

Research Article



CrossMark

Open Access

국내 골프장농약 사용에 따른 골프장 및 인근 지역의 잔류농약 모니터링 조사를 통한 영향평가

이준배¹, 조훈제¹, 곽은지¹, 박경훈¹, 이민경¹, 김현구¹, 정현미¹, 장희라^{2*}

¹국립환경과학원 토양지하수연구과, ²호서대학교 식품제약공학부

Pesticides Residue Monitoring and Impact Evaluation of Golf Course and Neighbouring Area in Korea

Jun-Bae Lee¹, Hoon-Je Cho¹, Eun-Jie Kwak¹, Kyoung-Hoon Park¹, Min-Keong Lee¹, Hyun-Koo Kim¹, Hyeon-Mi Jeoung¹ and Hee-Ra Chang^{2*} (¹Soil and Groundwater Research Division, National Institute of Environmental Research, Incheon 22689, Korea, ²School of Food & Pharmaceutical Engineering, Hoseo University, Asan 31499, Korea)

Received: 8 November 2018/ Revised: 12 November 2018/ Accepted: 13 November 2018

Copyright © 2018 The Korean Society of Environmental Agriculture

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

ORCID

Hee-Ra Chang

<http://orcid.org/0000-0002-0307-7703>

Abstract

BACKGROUND: At these days, the human health and environmental concerns of pesticide used for turf grass management at golf courses in Korea have increased. The objectives of the study were to determine the pesticide residues for golf course and neighboring area and evaluate the impact moved into neighboring area of pesticides treated at golf courses.

METHODS AND RESULTS: Three golf courses and neighboring areas in Korea were monitored from July to October, 2017. The soil sample collection was divided the golf course into its logical parts (such as a greens, fairways, and rough) and neighboring area soil samples were collected at three different points. The water samples of the golf course and neighboring area were collected at three different points, respectively. The pesticide residues for soil and water sample were monitored by the multi-residue screening method of 98 pesticide with HPLC-MS-MS. The concentrations of detected pesticide in soil and water

samples of the golf course were in the range of 0.01 ~ 1.26 mg/kg and 0.0001 ~ 0.0089 mg/kg, respectively. The residue levels for detected pesticides in neighboring area were at 0.01 ~ 0.04 mg/kg and 0.0001 ~ 0.0029 mg/kg, respectively, well below those level in golf course.

CONCLUSION: This study indicate that the pesticide residue levels of golf course and neighboring area in Korea may not a possible risk of exposure on soil and aquatic environment. For future work, more monitoring should be performed so that the evaluation data becomes more valid.

Key words: Aquatic environment, Exposure, Golf Course, Pesticides, Soil

서론

국내 골프장 이용객수는 2012년의 2,700만명보다 2018년에 31% 증가한 3,532만명으로 지속적으로 증가하고 있다 (Jung *et al.*, 2014). 한국레저산업연구소는 2018년 전국 골프장수는 521개소로, 신설골프장수 증가, 골프에 대한 높은 관심등으로 골프장 이용객수가 증가할 것으로 예상하고 있다. 이에 따른 골프장 농약사용에 따른 피해에 대한 우려도 커지고 있어, 골프장의 농약사용이 인체에 유해한 영향을 미칠 수 있으므로 관리가 필요한 것으로 인식하고 있기 때문에 골프

*Corresponding author: Hee-Ra Chang
Phone: +82-41-540-9696; Fax: +82-41-540-9696;
E-mail: hrchang@hoseo.edu

Table 1. Target pesticides analyzed by HPLC/MS/MS in this study

Insecticides (45)	Accephate (water sample only), Amitraz, Azinphos-methyl, Azoxystrobin, Benthiavalicarb-Isopropyl, Buprofezin, Carbaryl, Carbofuran, Cadusafos, Chlorfluazuron, Chlorpyrifos, Chromafenozide, Clofentezine, Clothianidin, Diazinon, Emamectin benzoate, Ethoprophos, Fenazaquin, Fenpyroximate, Fipronil, Flucrypyrim, Flubendiamide, Flufenoxuron, Fosthiazate, Imidacloprid, Lufenuron, Malathion, Methiocarb, Methomyl, Methoxyfenozide, Milbemectin, Novaluron, Phenthoate, Pirimiphos-methyl, Pyridaben, Pyridaphenthion, Spirodiclofen, Spiromesifen, Sulfoxafflor, Tebufenozide, Tebufenpyrad, Tebupirimfos, Thiacloprid, Thiamethoxam, Toclufos-methyl
Fungicides (43)	Acibenzolar-S-methyl, Benfuracarb, Bitertanol, Boscalid (water sample only), Carbendazim, Cyazofamid, Cyflufenamid, Diethofencarb, Difenconazole, Dimethomorph, Diniconazole, Ethaboxam, Fenarimol, Fenbuconazole, Fenhexamid, Fludioxonil, Fluopicolide, Fluquinconazole, Flusilazole, Flutolanil, Fluxapyroxad, Folpet, Hexaconazole, Imibenconazole, Isoprothiolane, Kresoxim-methyl, Mepronil, Metalaxyl, Metconazole, Metrafenone, Oxadixyl, Pencycuron, Prochloraz, Propamocarb(water sample only), Propiconazole, Pyraclostrobin, Pyrimethanil, Simeconazole, Tebuconazole, Tetraconazole, Thifluzamid, Triadimefon, Trifloxystrobin
Herbicides(10)	Carfentrazone-Ethyl, Dithiopyr, Flumioxazin, Foramsulfuron, Metamifop, Napropamide, Oxadiazon, Oxaziclomefon, Thiobencarb, Thiodicarb

장에서의 농약오염에 따른 조사 및 관리방안 마련이 요구되고 있다.

2016년에 국내 농진청에 등록되어 있는 골프장 잔디용 농약은 상표명을 기준으로 총 363개로 살균제 221개, 살충제 48개, 제초제 89개, 이외 생장조정제 등으로 구성되어 있다. 환경부 토양지하수정보시스템(Soil Groundwater Information System)에 의한 골프장 농약사용량 조사결과, 2016년 농약 총사용량은 성분량 기준 172톤으로 전년대비 10.7% 증가하였고, 2016년 골프장 사용농약은 총 264개 품목으로 살균제(116개), 살충제(68개), 제초제(67개), 생장조정제 등 기타(13개) 순이었다.

미국 New Jersey Department of Environmental Protection은 골프장 농약사용에 따른 golf course pesticide monitoring program을 6년간 골프장 농약사용에 따른 하천수로의 이동 가능성을 조사하였고, Massachusetts주 Cape Code의 4개 골프장을 대상으로 지하수에 대한 농약 오염가능성 관련 연구 등 많은 연구가 수행되었다(Cohen *et al.*, 1990; Suzuki *et al.*, 1998). 국내에서는 골프장 수와 농약사용량 증가에 따른 골프장 사용농약이 인근 지역의 영향에 대한 토양과 수질 등의 환경오염에 대한 민원이 지속적으로 제기되고 있으나, 국내 골프장의 농약사용이 주변 환경에 미치는 영향에 대한 조사연구가 부족하다.

본 연구는 국내 골프장 3곳을 선정하여 내외부에 채취한 토양 및 수질시료의 다성분 동시분석법에 의한 농약 잔류량을 모니터링을 수행하였으며, 이들 결과는 골프장 농약사용에 따른 주변 환경 및 인체에 미치는 영향을 평가하기 위한 기초 자료로 활용할 수 있다.

재료 및 방법

대상농약 및 시약

대상농약은 국내 골프장 잔디용 농약 중 살충제 45개, 살균제 43개 및 제초제 10개의 총 98개 농약성분을 선정했으며

(Table 1), 분석표준품은 Chem Service (USA), Dr. Ehrenstorfer GmbH (Germany) 및 Wako Pure Chemical (Japan)를 사용하였다. HPLC grade 용매 acetonitrile, methol 및 water와 analytical reagent grade 시약 formic acid 및 ammonium formate는 Merck(Germany)를 사용하였다.

골프장 선정 및 시료채취

골프장 인근지역의 영향평가를 위한 농약잔류량 조사대상 골프장은 5 km이내에 주거지역이 인접해 있는 3곳을 선정하였다. 각각의 골프장에서 토양시료는 골프장 내부 green 및 fairway와 골프장 외부에서 각각 3개 지점을 선정하여 채취하였고, 수질시료는 골프장 내부 hazard와 골프장 외부의 방류수를 포함한 하천에서 각각 3개 지점을 선정하여 채취하였다. 시료의 채취는 골프장에 농약이 주로 사용되는 시기인 7월~10월에 월1회 정도로 총 3회 수행하였고, 골프장 사용농약의 인근 주거지역으로의 이동 가능성 조사를 위하여, 골프장에서 농약을 살포한 후 24시간 이내에 시료를 채취하였다. 토양 및 수질시료의 채취 및 조제방법은 골프장의 농약사용량 조사 및 농약잔류량 검사방법 등에 관한 규정(환경부고시 제2016-265호, 2016. 12. 30.)에 따라 수행하였다.

시료 전처리 및 농약잔류량 분석

실험실로 운송된 토양 시료는 골프장의 농약사용량 조사 및 농약잔류량 검사방법 등에 관한 규정(환경부고시 제 2016-265호, 2016. 12. 30.)에 따라 풍건 후 2 mm체를 통과시켜 냉동 보관(-20℃ 이하)한 후, 7일 이내에 분석을 수행하였고, 수질시료는 실험실로 운반하여 24시간 이내에 분석을 수행하였다. 본 연구의 농약잔류량 분석법은 국립환경과학원에서 수행한 골프장 농약 환경영향 조사 (II) 및 (III)연구에서 확립한 HPLC/MS/MS 다성분 동시분석법을 활용하여 수행하였다(Table1, 2).

분석법 검증은 대상농약 98종의 혼합표준용액 100 ng/mL의 저장표준용액을 조제한 후, 25% acetonitrile로 희석하여

Table 2. Parameters of analysis condition for LC/MS/MS

Instrument	Shimadzu 8060 LC/MS/MS system	
Column	Capcellcore C18 (2.1 mm I.D. × 150 mm L., 2.7 μm)	
Column Temp.	40℃	
Injection volume	1 μL (Soil), 10 μL (Water)	
Flow	0.3 mL/min	
Mobile phase	A : 0.1% formic acid + 5 mM ammonium formate in Water B : 0.1% formic acid + 5 mM ammonium formate in Methanol	
Run Time	20 min	
LC Gradient :		
Time (min)	A (%)	B (%)
1	85	15
1.5	40	60
10	10	90
12	10	90
12.1	2	98
16	2	98
16.1	85	15
20	85	15
Mass Spectrometer Parameters :		
Scan type	Scheduled MRM	
Ion mode	Positive and negative ESI	
Ion spray voltage	5 kV	
Collision gas	Ar	
Nebulizing gas flow	3 L/min	
Drying gas flow	15 L/min	

0.0005, 0.001, 0.002, 0.005, 0.01 μg/mL 작업표준용액을 조제하였다. 분석법 검증을 위하여 무처리 토양 및 수질시료를 이용한 matrix matched 표준용액을 조제하여 정량한계, 직선성 및 회수율을 확인하였다.

회수율시험은 무처리 토양 및 물에 각각 혼합 표준용액을 2개 농도수준으로 3반복씩 처리하여 확인하였으며, 처리농도는 토양 0.03 mg/kg 및 0.1 mg/kg, 물 0.0005 mg/L 및 0.001 mg/L 수준이었다. 토양은 시료 10 g에 acetonitrile/water (50/50, v/v) 20 mL를 넣고 1시간 진탕한 후, 4,000 rpm으로 10분간 원심분리하고, 상등액 0.8 mL에 acetonitrile 0.2 mL를 첨가한 후, 0.2 μm PTFE syringe filter로 여과하여 HPLC/MS/MS로 정량분석을 수행하였다. 물시료는 별도의 전처리 과정을 수행하지 않고 채취한 시료를 0.2 μm PTFE syringe filter로 여과하여 HPLC/MS/MS로 정량분석을 수행하였다. 골프장에서 채취한 토양 및 수질시료의 농약잔류량 확인은 회수율시험과 동일한 방법으로 수행하였다.

결과 및 고찰

분석법 검증

정량한계는 토양 및 수질시료에서 각각 0.01 mg/kg 및

0.0001 mg/L였고, 토양 및 수질시료의 matrix matched 검량선 표준용액 0.0005~0.01 μg/mL의 농도범위에서 회귀식의 결정계수(r^2)가 0.99이상으로 직선성을 확인하였다. 토양시료에서 회수율은 70~117%, 상대표준편차(relative standard deviation, RSD)는 0.1~7.5 %였으며, 수질시료에서는 각각 83~116%, 0.0~14.1%로 골프장의 농약사용량 조사 및 농약 잔류량 검사방법 등에 관한 규정(환경부고시 제2016-265호, 2016. 12. 30.)의 기준에 적합하였다.

골프장 및 인근지역 토양 중 농약잔류량

골프장 및 인근지역 토양 중 농약잔류량 모니터링 결과에서 대상농약 93종 중 총 18종으로 살충제 3종, 살균제 14종 및 제초제 1종이 검출되었으며, 검출농도는 0.01~1.26 mg/kg 수준이었다(Table 3). 골프장의 그린(green) 토양에서 검출된 농약은 azoxystrobin, carbendazim, fludioxonil, fluquinconazole, flutolanil, fluxapyroxad, metalaxyl, propiconazole, pyraclostrobin, pyrimethanil, tebuconazole, tebufenozide의 12종으로 0.01~0.38 mg/kg 수준이었고, 페어웨이(fairway) 토양에서는 azoxystrobin, dthiopyr, fenbuconazole, fludioxonil, flutolanil, fluxapyroxad, hexaconazole, imidacloprid, pencycuron, propiconazole, simeconazole, tebuconazole,

Table 3. Pesticide residues of soil sample for golf course and neighboring area

Golf Course	Detected Pesticides	Residual Amount (mg/kg)					
		Golf Course			Neighboring Area		
		Green	Fareway	Rough	1	2	3
A	Azoxystrobin	0.10~0.13	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	Carbendazim	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	Fluquinconazole	0.01~0.11	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	Flutolanil	0.01	0.06~0.26	0.09~0.17	<0.01	<0.01	<0.01
	Fluxapyroxad	0.01~0.07	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	Hexaconazole	<0.01	0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	Metalaxyl	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	Pyraclostrobin	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	Tebuconazole	0.04~0.20	0.26	0.27	<0.01	<0.01	<0.01
	Tebufenozide	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
B	Azoxystrobin	0.02	0.01~0.20	0.04~0.15	<0.01	<0.01	<0.01
	Carbendazim	0.17	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	Dithiopyr	<0.01	0.01	0.03~0.09	<0.01	<0.01	<0.01
	Fenbuconazole	<0.01	0.04~0.21	0.01~0.02	<0.01	<0.01	<0.01
	Fludioxonil	0.01~0.03	0.02	0.06	<0.01	<0.01	<0.01
	Fluquinconazole	0.26~0.38	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	Flutolanil	<0.01	0.02	0.01~0.02	<0.01	<0.01	<0.01
	Hexaconazole	<0.01	0.01~0.08	0.03~0.04	<0.01	<0.01	<0.01
	Imidacloprid	<0.01	0.08~0.84	0.22~0.37	<0.01	<0.01	<0.01
	Metalaxyl	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01
	Pencycuron	<0.01	0.03~0.15	0.05~0.16	<0.01	<0.01	<0.01
	Propiconazole	0.01	0.01	0.01~0.04	<0.01	<0.01	<0.01
	Pyraclostrobin	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	Pyrimethanil	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	Simeconazole	<0.01	0.03	0.02~0.04	<0.01	<0.01	<0.01
	Tebuconazole	0.01	0.01~0.15	0.03~0.08	<0.01	<0.01	<0.01
	Thifluzamid	<0.01	1.01~1.26	0.15~0.54	<0.01	<0.01	0.02
C	Azoxystrobin	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	0.02
	Dithiopyr	<0.01	0.05~0.08	0.01~0.12	<0.01	<0.01	0.04
	Flutolanil	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01
	Fluxapyroxad	<0.01	0.11	0.11	<0.01	<0.01	<0.01
	Pencycuron	<0.01	0.16~0.24	0.10	<0.01	<0.01	<0.01
	Propiconazole	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	Pyraclostrobin	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	Tebuconazole	0.01	0.01~0.19	0.01~0.22	<0.01	<0.01	<0.01

thifluzamid의 13종으로 0.01~1.26 mg/kg 수준이었고, 러프(rough) 토양에서는 azoxystrobin, dthiopyr, fenbuconazole, fludioxonil, flutolanil, fluxapyroxad, hexaconazole, tebuconazole, imidacloprid, pencycuron, propiconazole, simeconazole, thifluzamid의 13종으로 0.01~0.54 mg/kg 수준이었다. 골프장 인근지역에서 검출된 농약은 azoxystrobin,

dthiopyr, metalaxy, flutolanil, thifluzamid의 5종으로 0.01~0.04 mg/kg수준으로, 골프장 토양에서 검출된 농약에 비하여, 골프장 인근지역에서 검출된 농약수가 적고, 농도수준이 0.05 mg/kg 이하의 낮은 수준이었다. 이에, 골프장에서 사용되는 농약의 대기 중 이동에 따른 인근지역으로 이동 가능성이 낮은 것으로 판단된다.

Table 4. Pesticide residues of water sample for golf course and neighboring area

Golf Course	Detected Pesticide	Residual Amount(mg/L)					
		Golf Course			Neighboring Area		
		1	2	3	1	2	3
A	Azoxystrobin	<0.0001	<0.0001	0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Bitertanol	0.0001	<0.0001~0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	Buprofezin	0.0004	0.0004~0.0005	0.0004	0.0004	<0.0001	0.0004
	Carbendazim	0.0001	<0.0001	<0.0001	0.0003	0.0001	0.0001
	Flutolanil	0.0002~0.0006	<0.0001~0.0051	<0.0001~0.0015	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Hexaconazole	0.0002	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Metalaxyl	<0.0001~0.0001	<0.0001	<0.0001~0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Tebuconazole	0.0037	0.0002	<0.0001	0.0001	<0.0001	<0.0001
	Tebufenozide	0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Thifluzamid	0.0001~0.0004	<0.0001~0.0004	<0.0001~0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
B	Acephate	0.0002	0.0028	<0.0001	0.0005	0.0001	0.0001
	Azoxystrobin	0.0001~0.0010	<0.0001~0.0003	<0.0001~0.0001	<0.0001~0.0001	<0.0001	<0.0001
	Bitertanol	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	Boscalid	<0.0001	0.0001~0.0008	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Buprofezin	0.0004~0.0005	<0.0001~0.0005	<0.0001~0.0004	<0.0001~0.0004	<0.0001~0.0005	<0.0001~0.0004
	Carbendazim	0.0001~0.0012	0.0001~0.0016	0.0001~0.0021	<0.0001~0.0007	<0.0001~0.0004	<0.0001~0.0004
	Carbofuran	0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Carfentrazone-ethyl	0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Clothianidin	<0.0001	0.0001	0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Fenbuconazole	0.0001	0.0002	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Flutolanil	0.0001~0.0016	<0.0001~0.0004	<0.0001~0.0001	<0.0001~0.0002	<0.0001	<0.0001
	Hexaconazole	<0.0001~0.0004	<0.0001~0.0002	<0.0001~0.0001	<0.0001~0.0001	<0.0001	<0.0001
	Imidacloprid	0.0003~0.0089	0.0001~0.0007	0.0001~0.0015	0.0001~0.0010	<0.0001~0.0001	<0.0001~0.0001
	Metalaxyl	0.0001	<0.0001~0.0008	<0.0001	<0.0001~0.0011	<0.0001~0.0001	<0.0001~0.0001
	Pencycurom	0.0001~0.0006	<0.0001~0.0002	<0.0001~0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	propamocarb	0.0006	<0.0001	<0.0001	0.0005	0.0002	0.0002
	Simeconazole	0.0001~0.0002	<0.0001~0.0006	<0.0001	<0.0001~0.0002	<0.0001	<0.0001
	Tebuconazole	0.0001~0.0006	<0.0001~0.0012	<0.0001~0.0004	<0.0001~0.0003	<0.0001	<0.0001~0.0001
	Thiamethoxam	<0.0001	0.0003	<0.0001	0.0001	<0.0001	<0.0001
	Thifluzamid	0.0003~0.0014	0.0001~0.0034	0.0003~0.0015	<0.0001~0.0010	<0.0001~0.0003	<0.0001~0.0003
C	Azoxystrobin	0.0001~0.0002	0.0002~0.0005	0.0001~0.0003	0.0001	0.0001	0.0001
	Bitertanol	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001
	Buprofezin	0.0004~0.0005	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001~0.0005	0.0004
	Carbendazim	0.0001~0.0003	0.0002~0.0006	0.0001~0.0003	<0.0001~0.0001	<0.0001~0.0001	<0.0001~0.0001
	Clothianidin	<0.0001~0.0002	0.0001~0.0004	0.0001~0.0003	<0.0001~0.0001	0.0001	0.0001
	Demethomorph	0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Diazinon	0.0001	0.0001	0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Flutolanil	0.0001	0.0002	0.0002	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Foramsulfuron	0.0002~0.0003	<0.0001	0.0001~0.0003	0.0001~0.0003	0.0001~0.0003	0.0001~0.0003
	Metalaxyl	0.0001~0.0005	0.0001~0.0008	0.0001~0.0006	<0.0001	<0.0001	<0.0001
	Pencycuron	<0.0001	0.0001	<0.0001~0.0001	<0.0001~0.0001	<0.0001~0.0001	<0.0001~0.0001
	Tebuconazole	0.0002~0.0005	0.0001~0.0019	0.0001~0.0015	<0.0001~0.0013	<0.0001~0.0013	<0.0001~0.0013
	Thiamethoxam	<0.0001~0.0004	<0.0001~0.0004	<0.0001~0.0002	<0.0001~0.0029	<0.0001~0.0029	<0.0001~0.0029

골프장 및 인근지역 수질 중 농약잔류량

골프장 및 인근지역 수질 중 농약잔류량 모니터링 결과에서 대상농약 96종 중 총 24종으로 살충제 9종, 살균제 13종

및 제초제 2종이 검출되었으며, 검출농도는 0.0001~0.0089 mg/kg 수준이었다(Table 4). 골프장내에서 검출된 농약은 acephate, azoxystrobin, bitertanol, boscalid, buprofezin,

carbendazim, carbofuran, carfentrazone-ethyl, clothianidin, dimethomorph, diazinon, fenbuconazole, flutolanil, foramsulfuron, hexaconazole, imidacloprid, metalaxyl, pencycuron, propamocarb, simeconazole, tebuconazole, tebufenozide, thiamethoxam, thifluzamid의 24종으로 0.0001~0.0089 mg/kg 수준이었다. 골프장 인근지역에서 검출된 농약은 acephate, azoxystrobin, bitertanol, buprofezin, carbendazim, clothianidin, flutolanil, foramsulfuron, hexaconazole, imidacloprid, metalaxyl, pencycuron, propamocarb, simeconazole, tebuconazole, thiamethoxam, thifluzamid의 17종으로 0.0001~0.0029 mg/kg 수준으로, 골프장 내에서 검출된 농약에 비하여, 골프장 인근의 하천에서 검출된 농약이 낮은 농도로 검출되어, 골프장에서 사용되는 농약이 방류수 등의 환경적 영향에 의한 골프장 인근지역으로 이동가능성이 낮은 것으로 판단된다.

골프장 및 인근지역 농약잔류량 영향 평가

국외에서는 골프장 토양 및 수질시료에서 검출된 농약의 환경에 미치는 영향을 평가하는 방법으로는 골프장에서 검출된 농약잔류량과 육상생태계 및 수생태계 독성값의 최저값을 비율로 산출하여 영향에 대한 수준을 평가하는 방식을 적용하고 있다(Baris *et al.*, 2010; New Jersey Department of Environmental Protection, USA, 2000; Wong *et al.*, 2014). 국내 골프장 및 인근지역의 토양시료에서 검출된 농약의 토양생물에 미치는 영향을 평가하기 위하여, EU 및 OECD 등에서 토양 중 환경오염물질의 독성평가 지표생물로 사용하고 있는 지렁이에 대한 급성독성시험의 반수치사농도(Lethal Concentration 50, LC₅₀)를 조사한 결과, 6 mg/kg ~ >1,000 mg/kg였다(An *et al.*, 2017; Lee *et al.*, 2007; Pesticide manual, 2015). 골프장 및 인근지역에서 검출된 총 18종 농약의 최고검출농도와 지렁이에 대한 LC₅₀를 비교하여 산출된 비율은 1/23~1/100,000의 범위로 낮아, 토양생태계에 대한 영향이 적을 것으로 판단된다. 국내 골프장 및 인근지역의 수질시료에서 검출된 농약의 수생태계 생물에 미치는 영향평가는 수생태계 중 환경오염물질의 독성평가 지표생물로 사용하고 있는 어류, 물벼룩 및 조류 등의 급성독성시험의 반수치사농도(Lethal Concentration 50, LC₅₀) 또는 반수영향농도(Effective Concentration 50, EC₅₀) 중 최소값을 선정하였고, 0.00096 mg/L ~ >100 mg/L였다(Pesticide manual, 2015). 골프장 및 인근지역에서 검출된 총 24종 농약의 최고검출농도와 수생태계 환경오염 독성평가 지표생물의 독성값의 최소값을 비교하여 산출된 비율은 1/10 ~ 1/250,000의 범위로 낮아, 수생태계에 대한 영향이 적을 것으로 판단된다. 추후에, 국내 골프장 사용농약의 관리방안 마련을 위한 합리

적인 인체 및 환경에 대한 영향을 평가하기 위해서는, 골프장 잔디 및 수목관리를 위하여 등록된 농약에 대한 지속적인 농약잔류량 조사에 따른 노출농도 확인이 필요하다.

Note

The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement

This work was supported by the project funded by the National Institute of Environmental Research in 2017 (Grant No. 1900-1946-303-210).

References

- An, Y. J., Kim, S. W., Moon, J. M., Jeong, S. W., Kim, R. Y., Yoon, J. K., & Kim, T. S. (2017). An Introductory research for development of soil ecological risk assessment in Korea. *J. Korean Soc. Eng.*, 39(6):348-355.
- Baris R. D. et al. (2010). Quantitative analysis of over 20 years of golf course monitoring studies, *Environmental Toxicology and Chemistry*, 29(6), 1224-1236.
- Cohen, S. Z., Nickerson, S., Maxey, R., Jr., A. D., & Senita, J. A. (1990). A Ground water monitoring study for pesticides and Nitrates associated with golf courses on cape cod. *Groundwater Monitoring & Remediation*, 10(1):160-173. doi:10.1111/j.1745-6592.1990.tb00333.x
- Jung, M. H., & Bang, I. B. (2014). Present condition of and prospect for domestic golf course industry. *Korean Journal of Golf Studies*, 8(1):47-55.
- Lee, C. W., Kim, H. M., Yoon, J. H., Song, S. H., Ryu, J. S., Kim, E. K., Yang, C. Y., Chung, Y. H., Choi, K. H., & Lee, M. S. (2007). Ecological risk assessment of alachlor using Medaka (*Oryzias latipes*) and Earthworm (*Eisenia fetida*). *Korean J. Environ. Biol.*, 25(1):1-7.
- Suzuki, T., Kondo, H., Yaguchi, K., Maki, T., & Suga, T. (1998). Estimation of leachability and persistence of pesticides at golf courses from point-source monitoring and model predict pesticide leaching to groundwater. *Environ. Sci. Technol.*, 32(7):920-929.
- Wong H. W., & Haith, D. A. (2014). Volatilization of pesticides from golf courses in the united states: mass fluxes and inhalation health risk, *J. of Environ. Q.*, 42, 1615-1622.