

연구논문

제주지역 골프장의 농약사용 실태 및 지하수오염 가능성 평가지수의 적용

김수미[†] · 김정하 · 김세라 · 김길성

제주특별자치도보건환경연구원

Use of Pesticides and Application of an Index for Assessing the Possibility of Groundwater Contamination in Golf Courses in Jeju

Su-mi Kim[†], Jeong-ha Kim, Se-ra Kim, and Kil-seong Kim

Jeju Special Self-Governing Province Research Institute of Health & Environment, Jeju, 63142, Korea

Received May 09, 2023 / Revised June 08, 2023 / Accepted June 15, 2023

This study aimed to investigate pesticides used in golf courses in Jeju and evaluate the possibility of groundwater contamination by the used pesticides. In the recent past, the use of pesticides in golf courses at Jeju has increased every year. In 2020, the use of products in which pesticide was the main ingredient reached 9.58 kg/ha, which is 1.4 times higher than the national usage. The pesticides used in golf courses were ranked as follows by usage: fungicide > insecticide > herbicide, and by ingredient used: chlorothalonil > thiophanate-methyl > iprodione > tebuconazole > etridiazole. By monitoring the residual pesticides in golf courses, we detected a total of 11 ingredients from 2014 to 2020. Most of these included low toxic fungicides with a half-life of more than 30 days in soil. Based on the groundwater ubiquity score (GUS), the top 10 most-used pesticides in 2020 were found to have a low to moderate possibility of groundwater contamination. However, azoxystrobin and thifluzamide, which were detected every year via monitoring of pesticide residues, have a high possibility of groundwater contamination.

Key words: Pesticide use, Pesticide residue, GUS, Golf course, Jeju

1. 서 론

생활수준의 향상과 더불어 여가생활을 위해 골프가 각광받고 있으며 대중적인 스포츠로 자리매김하고 있다. 이와 맞물려 국내 골프장수도 증가추세에 있다.¹⁾ 하지만 골프장에서는 원활한 스포츠 경기를 위해 고품질의 잔디관리가 요구되며, 잔디는 생육에 요구되는 환경조건을 충족하지 못하면 병해 발생 등 잔디품질에 문제가 되기 때문에 이를 관리하기 위해 농약이 사용된다.

농약은 그 유효성분의 특성에 따라 차이는 있으나 어느 정도의 독성을 가지고 있는 물질로 잔디의 병해충 방제와 제초를 위해 사용하는 농약이 적절하게 사용·관리되지 않을 경우 주변 환경을 오염시키고 생물체 등에 축

적되어 피해를 줄 우려가 있다.²⁻⁴⁾

우리나라에서는 관련법에 따라 농약의 제조, 수입, 판매단계는 물론 등록에서부터 사용에 이르기까지 엄격하게 관리되고 있으며, 특히 사람, 환경 및 생태계에 미치는 영향을 고려하여 안전성이 충분히 입증된 농약에 한해서만 등록하여 사용토록 하고 있다.⁵⁾ 또한 농약관리법에서는 농약 등의 안전사용기준에 적용대상 농작물에만 사용하도록 규정하고 있으며, 이에 따라 골프장에서도 잔디용으로 등록된 농약품목에 한하여 사용토록 되어 있다. 이와 맞물려 골프장에서의 맹독성·고독성 농약의 사용여부를 감시하고, 농약의 안전사용기준 준수여부를 확인하기 위해 사용량 조사와 잔류량 검사를 주기적으로 실시하도록 하고 있다.

[†]To whom correspondence should be addressed.

골프장에서의 농약사용을 엄격히 규제하고 있음에도 환경오염에 대한 우려가 큰 것은 많은 골프장이 환경수계에 영향을 미칠 수 있는 지역에 위치해 있기 때문이다. 특히 제주지역은 골프장의 대부분이 지하수 함양이 많은 중산간 지역에 위치하고 있기 때문에 골프장 농약사용으로 인한 지하수오염을 유발할 수 있는 가능성이 제기되어 오기도 했다. 또한, 제주도는 지하수 의존도가 높은 지역이며, 지질특성상 높은 투수성으로 인하여 오염물질 유입 시 지하수로 쉽게 이동할 수 있어,⁶⁾ 이에 대한 우려가 더 크다.

농약으로 인한 지하수오염 잠재성을 평가할 수 있는 기준으로 Groundwater Ubiquity Score(GUS) 등이 많이 활용되고 있으며, 농약사용으로 인한 지하수오염 우려에 따라 제주지역에서는 이러한 평가지수를 활용하여 제주도 토양환경에서 농약의 지하수오염 가능성을 평가한 연구가 이루어진 바 있다.^{5,6)} 또한, 앞서 이전 연구에서 제주지역 골프장에서의 농약사용형태를 분석⁷⁾하는 한편, 골프장에서 사용하는 농약·비료의 오남용과 지하수오염을 방지하기 위해 GUS를 이용하여 사용농약을 분류하고 농약사용 저감방안을 제시하기도 하였다.⁸⁾ 다만, 이러한 연구들은 10년 이전의 연구가 대부분이었으며, 농약사용량에 대한 자료확보의 어려움으로 데이터 분석에 한계가 있었다. 그러나 최근에는 관련법에 골프장 농약사용량에 대한 보고체계가 규정되어 있고 이에 따라 데이터베이스가 구축되어 있다. 따라서 근간의 자료를 활용하여 골프장의 농약사용 실태에 대한 종합적인 분석과 지하수오염 가능성에 대한 전반적인 연구가 이루어질 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 최근 제주지역 골프장에서의 농약

사용량과 농약잔류량 조사자료를 바탕으로 농약사용 실태를 파악하고, 골프장 사용농약에 대해 지하수오염 평가지수인 GUS를 적용하여 오염 가능성을 간접적으로 평가해 보았다. 이를 통해 제주지역 골프장의 농약사용 저감 대책을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 골프장 현황

제주도내에는 현재 운영중인 골프장이 29개소이며, 규모별로는 9홀 1개소, 18홀 11개소, 24홀 1개소, 27홀 10개소, 36홀 6개소이다. 골프장의 운영형태에 따라 구분하면 대중제 24개소, 회원제 16개소로 총 40개소의 골프장이 운영 중이다. 골프장 사용농약의 관리를 위해 운영 중인 환경부 토양지하수정보시스템에서는 대중제와 회원제로 구분된 골프장수를 기준으로 적용하고 있다. 2020년 기준 제주지역에 분포된 골프장수는 41개소로 전국 골프장수(541개소)의 7.6%에 해당되며, 전국 17개 시·도 중 6번째로 많은 골프장이 분포되어 있는 것으로 조사되었다. 제주도내 골프장은 대부분 중산간 지역에 위치하고 있으며(Fig. 1), 이 중 에코랜드 골프장은 제주지역에서 유일하게 무농약 골프장으로 운영되고 있다.

2.2. 골프장 사용농약 조사

본 연구에서는 제주지역에 위치한 모든 골프장에서의 농약사용량과 골프코스내 농약잔류량 조사자료를 활용하여 농약사용 현황을 종합적으로 평가하기 위해 다음과 같이 자료를 수집하였다.

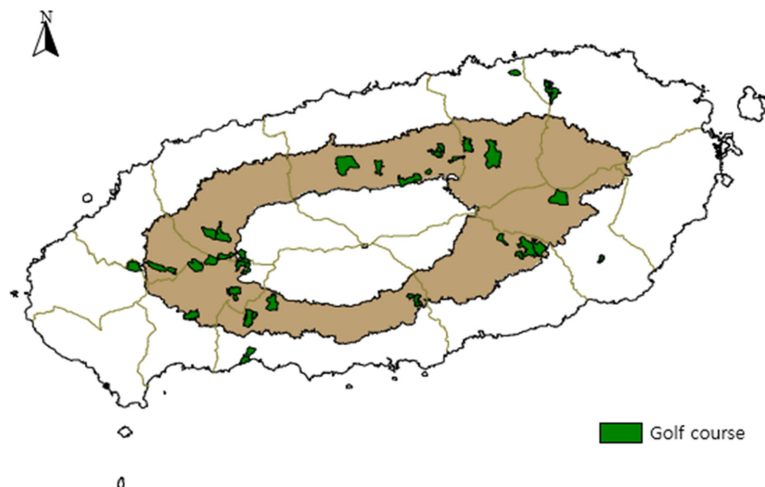


Fig. 1. Location of golf courses in Jeju.

2.2.1. 골프장 농약사용량

우리나라에서는 ‘골프장의 농약사용량 조사 및 농약잔류량 검사방법 등에 관한 규정’에 따라 시장·군수·구청장이 매년 반기마다 각 지자체에서 운영중인 골프장에서 농약품목별 사용량을 조사하여 환경부에 보고토록 규정되어 있으며, 환경부에서는 전국 골프장의 농약사용량에 대한 자료를 데이터베이스화하여 시스템을 구축하고 토양지하수정보시스템에 공개하고 있다. 본 연구에서는 토양지하수정보시스템의 골프장 농약사용량 정보조회 서비스⁹⁾에서 2010년부터 2020년까지의 전국 골프장별 농약사용량에 대한 통계자료를 수집하였다. 그리고 제주지역 골프장에서 사용된 농약품목별 사용량 자료는 제주특별자치도에서 보고한 2020년도 농약품목별 사용량을 활용하였으며, 사용농약에 대한 품목별 주성분함량, 독성 등의 정보는 농촌진흥청 농약안전정보시스템¹⁰⁾에서 제공되는 자료를 이용하여 본 연구의 기초자료로 활용하였다. 또한 본 연구에서는 농약제품에 함유된 유효성분 함량인 성분량을 기준으로 사용량을 계산하여 농약사용 실태를 비교분석하였다.

2.2.2. 골프장 농약잔류량

골프장 농약잔류량 검사는 ‘골프장의 농약사용량 조사 및 농약잔류량 검사방법 등에 관한 규정’에 따라 전국 시·도 보건환경연구원에서 매년 4-6월(건기)과 7-9월(우기)로 나누어 상·하반기에 각 1회씩 연 2회 수행하고 있다. 골프장 농약잔류량 조사는 2014년 이전까지는 토양, 잔디, 수질시료에 대해 맵고독성 농약 13종, 기본항목 17종 및 선택항목 10종 등 총 40종을 조사하도록 하였으나, 2014년부터 잔디를 제외한 토양과 수질시료에 대해 고독성 농약 3종, 잔디사용 금지농약 7종, 일반농약 18종 및 선택항목 2종을 포함한 총 30종을 검사하도록 규정하고 있다. 한편, 제주지역의 경우 지하수 오염방지를 위해 ‘지하수 오염방지를 위한 공급 및 사용제한 농약품목 고시’에 Bromacil과 Metalaxyl 성분이 함유된 농약품목의 사용을 제한하고 있으며, 이를 검사대상에 포함하여 추가적으로 조사하고 있다.

토양시료는 골프장 운영형태와 규모에 따라 18홀 미만은 2개홀, 18홀은 3개홀, 27홀은 4개홀을 임의로 선정하였으며, 각 홀마다 그린과 페어웨이에서 각각 토양시료채취기를 이용하여 5-7개 지점의 토양을 채취하여 혼합시료로 하였다. 수질시료는 골프코스 내 2-3개의 연못에서 채수하였다. 채취된 시료는 관련 규정의 농약잔류량 검사방법에 따라 다성분시험방법을 적용하여 조사대상 농약

성분을 분석하였다. 본 연구에서는 골프장에서의 농약잔류 실태를 파악해보기 위해 장기간의 분석결과를 정리하고자 하였으나, 법 개정 등으로 일관성 있는 자료에 대한 해석이 어려움에 따라 골프장 농약잔류량은 2014년부터 2020년까지 분석한 결과를 종합하여 본 연구에 활용하였다.

2.3. 지하수오염 가능성 평가방법

농약의 지하수오염 잠재성을 평가할 수 있는 기준으로 Groundwater Ubiquity Score(GUS), Retardation Factor(RF) 및 Attenuation Factor(AF) 등이 이용되고 있다. GUS는 농약의 토양 중에서의 반감기와 흡착량을 이용하는 방법이고, RF는 농약의 토양 흡착계수와 토양의 공극률을 고려하여 토양 중에서 오염물질의 이동이 지연되는 정도를 나타내는 계수이며, AF는 토양 깊이, 지연계수(RF), 농약의 반감기 등을 이용하여 평가하는 방법이다. 이 중에서 GUS에 의한 방법이 많이 이용되고 있다.^{3,5,6,8,11,12)}

본 연구에서는 골프장의 농약사용으로 인한 지하수오염 가능성을 평가하기 위해 일반적으로 사용되고 있는 방법인 GUS 지수를 이용한 평가방법을 적용하였다. GUS는 Gustafson¹¹⁾이 제안한 것으로, 지하수에서 검출된 농약의 특성을 분석하여 경험적으로 고안한 지하수 중의 농약검출지수이며, 각 농약의 토양 유기물에 대한 흡착계수(K_{OC})와 토양 중에서의 반감기(DT_{50})를 이용하여 다음과 같은 식에 의해 산출한다.

$$GUS = [\log(DT_{50})][4 - \log(K_{OC})] \quad (1)$$

GUS값을 산출하기 위해서는 흡착계수와 반감기에 대한 자료가 필요하며 이를 실제 토양에 대한 실험을 통해 구하거나 문헌자료를 활용하기도 한다.^{6,8,12,13)} 본 연구에서는 이에 대한 국내 자료가 미비하여 Hertfordshire 대학의 Agriculture and Environment Research Unit(AERU)에서 개발한 Pesticide Properties Database(PPDB) 자료¹⁴⁾에 제시된 GUS값을 수집하여 골프장 사용농약에 대해 적용하고, Gustafson¹¹⁾의 분류기준에 따라 구분하여 지하수오염 가능성을 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 골프장 농약사용량

3.1.1. 연간 골프장 농약사용량 변화추이

골프장 농약사용량(kg/ha)은 골프장별 사용농약에 대한 성분량(유효성분으로 환산한 양, 실물량(kg) × 성분함량

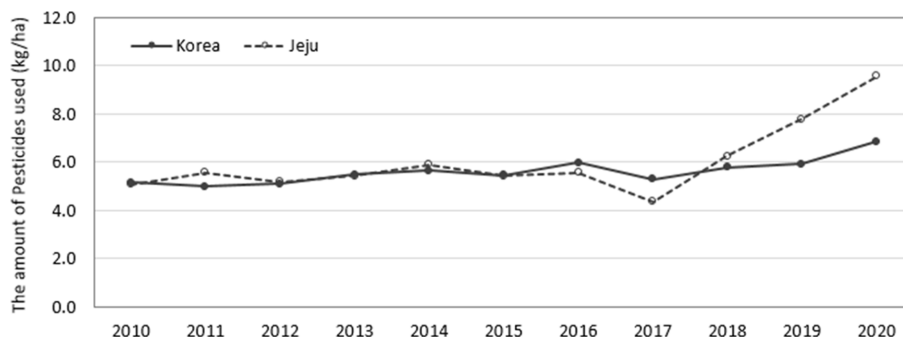


Fig. 2. The annual amount of pesticides used in golf courses.

(%)을 농약사용면적으로 나누어 계산하였다. 농약사용면적은 골프장 시설 중에서 농약이 직접 살포되는 면적으로 티, 그린, 페어웨이, 러프, 조성녹지 등을 포함한다. Fig. 2에는 2010년부터 2020년까지 전국 골프장에서의 연간 농약사용량과 제주지역 골프장에서의 사용량을 비교하여 나타내었다. 전국 골프장의 농약사용량은 2010년 5.15 kg/ha에서 2019년 5.93 kg/ha 사이의 범위에서 증감을 반복하다가 2020년에는 6.85 kg/ha로 증가한 것으로 나타났다. 제주지역의 경우 2016년까지는 비교적 전국 사용량과 비슷한 수준을 유지하다가 2017년에 4.37 kg/ha로 최저치를 기록한 이후 급격히 증가추세를 보이고 있다. 특히 2020년에는 2017년에 비해 2.2배 가량 증가한 9.58 kg/ha를 사용한 것으로 나타났다.

골프장의 농약사용빈도와 사용량은 잔디종류, 기후, 내장객수 등에 따라 많은 차이가 있는 것으로 알려져 있다.^{7,8,15)} 제주지역 골프장에서는 사시사철 푸르름을 유지하기 위해 한지형 잔디를 많이 식재하고 있으며, 한지형 잔디는 생육특성상 고온다습한 기간에 잔디병 발생 가능성이 높기 때문에 농약사용량이 많은 것으로 보고된 바 있다.⁷⁾ 또한 골프장 이용자에 의한 집중적인 답압은 잔디 생육에 지장을 초래하고 병에 대한 저항성이 약해져 병해 발생의 원인이 되는 것으로 알려져 있다.¹⁶⁾ 제주특별자치도에서 보고하고 있는 2020년 골프장 내장객 현황자료에 따르면, 코로나19 시기인 2020년 제주지역 골프장 내장객수는 2019년 대비 14.7%로 증가하였고, 7월부터 9월사이에는 전년대비 34%가 넘는 증가율을 나타내어, 특히 고온다습한 여름철에 잔디병과 답압장해 등으로 인한 잔디 손상 등 여러가지 원인으로 인해 농약사용량이 증가한 것으로 판단된다.

3.1.2. 제주지역 골프장의 농약사용 현황

본 연구에서는 제주지역의 모든 골프장에서 2020년도

에 사용한 농약제품에 대한 사용량을 수집하여 용도, 품목, 성분별로 정리하였으며, 이 때 유효성분량 및 제형이 같은 농약을 하나의 품목으로 하였다.

제주지역 골프장에서는 성분량을 기준으로 16,987.7 kg의 농약이 사용된 것으로 조사되었다. 골프장에서 가장 많이 사용하는 용도는 살균제이었고, 전체 사용량의 77.1% (13,089.8 kg)를 차지하였다. 다음으로 살충제 10.3% (1,751.2 kg), 제초제 10.3% (1,750.3 kg), 생장조정제 및 기타 2.4% (396.4 kg) 순이었다. 이는 골프장에 식재되어 있는 잔디에서 발생할 수 있는 병해충 중에 병원균에 의한 잔디병이 많이 발생하여 이에 대한 예방 및 방제를 위한 살균제의 사용량이 많은 것으로 판단된다. 특히 제주지역에 주로 식재된 한지형 잔디는 온도, 습도 등 기후 요인, 답압과 같은 물리·기계적 요인 등에 의해 라지패치, 피티움, 달라스팟 등의 병해가 많이 발생하는 것으로 알려져 있다.^{8,17)}

2020년도에 골프장에서 사용된 농약품목수는 총 132품목이었다. 이는 2007년에 제주지역 15개 골프장에서 조사한 자료와 비교하면 2배 이상 많은 농약품목이 사용되고 있는 것으로 나타났다.⁸⁾ 이 중 살균제는 68품목, 살충제 23품목, 제초제 33품목, 생장조정제 및 기타 8품목으로 살균제의 사용품목수가 많은 것으로 조사되었다. 우리나라는 농약의 독성 강도에 따라 세계보건기구(WHO)의 분류방식에 준하여 맹독성(I 급), 고독성(II 급), 보통독성(III 급), 저독성(IV 급)의 4단계로 분류하고 있다. 제주지역 골프장에서 사용된 농약품목을 독성별로 구분하면, 보통독성(III 급)이 24품목, 저독성(IV 급)이 108품목으로 대부분 저독성 농약이 사용된 것으로 나타났다. 또한 어류의 반수치사농도를 기준으로 한 어독성 등급에 따라 구분하여 살펴보면, 어독성 I급이 24품목, II급이 29품목, III급이 79품목으로 분류되었다.

Table 1과 2에는 제주지역 골프장에서 사용량이 많은

Table 1. Ranks of the most pesticide formulations used

Rank	Pesticide formulation	Mammalian toxicity	Fish toxicity	Type	Rate of pesticide use (%)
1	Chlorothalonil SC*	IV 급	I 급	Fungicide	18.4
2	Iprodione WP	IV 급	III 급	Fungicide	7.7
3	Thiophanate-methyl WP	IV 급	III 급	Fungicide	7.2
4	Etridiazole EC	IV 급	III 급	Fungicide	6.1
5	Propamocarb hydrochloride SL	IV 급	III 급	Fungicide	5.6
6	Propiconazole EC	III 급	II 급	Fungicide	4.3
7	Chlorpyrifos-methyl EC	III 급	II 급	Insecticide	3.8
8	Methiozolin EC	III 급	II 급	Herbicide	3.7
9	Tebuconazole EC	IV 급	III 급	Fungicide	3.3
10	Fosetyl-aluminium WG	IV 급	III 급	Fungicide	2.8

*SC: Suspension concentrate, WP: Wettable powder, EC: Emulsifiable concentrate, SL: Soluble concentrate, WG: Water dispersible granule.

Table 2. Ranks of the most pesticide ingredients used

Rank	Ingredient	Type	DT ₅₀ * (days)	GUS	Possibility of groundwater contamination
1	Chlorothalonil	Fungicide	3.53	1.12	Low
2	Thiophanate-methyl	Fungicide	0.5	0.5	Low
3	Iprodione	Fungicide	36.2	0.43	Low
4	Tebuconazole	Fungicide	63	1.86	Moderate
5	Etridiazole	Fungicide	20	1.47	Low
6	Propamocarb hydrochloride	Fungicide	39.3	1.5	Low
7	Propiconazole	Fungicide	71.8	1.58	Low
8	Chlorpyrifos-methyl	Insecticide	12	0.08	Low
9	Methiozolin	Herbicide	49	-	-
10	Fosetyl-aluminium	Fungicide	0.018	-6.99	Low

*Time required for the concentration of the chemical to decline by 50% of the amount originally used (i.e., the half-life of pesticide in soil)

10순위내 농약을 품목과 성분별로 정리하여 보았다. 2020년도 제주지역 골프장에서는 클로로탈로닐 액상수화제, 이프로디온 수화제, 티오파네이트메틸 수화제, 에트리디아졸 유제, 프로파모카브하이드로클로라이드 액제, 프로피코나졸 유제, 클로르피리포스메틸 유제, 메티오졸린 유제, 테부코나졸 유제, 포세틸알루미늄 입상수화제 등 상위 10품목이 전체 사용량의 62.9%를 차지하는 것으로 나타났다. 특히 클로로탈로닐 액상수화제, 이프로디온 수화제, 티오파네이트메틸 수화제와 같은 살균제가 전체 사용량의 1/3 정도에 해당하는 것으로 조사되었다. 이 중에서도 전체 사용량의 18.4%로 많은 양을 차지하는 클로로탈로닐 액상수화제는 잔디에 발생하는 동전마름병(달라스팟), 라이족토니아마름병(라지패치), 탄저병, 갈색잎마름병(브라운패치) 등 폭넓은 잔디병의 예방 및 방제를 위해 사용되는 농약이다. 최다사용 10위내 농약품목은 인축독성이 저독성(IV급)인 농약이 대부분이나, 클로로탈로닐 액

상수화제는 어독성 I 급에 해당되어 환경수 중에 유출될 경우 환경생물에 유해한 영향을 미칠 가능성이 클 것으로 판단되어 이에 대한 관리가 필요할 것 같다. 농약품목은 한 가지 성분이 함유된 단일품목과 두 가지 이상 성분이 혼합된 품목이 등록되어 있으며, 이를 성분별로 분류하여 살펴보면, 살균제 성분인 Chlorothalonil(19.6%), Thiophanate-methyl(9.0%), Iprodione(8.1%), Tebuconazole(7.3%), Etridiazole(6.1%) 등 5종의 사용량이 전체의 50.1%를 차지하는 것으로 조사되었다.

3.2. 골프장 농약잔류량 조사결과

3.2.1. 농약잔류량 검출현황

제주지역에서 2014년부터 2020년까지 수행한 골프장 농약잔류량 조사에서 검사한 시료에 대한 농약성분 검출율을 Fig. 3에 연도별로 나타내었다.

농약 검출율은 2014년에는 21.3%이었으나 2020년에는

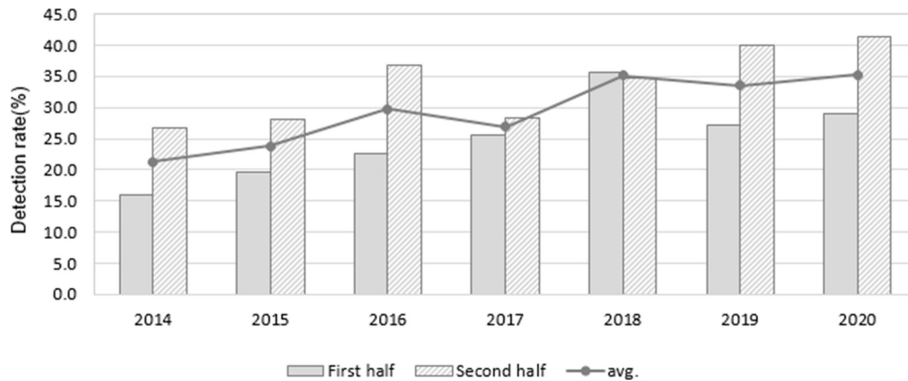


Fig. 3. Annual pesticide detection rate in the golf courses in Jeju.

35.2%로 증가하는 경향을 보였고, 조사시기별로는 상반기보다 하반기에 검출율이 높았다. 현행 검사방법은 불시에 시료채취하도록 규정되어 있어 농약살포 직후 시료채취가 이루어질 경우 검출빈도와 검출농도가 높게 나타날 수 있다. 한편, 골프장 농약사용량은 계절별로 장마시기인 7-8월을 전후하여 많이 사용되고 있는 것으로 보고된 바 있으며,^{8,15)} 이 시기에 농약 검출빈도가 높은 것으로 나타났다. 토양 중 검출율은 그린 34.4-48.8%, 페어웨이 14.8-33.6%, 수질 6.5-23.6%로 그린에서의 검출율이 높은 것으로 조사되었다. 골프코스 중 그린지역은 사시사철 푸르고 고품질의 잔디를 유지하기 위해 단위면적당 농약사용량이 페어웨이에 비해 많은 곳이기도 하다.^{15,18)}

3.2.2. 검출농약성분

Table 3과 4에는 2014년부터 2020년까지 골프장 농약 잔류량 검사결과를 요약하여 나타내었다. 제주지역에서는 조사대상 골프장수의 80% 이상에서 매년 6-10종의 농약성분이 검출되고 있으며, 2014년부터 2020년까지 총 11종의 농약성분이 검출된 것으로 조사되었다.

우리나라에서는 「물환경보전법」에 의해 골프장의 잔디 및 수목 등에 맹독성 또는 고독성 농약의 사용을 제한하고 있으며, 수목의 해충·전염병 등의 방제를 위하여 관할 행정기관의 장이 불가피하다고 인정하는 경우에만 사용을 허용하고 있다. 또한 「농약관리법」에서는 농약 등의 안전사용기준에 적용대상 농작물에만 사용하도록 규

Table 3. Summary of the monitoring results of residual pesticides found in the golf courses

		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Number of golf courses		40	40	40	40	40	40	41
Number of golf courses where pesticides were detected		35	35	35	33	35	32	36
Number of pesticides detected	Total	6	7	10	7	8	8	7
	High toxicity	-	-	-	-	-	-	-
	Moderate (Low) toxicity	6	7	10	7	8	8	7
Detected pesticide ingredient								
	Azoxystrobin	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Carbendazim		✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Diazinon			✓		✓	✓	
	Fenitrothion		✓					
	Flutolanil		✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Iprodione	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Metalaxyl	✓		✓				
	Propamocarb hydrochloride			✓	✓	✓	✓	✓
	Pyrimethanil	✓		✓				
	Tebuconazole	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	Thifluzamide	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Table 4. Residue concentration range and properties of detected pesticide ingredients

Detected pesticide ingredient	Type	Residue concentration range			DT ₅₀ (days)	GUS	Possibility of groundwater contamination
		Green soil (mg/kg)	Fairway soil (mg/kg)	Pond (mg/L)			
Azoxystrobin	Fungicide	N.D.-2.60	N.D.-0.77	N.D.-0.0117	78	3.1	High
Carbendazim	Fungicide	N.D.-0.18	N.D.-0.23	N.D.-0.0122	40	2.21	Moderate
Diazinon	Insecticide	N.D.-0.03	N.D.-0.06	N.D.-0.0012	9.1	1.51	Low
Fenitrothion	Insecticide	N.D.	N.D.	N.D.-0.0039	2.7	0.48	Low
Flutolanil	Fungicide	N.D.-0.87	N.D.-0.35	N.D.-0.0306	400	2.29	Moderate
Iprodione	Fungicide	N.D.-0.80	N.D.-0.40	N.D.-0.0071	36.2	0.43	Low
Metalaxyl	Fungicide	N.D.-0.02	N.D.-0.03	N.D.	36	2.06	Moderate
Propamocarb hydrochloride	Fungicide	N.D.-0.06	N.D.-0.04	N.D.-0.0242	39.3	1.5	Low
Pyrimethanil	Fungicide	N.D.-0.01	N.D.-0.01	N.D.-0.0007	50.9	2.17	Moderate
Tebuconazole	Fungicide	N.D.-3.17	N.D.-1.17	N.D.-0.0197	63	1.86	Moderate
Thifluzamide	Fungicide	N.D.-0.49	N.D.-0.51	N.D.-0.0087	1,145	3.47	High

정하고 있다. 기존 연구에서 전국 골프장 농약잔류량 검사결과를 보고한 바에 따르면, 2010년까지 일부 골프장에서 고독성 농약이 검출된 바 있으나,¹⁾ 제주지역에서는 현재까지 고독성 농약이 검출된 사례가 없다. 본 연구에서 검출된 농약성분은 보통독성(III 급)이거나 저독성(IV 급)이었고, 모두 잔디에 사용이 가능한 농약성분이었다.

하지만, 제주지역에서는 전국에서 유일하게 지하수 오염방지를 위한 공급 및 사용제한 농약품목을 고시(2004년 9월)하여 브로마실 수화제(Bromacil)와 메타락실 입제 및 수화제(Metalaxyl)의 공급 및 사용을 제한하고 있다. 이 중 Metalaxyl은 잔디에 사용이 가능한 농약이기는 하지만, 고시 이후인 2014년과 2016년도에 검출된 바 있으며, 2014년 이전 조사결과에서도 일부 골프장에서 검출되기도 하였다. 유 등¹⁹⁾은 토양의 유기물 함량이 증가할수록 Metalaxyl의 흡착량이 증가하며, 산성수에 의한 토양의 산성화로 인해 흡착량이 증가하고 분해가 감소되어 지속적으로 토양에 잔류할 가능성이 있다고 보고하였다. 또한 제주지역에서는 농약으로 인한 지하수 오염을 방지하기 위하여 골프장 조성시 골프코스 지반구조의 혼합토층에 활성탄을 혼합하였으며, 고시 이전에 사용되었던 농약이 활성탄이 혼합된 토양환경에서 강하게 흡착되어 오랜기간 잔류한 것으로 판단된다.²⁰⁾

2014년부터 2020년까지 Azoxystrobin, Iprodione, Tebuconazole, Thifluzamide 성분은 매년 검출되었고, Carbendazim과 Flutolanil도 2014년을 제외하고 매년 검출된 것으로 확인되었다. 이 중 Carbendazim은 해당 농약을 직접 살포하는 경우, 또는 Thiophanate-methyl을 살포할 때 Carbendazim으로 전환되어 검출되는 성분이기도 하다.²¹⁾

검출된 농약 중 살충제 성분인 Diazinon과 Fenitrothion을 제외하고는 모두 살균제 성분이었다. 그리고 Table 2에서 제주도내 골프장에서 많이 사용된 10위내 농약성분에 포함되어 있는 성분 중에는 Thiophanate-methyl, Iprodione, Tebuconazole, Propamocarb hydrochloride의 4종이 골프장 농약잔류량 조사에서 검출된 것으로 확인되었다. 한편, 살균제 성분인 Chlorothalonil은 성분량 기준으로 전체 사용량의 약 20%에 달하여 가장 많이 사용되고 있을 뿐만 아니라, 이 성분이 함유된 품목이 어독성 I 급으로 등록되어 있어 환경수 중에 유출될 경우 위해 우려가 있으나, 골프장 농약잔류량 조사항목에 포함되지 않아 검출 여부를 확인할 수 없었다. Chlorothalonil은 2011년에 잔디용 농약품목으로 사용승인되면서 사용량이 증가하기 시작했고,¹⁾ 2013년까지는 농약잔류량 조사항목에 포함되었으나 관련법이 개정되면서 2014년부터 제외된 성분이다. 하지만, 2023년 3월에 Chlorothalonil 성분을 골프장 농약잔류량 검사항목으로 다시 추가하면서 앞으로는 이에 대한 환경영향 여부를 모니터링할 수 있도록 관련 규정이 개정되었다.

Table 4에는 검출성분별로 조사대상 시료에 대한 잔류농도를 정리하여 나타내었다. 2014년부터 2020년까지 골프장 농약잔류량 검사결과, 최다사용 10위내 포함된 성분 중 하나인 Tebuconazole은 토양 중에 가장 높은 농도를 보였으며, 그린 토양에서 최대 3.17 mg/kg, 페어웨이 토양에서 1.17 mg/kg까지 검출되었다. 다음으로 Azoxystrobin은 그린 토양에서 최대 2.60 mg/kg, 페어웨이 토양에서 0.77 mg/kg까지 검출되는 성분이었으나, Table 2에 제시된 최다사용성분 10위내 포함되지는 않았다. Fenitrothion

은 2015년도 검사결과에서 수질 중에만 검출된 농약성분이었다. 이 성분은 토양 중 반감기가 2.7일로 매우 짧고 물에 대한 용해도가 19 mg/L 정도로, 수질 중에는 일부 잔류하여 검출되었으나 토양 중에서는 빠르게 분해되어 불검출된 것으로 판단된다.

3.3. 지하수오염 가능성 평가

농약으로 인한 지하수오염 가능성을 평가하기 위한 상 대적인 척도로 GUS 지수를 많이 적용하고 있다. GUS 산 출에 영향을 미치는 토양 중 반감기와 흡착률은 토양의 물리·화학적 특성에 의해 달라질 수 있으며 토양의 종류 와 유기물 함량 등에 따라 실제적인 흡착률에 많은 영향 을 주기 때문에,^{6,8,11)} 실제 환경조건하에서 실험적으로 구 하는 것이 가장 이상적이나 다양한 토양환경과 농약성분 들에 대해 산출하는 것은 현실적으로 어려운 일이다. 그 리하여 본 연구에서는 농약성분에 대한 평가자료를 마련 하기 위해 Footprint PPDB자료를 활용하였다. PPDB에서 는 많은 농약성분에 대해 실제 실험적으로 구하기 어려 운 물리·화학적 특성자료에 대한 일반적인 평균값 외에 일반 문헌자료와 실험치를 토대로 농약성분별로 정리하 여 주기적으로 업데이트된 자료를 제공하고 있다.

본 연구에서는 골프장 농약사용으로 인한 지하수오염 가능성을 간접적으로 평가해 보기 위해, 제주지역 골프장 에서 많이 사용되고 있는 농약성분과 잔류농약 검출성분 에 대해 PPDB자료에 제시된 반감기와 GUS값을 정리하 여 Table 2와 4에 나타내었다. 여기서 토양 중 반감기는 농약의 지속성 정도를 판단할 수 있는 수치로, Table 4에 제시된 검출성분 중 살충제 2종은 반감기가 10일 이내로 빠르게 분해되는 반면, 이 두 성분을 제외한 나머지 살균 제 성분들은 반감기가 30일 이상으로 분해되는데 비교적 시간이 소요될 것으로 나타났다. 특히 매년 검출되고 있 는 Thifluzamide는 반감기가 매우 길어 농약을 사용하지 않더라도 수년간 토양 중에 잔류하여 지속적으로 검출될 가능성이 있을 것으로 판단되었다. 한편, 2020년도에 최 다사용 10위내 해당되는 농약성분들의 반감기는 0.018-

71.8일이었으며(Table 2), 검출 농약성분에 비해 반감기가 짧은 농약의 사용량이 많은 것으로 조사되었다.

Gustafson의 분류기준에 따르면, GUS값이 1.8 미만은 용탈가능성이 낮음, 1.8-2.8은 용탈가능성이 중간정도, 2.8 초과는 용탈가능성이 높은 것으로 분류하고 있다.¹¹⁾ 이 분 류기준에 따라 2020년도에 제주지역 골프장에서 사용된 농약성분들을 분류해 본 결과(Table 5), GUS값이 1.8 미 만인 성분이 47종, 1.8-2.8에 해당되는 성분 15종, 2.8 초 과는 15종, 자료부족로 미분류된 성분이 22종인 것으로 확인되었다. 이 중 GUS값이 2.8 초과로 분류된 농약성분 들의 사용량은 전체 사용량의 7.7%를 차지하는 것으로 조 사되었다. 전체적으로 보면, 제주지역 골프장에서 사용된 농약성분들 중에서 62.6%는 지하수로의 용탈가능성이 낮 거나 보통인 성분이었으며, 이들의 사용량은 2020년 전체 사용량의 86.0%를 차지하는 것으로 나타났다.

Table 2에 나타낸 바와 같이, 2020년 제주지역에서 사 용량이 많은 10위내 농약성분들 중 대부분은 GUS값이 1.8 미만으로 분류되어 지하수오염 가능성이 낮은 것으로 조사되었다. GUS값이 1.8-2.8로 지하수오염 가능성이 보 통인 농약성분으로는 Tebuconazole(1.86)이 해당되었고, 제주지역 골프장에서 비교적 사용량이 많은 농약성분들 중에는 GUS값이 2.8 초과인 성분이 포함되지 않았다. 하 지만, Table 4에서 골프장 농약잔류량 조사시 검출되고 있 는 성분 11종 중에는 Azoxystrobin과 Thifluzamide의 GUS값이 각각 3.1과 3.47이었으며, 2.8 초과된 성분으로 분 류되어 지하수오염 가능성이 높은 성분에 해당되었다. 검 출 농약성분 중에서 지하수오염 가능성이 보통인 성분은 5종이 포함되었는데, 이 중 제주지역에서 사용이 제한된 Metalaxyl의 경우 PPDB자료에 제시된 GUS값을 기준으 로 하면 지하수오염 가능성이 보통인 농약으로 분류되었 으나, 제주지역 대표토양에 대해 산출한 GUS값은 4.6-5.4 로 나타나 지하수오염 가능성이 매우 높은 것으로 알려져 있다.⁵⁾ Diazinon, Fenitrothion, Iprodione, Propamocarb hydrochloride와 같은 살충제 2종을 포함한 검출 농약성분 4종은 지하수오염 가능성이 낮은 성분으로 분류되었다.

Table 5. Summary of pesticides used in the golf courses in Jeju using GUS

GUS	Possibility of groundwater contamination	Pesticide ingredients		Pesticide usage	
		No.	Rate (%)	Usage (kg)	Rate (%)
<1.8	Low	47	47.4	12,578.5	74.0
1.8-2.8	Moderate	15	15.2	2,034.4	12.0
>2.8	High	15	15.2	1,311.2	7.7
Unclassified	-	22	22.2	1,063.5	6.3
Total		99	100.0	16,987.7	100.0

4. 결 론

본 연구에서는 제주지역 골프장에서의 농약사용량과 골프장 농약잔류량 조사결과를 바탕으로 농약사용 실태를 파악해보고, 골프장 사용농약에 대한 지하수오염 가능성을 간접적으로 평가해 보았다.

최근 제주지역 골프장에서의 농약사용량은 증가추세이며, 성분량을 기준으로 2020년도의 농약사용량은 전국사용량보다 1.4배 높은 9.58 kg/ha이었다. 농약사용 용도별로는 살균제 > 살충제 > 제초제 순으로 많이 사용되었고, 성분별로는 Chlorothalonil > Thiophanate-methyl > Iprodione > Tebuconazole > Etridiazole 순으로 이와 같은 살균제 성분이 전체 사용량의 50.1%를 차지하였다.

농약잔류량 조사결과 대부분의 골프장에서 농약성분이 검출되었고, 2014년부터 2020년까지 총 11종의 농약성분이 검출된 것으로 조사되었다. 검출된 농약성분은 모두 잔디에 사용이 가능한 것으로 저독성 살균제 농약이 대부분이었다. Azoxystrobin, Iprodione, Tebuconazole, Thifluzamide은 매년 검출되고 있는 농약성분이었고, 이중 Tebuconazole은 토양 중에 가장 높은 농도로 검출되었다. 대부분 토양 중 반감기가 30일 이상인 농약성분이 검출되고 있었으며, Thifluzamide는 반감기가 매우 길어 농약을 사용하지 않더라도 지속적으로 검출될 가능성이 있을 것으로 보인다.

농약사용으로 인한 지하수오염 가능성을 파악해 보기 위해 외국 DB자료에 제시된 GUS값을 적용하여 제주지역 골프장에서 사용된 농약성분을 분류해 본 결과, GUS값이 1.8 미만으로 오염가능성이 낮은 성분이 47종, 보통(1.8-2.8)인 성분 15종, 2.8 초과로 오염가능성 높은 성분 15종이 포함되었다. 제주지역 골프장에서 사용된 농약성분들 중 62.6%는 지하수오염 가능성이 낮거나 보통인 성분들로 조사되었다. 최다사용 10위내 농약성분들 중에는 지하수오염 가능성이 높은 성분이 포함되지 않았으나, 골프장 농약잔류량 조사에서 매년 검출되고 있는 농약성분인 Azoxystrobin(3.1)과 Thifluzamide(3.47)는 지하수오염 가능성이 높은 농약으로 분류되고 있어, 이러한 농약성분들에 대한 환경영향 분석, 위해성 평가 등의 추가적인 연구가 필요할 것 같다.

본 연구는 최근 제주지역 골프장에서의 농약사용 실태와 골프장 사용농약의 지하수오염 가능성에 대한 종합적인 평가를 시도한 것으로, 골프장 농약사용 저감대책을 수립하고 골프장의 농약사용으로 인한 오염방지와 체계적인 관리방안을 마련하기 위한 기초자료로 활용될 수 있

을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 환경부 환경분야 시험검사의 국제적 적합성 기반구축 사업의 일부 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 김동진, 윤정기, 유지영, 김수정, 양재의, “우리나라 골프장의 농약사용 실태 및 관리방안”, *한국응용생명화학회*, **2014**, 57(3), 267-277.
2. T. Gunstone, T. Cornelisse, K. Klein, A. Dubey, and N. Donley, “Pesticides and Soil Invertebrates: A Hazard Assessment”, *Frontiers in Environmental Science*, **2021**, 9, 643847.
3. 노현호, 이광현, 이재운, 박효경, 이은영, 홍수명, 박영순, 경기성, “시설재배 토양 중 내분비계장애 추정농약의 잔류 모니터링 및 지하수 용탈 가능성”, *농약과학회지*, **2011**, 15(4), 441-452.
4. 박나리, 강대호, 전준호, “낙동강 중하류에서의 미량오염물질 출현 및 농도”, *환경분석과 독성보전*, **2021**, 24(1), 1-12.
5. 현해남, 장공만, 오상실, 정종배, “Groundwater Ubiquity Score를 이용한 제주도 토양 특성별 농약의 지하수 오염가능성 평가”, *농약과학회지*, **2007**, 11(3), 144-153.
6. 오상실, 현해남, 문두길, 정종배, “제주도 감귤원 토양에서 GUS, RF, AF 지수를 이용한 농약의 용탈잠재성 평가”, *한국환경농학회지*, **2002**, 21(1), 7-16.
7. 현익현, 양철신, 김태현, 김수미, 오상실, “한지형 잔디로 조성된 골프장에서 농약사용패턴분석”, *제주도보건환경연구원보*, **2005**, 16, 87-105.
8. 제주특별자치도환경자연연구원, “제주지역 골프장의 농약·비료 사용 가이드라인 설정에 관한 연구”, **2008**.
9. 환경부 토양지하수정보시스템, <https://sgis.nier.go.kr>, 2022년 11월.
10. 농촌진흥청 농약안전정보시스템, <https://psis.rda.go.kr/psis/>, 2022년 8월.
11. D. I. Gustafson, “Groundwater ubiquity score: A simple method for assessing pesticide leachability”, *Environmental Toxicology and Chemistry*, **1989**, 8, 339-357.
12. 김찬섭, 이희동, 임영민, 김정한, 임진재, 오병렬, “국내 등록농약의 용탈 가능성 평가”, *농약과학회지*, **2006**, 10(4), 272-278.
13. K.E. Hall, C. Ray, S.J. Ki, K.A. Spokas, and W.C. Koskinen, “Pesticide sorption and leaching potential on three Hawaiian soils”, *Journal of Environmental Management*, **2015**, 159, 227-234.
14. PPDB: Pesticide Properties DataBase, <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/search.htm>, 2022년 8월.
15. 우승순, 방명렬, 윤경애, 박정희, 김영진, 박상균, ‘골프

- 장의 농약 사용실태 및 잔류량 조사”, *지하수토양환경*, **1997**, 2(1), 13-20.
16. 우현녕, 김기림, 김혜진, 정덕영, “골프장의 난지형 잔디에 발생하는 Large patch의 발병 특성”, *농업과학연구*, **2011**, 38(2), 243-248.
 17. 전경용, 양철신, 안효민, 김길성, 김수미, 이도승, 부경환, 류기중, “제주지역 골프장 농약 저감을 위한 친환경 잔디관리 대책”, *제주특별자치도 환경자원연구원보*, **2008**, 1, 84-93.
 18. 오상실, 송상택, 현익현, 송영철, 조인숙, 강영삼, “골프 코스에서 농약 및 질소, 인의 용탈”, *보건환경연구원보*, **2001**, 12, 75-86.
 19. 유병로, 정경희, “골프장 그린 토양에서 Metalaxy1의 흡·탈착 특성”, *한국환경과학회지*, **2002**, 11(3), 227-234.
 20. 양철신, 김길성, 김수미, 임용철, “골프장 활성탄 혼합 토층의 농약잔류 및 분해 특성 연구”, *제주특별자치도 환경자원연구원보*, **2009**, 2, 59-75.
 21. J. R. Fleeker, H. M. Lacy, I. R. Schultz, and E.C. Houkom, “Persistence and Metabolism of Thiophanate-methyl in Soil”, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **1974**, 22(4), 592-595.