

축분을 이용한 활성탄소 제조와 이의 악취 흡착성 분석

최희철* · 송준익 · 권두중 · 광정훈 · 양창범 · 유용희* · 박영태** · 박경섭*** ·
박동금*** · 김용국****
농촌진흥청 축산과학원

Manufacture of Activated Carbon Using Livestock Manure and it's Odor Absorptiveness

Choi, H. C.*, Song, J. I., Kwon, D. J., Kwag, J. H., Yang, C. B., Yoo, Y. H.*,
Park, Y. T.**, Park, K. S.***, Park, D. K.*** and Kim, Y. K.****

Animal Environment and Systems Division, National Institute of Animal Science, RDA

Summary

This study was carried out to develop the technique for manufacturing activated carbon from livestock manure and to analyse it's odor absorptiveness. Each of layer manure(LM), litter from broiler house(BL) and litter from dairy barn(DL), compost from layer manure(LC) and pig manure(PC), and coconut shell(CS) was used as a raw material. Activated carbon by grinding the raw material, adding the coal tar as a binder, palletizing, drying, heating with N₂ gas at 400℃ for 1 hour, activating by reaction with steam at a temperature of 750℃ for 1 hour. Moisture contents of raw material was 44.9% in layer compost, 71.9% in layer manure, 24.4% in broiler litter, 47% in pig manure compost and 33.9% in dairy litter. Volatile matter in layer compost, layer manure, broiler litter, pig manure compost and dairy litter was 18.8%, 31.0%, 49.8%, 22.3% and 11.6%, respectively. Surface area(BET) of activated carbon from layer compost, layer manure, broiler litter, pig manure compost, dairy litter and coconut shell was 259.8, 209.8, 63.5, 442.3, 812.9 and 1,040 m²/g, respectively. Activated carbon made by livestock manure or litter were examined with scanning electron microscope, and micropore was a type of sponge like particles honeycombed with chambers. Pore size of activated carbon was ranged from 0.39 to 5.02 Å, but coconut shell was 0.30 Å. Iodine absorptiveness of activated carbon from livestock manure was 530~580 mg/g. But activated carbon made by coconut shell was 1000 mg/g. Each activated carbon could absorb odor compound very well. Absorptiveness of activated carbon from layer manure for hydrogen sulfide and trimethyl amine was 74.5% and 73.9% at the accumulated flux of 60,000 ml, but, in the case of ammonia was only 15.2% at the accumulated flux of 10,000 ml

(Key words : Livestock manure, Activated carbon, Iodine absorptiveness, Micropore)

* 농촌진흥청 축산과학원 (Animal Environment and Systems Division, National Institute of Animal Science, RDA, 441-350, Suwon, Korea)

** (주)동양탄소 (DongYang Carbon Co.)

*** 원예연구소 (National Horticulture Research Institute)

**** 충남대학교 (Choongnam National University)

Corresponding author : Young Tae Park, DongYang Carbon Company, Cheonancity, Choongnam-do, Korea.

Tel : 82-41-522-3344, E-mail : dycarbon@cholian.net

서 론

축산의 집약화, 규모화로 지역별 오염부하가 가중되고 있으며 가축분뇨만으로도 경기도의 경우 질소는 134%가 과잉되고 인산은 76.6%, 카리 86.3% 수준이다. 가축분뇨처리시설 및 기계·장비의 노후화로 관리부실 능가가 많아지고 있으며 2000년도 축산분뇨처리시설 운영실태조사 결과 59천개소 중 2%인 1,511개소는 가동이 불량하거나 중단된 상태라고 하였다. 가축분 처리시 톱밥을 부재료로 이용하여 호기성퇴비화를 하고 있으나 톱밥 가격 상승으로 처리비용이 과다하게 소요되며 톱밥의 과다혼입으로 퇴비 품질은 저하되고 있다. 활성탄소(Activated carbon 또는 Charcoal)는 탄소질을 원료로 제조되는 미세기공이 잘 발달된 무정형 탄소의 집합체로서 활성화 과정을 통해 분자 크기 정도의 미세기공이 형성되어 표면적이 큰 흡착제로서 1g당 500~1,700m² 정도의 내부 표면적을 갖으며 탄소원자의 관능기가 주위의 액체 또는 기체에 인력을 가하여 피흡착질의 분자를 흡착한다(Achaerandio 등 2002; Mattson과 Mark, 1971; 김 등, 1995). 활성탄소의 원료는 야자각, 목재, 유연탄 등이 많이 사용되며 유기질 폐기물도 활용이 가능하고 국내 입상활성탄소의 수요는 년평균 19.5%씩 증가하고 있으며 많은 양이 미국, 일본, 네델란드 등 선진국으로부터 고가로 수입하여 사용하고 있다. 활성탄소의 제조공정은 다단로방식(Multiple Hearth Furnace)과 회전로(Rotary Kiln) 방식이 이용되고 있다. 일본에서는 계분의 자기에너지에 의한 열분해 취기제거처리와 특수비료화에 의한 이용 연구가 진행되고 있으며, 1000℃에서 축분이나 식품잔사물을 처리할 수 있는 열분해장치가 개발되어 수분 80%인 축분을 처리가 가능한 것으로 알려지고 있다. 축분으로 활성탄소 제조시 용적은 1/5~1/8로 감소하고 중량은 1/7~1/15로 감소하며

원료 1톤 제조시 처리비용은 10,000~13,000원 정도 소요된다고 하였다(2001. 9. 6, 鷄鳴新聞). 폐수처리 오니를 650~850℃에서 탄화물로 제조시 표면적은 100m²/g 정도이고 탈취제, 탈색제, 토양개량제 등 다양한 용도로 사용하고 있다. 미국에서도 육계 깔짚을 이용하여 활성탄소 제조시 다공성이 높고 표면적은 250~500m²/g이며 양계밀집지역에서 활용이 가능하다고 하였다(2003, Isabel Lima). 활성탄소는 흡착력이 강하여 장내 미생물의 환경조절로 정상작용 및 하리예방효과가 있고 가축의 발육촉진에 영향을 미치며 사료에 첨가하면 사료에 중금속의 물질을 제거하고 소화미생물의 활동을 조장하여 소화율이 개선된다(1995, Tobioka 등). 돼지사료에 첨가하여 사료효율 개선 및 설사발생이 감소하며, 토양개량 효과가 있고 활성탄소 이용시 고추의 생육량, 엽록소 함량, 수량 등이 양호하다고 하였다. 밭고추냉이 재배시 활성탄소를 300kg/10a를 사용시 세균성 부패병 발병율이 억제되고 33%의 소득증대효과가 있다고 하였다(2002, 전북농업기술원). 따라서 본 시험은 축분을 이용한 활성탄소를 제조하는 기술을 개발하고 이의 활용방안을 연구하여 축분의 처리방법을 다변화하고 제조된 활성탄소의 토양개량제, 악취흡착제 등 농업적 이용을 모색하기 위하여 악취제거시험 등을 수행하였다.

재료 및 방법

1. 공시재료

활성탄소 제조를 공시재료 중 산란계분(LM)은 경기도 안성의 케이지에 사육되는 산란계의 계분벨트에서 산란계 계분을 수거하여 공시하였으며, 동일농장의 산란계분을 톱밥 등을 섞어 발효퇴비(LC)로 제조한 계분퇴비를 공시하였다. 육계깔짚(BL)은 경기도 화성의 무창형 육계사에서 사용된 깔짚을 이용하였

으며, 돈분퇴비(PC)는 경기도 용인시 양돈농가의 계분퇴비를 공시했다. 젖소갈짚(DL)은 경기도 화성의 갈짚우사의 갈짚우분을 공시하였으며, 코코넛껍데기(CS)는 일반적인 활성탄 제조의 원료를 공시하였다.

2. 활성탄소 제조과정

활성탄소 제조는 시험용 로타리퀵른을 이용하였다. 공시재료를 105℃ 건조기에서 1일간 건조 후 분쇄하여 콜타르를 첨가한 후 지름이 4mm인 펠렛을 제조하였으며 제조된 펠렛은 건조과정을 거친 후 N₂ 가스를 분당 2ml씩 주입하며 가온하여 400℃에서 1시간 동안 탄화시켰다. 활성탄화 공정을 위하여 탄화된 시료를 750℃로 가열 후 1시간 동안 물을 분당 164.3 ml 속도로 분무하며 활성화과정을 거쳐 냉각하여 활성탄소를 제조하였다.

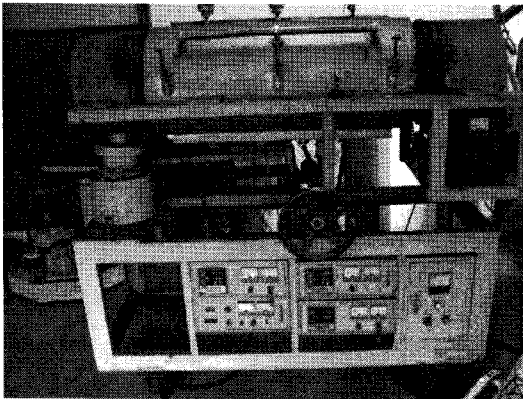


Fig. 1. Equipment for manufacturing activated carbon using livestock manure or compost.

3. 일반성분 분석

수분 함량은 105℃에서 건조하여 측정하였고 일반성분과 중금속은 AOAC(1995)법에 의하여 분석하였으며 활성탄소 미세기공 관찰을 위한 전자현미경적 분석은 SEM(Phillips Co.)을 이용하여 1000배로 검경하였다.

4. 악취흡착특성 시험

제조된 활성탄소를 5g씩 평량 후 U 튜브에 넣어 25℃로 조정된 항온수조에 담가 일정한 온도로 유지하면서 표 1에서 보는 바와 같이 농도가 101.4-104.7 ppm인 3가지 표준가스를 통과시키면서 활성탄소에 의한 악취 흡착능력을 용적별로 분석하였으며 악취의 측정은 U 튜브를 통과하고 나온 배출구에 가스검지관을 삽입하여 악취를 측정하여 활성탄소의 악취 흡착능력을 평가하였다.

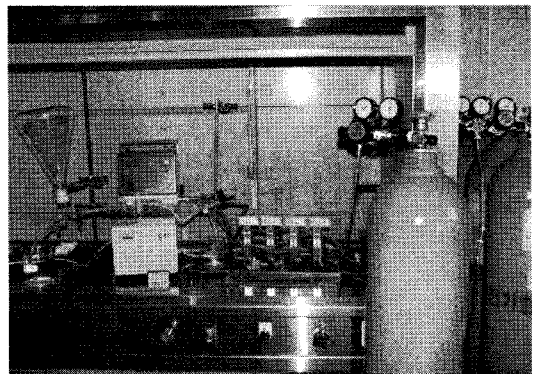


Fig. 2. Evaluation of odor absorptiveness of activated carbon made using livestock manure or compost.

Table 1. Standard gas used for evaluation of odor absorptiveness

Item	Concentration (ppm)	Etc
Ammonia (NH ₃)	101.4	100 kg/cm ² Balanced with Nitrogen
Trimethylamine ((CH ₃) ₃ N)	104.7	
Hydrogen Sulfide (H ₂ S)	103.3	

결과 및 고찰

1. 축분 활성탄소 제조시 성분특성 변화

축분 활성탄소의 성분특성은 표 2에서 보는 바와 같으며 축분 원재료의 수분 함량은 24.4~71.9%이었다. 축분으로 제조된 활성탄소의 조단백질 함량은 2.57~7.92%로 매우 낮은 편이었으며 열량은 2,675~5,500 cal/g으로 야자각 활성탄소 7,513 cal/g 보다 낮았다. 계분 퇴비 활성탄소의 휘발성물질 함량은 8.5%로 높았으며 기타 다른 축종의 경우 3.1~4.5%로 비슷한 경향이었으며 조회분의 경우 젖소갈

짚은 28.2%로 낮았으나 양계 산물에서 높았다. 가축분 활성탄소의 pH는 10.4~11.5로 높은 알칼리성을 띠었다.

축분활성탄소 성분특성은 표 3에서 보는 바와 같으며 칼슘농도는 산란계분, 육계갈짚에서 높았으며 다른 가축분에서 낮았으며 야자각에서는 거의 검출되지 않았다. 질소성분은 축분상태에서는 산란계분에서 높았으나 활성탄소로 제조시 비슷한 경향을 보였으며 탄소의 함량은 가축분활성탄소의 경우 33.8~70.4%로 젖소갈짚에서 높았으나 야자각의 경우 92.6%로 매우 높은 경향이였다.

축분활성탄소의 중금속 함량은 표 4에서

Table 2. Characteristic of activated carbon made using livestock manure and compost

Item		LC	LM	BL	PC	DL	CS
Moisture (%)	M	44.9	71.9	24.4	47.0	33.9	-
	AC	2.57	4.25	5.80	4.43	7.92	1.32
Crude Protein (%)	M	12.3	69.1	23.4	10.5	12.9	-
	AC	2.57	4.25	5.80	4.43	7.92	1.32
Calorie (cal/g)	M	3008	3068	3754	4216	2913	3384
	AC	2675	2790	3576	4639	5500	7513
Volatile Matter (%)	M	18.8	31.0	49.8	22.3	11.6	-
	AC	8.5	3.1	4.5	3.4	3.2	-
Crude ash (%)	M	29.8	22.9	18.6	11.9	40.7	-
	AC	64.0	59.2	51.5	38.4	28.2	2.8
Density (%)	AC	0.42	0.42	0.36	0.36	0.28	0.46
Degree of hardness (shore)	AC	87.8	71.2	79.6	85.4	79.4	97.9
pH	AC	11.1	11.5	10.9	10.4	10.5	

* M : Manure, AC : Activated Carbon

** LM : layer manure, BL : litter from broiler house, DL : litter from dairy barn, LC : compost from layer manure, PC : pig manure, CS : coconut shell

Table 3. Composition of activated carbon made using livestock manure

Item		LC	LM	BL	PC	DL	CS
Ca	M	7.71	7.72	3.69	1.64	1.00	-
	AC	9.59	13.18	14.32	5.01	3.04	0.08
P	M	1.47	1.42	2.08	1.54	0.84	-
	AC	3.10	4.57	9.11	3.97	3.16	0.06
K	M	1.12	1.10	1.26	1.19	1.43	-
	AC	1.76	3.01	8.63	2.80	3.38	0.74
C	M	30.5	33.7	39.6	44.1	32.6	-
	AC	33.8	35.1	44.8	58.6	70.4	92.6
N	M	2.48	11.67	3.55	1.68	2.37	-
	AC	0.41	0.68	0.93	0.75	1.27	0.21

* M : Manure, AC : Activated Carbon, ** LM, BL, DL LC, PC, CS : See table 2.

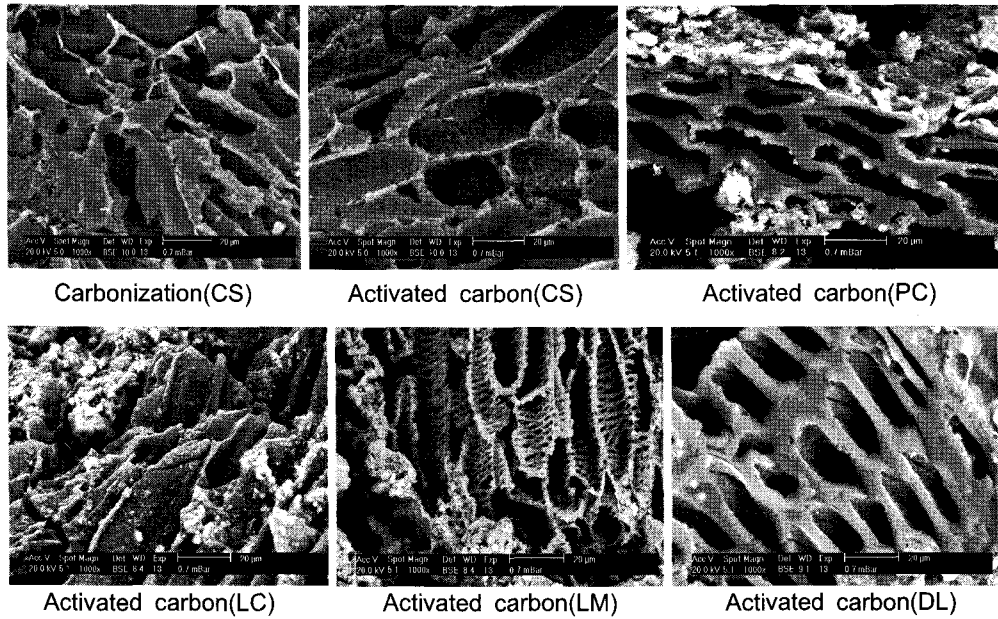


Fig. 3. Micropore examined by Scanning Electron Microscope (1000x).

보는 바와 같으며 철분의 농도는 계분퇴비 6,105 ppm, 육계갈짚 7,119 ppm으로 높은 반면 젖소갈짚은 221 ppm으로 낮았다. 구리의 경우 돈분퇴비에서 330.9 ppm으로 가장 높게 나타났으며 크롬, 납, 비소 등은 축종에 관계없이 비슷한 경향치를 보였다.

2. 축분 활성탄소의 미세기공 특성 분석

그림 3에서 보는 바와 같이 가축분 활성탄

소의 미세기공의 발달상태를 확인하기 위하여 SEM 전자현미경으로 1,000배에서 검경하였으며 축분의 종류에 관계없이 모두 좋은 기공이 형성되어 있었으며 야자각은 경우 탄화물의 경우 Macropore 위주로 발달되어 있는 반면 활성탄화물은 Micropore가 많이 발달되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 또한 야자각은 단일물질이기 때문에 정형의 기공이 형성된 반면 가축분은 여러종류의 사료원료, 수분조절제 및 갈짚 등이 혼합되어 있어

Table 4. Heavy metal level of activated carbon made using livestock manure (DM, ppm)

Item		LC	LM	BL	PC	DL	CS
Fe	M	3392	1740	1586	1540	3178	—
	AC	6105	3033	7119	5160	221	10.3
Cu	M	45.0	44.6	47.4	154.1	14.6	—
	AC	132.6	190.1	60.8	330.9	45.1	28.3
Cr	M	5.11	2.96	7.63	3.15	4.11	—
	AC	160.5	95.7	27.6	22.6	54.7	2.1
Pb	M	10.9	14.3	8.5	5.7	13.3	—
	AC	11.14	8.91	7.52	7.64	4.17	2.27
As	M	1.79	1.58	1.18	1.24	0.96	—
	AC	2.35	2.46	1.78	1.67	1.11	0.41

* M : Manure, AC : Activated Carbon, ** LM, BL, DL, LC, PC, CS : See table 2.

Table 5. Surface area and micropore size of activated carbon made using livestock manure

Item	LC	LM	BL	PC	DL	CS
BET Surface Area (m ² /g)	259.8	209.8	63.5	442.3	812.9	1040
Pore Volume (cm ³ /g)	0.0078	0.0078	0.0079	0.0079	0.0079	0.0079
Pore Size (Å)	1.21	1.53	5.02	0.71	0.39	0.30

* LM, BL, DL LC, PC, CS : See table 2.

서 기공의 형태도 다양하게 나타났다.

축분 활성탄소의 미세기공 특성은 표 5에서 보는 바와 같으며 육계갈짚 활성탄소의 경우 비표면적이 63.5 m²/g로 낮는데 비하여 돈분퇴비 활성탄소의 경우 442.3 m²/g, 젖소갈짚 활성탄소는 812.9 m²/g로 높았으며 이는 젖소의 경우 조사료 위주의 사양 및 갈짚의 목질부분으로 인하여 활성탄소를 제조한 원재료 중에 탄소질이 많이 존재하여 야자각 활성탄소의 비표면적과 비슷한 성적을 보였다. 미국에서도 육계 갈짚을 이용하여 활성탄소 제조시 다공성이 높고 표면적은 250~500 m²/g이라고 하였으며(2003, Isabel Lima) 본 연구의 육계 갈짚은 연속이용갈짚이어서 휘발성물질이 많아 낮은 비표면적을 보였으나 다른 축종의 축분 탄화물과는 비슷한 수준으로 보인다. 기공의 크기는 육계갈짚 활성탄소가 5.02Å으로 큰 반면 돈분퇴비 활성탄소 0.71Å, 젖소갈짚 0.39Å로 작았으며 야자각 활성탄소의 기공크기 0.30Å와 비슷하였다. 이는 Achaerandio 등(2002), Mattson과 Mark(1971) 등이 보고한 바와 같이 활성탄소의 특성인 미세기공이 잘 발달되어 있다는 것을 입증하고 있다.

3. 축분활성탄소의 요오드 흡착 성능

요오드 흡착능은 활성탄소의 품질의 기준이 되는 요소로서 축분활성탄소의 요오드흡착능은 그림 4에서 보는바와 같이 530~580 mg/g으로 최상품 활성탄소인 야자각 활성탄소의 1000 mg/g에 비하여는 낮은 편이었으며 축분 종류간에는 큰 차이를 보이지 않았다.

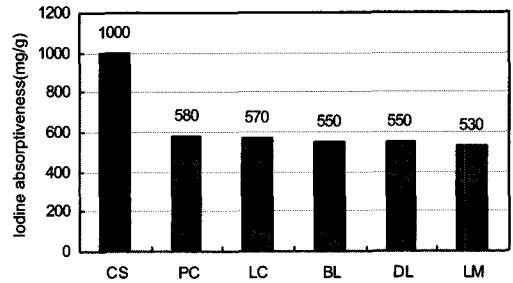


Fig. 4. Iodine absorptiveness of activated carbon made by livestock manure (mg/g).

축분을 활성탄소로 제조시의 경제성분석결과 표 6에서 보는 바와 같다. 100,000수 규모의 산란계 농장의 경우 생계분은 1일 약 14,000 kg이 발생되며 활성탄화물 제조수율을 11.6%로 계산시 활성탄화물은 1,624 kg이 생산되며, 1,624 kg에 대한 1일 생산비는 385,396 원이 소요되며 총 판매가 649,000원을 고려하면 1일 탄화물 판매수익은 264,204원이 예상된다. 즉 100,000수 산란계를 사육하는 양계농가에서 계분을 이용하여 활성탄소를 제조할 경우 감가상각비 등 제 비용을 제외하고도 판매수익이 예상되어 실용화가 가능할 것으로 예측되며 이는 일본에서도 계분을 이용한 활성탄소 제조가 농가에 보급되고 있다는 것이 그 하나의 증거이다.

4. 축분 활성탄소의 악취흡착특성

활성탄소는 Achaerandio 등(2002), Mattson과 Mark(1971)이 보고한 바와 같이 활성화 과정을 통해 분자 크기 정도의 미세기공이 형성되어 표면적이 큰 흡착제로서 탄소원자의 판능기가 주위의 액체 또는 기체에 인력

Table 6. Economic analysis for manufacturing activated carbon from layer manure. (Activated carbon, per ton)

1) Direct cost				
Item	Price	Needs	000won/yr.	won/ton
Labor cost	2,000,000/person	2 persons/d	48,000	82,101
Electricity	60 won/kwh	25 kwh/ton	1,500	1,500
Fuel	800 won/ℓ	75 ℓ/ton	60,000	60,000
Repairs	1%		5,180	5,180
Sub total				148,781
2) Indirect cost				
Precipitation			35,190	60,672
Insurance	0.5%		2,680	4,620
Supplies	0.5%		2,680	4,620
Maintain	0.5%		2,680	4,620
Packing	300 won/25kg, p		6,960	12,000
Sub total				88,532
Total				237,313

* 생계분 1일 발생량 : 14,000 kg (활성탄소 생산량 1,624 kg)

** 총 계분활성탄소판매가 649,600원 (판매가 400원/kg 기준), 1일 생산비 385,396원, 생산비를 공제한 1일 탄화물 판매수익 264,204원

을 가하여 피흡착질의 분자를 흡착하는 특성을 갖고 있으며 이러한 특성을 이용하여 악취 흡착제로 이용을 하고 있다. 따라서 가축분을 원료로 하여 제조한 활성탄소의 악취흡착재로서의 이용가능성을 구명하기 위하여 시험을 수행하였다. 계분이용하여 제조한 활성탄소에 대한 암모니아, 황화수소, 메틸메르캡탄 등에 대한 악취흡착특성은 그림 4에서 보는 바와 같다. 트리메틸아민과 황화수소의 경우 60,000 ml를 통과시켜도 악취 흡착율이 74.5~75.9%로 매우 높았다. 그러나 암모니아 가스의 경우 20,000 ml 이후에 흡착 포화상태에 이르렀다. 축분의 종류별 활성탄소의 암모니아가스와 황화수소의 흡착율은 그림 5에서 보는 바와 같다. 이때에도 암모니아가스의 경우 황화수소에 비하여 흡착 포화도에 빨리 도달했다. 축분 종류별로는 계분이나 계분퇴비가 흡착률이 가장 낮았으며 젖소갈짚이 가장 높은 흡착율을 보였다. 계분퇴비로 만든 활성탄소는 20분 경에 흡착 포화가 되었으며 반면 젖소갈짚 활성탄소는 40분이 되어서 흡착 포화상태가 되었다. 또한 황화수소의 경우 휘발성물질이 비교적 많은 육계

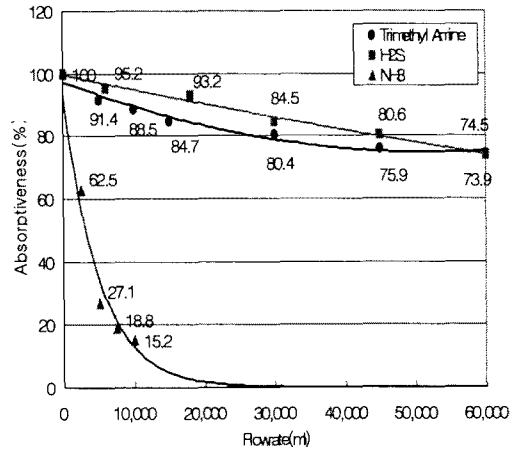


Fig. 5. Ammonia, hydrogen sulfide and trimethylamine absorptiveness of activated carbon made using livestock manure in volume(%).

갈짚, 계분퇴비, 산란계분 등에서 흡착율이 낮았으며 젖소갈짚에서 높아서 다른 유해가스 흡착율과 비슷한 경향치를 보였다. 이러한 악취 흡착특성을 볼 때 최근 많이 보급되고 있는 축산용 바이오필터 등에 가축분뇨를 이용하여 제조한 활성탄소가 저가의 악취흡착재로서 이용이 가능할 것으로 사료된다.

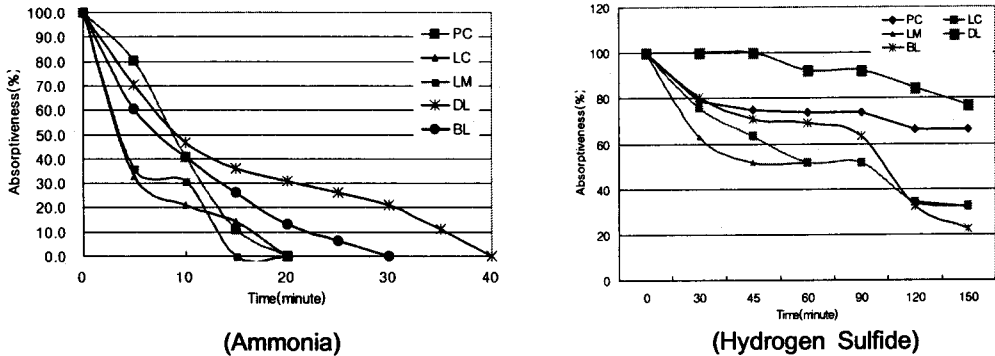


Fig. 6. Ammonia and Hydrogen sulfide absorptiveness of activated carbon made using livestock manure in absorption period (%).

* LM, BL, DL LC, PC, CS : See table 2.

적 요

본 시험은 축분을 이용한 활성탄소를 제조하는 기술을 개발하고 이의 활용방안을 연구하여 축분의 처리방법을 다변화하고 제조된 활성탄소의 토양개량제, 악취흡착제 등 농업적 이용을 모색하기 위하여 악취제거시험 등을 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

1. 가축분을 건조, 펠렛화 과정을 거친 후 400℃에서 1시간 탄화처리하고 750℃에서 1시간 활성화처리시 활성탄소가 제조되었다.

2. 축분의 회분 함량은 돈분퇴비가 11.9%로 낮았으나 계분퇴비 29.8%, 젖소갈짚 40.7%로 높았다. 휘발성물질은 젖소갈짚 11.6%, 계분퇴비 18.8%, 계분 31.0%, 돈분퇴비 22.3% 이었으나 육계갈짚은 49.8%로 높았다.

3. 축분활성탄소의 비표면적은 계분퇴비 259.8, 계분 209.8, 돈분퇴비 442.3, 젖소갈짚 812.9 m²/g으로 야자갈 활성탄소 1,040 m²/g 보다 낮았으며 미세기공의 크기는 육계갈짚 5.02 Å으로서 큰 반면 젖소갈짚은 0.39 Å으로 야자갈 활성탄소와 비슷하였다.

4. 축분활성탄소의 요오드 흡착능력은 530~580 mg/g으로 야자갈 활성탄소의 1,000 mg/g 보다 낮았다.

5. 암모니아가스의 흡착율은 계분이나 계분퇴비로 만든 활성탄소가 가장 낮았으며 젖소갈짚 활성탄소가 가장 높았으며 계분퇴비 활성탄소는 20분 경에 흡착 포화에 도달하는 반면 젖소갈짚 활성탄소는 40분이 되어서 흡

착 포화에 도달하였다.

6. 황화수소의 경우 휘발성물질이 비교적 많은 육계갈짚, 계분퇴비, 산란계분 등으로 만든 활성탄소에서 흡착율이 낮았으며 젖소갈짚 활성탄소에서 높았다.

인 용 문 헌

1. Achaerandio, I. C. Güell, and F. López. 2002. Continuous vinegar decolorization exchange resins. *Journal of Food Engineering* 51: 311-317.
2. Hisaya Tobioka and Ernesto P Garillo, 1995. Groth performance of Japanese Brown cattle fed concentrate based diets with and without Activated Charcoal in practical beef operations. *Proc Sch. Agric. Kyushu Tokai Univ.* 14L49-55.
3. Isabel lima. 2003. Chickens may aid wastewater treatment. <http://www.nesc.vu.edu/nsfc/>
4. Isabel lima. 2003. Converting poultry litter into activated carbon. *World poultry.* vol. 19, no 6. p. 28-29
5. Mattson, J. S. and H. B. Mark, Jr. 1971. *Activated Carbon.* New York: Dekker.
6. 鷄鳴新聞. 2001.9.6. 鷄糞의 活性化炭製造 플란트
7. 김용권. 1995. 활성탄 수처리기술과 관리 p. 7.
8. 전북농업기술원. 2002. 시험연구보고서 활성탄 시용에 의한 밭 고추냉이 세균성근 경부패병 경감 효과.