

Fenitrothion과 Tebuconazole의 입상 활성탄 및 차콜에 의한 흡착과 용탈에 관한 연구

이동익¹ · 천소을² · 주영규^{1*}

¹연세대학교 응용과학부 생물자원공학과, ²연세대학교 기초과학연구소

Sorption and Leaching Studies of Fenitrothion and Tebuconazole in Granular Activated Carbon and Charcoal

Dong-Ik Lee¹, So-Ui Chun², and Young-Kyoo Joo^{1*}

¹Department of Biological Resources and Technology, Yonsei University, Wonju 220-710, Korea

²Institute of Basic Science, Yonsei University, Wonju 220-710, Korea

ABSTRACT

Golf course community has always been concerned about water quality regarding to pesticide and fertilizer managements. This study conducted to investigate sorption and leaching behavior of common pesticides used for golf course in granular activated carbon I (GAC I), granular activated carbon II (GAC II), and charcoal. We used batch study to investigate the influence of concentrations of Smithion and Folicur and particle sizes of GAC I, GAC II, and charcoal on sorption. Also, column study was used to investigate the leaching effect of Smithion in GAC I and charcoal. We found that sorption of Smithion and Folicur were higher in less 45 μ m of particle size for GAC I, GAC II, and charcoal compared to 1.7~2.0mm size, and the sorption of Smithion and Folicur in less 45 μ m of particle size ranged from 90 to 99%. In the column study, there was no difference in leaching effect between GAC I and charcoal. Overall, we found that charcoal might offer a cost effective adsorbent as a pesticides in leachate.

Key words : charcoal, granular activated carbon(GAC), Folicur, leaching, Smithion, sorption

*Corresponding author. Tel : 033-760-2250
E-mail : ykjoo@yonsei.ac.kr

서 론

농약은 작물 재배 또는 저장 중에 발생하는 병해충으로부터 농작물과 농산품을 보호하기 위하여 사용하는 모든 약제를 말하며(류, 2000), 적절한 사용은 방제효과도 높고 안전함에도 불구하고 농약에 대한 인식의 미흡으로 고독성 농약을 사용하거나 적정 사용량을 초과하여 사용하는 경우가 있다(환경부, 2005a). 골프장에서는 잔디나 조경수를 인공적으로 식재하여 집중 관리하기 때문에 병해충 예방을 위하여 불가피하게 농약을 사용하고 있으며, 환경부는 골프장의 농약사용으로 인한 환경오염 방지를 위하여 1990년 골프장 관리규정을 제정하였다. 이에 따라 1991년부터 전국 각 시도 보건환경연구원에서 골프장의 토양 및 잔디의 농약 잔류량과 유출 영향 등에 대한 조사를 매년 2회 실시한다(문화관광부 고시 제 2005-17호). 2005년 현재 환경부 보도자료에 의하면 전국 198개소 골프장에서 사용된 농약 품목수는 148개로 1998년 114품목에 비해 29.8%가 늘어났으며, 연도별 농약 사용량은 1998년 149톤에서 2004년 229톤으로 54%가 증가하였다(환경부, 2005b).

농약을 포함한 토양 내에서의 물질이동은 토양층을 통과하여 이동하는데, 토성은 물질의 흡착(sorption)과 탈착(desorption)에 큰 영향을 주는 주된 요인이다. 특히, 점토 함량(직경 0.002mm 이하)이 많을수록 흡착이 증가한다(Linquist et al., 1997). 한편, 우리나라에서 가장 많이 보급되어진 미국 골프협회(United States Golf Association) 그린지반은 잔디의 생육을 위하여 높은 투수성을 유지할 목적으로, 점토를 포함한 크기 0.05mm 이하 토양의 함유량을 5% 미만으로 규정하고 있다(USGA Green Section Staff, 2004). 이는 흡착성이

약한 농약의 사용은 높은 용탈의 가능성이 있음을 의미한다. 특히, 제주도와 같이 표토층이 얇고, 지표수 투수성이 매우 높은 지질학적인 특수성이 있을 경우에는 농약에 의한 지하수 수질 악화에 큰 영향을 있을 것으로 사료된다(현 등, 1995).

차콜(charcoal)은 일반 목재를 숯가마에 넣어서 500~800℃의 고열에서 1차적으로 탄화시킨 다공성 구조를 말하며, 활성탄(activated carbon)은 1차로 탄화시킨 차콜을 활성화 과정인 2차적인 처리를 통해 미세세공(micro-pore)을 형성시켜 큰 내부 표면적을 갖는 무정형 다공성 탄소질의 집합체로 차콜에 비하여 보다 큰 물질의 흡착능력을 갖는다(眞田 등, 2001). 따라서 차콜 및 활성탄은 오래 전부터 토양개량제로 이용되어 왔을 뿐만 아니라, 높은 흡착능력으로 인하여 탈취효과, 환경정화, 및 화학독소제거에 사용되어졌다(하 등, 2003). 오 등(2001)은 골프장 모형 그린에서 활성탄, Orpar 및 Zeolite의 처리가 Fenitrothion, Triadimefon, 및 Diniconazole의 용탈에 미치는 영향에 관한 실험에서 잔류성이 짧거나 흡착성이 큰 농약인 Fenitrothion, Triadimefon은 용탈이 매우 제한적으로 일어났으며, 잔류성이 긴 Diniconazole은 조사기간 동안 지속적으로 또는 높은 농도로의 용탈을 보였다. 그러나 활성탄 또는 Orpar 처리구에서는 Zeolite 처리구에 비하여 상대적으로 낮은 용탈성을 보여, 모든 농약 처리구에서 0.01% 미만의 용탈량을 보였다. 이와 같은 선행연구를 바탕으로, 현재 제주도에서는 농약 용탈저감방안으로 골프코스 그린지반구조에 농약 흡착층으로서 흡착능력이 우수한 입상 활성탄 1등급을 사용할 것을 제안하고 있다.

본 실험에서는 입상 활성탄 및 차콜에 의한

농약의 흡착 및 탈착 성능을 비교 평가하였다. 대상 농약으로는 현재 골프장에서 각각 살충제 및 살균제로 많이 사용 중인 Fenitrothion (스미치온)과 Tebuconazole (호리쿠어)를 선정하였다. 본 실험은 스미치온 및 호리쿠어의 처리 농도별 또는 흡착제의 크기별 흡착실험과 스미치온의 활성탄 및 차콜 컬럼으로 부터의 용탈실험을 실시하여 농약의 흡착정도를 알아보고자 하였다.

재료 및 방법

흡착제와 흡착질

흡착제(adsorbent)로 입상의 활성탄 I, 활성탄 II, 및 차콜을 사용하였다. 활성탄 및 차

콜은 (주)광운 C&S에서 제조되어진 상업용 야자계를 구입하였다. 각각의 흡착제 입도분포는 Table 1과 같았으며, 직경 0.05mm 이하 입자의 함량이 낮았다. 사용에 앞서 각 흡착제들은 이물질들을 제거하기 위해 증류수로 세척한 뒤, 건조기에서 110℃, 24시간 건조하였다. 활성탄 및 차콜의 일반적인 성질은 Table 2와 같다. 요오드 흡착성능, 회분, 및 pH는 한국산업규격 활성탄 실험법(KS M 1802)에 준하여 측정하였고, 비표면적 측정은 ethylene glycol monoethyl ether(EGME) 측정방법(Carter et al., 1986)에 의하여 측정하였다.

흡착질(adsorbate)인 농약으로는 현재 골프장에서 많이 사용되며, 환경부에서 지정한 골프장 농약잔류량검사 대상품목(환경부, 2002)

Table 1. Particle size distribution of granular activated carbon I (GAC I), granular activated carbon II (GAC II), and charcoal.

Sieve No.	100	70	50	40	35	20	16	12	10	(unit : %)	
Sieve size(mm)	<0.150	0.150	0.212	0.300	0.425	0.500	0.850	1.180	1.700	2.000	Total
GAC I	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	12.6	31.1	31.5	24.5	100
GAC II	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	14.0	37.5	32.7	14.8	100
Charcoal	1.0	0.1	0.1	0.2	0.1	8.3	13.1	16.3	23.6	37.3	100

Table 2. Chemical and physical properties of granular activated carbon I (GAC I), granular activated carbon II(GAC II), and charcoal.

Material	Adsorptive capacity of Iodine(mg · g ⁻¹)	Specific surface area (m ² · g ⁻¹)	Ash content (%)	pH
GAC I	1072	734	8.5	10.1
GAC II	1051	655	9.0	10.2
Charcoal	336	270	2.0	9.2

Table 3. Physicochemical properties of Fenitrothion(Smithion) and Tebuconazole(Folicur).

Name	Fenitrothion	Tebuconazole
Useage	insecticide	fungicide
IUPAC	<i>O,O</i> -dimethyl <i>O</i> -4-nitro- <i>m</i> -tolyl phosphorothioate	(<i>RS</i>)-1- <i>P</i> -chlorophenyl-4,4-dimethyl-3-(1- <i>H</i> -1,2,4-triazol-1-yl methyl)pentan-3-ol
Molecular weight	277.2	307.8
Vapor pressure at 20℃(mPa)	0.15	1.3×10 ⁻³
Octanol / Water partition coefficient at 20℃(log <i>K_{ow}</i>)	424	3.7
Water solubility at 20℃(mg · L ⁻¹)	24	32

으로 살충제인 스미치온(Fenitrothion)과 살균제인 호리쿠어(Tebuconazole)를 선정하였다 (Table 3).

스미치온 및 호리쿠어의 처리 농도별 또는 흡착제의 크기별 흡착실험

흡착제 입자크기가 스미치온 및 호리쿠어의 흡착에 미치는 영향을 알아보기 위한 실험을 실시하였다. 직경 45 μ m 이하의 활성탄 I, 활성탄 II, 및 차콜을 위하여 체(sieve) No. 40 이 이용되었으며, 1.7~2.0mm의 활성탄 I, 활성탄 II, 차콜은 체 No. 10 및 12가 이용되었다. 직경 45 μ m 이하 및 직경 1.7~2.0mm의 흡착제 크기를 선택한 이유로는, 한국산업규격 활성탄 시험방법 KS M 1802 (2003)에 따르면 측정대상 활성탄 시료를 45 μ m 이하로 규정하기 때문이며, 직경 1.7~2.0mm로 선택한 이유로는 골프코스에서 식재층의 입자 균일성을 유지하기 위하여 주로 사용되어질 것으로 예상되는 흡착제 크기(8 \times 30 mesh)이기 때문이다. 실험 방법으로는 50mL의 원심 분리관에 0.5g의 활성탄 I, 활성탄 II, 및 차콜을 넣고, 10mg \cdot L⁻¹ 및 100mg \cdot L⁻¹의 스미치온 및 호리쿠어를 각각 40mL씩을 처리하였다. 30분 동안 교반한 후, 30분 동안 원심분리(500 \times g)하여 상등액 30mL을 1회용 주사기와 0.4 μ m polyethersulfone membrane filter를 이용하여 50mL borosilicate glass vial에 채취하였다. 상등액 내의 스미치온 및 호리쿠어의 농도는 gas chromatography(Varian CP 3800, USA)로 분석하였다. 또한, 실험결과를 흡착제가 흡착질에 흡착되는 정도를 나타내기 위하여 흡착율(sorption, %)를 이용하여 계산되었다.

$$\text{Sorption}(\%) = \frac{C_0 - C_w}{C_0} \times 100$$

여기에서 C_0 는 초기 흡착질의 농도로서, 초기 스미치온 및 호리쿠어의 농도에 해당된다 (mg \cdot L⁻¹). C_w 는 흡착질이 흡착체와 반응 후, 용액 내에 잔류한 흡착질의 농도로서, 흡착반응이 완료된 후의 스미치온 및 호리쿠어의 농도에 해당된다(mg \cdot L⁻¹).

스미치온의 활성탄 I 및 차콜 컬럼으로 부터의 용탈실험

활성탄 I 및 차콜이 스미치온 용탈에 미치는 영향을 알아보기 위하여 컬럼실험을 실시하였다. 아크릴 재질의 컬럼(내경 50mm, 길이 200mm)에 높이 110mm로 1.7~2.0mm 활성탄 I(115 g), 차콜(130 g), 및 모래(315 g, 대조구)를 균일하게 채운 후, 포화조건에서 실험을 실시하기 위하여 흡착제가 충전된 각각의 컬럼을 0.01M CaCl₂ 용액을 가지고 컬럼 바닥부터 시간당 10mm씩 포화시켰다. 각각의 컬럼의 공극부피(pore volume, PV)를 측정하기 위해 포화 전과 포화 후의 무게변화를 측정하였다. 그 결과, 활성탄 I, 차콜, 및 모래의 공극량은 각각 71%, 64% 및 48%였다. 따라서 활성탄 I, 차콜, 및 모래의 1.0 PV은 각각 140mL, 125mL, 및 97mL에 해당하며, 또한 각각 440mm, 393mm, 및 305mm의 관수량에 해당된다. 각각의 컬럼은 Figure 1과 같이 0.01M CaCl₂ 용액이 충전된 메리오프관(Marriott bottle)에 연결하여 포화 상태 및 일정한 수두구 압력을 유지시켰다. 각 컬럼 내의 흡착제들은 세척과 일정한 이온세기(ion strength)를 유지하기 위하여 0.01M CaCl₂을 바탕용액(background solution)으로 사용하였으며, 24cm \cdot h⁻¹의 투수 속도 및 유출되는 양이 일정해질 때까지 컬럼을 세척하였다. 컬럼에 처리된 농약의 농도 기준은 농약 사용지침서(2005)를 참고하였다. 1회 농약 처리 기준에 입각하여 1000배 희석되어진 스미

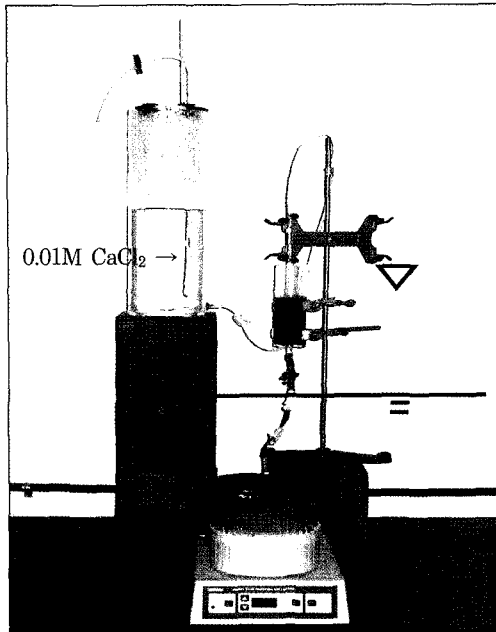


Fig. 1. A scheme for leaching study of Fenitrothion in granular activated carbon, charcoal, and sand columns. The columns are connected with Mariotte bottle.

치온을 $3L \cdot m^{-2}$ 로 처리하였으며(컬럼 당 $5.89mL$ 의 희석된 스미치온이 처리 되었고, 이는 $2.95\mu L$ 의 스미치온 유효성분량(active ingredient, AI) 기준에 해당된다. 총관수량은 $4.0 PV$ 이다. 유출수는 $0.2 PV$ 씩 fraction collector(Bio-Rad model 2110)를 이용하여 채취하였다. 채취된 용탈수 내의 스미치온은 gas chromatography로 분석하였다.

농약분석

농약 잔류량 분석은 환경부에서 정한 골프장 농약 잔류량 시험방법(환경부, 2002)에 따라 gas chromatography를 사용하였다. 시료의 전 처리 과정은 먼저 5배농도 처리한 용탈액에서 각각 $25mL$ 씩을 취하고 $40mL$ vials에 넣은 후 $5mL$ hexane : ethyl acetate (1:1) 혼합용매를 넣어 1분간 진탕하였다. 진탕 후 30

분간 방치 후 상부의 유기용매층을 일부 취하여 $1.8mL$ Vials에 넣었다. 이 용액 중 $2\mu L$ 를 마이크로 시린지로 취하여 gas chromatography에 주입한 뒤, gas chromatography-thermionic specified detector에 의하여 검출 정량하였다. 분석기기 gas chromatography operation 조건으로, oven 온도는 처음 2분간 온도를 $100^{\circ}C$ 로 유지하고 $200^{\circ}C$ 까지는 $20^{\circ}C \cdot min^{-1}$ 로 다시 $280^{\circ}C$ 까지는 $10^{\circ}C \cdot min^{-1}$ 로 올린 후 2분간 유지하였으며, injector 온도는 $270^{\circ}C$ 이며, 검출구의 온도는 $290^{\circ}C$ 이다. 사용된 컬럼은 Ultra-2 capillary이며 규격은 $25m \times 0.32mm \times 0.52\mu m$ 이다. 스미치온 및 호리쿠어의 표준곡선은 각각 $0 \sim 35mg \cdot L^{-1}$ 및 $0 \sim 45mg \cdot L^{-1}$ 농도범위에서 직선을 보였다(Fig. 2).

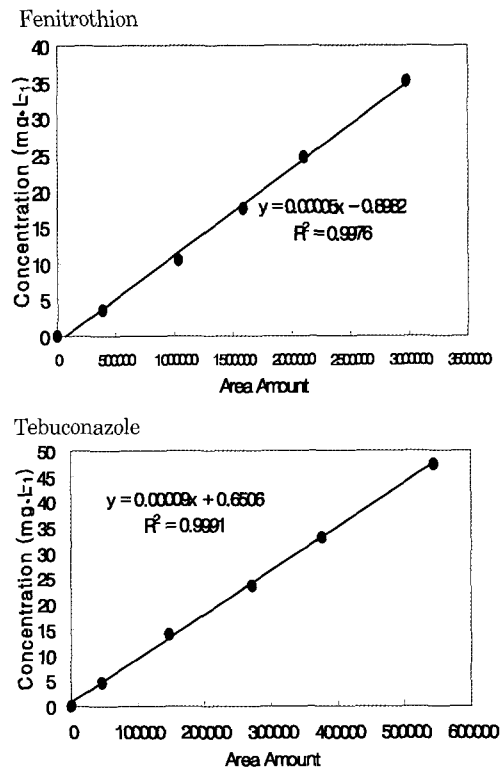


Fig. 2. Standard curves of Fenitrothion and Tebuconazole for gas chromatography analysis.

결과 및 고찰

스미치온과 호리쿠어의 처리 농도, 흡착제의 크기별 흡착실험

스미치온 및 호리쿠어의 처리 농도별 또는 흡착제의 크기별 흡착실험 결과는 Table 4와 같다. 스미치온 및 호리쿠어의 모든 처리에서 흡착제의 입자크기가 작아질수록, 즉 흡착제 직경 45 μm 이하로의 처리가 직경 1.7~2.0mm의 처리에 비하여 높은 흡착율을 보였다. 흡착제 직경 45 μm 이하의 처리의 경우에는 모든 처리구에서 90% 이상의 흡착율을 보였는데, 스미치온의 처리 경우에는 활성탄 I 및 활성탄 II가 차콜 보다 흡착질의 흡착율이 높았으며, 호리쿠어의 경우에는 흡착질 간의 유의차가 없었다. 흡착제 직경 45 μm 이하의 처리의 경우에는 최고 87%(스미치온 활성탄 II)~최저 25%(스미치온 차콜)의 넓은 흡착율 범위를 보였다. 그러나 스미치온 및 호리쿠어의 처리 모두 10mg · L⁻¹에서 100mg · L⁻¹의 고농도로 갈수록 농약 흡착율은 처리한 흡착제의 종류와 무관하게 일괄적으로 흡착율이 감소함을 보였으며, 차콜 보다는 활성탄 I 및 활성탄 II에서 높은 흡착을 보였다. 흡착체에 의한 흡착질의 흡착량은 (1) 흡착제의 표면적, 세공구조, 표면화학작용 등의 특성과 (2) 흡착제의 화학적 성질, 분자크기, 친수성, 극성 등의 특성에 의해서 결정된다. 뿐만 아니라, 매질에서의 흡착질의 농도, 온도, pH, 용액의 조성과 같은 물리·화학적 조건에 의해서 결정된다(中野 등, 1990; Dabrowski et al., 2005; Kyotani, 2000).

흡착제의 크기별 흡착효과로는 흡착제의 입자가 크기가 작을수록 흡착질인 스미치온 및 호리쿠어의 흡착율이 높았으며, 직경 45 μm 이하 흡착제에 10mg L⁻¹ 또는 100mg L⁻¹의

호리쿠어를 처리한 것을 제외하고는 차콜 보다 활성탄 I 및 활성탄 II에서 더 높은 흡착율을 보였다. 따라서 흡착제의 직경이 45 μm 이하인 것은 직경 1.7~2.0mm인 것에 비해 세공구조는 변화하지 않았으나, 물리적 변화에 따른 외부표면적(external surface area)의 증가로 흡착율이 증가된 것으로 추정된다. 활성탄 I 및 활성탄 II와 차콜의 물질의 차에 의한 효과로는 내부표면적(internal surface area)의 증가로 추정된다. 차콜의 경우, 1 g 당 약 250m²의 단면적을 갖게 됨으로서 물질에 대한 흡착력을 갖게 된다(中野 등, 1990). 한편, 활성탄(activated carbon)이란 탄화된 차콜의 특성 중 하나인 흡착력을 더욱 활성화(gasification 또는 activation)시키기 위해 특수하게 축조된 고압가마에서 초고온(600~900°C)의 수증기를 가하여 숯을 화학적, 물리적으로 열처리하여 재가공한 것인데, 그 결과 활성탄은 1g당 1,000~1,600 m²이라는 대단히 넓은 표면적을 갖는다(中野 등, 1990). 특히, 활성탄의 경우 활성화 과정에 의하여 세공구조의 변화를 동반하게 되는데, 물질이 흡착되는 공간을 제공하는 흡착공의 양적 증가가 있다. 결국, 활성탄의 세공분포는 10Å의 세공구조를 주로하는 해면상의 다공질이 된다(권 등, 2004). 활성탄 내 흡착 메카니즘은 중간세공(mesopore) 및 중간미세공(secondary micropore)이 지배적인 요인이다(眞田 등, 2001; Pelekani and Snoeyink, 2001).

흡착제인 스미치온 및 호리쿠어의 화학적 성질에 의한 영향성으로는 흡착제의 친수성 및 극성이 있다. 스미치온의 물에 대한 용해도 및 물질의 극성의 지표가 될 수 있는 옥탄올/물 간의 분배계수(log octanol-water partition coefficient, log *K_{ow}*)는 각각 24mg L⁻¹ 및 424이다(Table 3). 호리쿠어의 물에 대한 용

Table 4. Sorption of Fenitrothion and Folicur in granular activated carbon and charcoal. (unit : %)

Adsorbate	Sorption (%) ²							
	Fenitrothion				Tebuconazole			
	10mg L-1		100mg L-1		10mg L-1		100mg L-1	
	< 45µm	1.7~2.0mm	< 45µm	1.7~2.0mm	< 45µm	1.7~2.0mm	< 45µm	1.7~2.0mm
GAC I	99 a ^y	87 a	53 a	-	99	99 a	98	64 a
GAC II	99 a	86 a	52 a	37 a	98	99 a	98	63 a
Charcoal	90 b	53 b	42 b	25 b	97	73 b	98	47 b

²Sorption(%) = $\frac{C_0 - C_w}{C_0} \times 100$; C_0 , initial concentration of adsorbate ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); C_w , non-adsorbated adsorbate concentration in solution ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$).

^yWithin the same test method values with same letter in a column are not significantly different at the 0.05 probability by LSD test.

해도 및 $\log K_{ow}$ 는 각각 32mg L^{-1} 및 3.7이다. 따라서 스미치온은 호리쿠어에 비해 상대적으로 큰 용해도와 작은 $\log K_{ow}$ 값을 가지므로, 호리쿠어에 비해 소수성 화합물이다. 물에 대한 용해도가 크고, $\log K_{ow}$ 가 작은 화합물은 물에 대한 용해도가 작고, $\log K_{ow}$ 가 큰 화합물에 비하여 토양에서 높은 이동성을 갖게 된다(Heysel et al., 2002; Xu et al., 2002). 따라서 Table 4의 결과 100mg L^{-1} 의 스미치온 및 호리쿠어의 처리에서 크기가 동일한 흡착제에서 각각 스미치온에 비해 호리쿠어의 흡착율이 모두 낮았던 것은 흡착질의 화학적 성질에 기인하는 것으로 생각된다.

스미치온의 활성탄 I 및 차콜 컬럼으로 부터의 용탈실험

활성탄 I, 차콜, 및 모래에 흡착되었던 스미치온의 탈착성능을 비교하였다(Figure 3). 실험결과는 각 흡착제를 통과한 용탈수 내의 스미치온 농도(C_w)와 초기 스미치온 농도(C_0)의 상대적 비율(C_w/C_0)을 관수의 기준이 되었던 흡착제의 포화량(PV)로 나타내었다. 모래에 의한 스미치온의 용탈이 시작되는 곳은 0.4 PV 지점이었으며, 1.0 PV 지점에서 흡착 기작이 종료되었다. 즉, 1.0 PV 지점에서 용

탈수 내의 스미치온 농도(C_w)와 초기 스미치온 농도(C_0)의 상대적 비율(C_w/C_0)이 0.95로 최고치를 기록하였다. 이는 모래라는 흡착제가 스미치온이라는 흡착질에 대하여 흡착성을 갖지 않음을 의미한다(眞田 등, 2001). 그러므로 모래에서는 흡착이 거의 일어나지 않고 탈착이 이루어졌음을 의미한다. 한편, 활성탄 I 및 차콜은 4.0 PV 지점까지 스미치온이 검출되지 않았으므로 탈착이 되지 않았다. 4.0 PV

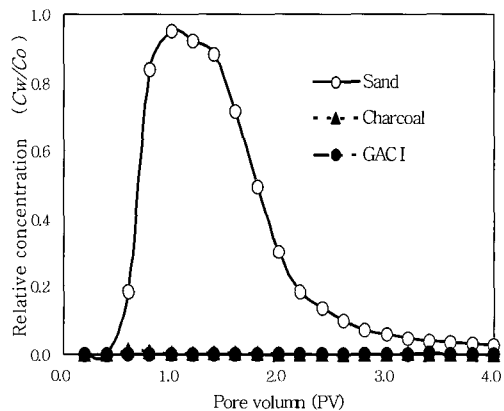


Fig. 3. Relative concentration of Fenitrothion in leachate from granular activated carbon I(GAC I), charcoal, and sand columns. C_0 is initial concentration of Fenitrothion ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$). C_w is concentration of Fenitrothion in leachate ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$).

의 관수량은 활성탄 I, 차콜, 및 모래에 있어서 각각 1758mm, 1572mm, 및 1220mm에 해당되는 양으로서 우리나라 연평균 강수량은 1200~1300mm 범위인 것을 감안할 때, Figure 3의 결과로는 호리쿠어에 비하여 이동성이 큰 스미치온도 활성탄 I에서 뿐만 아니라, 차콜에서도 용탈이 없을 것으로 예상된다. 한편, Letey 등(2000)의 보고에 따르면 농약의 토양 내 이동은 유기물 함량이 많을수록 증가한다고 한다. 이는 조건에 따라서는 강수량뿐만 아니라 다른 환경적 요인에 의하여 스미치온의 용탈이 이루어질 수 있다.

요약

본 실험은 농약 흡착제(adsorbent)로서 입상 활성탄(활성탄 I 및 활성탄 II) 및 차콜의 사용가능성을 알아보기 위하여 흡착질(adsorbate)로 현재 골프장에서 사용하고 있는 살충제인 스미치온(Fenitrothion)과 살균제인 호리쿠어(Tebuconazole)를 대상으로 하였다. 흡착실험에서는 스미치온 및 호리쿠어의 처리 농도별 흡착에 미치는 영향과 흡착제의 입자크기가 흡착에 미치는 영향을 살펴본 결과, 흡착실험에서는 흡착제의 입자 크기가 작을수록 높은 흡착율을 보였으며, 활성탄이 차콜에 비하여 상대적으로 높은 흡착율을 나타내었다. 그러나 스미치온의 탈착(desorption)에 관한 실험에서는 활성탄 및 차콜 모두 1200mm 이상의 강우량에서도 스미치온이 용탈되지 않았으므로, 차콜 또한 활성탄과 함께 골프장 농약 흡착제로서의 이용 가능한 것으로 나타났다.

주요어 : 용탈, 스미치온, 차콜, 호리쿠어, 흡착, 활성탄

감사의 글

이 논문은 2005년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음 (KRF-2005-F00002).

참고문헌

1. 권준호, 이민정, 배상규, 이송우, 나영수, 안창덕, 윤영삼, 송승구. 2004. 활성탄의 종류와 입자 크기에 따른 Toluene의 파괴 곡선비교. 대한환경공학회. 추계학술연구발표회:1274-1278.
2. 농약공업협회. 2005. 농약사용지침서. 농약공업협회.
3. 류순호. 2000. 토양사전. 서울대학교 출판부.
4. 오상실, 고용구, 현해남, 정종배. 2001. 골프장 모형그린에서 활성탄, Orpar 또는 Zeolite의 처리가 Fenitrothion, Triadimefon, Diniconazole의 용탈에 미치는 영향. Journal of the Korean Society of Agricultural Chemistry & Biotechnology. 44(2):97-102.
5. 하상도, 심상국, 이춘옥, 이재욱. 2003. 숲과 활성탄의 기능성과 연구 동향 분석. 식품과학과 산업. 36(2):99-105.
6. 한국산업규격. 2003. KS M 1802 활성탄 시험방법. 기술표준원 고시 제03-1533호.
7. 환경부. 2002. 골프장 농약 잔류량 시험방법. 행정간행물등록번호:11-1480000-000635-01.
8. 환경부. 2005a. 2005년 상반기 골프장 농약사용 실태조사 결과. 환경부 보도자료. 2005. 9.
9. 환경부. 2005b. 골프장 농약사용 실태조

- 사 결과. 환경부 보도자료. 2005. 4.
10. 현해남, 오상실, 유순호. 1995. 제주도 대표 토양에서 Alachlor와 Chlorothalonil의 흡착과 이동 연구. 한국환경농학회지. 14(2):135-143.
 11. 眞田雄三, 鈴木其之, 藤元薫(朴永泰譯). 2001. 新版 活性炭 基礎와 活用. 東和技術.
 12. 中野重和, 田村知子, 北川陸夫. 1990. 最新における活性炭による水處理技術. 水處理技術. 33(5):249-260.
 13. Carter, D.L., M.M. Mortland, and W.D. Kemper. 1986. Specific surface. In : Klute A., ed. Methods of soil analysis. Part 1. 2nd ed. Agron. Monogr. 9. Madison, WI : American Society of Agronomy and Soil Science Society of America. 413-423.
 14. Dabrowski, A., P. Podkoscielny, Z. Hubicki, and M. Barczak. 2005. Adsorption of phenolic compounds by activated carbon - a critical review. Chemosphere. 58:1049-1070.
 15. Heyse, E., D. Augustijn, P.S.C. Rao, and J.J. Delfino. 2002. Nonaqueous phase liquid dissolution and soil organic matter sorption in porous media: review of system similarities. Critical Reviews in Environmental Science and Technology. 32(4):337 - 397.
 16. Government of Cheju province. 1997. In overall survey of middle altitude area of Cheju island.
 17. Kyotani, T. 2000. Control of pore structure in carbon. Carbon. 38:269-286.
 18. Letey, J., C.F. Williams, W.J. Farmer, S.D. Nelson, M. Agassi, and M. Ben-Hur. 2000. The role of dissolved organic matter in pesticide transport through soil. In: Ross, L.J. (ed). Agrochemical movement : Perspective and scale, pp. 347-360, American Chemical Society, Columbus, OH.
 19. Linnquist, B.A., P.W. Singleton, R.S. Yost, and K.G. Cassman. 1997. Aggregate size effects on the sorption and release of phosphorus in an Ultisol. Soil Science Society of America Journal. 61(1):160-167.
 20. Pelekani, C. and V.L. Snoeyink. 2001. A kinetic and equilibrium study of competitive adsorption between atrazine and Congo red dye on activated carbon : the importance of pore size distribution. Carbon. 39:25-37.
 21. USGA Green Section Staff. 2004. Specifications for a method of putting green construction. USGA, Far Hills, NJ.
 22. Xu, F., X. Liang, B. Lin, F. Su, K.W. Schramm, and A. Kettrup. 2002. Linear solvation energy relationships regarding sorption and retention properties of hydrophobic organic compounds in soil leaching column chromatography. Chemosphere. 48:553 - 562.