

## 인도네시아 석탄을 이용한 활성탄 제조에 관한 연구

백 일 현 · 김 태 영\* · 연 익 준\*\* · 이 정 식\*\* · 이 동 규\*\*\*

한국에너지기술연구소, 에너지환경연구부 화석연료연구팀, \*충북도립 옥천대학 환경공학과  
\*\*충북대학교 공과대학 환경공학과, \*\*\*충북대학교 공과대학 공업화학과  
(1998년 2월 6일 접수, 1998년 3월 30일 채택)

### A Study on the Manufacture of Activated Carbon using Indonesian Coal

Ill-Hyun Baek, Tae-Young Kim\*, Ik-June Yeon\*\*, Jeong-Sik Lee\*\*, and Dong-Kyu Lee\*\*\*

Korea Institute of Energy Research, 71-2 Jang dong, Yoosung-gu, Taejon, 305-343, Korea

\*Dept. of Environ. Ind., Okchon College, Okchon, Chungbuk, 373-800, Korea

\*\*Dept. of Environ. Eng., \*\*\*Dept. of Ind. and Eng. Chem., College of Eng., Chungbuk Nat. Univ., Cheongju 360-763, Korea

(Received February 6, 1998, Accepted March 30, 1998)

요 약 : 본 연구에서는 인도네시아산 석탄을 원료로 수증기 활성화 방법으로 Rotary Kiln을 탄화 및 부활로 이용하여 활성탄을 제조하였으며, 활성화 온도 900°C에서 탄화온도와 반응수증기량이 활성탄의 특성에 미치는 영향을 조사하였다. 최적의 조업조건은 탄화온도 700°C, 활성화온도 900°C에서 총수증기 주입량이 2.7g steam/g char인 경우였으며, 이 조건하에서 제조된 활성탄은 경도 97, 충전밀도 0.48, 요오드흡착력 1,010mg/g, M.B. 흡착력 230mg/g, B.E.T. 1,020m<sup>2</sup>/g의 특성을 나타내었다.

**Abstract :** Indonesian coal-based activated carbon was manufactured with steam-reaction method. Also effects of carbonization temperature and steam amount on the process yield and quality of the product were investigated at the activation temperature of 900°C. The rotary kiln type furnace was used for both carbonization and activation and the optimum operation conditions were carbonization temperature of 700°C, steam amount of 2.7g steam/g char and activation temperature of 900°C. At this condition, the iodine value of activated carbon was 1,010 mg/g. Methylene Blue Adsorption Number was 230mg/g and B.E.T. surface area was 1,020m<sup>2</sup>/g with the hardness about 97.

## 1. 서 론

활성탄은 입자내 공극이 잘 발달된 그물구조를 갖는 탄소로서 흡착능력이 매우 뛰어나 당액탈색공정 등 광범위한 식품공업에서 이용되고 있을 뿐 아니라 자동차 canister용, 정폐수처리용 및 용제회수용 등으로 이용되고 있으며 앞으로 환경보존에 관한 관심이 증가될수록 수요가 폭발적으로 증가될 예정이고, 이용분야도 다양하여 체계적인 활성탄 제조기술을 확보한다면 환경오염 방지용 고부가가치 상품으로 성장할 수 있다.

일반적으로, 석탄을 원료로 제조되는 액상용 활성탄은 전적으로 수입에 의존하고 있으며, 활용면에서 정·폐수 처리 등 액상용 활성탄이 사용되어야 하는 곳에 정·폐수 처리능력이 부족한 목질계 기상용 활성탄이 사용되고 있는 실정이다. 또한 국내에서는 적정원료 확보의 어려움과 용도별 활성탄 제조 know-how의 미확보 등의 이유로 석탄을 원료로 하는 활성탄 개발에 관한 연구가 매우 미진하다. 일반적으로 석탄을 원료로 하여 고품위 액상용 활성탄을 제조하기 위해서는 기본 조건을 갖춘 석탄을 원료로 하여 일반적으로 조립과정에서 아황산염프펙액, 폐당밀, 전분 등의 점결제를 첨가하여 조립된 탄의 기계적 강도를 향상시키며 탄화와 활성화공정을 거쳐 양질의 활성탄이 제조된다[1~4].

활성탄은 사용목적에 따라 기상용과 액상용으로 분리가 되는데 기상용 활성탄의 경우는 미세세공을 많이 발달시켜 비표면적을 증

가시키며 셀룰로오스 성분으로 이루어진 식물질을 주원료로 이용한다. 그러나 액상용 활성탄의 경우는 일반적으로 석탄을 원료로 하여 제조되는데 거대세공(macro pore)과 중간세공(meso pore)의 발달을 필요로 한다[5~8]. 본 연구에서는 액상용 활성탄을 인도네시아 석탄인 Roto탄을 원료로 제조공정의 단순화를 위하여 점결제를 첨가하지 않은 전처리공정과 소형 rotary kiln을 이용한 탄화, 활성화공정을 거쳐 기초실험을 수행하여 탄화온도와 반응수증기량이 활성탄 제조에 미치는 영향을 검토하였다.

## 2. 활성탄 제조방법

활성탄 제조공정은 크게 전처리공정, 탄화공정, 활성화공정으로 분류되고 전처리공정에는 일반적으로 분쇄, 혼합, 조립, 건조, 선별 등의 공정이 있으며 경우에 따라서 변경 또는 생략될 수 있다.

### 2.1. 원료의 전처리 공정

탄화와 활성화 공정을 통해 고품위 활성탄을 제조하기 위해서는, 전처리 과정의 중요성이 강조되는데, 원료 석탄은 충분히 미분쇄하는 것이 좋으며, 혼합 과정에서 적당한 수분과 점결제의 첨가가 기계적 강도를 향상시키는데 큰 역할을 하는 것으로 판단된다.

원료 석탄의 충분한 미분쇄는 수분 또는 점결제의 존재하에서 계면화학적 응집을 용이하게 하며 점결제의 첨가는 조립된 탄의

Table 1. Proximate and Ultimate Analysis of Indonesian Coal

Proximate Analysis (wt%)					Ultimate Analysis (wt%)				
Moisture	Ash	Volatile Matter	Fixed Carbon	Heat Content for drying state (cal/g)	C	H	N	S	O
12.98	3.82	40.44	42.76	6.214	75.46	5.16	0.95	0.13	18.30

기계적 강도나 활성탄의 강도를 증진시키는 역할을 한다. 조립과정에서 기계적 강도를 증진시키기 위해서는 일반적으로 친수성 점결제인 아황산 펄프폐액, 폐당밀, 전분 등이 이용되며, 활성탄 강도를 증진시키기 위해서는 역청질의 점결제인 타르나 찻치 등이 이용된다. 일반적으로 활성탄 제조를 위한 조립공정은 강제 조립법으로 이 방법은 미분쇄탄에 물이나 점결제를 혼합후 외력을 이용하여 조립하는 방법으로 압축 성형법과 압출 조립법으로 분류된다. 조립을 마친 시료는 건조 과정을 거치는데 이는 다량의 함유된 수분이 탄화 공정시 강도를 저하시키는 원인이 되기 때문이다.

본 연구에서는 조립된 시료의 기계적 강도가 활성탄 제품의 기계적 강도에 큰 영향을 끼치기 때문에 제조공정의 단순화를 위하여 첨가제를 사용하지 않고 최대의 기계적 강도를 갖는 시료를 만들기 위해 적절한 수분을 가해서 실험을 행하였다.

2.2. 탄화공정

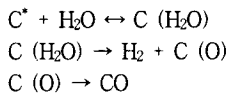
건조를 마친 시료는 탄화 공정을 거쳐 타르 및 휘발분이 제거된다. 이때 기화된 타르 및 휘발분은 냉각 trap에서 응축되어 부산물로 얻어지고, 탄화 공정을 통하여 활성화에 필요한 open pore를 생성시킨다. 탄화 공정의 중요한 결정 요인은 탄화온도와 승온속도이다. 탄화온도는 활성탄의 활성점과 기계적 강도를 지배하는 매우 중요한 요인이며 일반적으로 500~1000℃ 범위내에서 결정된다. 또한 시료의 산화를 방지하기 위하여 환원분위기에서 탄화가 수행되는데, 본 연구에서는 질소 분위기에서 탄화실험을 수행하였다.

2.3. 활성화공정

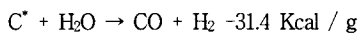
활성화 공정은 활성탄 제조공정 중에서 가장 주된 공정으로 활성화 공정을 통해 입자내에 광범위한 세공분포를 갖게 된다. 활성화 공정은 크게 약품 활성화법과 수증기 법으로 나누어지는데, 약품 활성화법은 장치부식, 공정의 복잡성 및 환경오염 등의 이유로 활용이 거의 이루어지지 않고 있고, 대부분의 공정은 수증기 활성화법을 이용하고 있다.

수증기 활성화 공정의 중요한 결정 요인은 활성화온도와 반응시간, 수증기 사용량으로 활성화온도는 일반적으로 800~1100℃이며, 수증기 투입량의 변화로 활성탄의 물리적 특성을 변화시킨다.

수증기 활성화법에서 활성화 기체로 사용되는 탄소의 반응 메카니즘[9]은 다음과 같다.



총괄 반응식은 다음과 같이 표현된다.



여기서 C\*는 활성점의 탄소 원자를 의미하고 ( )는 화학 흡착된 상태를 나타내며 반응 속도식은 다음과 같다.

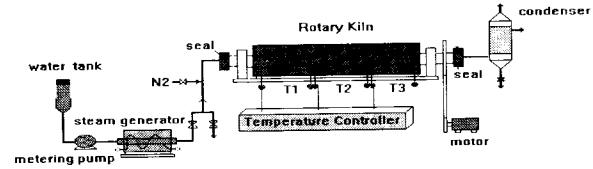


Fig. 1. Experimental apparatus for carbonization and activation.

$$R = \frac{K_1[H_2O]}{1 + \frac{K_1}{K_3}[H_2O] + \frac{K_2}{K_3}[H_2]}$$

단위식은 CO가 반응속도에 억제제로 작용하지 않았을 경우의 속도식이다.

본 연구에서는 활성화온도 900℃에서 수증기 활성화 방법으로 활성화 실험을 행하였다.

3. 실험

3.1. 시료탄의 물성 및 전처리

본 연구에서는 고품위 활성탄 제조를 위하여 아역청탄(ASTM 분류기준)계통인 인도네시아 석탄인 Roto탄을 사용하였으며 공업 분석 및 원소분석 결과를 Table 1에 나타내었다.

석탄을 미분쇄 하기 위하여 Ban Tam Mill(1/2 hp)을 이용하였으며, 실험조건에 따라 200 mesh 이하 90% 이상인 경우를 선택하여 실험을 행하였다. 분쇄된 시료에 제조공정의 단순화를 위하여 점결제 첨가없이 수분을 석탄무게의 20wt% 정도 가하여 완전 교반후 압축성형타입 조립기(Fuji Paudal F-5 type)를 이용하여 조립하여 사용하였다. 조립기의 성형직경은 5mm이었고 생성된 조립품의 길이는 5mm~13mm이었다.

3.2. 실험장치 및 실험방법

본 연구에서는 탄화와 활성화를 하나의 반응기로 순차적으로 수행할 수 있는 rotary kiln type의 로를 제작하여 연속식이 아닌 batch 방법으로 실험을 수행하였으며 그 장치도를 Fig. 1에 나타내었다.

반응기의 재질은 인코넬을 사용하였으며 내경은 100mm, 길이는 990mm로 하였다. 정확한 온도조절을 위하여 세 영역에서 세라믹으로 전열된 칸탈전열선을 사용하여 비례식 미적분 제어기(REX-P100)로 온도를 제어하였다. 반응기의 중앙 및 좌측, 우측에 k-type 열전대를 사용하여 온도를 측정하였으며 700℃ 탄화실험시 중앙과 좌,우의 온도 편차는 약 50℃이었고, 900℃ 활성화실험시 온도편차는 약 70~80℃이었다. 이는 반응기의 좌, 우측에서 대기 상태로 열손실이 있어 발생하는 온도차이다.

탄화과정중 반응기내 환원분위기를 유지하기 위하여 200cc/min 정도의 질소를 주입하면서 탄화실험을 수행하였으며 활성화실험을 수행할 경우에는 온도가 활성화실험 하고자 하는 온도에 도달하기

Table 2. Experimental Data of Activated Carbon Manufactured

Sample No.	Carbonization Temp(°C)	Carbonization Yield (%)	Activation Temp.(°C)	Activation Yield (%)	Total Steam used (g)	Steam weight (gsteam /gchar)	Total Yield (%)	Bulk Density (g/cc)	Hardness	Ash (%)	I <sub>2</sub> (mg/g)	M.B. (mg/g)	B.E.T (m <sup>2</sup> /g)
1	600	65.3	900	59.7	328.5	1.9	39.0	0.54	98.9	14.7	919	170	666
2	600	63.4	900	57.8	378.3	2.3	36.6	0.51	98.2	14.4	952	170	708
3	700	59.2	900	50.8	232.2	1.5	30.1	0.56	99.6	14.0	932	180	824
4	700	58.1	900	61.7	313.3	2.1	35.8	0.53	97.4	15.0	945	190	977
5	700	58.7	900	55.9	402.2	2.7	32.8	0.49	97.0	16.0	1,010	230	1,020
6	700	59.2	900	53.7	481.2	2.9	31.8	0.48	96.8	17.1	1,018	250	1,067
7	800	54.8	900	71.8	266.3	1.9	39.3	0.55	99.5	14.0	945	170	877
8	800	55.0	900	55.1	346.2	2.4	30.3	0.49	96.3	16.3	1,023	230	1,080

까지는 질소를 주입하여 환원분위기를 유지하였으며 실험온도에 도달하면 가열기를 통하여 수증기를 주입하였으며 이때 가열기의 온도는 250°C로 유지시켰다. 공급되는 수증기량은 공급펌프(Cole Palmer No.7553-20)의 속도와 유량계를 사용하여 제어 및 측정하였다. 질소와 수증기는 반응기의 좌측부에서 주입되어 우측부로 방출되었으며 탄화과정에서 발생된 타르와 활성화시 사용되고 나온 수증기는 냉각수가 순환되는 트랩장치를 통하여 제거하였다.

본 연구에서 건조와 탄화를 동시에 수행하였으며 반응기의 온도를 150°C까지 5°C/min의 속도로 증가시켜 약 1시간 30분~2시간 정도 건조시킨 후 3°C/min의 속도로 원하는 탄화온도까지 온도를 증가시켰다. 이는 예비실험[10]결과 3°C/min의 승온속도로 탄화실험을 수행할 경우 5°C/min 또는 10°C/min의 속도의 경우보다 char의 경도를 증가시켰기 때문이다. 그 이유는 승온속도가 느린 경우 휘발분이나 타르가 매우 느리게 유출되면서 비교적 규칙적인 세공을 만들지만 승온속도가 상대적으로 빠른 경우 일시에 많은 양의 휘발분이나 타르가 빠져나와 세공이 확장되어 경도가 낮아지기 때문이다. 탄화실험시 탄화온도는 600°C, 700°C 및 800°C로 고정하여 그 영향을 조사하였다.

탄화공정이 끝난 후 생성된 char를 반응기의 온도가 상온 근처로 유지된 후 kiln내에서 제거하여 무게와 경도를 측정한 후 반응기에 재투입하여 활성화실험을 수행하였다. 활성화 온도에 도달할 때 까지 질소를 주입하여 환원분위기를 유지하였으며 활성화 온도에 도달과 동시에 질소 주입을 막고 수증기를 주입하였다. 활성화 온도에 도달할 때까지 승온온도는 5°C/min이었고, 활성화온도는 900°C에서 수행되었으며 수증기 입력속도는 char 무게당 약 1g steam/min 정도로 조절하였다. 또한 총 수증기 주입량은 200~600g정도 투입하여 그때의 활성탄의 물성을 측정하였다.

제조된 조립활성탄의 물성분석은 KSM 1210, KSM 1802에 제시된 시험방법[11, 12]을 기준으로 수행하였으며, 활성탄의 경도, 흡착력, 요오드흡착력, M.B.흡착력, B.E.T. 측정과 공업분석을 행하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

조립된 시료의 기계적 강도가 활성탄 제품의 기계적 강도에 매우 큰 영향을 미치며, 본 연구에서는 조립기를 이용해서 최대한의 기계적 강도를 갖는 시료를 만들기 위해 미쇄탄 중량의 20~23.5%의 수분[10]을 가해 실험을 행하였다. 탄화온도를 600°C, 700°C, 800°C로 변화를 주고, (승온속도 3°C/min.) 활성화온도를 900°C(승온속도 5°C/min.)로 고정시킨 후 수증기 주입량을 200~600g으로

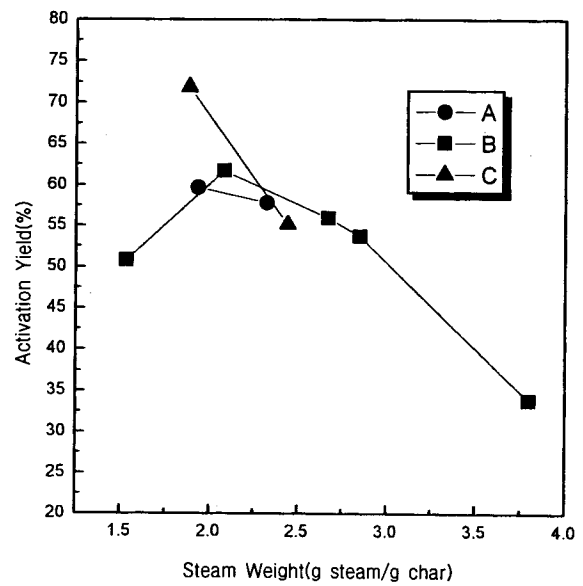


Fig. 2. Effect of steam weight on activation yield.

- A : Carbonization(600°C), Activation(900°C)
- B : Carbonization(700°C), Activation(900°C)
- C : Carbonization(800°C), Activation(900°C)

변화를 주어 탄화온도 변화와 수증기 주입량의 변화에 따른 활성탄 물성변화를 측정하여 Table 2에 나타내었다. Table 2에서 나타낸 바와 같이 사용된 미쇄탄은 100~200mesh크기를 100% 사용하였고, 수분을 미쇄탄 중량의 23.5% 혼합 및 조립하여 사용하였다.

Char 무게당 주입된 총수증기량과 수율, 경도, 요오드흡착력, B.E.T.값과의 관계를 각각 Fig. 2~7에 나타내었다. Table 2 및 Fig. 2~7에서 나타나는 바와 같이 약 300g 정도의 시료를 가지고 탄화온도를 변화시키면서 탄화실험을 행한결과 약 150g 정도의 char를 얻을 수 있음을 알았다. 이때 반응수증기량은 탄화수율에 큰 영향을 끼치지 않는다는 사실을 알게 되었고, 탄화수율은 600°C > 700°C > 800°C의 순이지만 대부분의 값들이 54.8~65.3%의 범위이었다. 활성화온도 900°C에서 탄화된 char를 가지고 활성화 실험을 행한 결과 큰차이가 없이 활성화 수율은 53.7~71.8%, 총수율은 30.1~39.3%이었다. 한편 탄화온도가 600°C, 700°C, 800°C의 경우 7번 실험의 경우에만 84.8로 급격히 감소하였고 그외의 경우에는 모두 96.3%~99.6% 정도의 탄화물 경도를 보여 세 온도에서 특이한

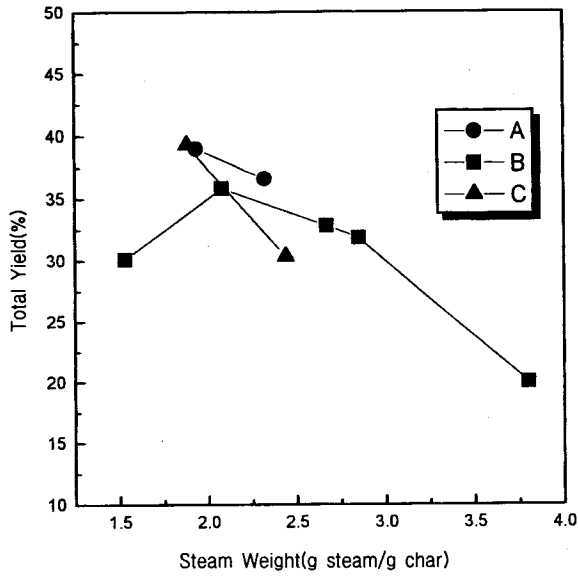


Fig. 3. Effect of steam weight on total yield.  
 A : Carbonization(600°C), Activation(900°C)  
 B : Carbonization(700°C), Activation(900°C)  
 C : Carbonization(800°C), Activation(900°C)

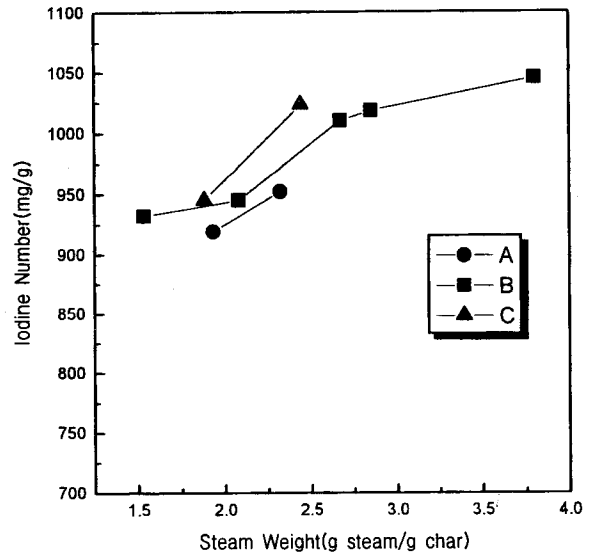


Fig. 5. Effect of steam weight on iodine number.  
 A : Carbonization(600°C), Activation(900°C)  
 B : Carbonization(700°C), Activation(900°C)  
 C : Carbonization(800°C), Activation(900°C)

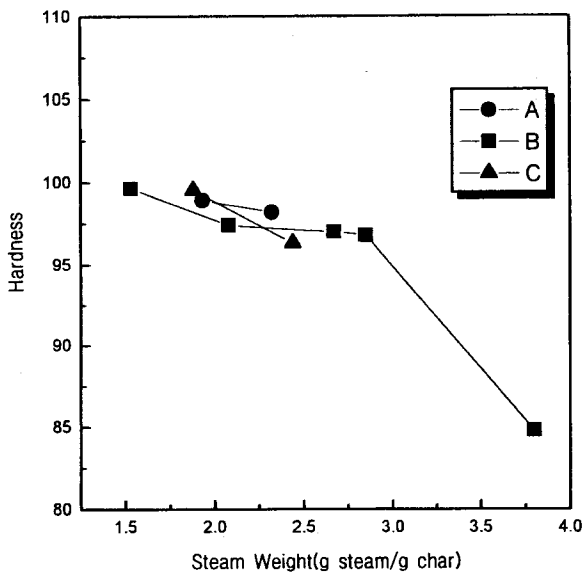


Fig. 4. Effect of steam weight on hardness.  
 A : Carbonization(600°C), Activation(900°C)  
 B : Carbonization(700°C), Activation(900°C)  
 C : Carbonization(800°C), Activation(900°C)

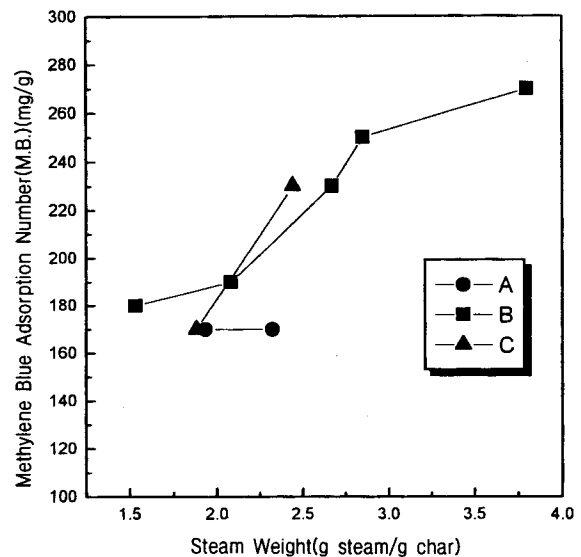


Fig. 6. Effect of steam weight on Methylene Blue value.  
 A : Carbonization(600°C), Activation(900°C)  
 B : Carbonization(700°C), Activation(900°C)  
 C : Carbonization(800°C), Activation(900°C)

차이를 찾아볼 수 없었다.

탄화온도 600°C에서 수행한 실험번호 1과 2의 결과를 볼 때 탄화온도 700°C, 800°C의 경우 보다 비슷한 수증기 주입량일 때 요오드 및 M.B. 흡착력이 감소하고, 특히 B.E.T.값이 매우 크게 감소하는 것을 알 수가 있었다. 그러나 탄화온도 700°C와 800°C에서 수행된 시료를 이용하여 활성화온도 900°C에서 활성화실험을 한 경우에는 활성탄의 물성에 특이한 차이가 없는 것으로 나타났다. 즉, 탄화온

도 700°C, 활성화온도 900°C의 실험 결과인 실험번호 3~7까지를 비교해 볼 때 총 수증기 주입량이 증가할수록 활성탄 경도는 감소하고, 요오드 및 M.B.흡착력과 B.E.T.값이 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

Rotary kiln의 온도조절을 위하여 kiln의 세 영역에서 세라믹으로 절연된 칸탈전열선을 사용하여 하나의 비례식 미분식 제어기로 세 영역의 온도를 동시에 제어함으로써 탄화 및 활성화실험시 kiln의

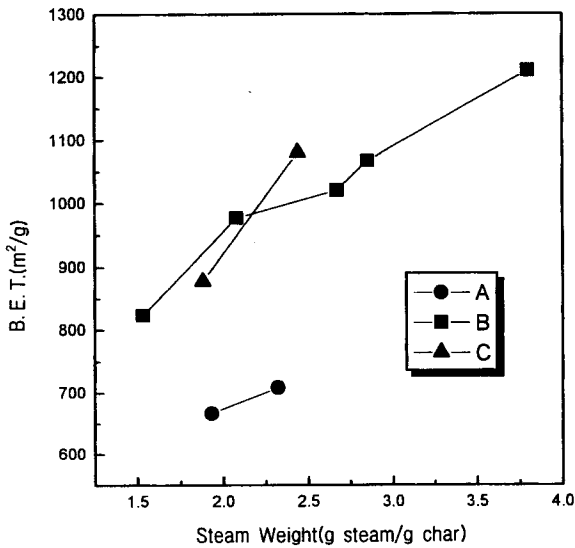


Fig. 7. Effect of steam weight on B.E.T. value.

- A : Carbonization(600°C), Activation(900°C)
- B : Carbonization(700°C), Activation(900°C)
- C : Carbonization(800°C), Activation(900°C)

중양부와 좌, 우의 온도편차가 50°C~80°C까지 나타났다. 이는 활성탄의 물성을 떨어뜨리는 큰 요인으로 작용하였을 것이다. 즉 rotary kiln의 중양부와 좌, 우온도 편차를 최소화 해야 될 필요성이 있다고 판단된다. 본 연구에 사용된 인도네시아산 Roto탄은 Ash를 3.8% 함유하고 있기 때문에 탄화, 활성화과정을 거치면서 수분, 휘발분, 타르 등이 제거되어 회분이 농축되어 제조된 활성탄은 회분함량이 10~23%까지 증가한다. 이 많은 회분의 양이 활성탄의 물성에 큰 영향을 주게 되는데, 특히 B.E.T.값과 요오드 및 M.B. 흡착력이 상대적으로 감소하게 되는 요인이 될 것이다. 그러나 본 연구에서는 이러한 회분함량을 갖는 탄을 이용하여도 기존의 수입 활성탄과 비슷한 물성을 나타내는 활성탄을 제조할 수 있었으며 deashing 공정이 추가된다면 현저하게 물성이 우수한 활성탄을 제조할 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서 인도네시아산 석탄을 원료로 수증기 활성화 방법으로 rotary kiln을 탄화 및 부활로 이용하여 활성화온도 900°C에서 탄화온도와 반응수증기량이 활성탄의 특성에 미치는 영향을 조사한 결과 최적의 조업조건은 탄화온도 700°C, 활성화온도 900°C에서 총수증기 주입량이 2.7g steam/g char일 경우 경도 97, 충전밀도 0.48, 요오드흡착력 1,010mg/g, M.B. 흡착력 230mg/g, B.E.T. 1,020m<sup>2</sup>/g이었다.

따라서 본 공정은 기존의 공정과는 상이하게 미쇄탄을 조립할 때 특별한 점결제나 첨가물을 혼합하지 않고 수분만을 가해서 조립을 수행하기 때문에 제품생산시 경제적으로 큰 이익을 갖게 되며 나아가 장치가 매우 간단하게 되어 투자비 및 운전비의 절약을 기대할 수가 있고, 본 연구에서 얻은 결과를 기초로 인도네시아 석탄을 원료로 하는 체계적인 활성탄 제조기술을 확보한다면 제조된 활성탄이 요즘 안심하고 먹을 수 있는 수돗물 요구가 증가하는 차원에서 환경오염 방지용 고 부가가치 상품으로 성장할 수 있다고 판단된다.

### 5. 결 론

1) 본 연구에 사용된 인도네시아산 Roto탄은 Ash를 3.8% 함유하고 있기 때문에 탄화, 활성화과정을 거치면서 수분, 휘발분, 타르 등이 제거되어 회분이 농축되어 제조된 활성탄은 회분함량이 10~23%까지 증가하였고, 이 많은 회분의 양이 활성탄의 물성에 큰 영향을 주게 되는데, 특히 B.E.T.값과 요오드 및 M.B. 흡착력이 상대적으로 감소하게 되는 요인이 된다. 그러나 본 연구에서는 이러한 회분함량을 갖는 탄을 이용하여도 기존의 수입 활성탄과 비슷한 물성을 나타내는 활성탄을 제조할 수 있었으며 deashing공정이 추가된다면 현저하게 물성이 우수한 활성탄을 제조할 수 있을 것으로 판단된다.

2) 반응수증기량은 탄화수율에 큰 영향을 끼치지 않는다는 사실을 파악하였으며, 탄화수율은 600°C>700°C>800°C의 순이지만 대부분의 값들이 54.8~65.3%의 범위이었다.

3) 탄화온도 600°C에서는 700°C, 800°C의 경우 보다 비슷한 수증기 주입량일 때, 요오드 및 M.B. 흡착력이 감소하고, 특히 B.E.T. 값이 매우 크게 감소하는 것을 알 수가 있었다.

4) 탄화온도 700°C, 활성화온도 900°C의 경우는 총수증기 주입량이 증가할 수록 활성탄 경도는 감소하고, 요오드 및 M.B.흡착력과 B.E.T.값이 증가하였다.

5) 최적의 조업조건은 탄화온도 700°C, 활성화온도 900°C에서 총수증기 주입량이 2.7g steam/g char일 경우였으며, 이 조건하에서 제조된 활성탄은 경도 97, 충전밀도 0.48, 요오드흡착력 1,010mg/g, M.B. 흡착력 230mg/g, B.E.T. 1,020m<sup>2</sup>/g의 특성을 나타내었다.

### 참 고 문 헌

1. 公害資源研究所, “石炭を原料とする球形活性炭の製造條件と水溶液 吸着特性”, 日本化學會誌, 1,103(1972).
2. 浦野 弘平, “石炭を原料とする球形活性炭の製造技術”(1979).
3. 北川 浩, 石炭かつの活性炭, 化學工學, Mar(1980).
4. Arthur, B. Ray, *Chem Met. Eng.*, 28, 22(1923).
5. Fjio Watanabe, M. Suzuki, K. Kawazoe, *J. Chem. Met. Eng. Japan*, 9, 314(1976).
6. P. B. Dejohn, “Carbon from Lignite or Coal”, *Chem. Eng. Apr.*, 28(1975).
7. Mikio Suzuki, T. Kawai, K. Kawazoe, *J. Pol. Sci, Part A-1*, 10, 1051(1972).
8. J. J. Kipling, K. Chihara, *Carbon*, 1, 315(1964).
9. Hiroshi Yamai, Y. Sudo, T. Fujii, H. Ito, *J. Chem. Eng.*, 6, 443(1973).
10. C. H. Kim, J. K. Kim, and I. S. Choi, Technical Report, “Activated Carbon Manufacturing from Indonesian Kideco Coal”, KIER, 1993.
11. 한국공업규격, “분말활성탄 시험방법”, KSM 1210(1986).
12. 한국공업규격, “입상활성탄 시험방법”, KSM 1802(1985).