	0.32	0.24 (75.0)	0.18 (56.3)	0.24	0.17
Oa - 3	0.19	0.61	0.30 (49.2)	0.20 (32.8)	0.19	0.16
Char	0.10	0.16	0.15 (93.8)	0.12 (75.0)	0.16	0.13
Li - 1	0.10	0.41	0.23 (56.1)	0.16 (39.0)	0.18	0.15
Li - 2	0.20	0.45	0.23 (51.7)	0.17 (37.8)	0.19	0.15
Li - 3	0.21	0.46	0.25 (54.4)	0.18 (39.1)	0.22	0.16
Silica - gel	0.18	0.57	0.19 (33.3)	0.05 (8.8)	0.27	
Sepiolite	0.04	0.35	0.11 (31.4)	0.06 (17.1)	0.03	0.02
Zeolite	0.02	0.10	0.03 (30.0)	0.02 (20.0)	0.01	0.01

* ND : Not detected

* Values in parenthesis represent the ratio of micro and submicropore volume to the maximum pore volume.

Å - 102.8 Å)이고 제올라이트는 119.2 Å(55.7 Å - 174.9 Å)으로 가장 균일한 것은 실리카 겔이고 그다음은 야자각 및 참나무 활성탄이고 제올라이트가 가장 불균일하였다.

또 비표면적이 증가하면서 H-K median 동공경이 증가하였는데 이는 Laine²⁰⁾ 및 Reinoso 등¹⁹⁾의 연구 결과와도 일치하였다. H-K median 동공경은 총동공 용적을 비표면적으로 나누어 계산한 평균적 의미의 BET 동공경 보다 더욱 구체적이고 의미가 있는 값으로 생각된다.

비표면적이 증가하면서 미세동공 비표면적과 동공경이 같이 증가한다는 것은 활성화 시간이 증가하는 동안 활성점에서의 탄소가 계속 산화되면서 새로운 미세동공이 형성될 뿐 아니라 기존의 미세동공들은 커지거나 이웃의 미세동공과 합쳐지면서 새로운 동공이 형성되기 때문이라고 할 수 있다.²¹⁾

동공 용적을 세분하는 분류방법에 따라 submicropore(직경 8 Å 이하)와 micropore(20 Å 이하)로 구분하여 이들 범위의 동공 생성 정도를 비교하였다 (table 4). 야자각 활성탄에서 총용적 대비 8 Å이하의 용적은 37.6 - 73.3% 수준이고, 8 Å이하를 포함한 20 Å 이하의 동공용적은 76.3 - 96.7%로 대부분의 용적은 20 Å 미만의 micropore로 구성된 것을 알 수 있다. 이는 야자각 활성탄의 H-K median 직경이 10.5 Å 이하인 것과도 일치하는 현상이다.

Co-4의 submicropore용적은 0.36 cm³/g이고 활성화 시간이 증가된 Co-5, 6, 7의 경우 0.34 - 0.37 cm³/g로 더 이상 증가하지 않는 것으로 보아 submicropore의 발달은 한계에 달한 것을 알 수 있다. 또 20 Å 이하의 micropore의 경우도 Co-6이 0.73 cm³/g이고, Co-7이 0.71 cm³/g인 것으로 보아 micropore의 형성도 6시간 활성화 시키면 한계점에 이른다고 할 수 있겠다. 다른 활성탄의 경우에도 8 Å 이하의 submicropore가 차지하는 용적의 비율은 총용적 대비, 소나무 37.5 - 53.6%, 참나무 32.8 - 66.7%, 갈탄 37.8 - 39.1%이고 20 Å 이하의 용적은 소나무 57 - 75%, 참나무 49 - 86%, 갈탄은 51 - 56%로 야자각 활성탄 보다는 낮지만 micropore가 차지하는 비율이 대부분이라고 할 수 있다.

이는 MP법에 의한 micropore 및 submicropore의 용적을 비교해 보아도 같은 경향임을 알 수 있다. Fig. 7에 활성화 정도에 따른 야자각 활성탄의 MP법에

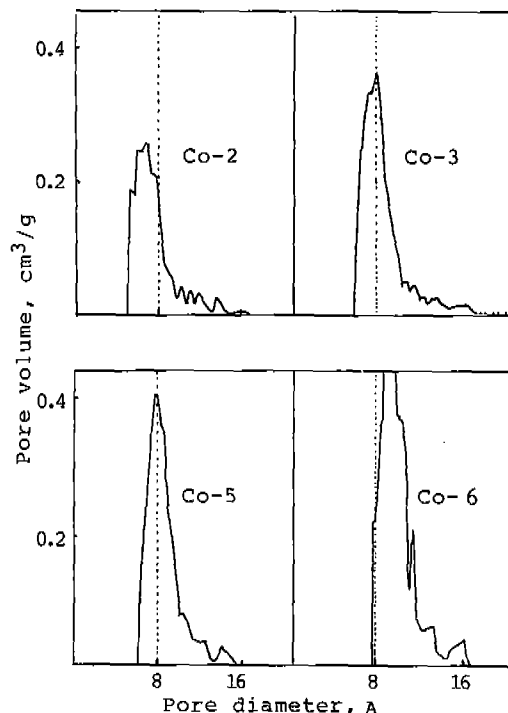


Fig. 7 Plots of differential pore volume versus pore diameter of active carbons made from coconut shell.

의한 미분 동공 용적을 나타내었는데 초미세동공경 (submicropore)의 한계인 8 Å를 기준하여 볼 때 야자각 활성탄은 활성화 시간이 경과하면서 초미세동공 용적은 줄어들고 micropore 내지 mesopore 용적이 증가되는 것을 쉽게 알 수 있다.

결론

1. 활성탄의 비표면적과 동공 용적을 발달시키는 데에는 한계가 있으며, 이때 야자각 활성탄의 최고 비표면적은 1,905 m²/g 이고, 최고 동공용적은 1.04 cm³/g 이었으며, 다른 활성탄은 최고 730 - 820 m²/g, 0.52 - 0.62 cm³/g 이었다.
2. 무기 흡착제인 실리카 겔의 비표면적과 동공용적은 722 m²/g, 0.56 cm³/g, 제올라이트는 319 m²/g, 0.47 cm³/g 이고, 제올라이트는 74 m²/g 및 0.1 cm³/g으로 가장 낮았다.

3. 전체 동공 용적에 대한 미동공 용적의 비율은 야자각의 경우 활성화 시간 증가에 따라 93%에서 44%까지 감소되었고 다른 활성탄은 91%에서 37%로 낮아졌으며, 실리카 겔 등 무기 흡착제는 7-20%이었다.
4. ASAP 2000 system으로 측정된 BET 동공경은 야자각이 15.5-21.8 Å, 실리카 겔은 30.9 Å, 세피얼라이트는 58.6 Å, 제올라이트는 55.7 Å 이었다.
5. ASAP 2000M system으로 측정된 Horvath-Kawazoe median 동공경은 야자각이 6.2-10.5 Å, 실리카 겔은 33 Å, 천연 세피얼라이트는 103 Å, 제올라이트는 175 Å 이었다.
6. BET 동공경과 H-K median 동공경의 차이로 보아 활성탄의 동공은 균일한 micropore로, 실리카 겔은 균일한 mesopore로 형성되어 있고, 천연 세피얼라이트와 천연 제올라이트는 주로 불균일한 micropore 및 mesopore로 형성되었다.

참고문헌

1. H. G. Horsewell, *Chemistry and Industry*, 7, 465 (1975).
2. R. W. Dwyer and S. G. Abel, *Beitrg. Tabakforsch. Int.*, 13, 243 (1986).
3. A. Tokida, T. Toda, and K. Maeda, *Transaction*, 42, 43 (1986).
4. V. Norman, *Beitrg. Tabakforsch. Int.*, 7, 282 (1974).
5. C. L. Browne, C. H. Keith, and R. E. Allen, *Beitrg. Tabakforsch. Int.*, 10, 81 (1980).
6. W. A. Selke, *Beitrg. Tabakforsch. Int.*, 9, 190 (1978).
7. K. Maeda, Y. Anzai, T. Sawakuri, A. Tokida, T. Akagi, and K. Noguchi, *Jpn. Tob. Inc. Technical Report*, 118, 183 (1976).
8. K. Maeda, Y. Akinaga, H. Kamoshida, Y. Matsu-mura, K. Kobayashi, M. Ishii, A. Ohnishi, and T. Nakahata, *Jpn. Tob. Inc. Technical Report*, 115, 33 (1973).
9. A. Tokida, I. Atobe, and K. Maeda, *Agric. Biol. Chem.*, 49, 3109 (1985).
10. K. K. Yang, C. H. Song, and C. H. Kim, *J. Korean Soc. Tob. Sci.*, 2, 8 (1980).
11. E. Tanaka, R. Natioh, Y. Sakata, and S. kasaoka, *Chem. Soc. Jpn.*, 9, 1549 (1988).
12. *Micromeritics ASAP 2000 Catalogue*, 1992.
13. G. Horvath and K. Kawozoe., *J. Chem. Eng. Jpn.*, 18, 470 (1983).
14. E. Mikhail, S. Brunauer and E. Bodor., *J. Colloid and Interface Sci.*, 26, 45 (1968).
15. A. F. Venero and J. N. Chiou, *Omicron Technology Corp., Berkely Heights, U.S.A.* (1992).
16. Y. Grillet, J. M. Cases, M. Francois, J. Rouquerd, and J.E. Poirier, *Clay and Clay Minerals*, 36, 233 (1988).
17. Y. O. Kim, K. R. Ko, Y. T. Park and S. K. Ryu, *J. Korean. Ins. Chem. Eng.*, 30, 347 (1992).
18. Y. Matsumura, *Industrial health*, 25, 63 (1987).
19. F. R. Reinoso and M. M. Sabio, *Carbon*, 30, 1111 (1992).
20. J. Laine and S. Yunes, *Carbon*, 30, 601 (1992).
21. J. H. Kim and J. G. Oh., *Technological Review, Chonnam National University*, 18, 41 (1980).