

골프장 모형그린에서 활성탄, Orpar 또는 Zeolite의 처리가 Fenitrothion, Triadimefon, Diniconazole의 용탈에 미치는 영향

오상실 · 고용구 · 현해남^{1*} · 정종배²

제주도 보건환경연구원, ¹제주대학교 원예생명과학부, ²대구대학교 생명환경학부

(2001년 3월 3일 접수, 2001년 4월 18일 수리)

제주도에서 지하수의 충전지역으로 중요한 역할을 하고 있는 한라산의 중산간 지역에 집중적으로 골프장이 건설되고 있어 잔디 관리용으로 살포된 농약에 의한 지하수의 오염이 우려되고 있다. 흡착제인 활성탄, Orpar 또는 zeolite를 lysimeter 형태의 모형그린에 35 cm 깊이에 3 cm 두께로 처리하여 농약의 용탈 억제 효과를 비교하였다. 시험 농약으로는 fenitrothion, triadimefon, diniconazole을 수화제로 모형그린 표면에 살포하였으며 통상적인 그린 관리 조건하에서 농약의 용탈현상을 조사하였다. 용탈현상은 주로 자연강우에 의해 발생되었으며 비강우시의 관수는 농약의 용탈에 큰 영향을 미치지 않았다. 잔류성이 짧거나 흡착성이 큰 농약인 fenitrothion과 triadimefon의 용탈은 강우량이 많은 조사 초기에만 매우 제한적으로 일어났으며 특히 fenitrothion은 용탈 가능성이 거의 없는 농약으로 나타났다. 잔류성이 긴 diniconazole은 조사기간 동안 지속적으로 또 가장 높은 농도로 용탈되었다. 따라서 투수성이 크고 유기화합물에 대한 흡착력이 낮은 사질의 그린 조건에서는 농약의 잔류성이 용탈에 영향을 미치는 주 요인으로 나타났다. 초기 살포량을 기준으로 계산된 용탈율을 보면 fenitrothion과 triadimefon은 0.2% 이하였으며 diniconazole은 1.8% 정도로 비교적 높았다. 흡착제의 처리로 이들 농약의 용탈을 크게 감소시킬 수 있는 것으로 나타났는데, 특히 활성탄과 Orpar를 흡착제로 처리한 모형그린에서 농약의 용탈율을 0.01%이하로 감소시킬 수 있었다. 흡착제를 처리하지 않을 경우에 용탈수 중에서 검출된 농약의 농도는 지하수로 유입된다 하여도 음용수의 수질 측면에서 문제가 되지 않을 정도로 낮았으며, 활성탄과 같은 흡착제를 처리함으로써 골프장에서의 농약 용탈 문제를 보다 근본적으로 차단할 수 있을 것으로 판단된다.

Key words : 골프장, 농약, 용탈, 흡착제, diniconazole, fenitrothion, triadimefon

서 론

제주도는 화산도이므로 한라산의 중산간 지역은 화산회토로 구성되어 있어 투수성이 최대 109.9 cm/hr 정도로 높기 때문에, 연간 강우량 1,872 mm의 44%인 830 mm가 지하수로 충전되는 것으로 알려져 있다.^{1,2)} 이러한 높은 투수성 때문에 제주도 하천의 대부분은 건천이며, 상시 흐르는 하천의 경우 모두 용천수에 그 근원을 두고 있다. 따라서 제주도에서는 대부분의 용수를 지하수에 의존하고 있는 실정이므로, 이러한 지하수의 수질 보호는 제주도의 생활환경 확보 측면에서 매우 중요한 사안이다.

제주도에는 현재 7개의 골프장이 조성되어 있으며, 앞으로 제주도 종합개발계획에 따라 25개가 추가로 조성될 예정이다. 현재 골프장들이 위치하고 있는 지역 또는 새로 조성될 지역은 대부분 지하수의 충전지역으로서 중요한 가치를 지니고 있는 한라산의 중산간에 위치하고 있다. 골프장 1개를 조성하는 데는 보통 100 ha의 면적이 소요되며, 각 골프장에는 지역과 기후 조건에 따라 차이는 있지만 연간 평균 23 kg/ha의 농약이 사용되고 있다. 따라서 계획된 25개를 포함하여 32개의 골프장이 모두 건설되어 현재 사용량 수준으로 농약이 살포된다고 가정하면, 연간 약 74톤의 농약이 골프장 지역에 사용될 것

로 예상된다. 이들 살포된 농약은 지하수 충전지역의 높은 투수성 때문에 지하수로 용탈될 가능성이 높은 것으로 판단되며 제주도 지하수의 수질을 크게 훼손할 것으로 우려되고 있다. 따라서 지하수 충전지역에 위치한 골프장에서 농약의 사용이 불가피한 실정이라면 이들 농약이 용탈되어 지하수로 들어가는 것을 차단할 수 있는 방안이 시급히 모색되어야 할 것이다.

지표면에 살포된 농약이 지하수로 용탈되기 위해서는 우선 토양층을 통과하여 이동해야 하는데 대개 이 과정에서 토양입자에 흡착되거나 분해되기도 한다. 물론 물에 대한 용해도가 높고 흡착성이 약한 농약은 그만큼 높은 용탈 가능성을 가진다. 또한 농약의 흡착에 주로 작용하는 유기물의 함량이 낮은 토양이나 투수성이 큰 토양의 경우에는 농약의 용탈이 쉽게 일어날 수 있다. 골프장의 퍼팅그린은 심한 다짐 현상 하에서도 잔디의 뿌리가 자라는데 지장이 없을 정도의 통기성과 투수성이 확보되어야 하므로 모래를 주재료로 조성된다. 따라서 퍼팅그린은 유기물의 함량이 낮아 농약에 대한 흡착력이 약하며 높은 투수성 때문에 농약의 용탈을 쉽게 유발시킬 수 있는 특징을 갖는다. 농약의 유실에 따른 주변 환경의 오염을 줄이기 위한 수단으로 흡착물질을 사용할 수 있으며 이들 물질은 농약의 이동을 쉽게 차단할 수 있다.^{3,5)} 투수성이 크고 흡착력이 약한 골프장 그린에 살포된 농약의 용탈을 감소시키기 위해서는 하층 토양의 흡착력을 증가시킬 필요가 있으며 투수성을 저해하지 않고도 흡착력을 증대시킬 수 있는 흡착제의 선별과 그 효과의 검정이 필요하다.

*연락처

Phone: 82-64-754-3345; Fax: 82-64-756-3351

E-mail: hnhyun@cheju.ac.kr

본 연구에서는 소규모의 모형그린을 이용하여 흡착제 처리가 골프장 그린에서의 농약의 용탈 방지에 미치는 효과를 규명하고자 하였다.

재료 및 방법

모형 그린의 제작과 설치. 모형은 1 cm 두께의 아크릴 판을 이용하여 사각 상자 형태로 제작하였는데, 상부 표면의 크기는 90 cm×90 cm, 깊이 75 cm, 하부 표면 크기는 75 cm×75 cm로서 상부보다는 하부 표면적을 작게 하여 전체 용적은 0.51 m³이었다.

흡착제를 처리하지 않은 모형그린의 경우에는 표면에서부터 35 cm 깊이까지는 peatmoss와 zeolite를 혼합한 모래(sand 80% + peatmoss 17% + zeolite 3%)를 충전하였고, 35 cm에서 50 cm까지 15 cm 깊이로 모래를 충전하였으며 50 cm 이하의 바닥층 25 cm 깊이는 자갈로 충전하였다. 이러한 충전은 일반적인 골프장 설계기준에 따른 것이다. 흡착제를 처리한 모형그린의 경우는 표층 35 cm 깊이까지는 peatmoss와 zeolite를 혼합한 모래를 충전하였고, 그 아래에 3 cm 두께로 흡착제를 충전하였으며, 흡착제층 아래에는 15 cm와 22 cm의 깊이로 각각 모래와 자갈을 충전하였다. 농약 흡착제로는 제주도의 일부 골프장에서 농약 유실 방지 목적으로 사용되고 있는 아자활성탄, Orpar(활성탄을 가공 처리하여 만든 흡착제) 및 zeolite를 시중에서 구입하여 사용하였는데, 입도는 각각 12~32, 16~32, 7~32 mesh 정도였다. 각 모형그린의 상부 표면에는 그린용 잔디인 bentgrass를 이식하여 활착이 된 후 시험에 이용하였으며 자체 한 모형그린의 구조는 Fig. 1에 나타내었다.

제주도 남제주군 안덕면에 소재한 Pinx 골프장의 그린용 잔디육성포장을 굴착하고 활성탄, Orpar, zeolite를 각각 처리한 3개의 모형그린과 흡착제를 처리하지 않은 모형그린 등 모두 4개의 모형그린을 lysimeter 형태로 설치하였으며 관수 등 일반적인 골프장 그린 관리 조건하에서 시험을 수행하였으며, 공간 부족 등의 제약 조건으로 인하여 각 처리별로 반복구는 두지 못하였다.

농약의 처리 및 용탈 시료 채취 제주도의 골프장 그린에서 많이 사용되고 있는 유기인계 살충제 fenitrothion과 triazole계 살균제 triadimefon 및 diniconazole이 본 연구에 사용되었는데, 각 농약의 구조는 Fig. 2에 나타내었고 주요한 물리화학적 특성들은 Table 1에 나타내었다.^{6,9)} 각 약제의 살포량은 약제별 흡착 특성과 골프장에서의 살포기준을 고려하여 결정하였는데, fenitrothion은 6.2 kg a.i./ha 수준으로 처리하였고 triadimefon 및 diniconazole은 각각 3.1 kg a.i./ha 수준으로 처리하였는데, 1997년 6월 8일에 모두 수화제로 혼합하여 동시에 모형그린의 표면에 살포하였다.

모형그린에는 주변 육성포와 동일하게 매일 1회 오전 10시경 5 mm 씩 관수하였으며 5 mm 이상의 강우가 있는 날에는 관수하지 않았다. 시험기간 동안 강우일수는 41일이었으며 총 강우량은 497 mm이었는데, 약제 살포 이후의 날짜별 강우량 분포는 Fig. 3에 나타내었다.

농약을 살포한 다음 날인 1997년 6월 9일부터 용탈수를 채

취하기 시작하였으며 9월 19일 까지 109일 동안 농약의 용탈 현상을 조사하였다. 용탈수는 20l 부피의 채수용기에 모이게 하였으며 채수된 양을 측정하고 잘 혼합한 후 1 l 정도를 분석용 시료로 폴리에틸렌 용기에 담아 실험실로 운반하여 즉시 분석하였다. 비강우시의 1일 채수량은 1 l 미만으로 적었으며 이러한 시기에는 3~5일간의 시료를 혼합하여 분석하였다.

농약의 분석. 시료 500 ml를 분액깔대기에 넣고 포화 NaCl 용액 20 ml를 가한 다음 n-hexane과 ethyl acetate 1:1 혼합용매 50 ml를 넣어 1분간 진탕하였다. 물 층을 다른 분액깔대기에 옮겨 다시 50 ml의 혼합용매를 가해 진탕 후 물 층을 버렸다. 유기용매 층을 모으고 무수 Na₂SO₄ 10 g을 담은 여지에 통과시켜서 250 ml 평저 플라스크에 받고, 다시 혼합용매 10 ml로 분액깔대기와 여제를 씻어주었다. 추출액을 60°C 물중탕 회전진공증발농축기로 마른 상태까지 농축한 후 acetone 5 ml에 재용해시킨 후 분석시료로 하였다. 농약은 ⁶³Ni-electron capture detector가 장착된 Hewlett Packard model 5890 series II gas chromatograph로 분석하였다. Triadimefon, diniconazole 및 fenitrothion의 분리용 칼럼으로 HP-1 capillary column(10 m×0.53 mm id×2.65 μm film thickness)을 사용하였으며, 2 μl의 시료를 주입하였다. Injection과 detection port의 온도는 각각 270 및 300°C이었고 칼럼 온도는 180°C에서 1분간 유지한 후 분당 4°C씩 270°C까지 증가시켰으며, carrier와 makeup 개스로는 고순도 질소를 사용하였으며 각각 2와 40 ml/min 속도로 주입하였다. 각 농약의 회수율은 92% 이상이었으며 검출한계는 triadimefon, diniconazole 및 fenitrothion에 대하여 각각 0.5, 0.2, 및 0.7 μg/l이었다. 농약의 용탈량은 채수시기별 농도와 채수량의 곱으로 계산하였다.

결과 및 고찰

1997년 6월 9일부터 9월 19일까지 109일간의 조사기간 동안 모형그린별로 자연강우와 관개수를 합하여 총 710 l의 물이 가해졌다. 75 cm 깊이 이하로 용탈되어 채취된 수량을 보면, 비강우시에는 1일 1 l 미만으로 적었으며 강우시에는 물론 강우량에 따라 용탈수량에는 차이가 많았으며, 며칠씩 강우가 연속된 시기에 주로 많은 용탈수가 채취되었는데 하루에 10 l 이상 채취된 날이 20일 정도였으며 하루 최대 80 l까지 채취되었다. 흡착제를 처리하지 않은 모형그린과 zeolite, 활성탄, Orpar를 처리한 모형그린에서 조사기간 동안 각각 488, 481, 440, 449 l의 용탈수가 채취되었으며 활성탄과 Orpar를 흡착제로 처리한 모형그린에서는 상대적으로 용탈수량이 적었다. 결국 표면에 가해진 물의 62~69%가 용탈된 것으로 이 정도의 높은 용탈율은 물론 투수성이 높은 모형그린의 구조 때문이다.

Fig. 4는 fenitrothion 6.2 kg a.i./ha, triadimefon과 diniconazole을 각각 3.1 kg a.i./ha씩 모형그린에 살포 처리한 후 날짜별로 채취된 용탈수 중의 농약의 농도를 나타낸 것이다. 흡착제를 처리하지 않은 모형그린에서 조사된 각 농약의 용탈 현상을 보면, 먼저 fenitrothion의 경우 20일째 부근에서 극히 소량으로 검출된 것을 제외하면 약제 살포 이후 전 조사기간을 통하여 검출되지 않았는데, 다른 농약에 비하여 2배의 농도로 살포하였음에

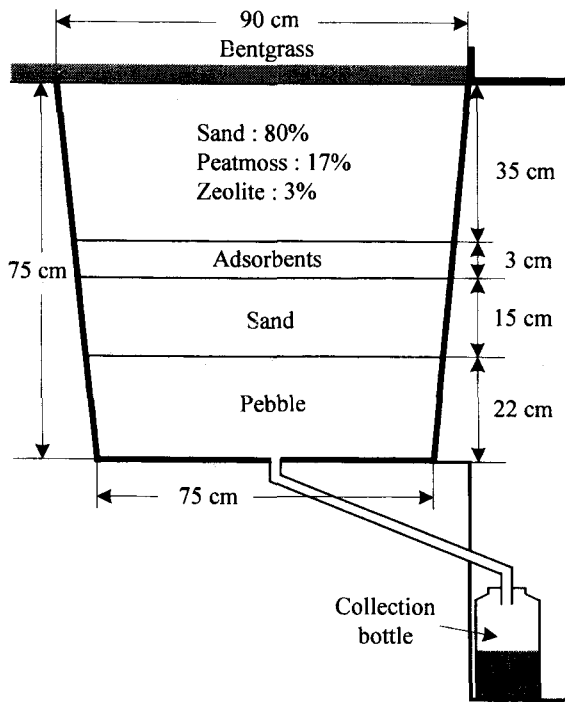


Fig. 1. Schematic cross-sectional diagram of the model green.

도 투수성이 높은 토양 구조하에서 제한적으로 용탈이 일어난 것은 결국 fenitrothion의 강한 흡착성과 짧은 반감기에 기인하는 것으로 볼 수 있을 것이다. 본 연구의 조사기간 동안 약제살포 이후 초기 15일간 강우 현상은 1회 1mm 밖에 없었는데, 살포 직후에 강한 강우 현상이 발생한다면 반감기가 짧은 fenitrothion의 용탈 가능성도 완전히 배제할 수는 없을 것이다. Triadimefon의 경우는 50mm 이상의 강우량을 포함하여 5일 정도의 연속 강우가 발생한 17일째 이후에 용탈수 중에서 처음으로 검출되었으며 이후 22일째에 최대 16 µg/l 농도로 검출되었으며 그 외 나머지 기간 동안에는 지속적으로 검출한계 이하의 극히 낮은 농도로 조사되었다. Triadimefon의 경우 잔류성이 fenitrothion과 비슷함에도 일부 용탈이 일어나는 것은 fenitrothion에 비하여 흡착성이 훨씬 약하므로 그만큼 이동성이 강하기 때문인 것으로 볼 수 있을 것이다. Diniconazole은 시험에 사용된 세 농약 중에서 가장 높은 농도로 조사 기간 동안 지속적으로 용탈되었는데, 강우현상이 없었던 시기를 포함하여 살포 직후부터 1.5 µg/l 이상의 농도로 용탈되었으며 22일째에 최대로 84.5 µg/l 농도로 용탈되었다. Triadimefon의 경우 세 가지 농약 중에서 용해도가 가장 높고 반면 흡착성은 가장 낮는데 이러한 특성을 고려한다면 triadimefon의 용탈 또한 가장 심하게 일어나야 할 것으로 보이나, triadimefon에 비하여 용해도는 낮고 흡착성은 오히려 강한 diniconazole이 지속적으로 훨씬 높은 농도로 용탈되었는데 이는 용해도가 낮음에도 불구하고 diniconazole이 긴 반감기를 가지며 모래와 자갈로 이루어진 모형그린 구조의 약한 흡착력에 기인하는 것으로 판단된다.

흡착제를 35 cm 깊이에 3 cm 두께로 처리한 모형그린에서의 농약의 용탈 현상을 보면(Fig. 4), 흡착제를 처리하지 않은 경우에 비하여 활성탄과 Orpar를 처리한 모형그린에서 농약의 용

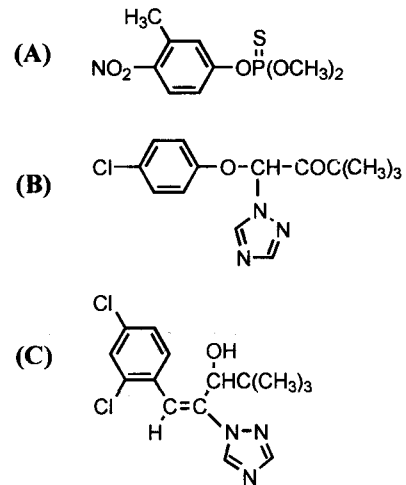


Fig. 2. Chemical structures of fenitrothion (A), triadimefon (B), and diniconazole (C).

Table 1. Characteristics of pesticides used in the experiment

Pesticide	Solubility (mg/l)	K _{oc} (l/kg)	t _{1/2} (day)
Fenitrothion	21	2,000	12~28
Triadimefon	64	300	26
Diniconazole	4	900	97

탈이 현저히 감소되었다. 활성탄을 흡착제로 처리한 모형그린에서의 농약별 용탈을 보면, diniconazole의 경우 강우량이 많았던 초기에 0.35~0.8 µg/l로 검출되었으나 나머지 기간 동안에는 매우 낮은 농도로 검출되었고, fenitrothion과 triadimefon은 조사 초기에 일부 용탈수에서 검출되었으나 나머지 기간에는 전혀 검출되지 않았다. Orpar를 흡착제로 처리한 모형그린에서는 triadimefon과 diniconazole의 경우 54 mm의 강우량이 있었던 17일째 이후 채취된 용탈수에서 각각 0.3과 0.4 µg/l의 농도로 측정된 것을 제외하면 나머지 전 조사 기간 중에는 검출되지 않았으며, 흡착제를 처리하지 않은 모형그린에서도 용탈되지 않은 fenitrothion은 전 조사 기간을 통해 용탈수 중에서 검출되지 않았다. Zeolite를 흡착제로 처리한 모형그린의 경우를 보면, 역시 diniconazole이 0.8~14.9 µg/l 범위로 조사 전 기간을 통하여 용탈수 중에서 검출되었고 다음으로 triadimefon이 높게 검출되었는데, 22일째에 최고 10.3 µg/l로 검출되었으며 17일째 이후부터 40일 때까지 0.5~3.2 µg/l 농도 범위로 용탈되었으며 강우량이 많았던 60일째 이후에도 일부 용탈되었다. Fenitrothion은 흡착제를 처리하지 않은 시험구에서와 마찬가지로 초기 강우량이 많았던 시기에 극히 낮은 농도로 검출된 것을 제외하면 용탈되지 않았다.

농약이 용탈되기 위해서는 토양 내에서 강한 이동성을 가져야 하며, 이동성은 물에 대한 용해도에 비례하며 토양중의 고형물에 대한 흡착성에 반비례하는 관계를 나타낸다.¹⁰⁾ 따라서 물에 대한 용해도가 크고 흡착성이 약한 농약일수록 용탈되기 쉬우며, 또한 토양중에 머무는 동안 분해되지 않은 것만 지하수계로 들어갈 가능성이 있으므로 잔류성이 긴 농약일수록 용탈 가능성이 높아진다.^{11,12)} 특히 골프장과 같은 잔디 토양에 살

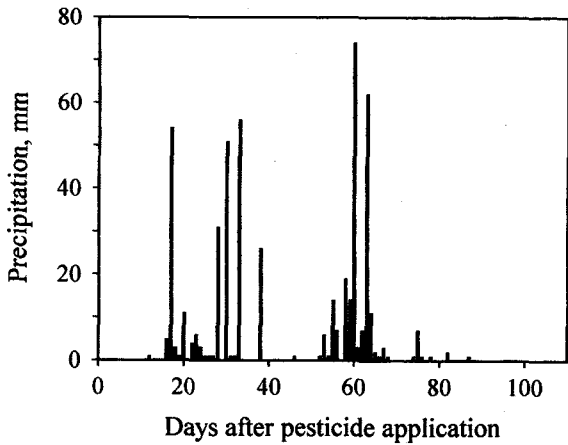


Fig. 3. Precipitation received at the experimental site after pesticide application.

포된 농약의 경우 대부분 유기물 함량이 많고 미생물의 활성이 높은 잔디 뿌리층에 흡착되어 분해되므로 잔류성이 짧은 농약의 경우 용탈수와 함께 지하로의 이동은 매우 제한적으로 일어난다.¹²⁾ Fenitrothion의 반감기는 12~28일 정도이며 흡착성도 상대적으로 큰 농약이기 때문에 이동성이 매우 약해서 극히 미량이 용탈된 것으로 판단되며 본 연구와 다른 환경 조건하에서도 이 농약의 용탈 잠재성은 매우 낮을 것으로 생각된다. Triadimefon의 반감기는 26일 정도이지만 물에 대한 용해도가 높은 편에 속하기 때문에 fenitrothion에 비하여 용탈율이 높았으며, diniconazole은 물에 대한 약제 자체의 용해도가 낮아 토양에서의 이동성은 낮지만 수화제 상태로 살포되었고 골프장 그린의 경우에는 사질토양으로 조성되므로 투수속도가 높기 때문에 긴 반감기의 영향을 받아 살포 이후 조사기간 동안 지속적으로 용탈된 것으로 생각된다.^{8,14,15)} 따라서 모래를 주로 한 흡착력이 약하고 투수성이 높은 골프장 그린 조건에서는 약제 자체의 용해도나 흡착성보다 잔류성이 용탈 잠재성을 결정하는데 있어 더욱 중요한 요인으로 작용하는 것으로 보인다.

조사기간 동안 용탈된 농약의 약제별 총량을 초기 살포량에 대한 비율로 환산하여 농약의 용탈율이라고 하였으며, Table 2에 나타난 용탈율을 이용하여 흡착제별 농약 용탈 억제 효과를 비교하였다. 농약의 총용탈량은 채수된 용탈수량에 농약의 검출 농도를 곱해서 얻어진 값이다. Fenitrothion의 경우에는 흡착제를 처리한 모형들에서 뿐만 아니라 흡착제를 처리하지 않은 모형에서도 용탈이 거의 일어나지 않아 용탈율 0%이었으며, triadimefon의 용탈율은 무처리구에 비하여 활성탄과 Orpar를 처리한 모형에서는 20배 이상 용탈율이 감소되어 이들 흡착제의 처리로 triadimefon의 용탈을 현저히 줄일 수 있음을 보여주고 있다. 하지만 zeolite를 흡착제로 처리한 모형에서는 오히려 흡착제를 처리하지 않은 모형에서보다 더 많은 용탈이 발생하는 것으로 나타났다. Diniconazole은 흡착제를 처리하지 않은 모형에서 연구 기간 동안 초기 살포량의 약 1.78%가 용탈되어 다른 농약에 비하여 용탈율이 높았다. 일반적으로 농경지에 살포된 농약은 살포 직후에 비가 오지 않을 경우 연간 0.1% 이하에서 1%까지 용탈될 수 있으며, 경우에 따라서는 4%까지 용탈될 수 있는 것으로 보고되어 있는데,⁹⁾ 이들 자료와 비교하

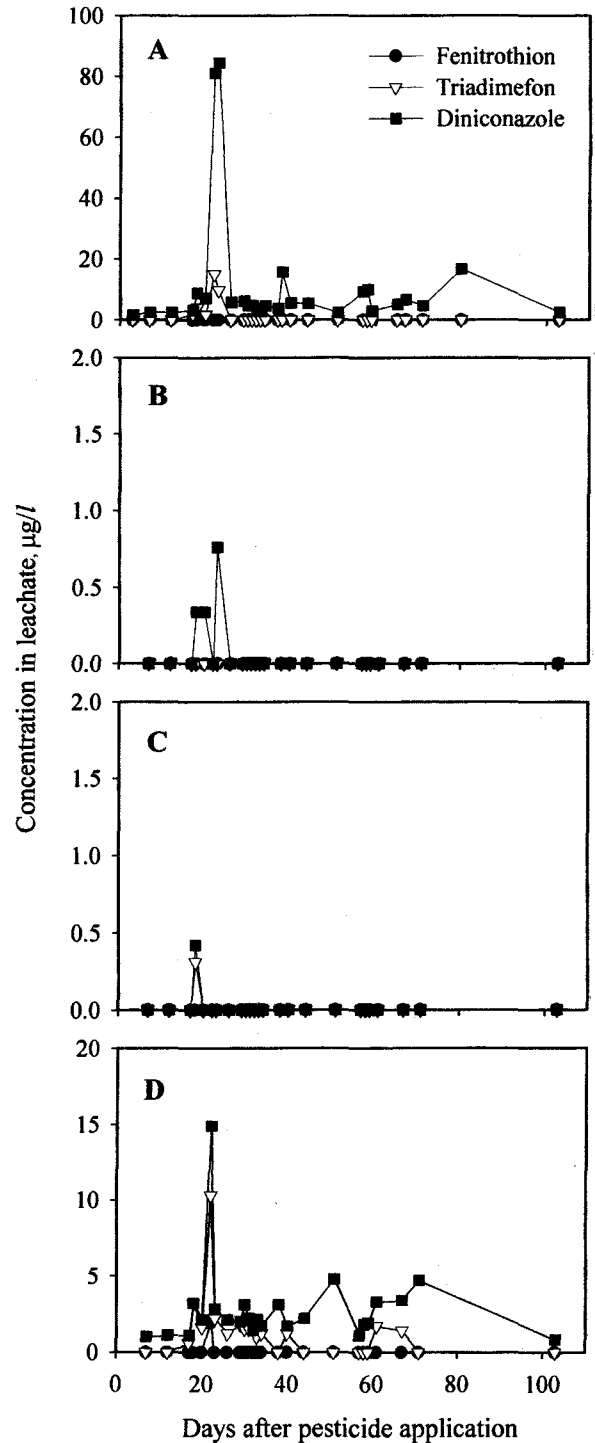


Fig. 4. Pesticide concentrations in leaching waters collected at 75-cm depth of model greens of no adsorption layer (A), active carbon layer (B), Orpar layer (C), and zeolite layer (D).

면 diniconazole은 특히 투수성이 높은 골프장과 같은 조건하에서 비교적 용탈율이 높은 농약으로 분류될 수 있을 것이다. 그러나 활성탄 또는 Orpar를 흡착제로 처리한 모형그린에서는 diniconazole의 용탈율을 0.01% 이하로 크게 줄일 수 있었고, zeolite를 흡착제로 처리한 모형그린에서도 흡착제를 처리하지 않은 경우에 비하여 diniconazole의 용탈을 1/4 정도로 줄일 수 있었다.

Table 2. Leaching loss of fenitrothion, triadimefon and diniconazole in the model greens

Treatment	Fenitrothion	Triadimefon	Diniconazole
	% of initial application		
No treatment	0.000	0.190	1.780
Activated carbon	0.000	0.000	0.010
Orpar	0.000	0.007	0.009
Zeolite	0.000	0.240	0.460

이상의 결과들을 보면 흡착제를 처리하지 않아도 fenitrothion은 투수성이 강한 골프장 그린 조건하에서도 지하수로 용탈될 가능성이 매우 낮은 농약으로 판단되며 따라서 fenitrothion에 대해서는 흡착제의 용탈 억제 역할이 사실상 무의미한 것으로 나타났다. 살포후 짧은 기간이나마 용탈이 일어나는 triadimefon과 잔류성이 길어 비교적 장기간 동안 지속적으로 많은 용탈이 일어날 수 있는 diniconazole의 경우에는 지하층에 설치된 흡착제 층이 지표면에 살포된 농약의 하향 이동을 중간에서 효율적으로 차단하여 지하수 오염을 방지할 수 있는 역할을 할 수 있는 것으로 판단된다. 본 연구에서 시험한 흡착제 중에서 활성탄과 Orpar가 농약의 흡착제거 효율면에서 우수한 것으로 나타났다. Zeolite의 경우 흡착성이 어느 정도 강한 diniconazole의 용탈은 일부 억제시킬 수 있는 것으로 나타났으나 그 효과는 활성탄과 Orpar에 비교하여 훨씬 낮았으며 흡착제를 처리하지 않은 모형에서보다 zeolite를 처리한 모형에서 fenitrothion과 triadimefon의 용탈이 오히려 많이 일어났다. Oh 등이 조사한 결과에서도 triadimefon과 fenitrothion에 대한 zeolite의 흡착력은 활성탄에 비해 현저히 약한 것으로 나타났다.⁶⁾

용탈수층의 농약 농도를 환경부 예규 제138호(1996. 3. 1)의 수질중 농약잔류허용 지도기준에 제시되어 있는 fenitrothion 400 µg/l, triadimefon 700 µg/l 및 diniconazole 800 µg/l와 비교하면 흡착제를 처리한 모형그린에서 뿐만 아니라 처리하지 않은 모형그린에서도 이들 농약의 용탈 농도가 모두 잔류 지도 기준보다 낮았다. 용탈과정을 통하여 이들 농약이 지하수를 오염시킬 경우 결국 음용수원의 오염을 우려해야 하며 따라서 이들 농약에 대한 음용수 수질기준을 바탕으로 그 위험성을 판단해야 할 것이다. 그러나 아직 우리 나라에서는 이러한 기준이 설정되어 있지 않으며 미국 EPA의 Drinking Water Standards and Health Advisories에서도 이들 농약에 대한 기준이 설정되어 있지 않다.¹⁶⁾ Fenitrothion과 triadimefon의 경우 reference dose (RfD) 값이 각각 0.0013 및 0.03 mg/kg/day 로 설정되어 있는데,^{6,17)} 몸무게 70 kg의 사람을 기준으로 하여 미국 EPA의 방법에 따라서 fenitrothion과 triadimefon의 음용수 life time health advisory(LHA) 수준을 계산하면 각각 18.2 및 420 µg/l가 된다.¹⁸⁾ 이렇게 계산된 LHA 값과 비교하면 본 연구에서 측정된 용탈수층 fenitrothion과 triadimefon의 농도는 흡착제 처리 여부와 상관없이 음용수로 사용하여도 그 위험성이 전혀 문제가 되지 않는 정도의 낮은 수준으로 평가된다. Diniconazole에 비해 fenitrothion의 쥐에 대한 급성 경구독성이 훨씬 강한 것으로 미루어 볼 때,⁶⁾ diniconazole의 음용수 수질 기준 또한 fenitrothion의 수준보다 높을 것으로 판단된다. 따라서 용탈된

농약이 지하수에 유입되어 희석되는 것까지 고려하면 본 연구에서 시험한 3가지 농약의 경우 골프장 그린에 사용하더라도 지하수의 수질을 음용수 측면에서 위험한 수준으로까지 오염시킬 가능성은 매우 낮을 것으로 판단된다. 하지만 골프장에서 사용된 농약이 지하수로 유입될 경우 수질기준에 대한 적합성 여부를 떠나 검출 자체가 불필요한 사회적인 문제를 야기할 수 있는데, 골프장 조성시 적절한 흡착제층을 설치함으로써 지하수까지의 농약 용탈 자체를 근원적으로 차단할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. Government of Cheju Province. (1997) In *Overall survey of middle altitude area of Cheju island*.
2. Government of Cheju Province. (1993) In *Master plan for the development of water resources in Cheju island*.
3. Grover, R. (1974) Adsorption and desorption of trifluralin, triallate, and diallate by various adsorbents. *Weed Sci.* **22**, 405-408.
4. Coffey, C. E. and Warren, K. F. (1969) Inactivation of herbicides by activated carbon and other adsorbents. *Weed Sci.* **17**, 16-19.
5. Smith, E. H. and Weber W. J. (1988) Modelling activated carbon adsorption of target organic compounds from leachate-contaminated groundwaters. *Environ. Sci. Technol.* **22**, 313-321.
6. Tomlin, C. D. S. (1997) In *The Pesticide Manual*, 11th ed., British Crop Protection Council. Surrey, UK.
7. Oh, S. S. (1999) Adsorption characteristics and potential leachability of selected pesticides in Cheju citrus orchards. Ph.D. Thesis, Cheju National University, Cheju.
8. Vogue, P. A., Kerle, E. A. and Jenkins, J. J. (1994) OSU Extension pesticide properties database. <http://ace.orst.edu/info/nptrn/ppdmove.htm>.
9. Flury, M. (1996) Experimental evidence of transport of pesticides through field soils-A Review. *J. Environ. Qual.* **25**, 25-45.
10. Gustafson, D. I. (1989) Hazard assessment groundwater ubiquity score: A simple method for assessing pesticide leachability. *Environ. Tox. Chem.* **8**, 339-357.
11. Rao, P. S. C., Horsby, A. G. and Jessup, R. E. (1985) Indices for ranking the potential for pesticide contamination of groundwater. *Proc. Soil Crop Sci. Soc. Fla.* **44**, 1-8.
12. Lee, Y. D., Kim, H. J., Chung, J. B. and Jeong, B. R. (2000) Loss of pendimethalin in runoff and leaching from turfgrass land under simulated rainfall. *J. Agric. Food Chem.* **48**, 5376-5382.
13. Oh, S. S. and Hyun, H. N. (2000) Adsorption coefficients of eight pesticides for citrus orchard soils with different soil organic matter. *Kor. J. Environ. Agric.* **19**, 6-12.
14. Lee, S. R., Lee, H. K. and Hur, J. H. (1996) Information resources for the establishment of tolerance standards on pesticide residues in soils. *Kor. J. Environ. Agric.* **15**, 262-272.
15. Oh, S. S. and Hyun, H. N. (1999) Adsorption characteristics of some pesticides on activated carbon, peatmoss, and zeolite. *J. Agri. Res. Cheju National Univ.* **7**, 17-24.

16. US Environmental Protection Agency. (2000) In *Drinking Water Standards and Health Advisories*: US EPA Doc. No. 822-B-00-001, US Environmental Protection Agency, Washington.
17. US Environmental Protection Agency. (1995) Reregistration Eligibility Decision for Fenitrothion: US EPA Doc. No. 738-R-95-018, US Environmental Protection Agency, Washington.
18. US Environmental Protection Agency. (1993) In *Health Advisories for Drinking Water Contaminants*. Office of Water Health Advisories. Lewis Publishers. Ann Arbor, MI.

Effect of Activated Carbon, Orpar or Zeolite on Leaching Loss of Fenitrothion, Triadimefon and Diniconazole in Model Green of Golf Course

Sang-Sil Oh, Yong-Ku Koh, Hae-Nam Hyun^{1*} and Jong-Bae Chung² (*Cheju Provincial Institute of Health and Environment, Cheju 690-171, Korea; ¹Faculty of Horticultural Life Science, Cheju National University, Cheju 690-756, Korea; ²Department of Agricultural Chemistry, Taegu University, Kyongsan 712-714, Korea*)

Abstract : Cheju island depends on a hydrogeologically vulnerable aquifer system as its principle source of drinking water. Most of golf courses are located in the area which is important for the ground water recharge, and pesticides are applied to golf courses often at relatively high rates. Therefore, turf pesticides in golf course should be applied without adversely impacting ground water. In this experiment, downward movement of pesticides was monitored in model greens of golf course, where different adsorbents were layered in 3-cm thickness at 35-cm depth, and effect of the adsorption layer on the leaching loss of pesticides was investigated. Major leachings were observed in the periods of heavy rain and very limited leaching was observed under artificial irrigation. Fenitrothion and triadimefon, which have relatively short persistence and high adsorption coefficient, were found in the leachate in low concentrations only at the first rainfall event, around 20 days after the pesticide application. However, diniconazole, which has a relatively long half-life (97 days), was detected in the leachate during the whole period of experiment and concentration was much higher than those of the other pesticides. Maximum leachate concentrations were 1.9, 10.3, and 84.5 μL^{-1} for fenitrothion, triadimefon, and diniconazole, respectively. Therefore, in golf course green which allows rapid water percolation and has extremely low adsorption capacity, persistence in soil could be more important factor in determination of leaching potential of pesticides. Total quantity of pesticides leached from the model green was <0.2% for fenitrothion and triadimefon and 1.8% for diniconazole. Adsorption layers significantly reduced pesticide leaching, and active carbon and Orpar were more effective than zeolite. In the model green having adsorption layer of active carbon or Orpar, leaching loss of pesticides was reduced below 0.01% of the initial application.

Key words : adsorbent, diniconazole, fenitrothion, golf course, leaching, triadimefon, pesticide

*Corresponding author