

AGDISP모형을 이용한 농약의 대기확산 영향평가

김정환 · 구윤서 · 이승훈

안양대학교 환경에너지공학과

(2013년 8월 1일 접수, 2013년 9월 11일 승인)

An Impact Assessment on Atmospheric Dispersion of Pesticide using AGDISP Model

Jeong-Hwan Kim · Youn-Seo Koo · Seung-Hoon Lee

Department of Environmental & Energy Engineering, Anyang University.

(Manuscript received 1 August 2013; accepted 11 September 2013)

Abstract

Recently, golf courses have increased over the years because golf became popular leisure sport. Various environmental problems have been then issued by a golf course during constructing and running them. A problem of pesticide, which is serious among various environmental problems, from golf course has harmful effect on surrounding area and makes human suffer from acute and chronic diseases.

Pesticides are used for the cost-effective managing of golf course and the amount of pesticides also increases as the number of golf course increase.

Since the assessment of pesticides on near-by surrounding has been focused on water and soil media, studies related to atmospheric dispersion have been hardly attempted. The method to assess an impact of pesticide nearby agricultural production by the atmospheric dispersion using AGDISP(AGricultural DISPersal) model was developed and applied to the actual planned golf course located in Hongcheon, Gangwon.

For implementing AGDISP, parameters were investigated from the golf course's land use planning map, pesticide spray device, Hong-Cheon weather station and etc.

First of all, a kind of pesticide, a form of spraying pesticide, geographical features, weather data, and distance(golf course to plantation) were investigated to understand how to work these parameters in AGDISP. Restricted data(slope angle, droplet size distribution and solar insolation) sensitivity analysis of these parameters to estimate effect of pesticide nearby a plantation and a high relative contribution data of analyzed data was selected for input data.

Ethoprophos was chosen as the pesticide used in the golf course and the amounts of pesticide

deposition per annual agricultural productions were predicted.

The results show that maximum amount of pesticide deposition through atmospheric dispersion was predicted $2.32 \mu\text{g} / \text{m}^2$ at 96 m where the nearest organic plantation exists. The residues of pesticide were also estimated based on the annual production of the organic and the deposition amount of the pesticide.

Consequently, buckwheat, wheat and millet were likely to exceed maximum residue limits for pesticides in foods(MRL) and sorghum, corn and peanut were likely to exceed MRL by organic farming as well.

Keywords : Pesticide, Atmospheric dispersion, AGDISP, Pesticide spray, Golf course

aI. 서론

골프장은 그 지역의 관광자원으로 활용될 수 있으며 국민의 경제수준향상과 주 5일제 도입에 따른 시대적 요구에 부응한 관광·레저 스포츠 산업으로 성장하고 있다. 골프에 대한 국민적 인식이 변화하고 여가 운동으로 보편화 되어 골프장의 수요는 증가하고 있으며, 최근 3년간 골프장의 수는 2009년 339개에서, 2011년 410개로 71개의 골프장의 수가 증가하였고 골프를 즐기는 내장객 수도 2009년 25,908,986명에서, 2011년 26,904,953명으로 약 3.8%가 증가한 것으로 나타났다. 또한 2012년 2월, 40여 곳의 골프장이 공사가 끝나 개장을 앞두고 있으며 사업승인을 받은 곳은 133곳으로 2014년이나 2015년에는 골프장의 수가 500개가 넘어 설 것으로 예측된다(한국골프장경영협회 보도자료, 2011).

이경무 등(2000)의 연구에 의하면 골프장 시공·운영 시에는 대기질, 수질, 토지이용, 토양, 지형 및 지질, 자연생태환경과 생활환경등 각 부문에서 환경문제가 발생될 수 있으며, 골프장과 연계된 환경문제 중에 특히 농약에 대한 문제는 대기, 수질, 토양뿐만 아니라 주변 환경에 전가되어 인간에 급성, 만성적 피해를 야기시킬 수 있다고 보고하고 있다.

골프장에서는 병충해 피해, 골프장 내 광범위한 잔디의 비용효율적 관리 등을 고려하여 농약을 사용하고 있으며, 증가하는 골프장의 수만큼 농약의 사용량도 증가하는 추세이다. 골프장에서 사용하는 농약의 양은 2011년 약 400 ton이 사용되었고 이는 2010년에 비해 약 8 ton이 증가한 것이다(환경부·국립환경과학원 토양지하수 정보시스템; <https://sgis.nier.go.kr/newsgis/do?C=GpOdSt>).

하지만 골프장 운영 시 농약에 대한 영향평가는 현재 수질, 토양에서만 진행 되어왔으며, 농약 분사 시 대기를 통해 확산되고, 주변에 침적하여 발생한 환경피해에 대해서는 관련 연구 및 영향평가가 거의 이루어 지지 않았다.

따라서 본 연구에서는 골프장에 농약 분사 시 대기 확산으로 인한 인근 지역에 미치는 영향을 분석 및 평가하였다. 특히 골프장 주변에 유기농작물 재배지가 존재하는 경우를 대상으로 농작물에 미치는 영향을 평가하였다.

본 연구에서는 지표면에서 농약 분사에 따른 영향을 평가하기 위해서 AGDISP(AGricultural DISPersal) 모델의 'Ground boom spraying option'을 사용하였다. AGDISP모델은 농약을 노즐로 분사 시 농약용액이 입자형태로 주변에 미치는 영향을 평가하는 모델로 미국 및 유럽지역에서는 항공기를 이용하여 분사되는 영향을 파악하는데 많이 사용하였고, 최근에 지표에서 농약살포에 따른 영향을 평가할 수 있게 수정 및 보완되었다(Teske *et al.* 2003a; Teske *et al.* 2001).

AGDISP모델의 적용성을 평가하기 위해서 모델의 입력변수에 대해서 조사하였고, 변수의 민감도를 분석하였다. 또한, 실제 적용 대상은 강원도 홍천에 건축예정인 골프장을 대상으로 2011년의 기상자료를 이용하여 대기 중 농약 확산에 대한 영향을 예측 및 평가하였다.

II. 모델 및 입력자료

AGDISP모델의 대하여 설명하였고, 모델링에 필요한 입력자료인 농약 분무 형태를 조사하였다. 또

한, 강원도 홍천에 건축예정인 골프장을 대상으로 농약의 종류 및 사용량, 기상 및 주변 지형자료에 대한 조사하여 최종적으로 모델링에 필요로 하는 입력자료를 자세히 설명하였다.

1. AGDISP모델

본 연구에서 사용된 모델은 AGDISP(Version 8.25) 모델이며, 미국 환경청(EPA; Environmental Protection Agency) 농약검사처(OPP; Office of Pesticide Programs)에서 AgDRIFT(AGricultural Drift)모델, PERFUM(Probabilistic Exposure and Risk model for FUMigants)모델, SOFEA(SOil Fumigant Exposure Assessment System)모델 그리고 FEMS(Fumigant Exposure Modeling System) 모델과 함께 대기로 확산되는 농약을 예측하기 위한 모델로 사용되고 있다(http://www.epa.gov/pesticides/science/models_pg.htm#atmospheric).

AGDISP모델은 라그랑지안 입자 추적 이론(Bilanin *et al.* 1989)을 바탕으로 한 분무액 비산 예측 모델이다. 또한, 농산물 형상에 의해서 형성되는 캐노피에 의한 불규칙한 대기 흐름에 방출되는 농약을 모사하고 농산물과 지표면에 떨어지는 침적량을 계산한다. AGDISP모델은 본래 USDA Forest Service(United States Department of Agriculture Forest Service)에서 숲 위 상공에 분사되는 농약을 예측하기 위해 만들었고 그에 상당한 성과를 달성하였으며, 근래에 'Ground boom spraying option'이 AGDISP에 추가되어 지표면에서 분사되는 농약의 확산을 예측할 수 있게 되었다(Teske *et al.* 2003a; Teske *et al.* 2001). 따라서 AGDISP모델에는 지표면에서 분사되는 농약의 확산을 모사하기 위해서 노즐의 배치와 압력, 분사속도 등이 포함되었고, 농약의 입자 크기, 지면과 노즐의 이격거리, 기상, 지표면과 분무대(Spray boom)의 경사각 등이 입력 변수로 활용된다.

2. 입력자료

골프장에서 살포되는 농약의 영향을 평가하기 위해 모델링에 필요한 입력자료는 농약 종류, 농약 분무 형태, 농약 분무 시 입자 크기와 분포, 지형 및 기상자료 그리고 농약의 발원지와 농약이 침적되는 지역의 이격거리이다. 따라서 본 연구에 적용한 입력자료에 대하여 아래와 같이 각각 기술하였다.

(1) 농약 종류

우리나라 농약관리법 제1장제2조에는 농약을 “농작물(수목(樹木), 농산물과 임산물을 포함)을 해치는 균(菌), 곤충, 응애, 선충(線蟲), 바이러스, 잡초, 그 밖에 농림축산식품부령으로 정하는 동식물을 방제(防除)하는 데에 사용하는 살균제·살충제·제초제 그리고 농작물의 생리기능(生理機能)을 증진하거나 억제하는 데에 사용하는 약제, 그 밖에 농림축산식품부령으로 정하는 약제”로 정의하고 있다. 또한, 농약은 사용목적에 따라 살충제(insecticide), 살응애제(acaricide 혹은 miticide), 살선충제(nematicide), 살연체동물제(molluscicide), 살서제(rodenticide), 살조제(avicide), 살어제(piscicide), 살균제(fungicide), 제초제(herbicide), 살조류제(algicide), 식물생장조절제(plant growth regulator), 혼합제(combined pesticide), 보조제(supplemental agent 혹은 adjuvant) 등으로 분류한다(정영호 등, 2004).

본 연구에서는 최종적으로 강원도 홍천에 건축 예정인 골프장의 대기중 농약 확산 평가하려고 한다. 따라서 해당 골프장에서 살충제로 사용예정이고 우리나라에서 많이 사용하고 있는 에토프로포스(Ethoprophos)를 모델링을 위한 농약으로 선택하였다.

Table 1은 PPDB(University of Hertfordshire, Pesticide Properties Data Base)에서 발췌한 에토프로포스의 특성이다. 화학 수식은 C₈H₁₉O₂PS₂로

Table 1. Characteristics of ethoprophos

Pesticide name	Pesticide type	Substance group	Chemical formula	Physical state	Density(kg/l)
Ethoprophos	Insecticide, Nematicide	Organophosphate	C ₈ H ₁₉ O ₂ PS ₂	Pale yellow liquid	1.09

Source - <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/en/Reports/279.htm>

유기인산 화합물이고 물리적 상태는 옅은 황색의 액체이며, 밀도는 1.09 kg/l이다.

(2) 농약 분무 방법

골프장에서는 인건비 및 작업효율을 고려하여 농약 분무 차량을 도입하고 있고 본 연구에서 대상으로 하는 골프장은 Multi Pro 1200 & 1250을 도입할 예정이다. Table 2는 Multi Pro 1200 & 1250의 재원으로 작업 폭은 분무대(Spray boom)의 길이를 포함하여 5.5 m, 분사 높이 36 cm이고 노즐 수는 11개 이며, 탱크 용량은 663 l이다.

(3) 입자 크기 분포(Droplet Size Distribution; DSD)

Figure 2에서 나타난 바와 같이 노즐 형태에 따라서 분사각 및 분사되는 입자의 크기 차이가 크게 나타나기 때문에 정확한 노즐과 그에 따른 입자 분포는 모델링에 있어서 중요한 입력자료 중 하나이다. 본 연구에서 분무 차량에서 적용된 노즐은 Teejet80015,

0886, 8008로 Flat Fan Nozzle이다. Flat Fan Nozzle은 Fine to Medium의 입자 크기를 갖기 때문에 모델에 적용한 입자크기분포는 Fine to Medium이다 (Thomas M, Wolf *et al*, 2011).

(4) 골프장 및 인근 농지의 위치

농약 분사지역과 주변 영향 지역의 거리차이에 따라 농약의 침적량이 달라지기 때문에 이격거리 또한 모델 수행에 주요한 변수이다. 따라서 해당 골프장의 토지이용계획도에서 이격거리를 확인 할 수 있으며, Figure 3과 같이 골프장과 가장 근접해 있는 유기농지와의 이격 거리는 95 m이다.

(5) 기상

기상인자 또한 농약입자이동에 영향을 주는 주요 변수이다. 본 연구에서는 대상 골프장 인근에 위치한 강원도 홍천기상대 자료를 모델 수행에 입력자료로



Figure 1. Pesticide spray device of multi pro 1200 & 1250

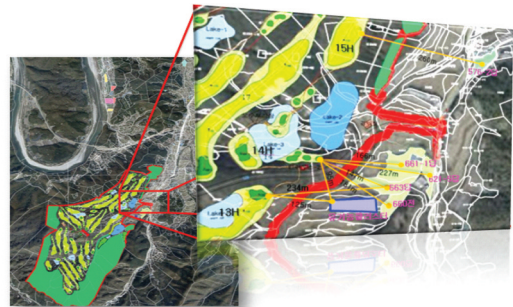


Figure 3. The location of golf course and near-by organic plantations

Table 2. Characteristics of Multi Pro 1200 & 1250

Pesticide application name	Wide*(m)	Spray height(m)	Number of nozzles	Capacity(l)
Multi Pro 1200 & 1250	5.5	0.36	11	663

* Include the length of spray boom

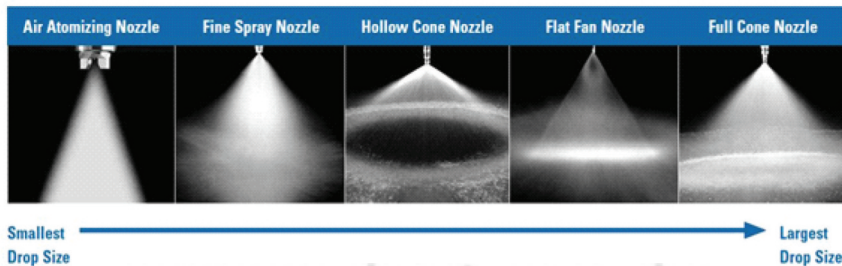


Figure 2. Droplet size distribution depending on nozzle types

Table 3. Monthly maximum of mean meteorology in Hongcheon, Gangwon(2011)

	Max Temperature(°C)	Max Wind velocity(m/s)	Highest Direction frequency	Mean max Humidity(%)
March	9.79	6.50	WSW	51.79
April	17.59	7.10	W	55.63
May	24.54	6.90	W	60.06
Jun	28.37	5.40	SSW	67.13
July	29.10	5.10	W	79.94
August	31.00	4.90	WNW	76.60
September	26.30	5.00	W	71.19
October	19.46	6.20	WNW	70.69
November	14.05	6.40	W	68.84
Total Average	22.24	5.94	-	66.87

Source - Korea Meteorological Administration

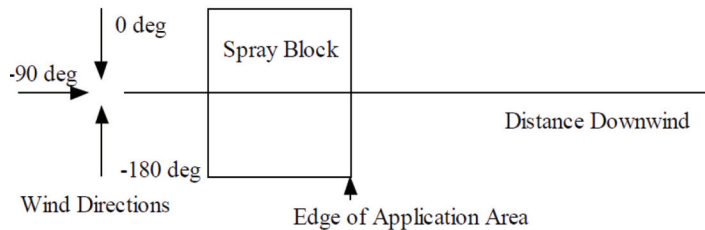


Figure 4. Wind directions (as viewed from above) relative to the spray block and distance downwind.

사용하였다.

강원도 홍천의 기상 변수 중 농약이 침적되는 양이 최대로 평가되는 수 있는 최악의 기상조건을 선택하였다.

본 연구에서 수행한 민감도 분석 결과에 의하면 기온과 풍속이 높을수록, 습도는 낮을수록 극변에 미치는 영향은 크게 나타나는 것으로 파악되었다. 본 연구의 대상인 골프장에서는 겨울(12~2월)을 제외한 봄, 여름, 가을에만 농약을 살포하기 때문에 겨울을 제외한 9개월간의 기상 변수를 적용하였다.

Table 3은 각 월의 최고기온, 최고풍속, 최저습도를 기술한 것으로, 대상기간 중 최악의 기상조건은 8월의 온도 31.00 °C, 4월의 풍속 7.10 m/s, 3월의 습도 51.79 %이다. 또한, 풍향은 Figure 4에서 볼 수 있듯이 서풍인 경우가 주로 나타나기 때문에 풍향을 -90deg로 입력하였다.

III. 모델 평가

최종적으로 대상골프장에 모델을 적용하기위해 모

델의 입력변수를 수집하였으나, 대상 골프장이 시공 예정이므로 모델링에 필요한 입력변수의 자료수집이 제한적이었다. 따라서 토지이용계획도 및 기상대 등을 통하여 발취가 가능한 자료를 제외하고 자료수집에 제한적인 입력변수는 모델의 민감도 분석을 통하여 산정하였다. 이때 모델링을 통해 농약이 주변 유기농 작물에 기여도가 높은 변수를 선택하여 최종적으로 모델링을 수행하였다.

1. 민감도 분석

모델을 수행하기에 앞서 모델의 각 입력변수들의 민감도를 평가하기 위하여 3가지 변수 Slope Angle, 입자 크기 분포(Droplet Size Distribution; DSD) 그리고 일사량(Solar insolation)대하여 평가하였다. 평가방법은 2가지 변수를 고정시키고, 나머지 하나의 변수만 변화시켜 그 민감한 정도를 평가하였으며, 풍하거리 96m에 따른 침적량의 변화를 확인하였다.

(1) Slope Angle

Slope Angle은 분무대(Spray boom)과 지표면의

Table 4. Slope angle sensitivity(unit : $\mu\text{g}/\text{m}^2$)

Distance(m) Angle(deg)	0	10	20	...	90	96	100	...	180	190	200
-60	9.9777	7.7227	7.5310	...	1.2265	1.2235	1.2202	...	0.2392	0.2519	0.2654
-30	8.5528	7.4379	6.3449		0.7791	0.7688	0.7605		0.4692	0.4917	0.5127
0	9.6820	7.1737	6.8476		0.8042	0.7685	0.7307		0.2748	0.2543	0.2355
30	8.5617	7.4338	6.3409		0.7790	0.7686	0.7604		0.4693	0.4917	0.5127
60	9.8828	7.7148	7.5197		1.2263	1.2232	1.2199		0.2394	0.2521	0.2656

Table 5. Droplet size distribution(DSD) sensitivity(unit : $\mu\text{g}/\text{m}^2$)

	ASAE	BCPC	ASAE
DSD	Fine to medium	Fine to medium	Medium to coarse
Deposition at 96 m	0.18	0.26	0.13

Table 6. Solar insolation sensitivity(unit : $\mu\text{g}/\text{m}^2$)

Solar Insolation	Strong	Moderate	Slight	Weak
Deposition at 96 m	0.774	0.774	0.768	0.768

각을 말하며, -60deg 부터 60deg 까지 입력할 수 있다. Slope Angle의 양수는 오르막 경사각이고 음수는 내리막 경사각이다.

Table 4는 Slope Angle 따른 민감도를 나타낸 표이며, 그 내용은 다음과 같다. 지형의 경사에 따라 다소 차이가 있으며, 오르막(+)과 내리막(-)을 비교하였을 때, 농약이 분사되는 지점에는 내리막이 오르막보다 침적량이 높게 나타나지만 거리가 늘어날수록 침적량의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다. 96m에서는 Slope Angle이 0deg 일 때 침적되는 농약은 $0.7685 \mu\text{g}/\text{m}^2$ 이고 30deg 와 -30deg 일 때 $0.7686 \mu\text{g}/\text{m}^2$ 과 $0.7688 \mu\text{g}/\text{m}^2$, Slope Angle이 60deg 는 $1.2232 \mu\text{g}/\text{m}^2$, -60deg 일 때는 $1.2235 \mu\text{g}/\text{m}^2$ 이다. 따라서 본 연구에서는 -60deg 를 입력하였다.

(2) 입자 크기 분포(Droplet Size Distribution; DSD)

AGDISP모델에는 American Society of Agricultural Engineers(ASAE)와 British Crop Production Council(BCPC) 두 협회에서 규정하는 입자크기분포를 사용한다. 따라서 ASAE - Fine to Medium, ASAE - Medium to Coarse, BCPC - Fine to Medium, BCPC - Fine to Coarse 총 4가지의 민감도를 평가하였다. 하지만 BCPC - Medium to Coarse는 96 m까지 침적되지 않아 민감도에서 제외하였다. Table

5에서 볼 수 있듯이 ASAE - Fine to Medium은 $0.18 \mu\text{g}/\text{m}^2$, BCPC - Fine to Medium는 $0.26 \mu\text{g}/\text{m}^2$ 로 같은 입자크기분포일 때 BCPC가 $0.08 \mu\text{g}/\text{m}^2$ 높아진다. 그리고 ASAE - Medium to Coarse는 $0.13 \mu\text{g}/\text{m}^2$ 로 ASAE - Fine to Medium보다 $0.05 \mu\text{g}/\text{m}^2$ 작아지는 것을 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 BCPC - Fine to medium을 적용하였다.

(3) 일사량(Solar insolation)

AGDIPS 모델에서의 Solar insolation은 일출 이후 1시간 뒤의 일사량을 뜻하며 옵션은 총 4가지로 Strong, Moderate, Slight, Weak가 있다. Table 6에 Solar insolation의 민감도를 나타냈으며, 4가지 변수를 적용하였을 때 농약의 침적량의 차이는 크지 않으나 일사량이 강할 때가 $0.774 \mu\text{g}/\text{m}^2$ 로 일사량이 약한 때 보다 $0.006 \mu\text{g}/\text{m}^2$ 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 따라서 일사량이 강한 Strong으로 적용하였다.

IV. 결과

위에서 기술한 AGIDPS모델을 수행하기 위한 입력자료와 민감도 분석에서 도출된 입력변수를 이용하여 인근지역에 미치는 최대 침적량을 AGIDPS모

Table 7. Input data for AGDISP model

Parameter		Value
Application Method	Method	Ground
	Nozzle Type	Flat Fan
	Boom Pressure	4.90 bar
	Release Height	0.36 m
	Spray Line	11
Meteorology	Wind Type	Single Height
	Wind Speed	7.10 m/s
	Wind Direction	-90 deg
	Temperature	31.00 °C
	Release Humidity	51.79 %
Surface	Upslope Angle	-60 deg
	Sideslope Angle	0 deg
	Canopy	None
Application Technique(Liquid)	Nozzles	11
	DSD	Fine to Medium(BCPC)
Spray Material	Spray Volume Rate	4.72 L/ha
Atmospheric Stability	Stability	Strong
Swath	Swath Width	5.5 m
	Swath Displacement	0.5 m

델을 수행하여 평가하였다. 자세한 모델링 결과는 아래와 같다.

1. 모델 입력자료

Table 7은 강원도 홍천에 건축예정인 골프장을 바탕으로 AGDISP모델의 입력자료를 나타낸 것이다. 먼저 적용방법(Application Method)은 농약분무차량을 사용하여 지상에서 분사되는 형태이기 때문에 Ground를 입력하였다. 또한 농약분무차량의 재원이 들어가며, 그 재원인 Flat Fan 노즐, 분사압력 4.9 bar, 분사 높이 0.36 m, 그리고 스프레이의 개수 11 개를 입력하였다. 기상 자료는 강원도 홍천기상대 지표기상을 사용하였고 풍향 방향은 -90deg로 설정하였으며, 1년 중 최고기온, 최고풍속과 최저습도인 8월의 온도 31 °C, 4월의 풍속 7.1 m/s, 3월의 습도 51.79 %를 입력하였다. Slope angle은 민감도 평가에서 나타났듯이 -60deg에서 가장 높은 침적량이 나타나 -60deg로 설정하였고 골프장임을 감안하여 캐노피는 없는 것으로 설정하였다. 농약은 액체상태

의 농약으로 입자크기분포는 민감도 평가에서 침적량이 가장 높게 분석된 BCPC기준 Fine to Medium으로 하였다. 또한 Nozzles에는 노즐의 개수인 11개를 입력하였다. 사용농약의 양은 우리나라 골프장 연평균 사용량 5.15 kg/ha(환경부, 2011)를 Table 1에 나와 있는 대상농약 에토프로포스의 밀도인 1.09 kg/l로 나누어 4.72 l/ha³를 입력하였다. 일사량은 Strong을 적용하였고 분무대(Spray boom)의 행렬은 Table 2에 나와 있는 작업 폭으로 5.5 m이고 각 노즐의 이격 간격은 5.5 m의 작업 폭에 11개의 노즐이 일정하게 분포되어있으므로 0.5 m로 입력하였다.

2. 농약 침적량

AGDISP모델의 결과는 Table 8과 Figure 5에 정리하였다. 이격거리에 따라서 침적량이 급격히 감소하는 것으로 계산되었다. 분사지점 근처에서 16.89

1) 농약 사용량을 모델에 입력 시 단위가 l/ha로 되어있어 환경부고시 우리나라 골프장 연평균 사용량(5.15 kg/ha)을 해당 농약(에토프로포스)의 밀도(1.09 kg/l)로 나누어 l/ha로 환산하였음.

Table 8. Predicted deposition($\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{yr}$)

Distance(m)	Deposition
0	16.89
10	9.29
20	7.63
⋮	⋮
80	2.70
90	2.45
96	2.32
100	2.27
110	2.15
⋮	⋮
170	1.32
180	1.21
190	1.15
200	1.08
⋮	⋮

$\mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{yr}$ 으로 침적량이 가장 높게 나타났으며, 골프장과 가장 인접한 농산물 재배지 지점(96 m)에 침적되는 농약의 침적량은 약 $2.32 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{yr}$ 로 예측

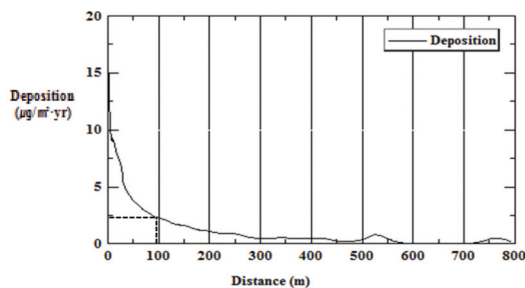


Figure 5. Predicted deposition rate

되었다.

3. 농산물 잔류농약 평가

농약 잔류허용기준은 농산물과 농약의 종류에 따라 달라진다. 2009년 식품의약품안전청에서 고시한 에토프로포스에 해당하는 농산물의 농약 잔류허용기준과 단위면적당 연간 농산물 생산량(통계청, 2009)을 바탕으로 농산물 잔류농약 평가를 하였고 이를 Table 9에 정리하였다.

Table 9. The amount of pesticides deposition per annual agricultural production(Ethoprophos)

	Annual agricultural production (kg/m ²)	Pesticide deposition amount per annual agricultural production (ppm, mg/kg)	Maximum residue limits for pesticides in foods (ppm)	Maximum residue limits for pesticides in foods for organic crop* (ppm)
Potato	2.76	0.0008	0.020	0.0020
Sweet Potato	1.68	0.0014	0.020	0.0020
Pepper	4.35	0.0005	0.020	0.0020
Strawberry	3.22	0.0007	0.020	0.0020
Peanut	0.25	0.0093	0.020	0.0020
Galic	1.36	0.0017	0.020	0.0020
Buckwheat	0.10	0.0232	0.005	0.0005
Daikon	5.28	0.0004	0.020	0.0020
Wheat	0.37	0.0063	0.005	0.0005
Lettuce	2.76	0.0008	0.020	0.0020
Sorghum	0.17	0.0136	0.020	0.0020
Spinach	1.61	0.0014	0.020	0.0020
Cabbage	5.53	0.0004	0.020	0.0020
Onion	7.41	0.0003	0.020	0.0020
Cucumber	7.14	0.0003	0.020	0.0020
Corn	0.50	0.0046	0.020	0.0020
Millet	0.12	0.0193	0.005	0.0005
Tomato	6.20	0.0004	0.020	0.0020
Grape	1.85	0.0013	0.020	0.0020

* Maximum residue limits for pesticides in foods for organic crop is a tenth of Maximum residue limits for pesticides in foods.

본 연구에서 선정한 농작물은 총 19개이며, 식품의약품안전청에서 고시한 농약 잔류허용기준은 메밀, 밀, 조를 제외한 16개의 농작물이 0.02 ppm이며 메밀, 밀, 조는 0.005 ppm이다. 또한, 유기농 농산물은 식품의약품안전청에서 고시한 일반 농산물의 기준치에 1/10로 되어있다.

골프장에서 분사되는 농약의 전량이 농산물에 모두 침적된다는 것을 가정하여 침적량을 계산하였고, 그 결과를 Table 9에 나타내었다. 단위면적당 연간 농산물 생산량의 농약 잔류량은 식 1로 계산하여 예측하였다. 메밀의 경우 침적되는 농약의 양이 0.0232 mg/kg(ppm)으로 가장 크고, 반면에 양파와 오이는 침적되는 농약의 양이 0.0003 mg/kg(ppm)으로 가장 적은 것으로 예측되었다. 일반적으로 생산되는 농작물의 경우 메밀, 밀, 조가 농약 잔류허용기준을 초과하는 것으로 나타났고, 유기농 농산물인 경우 땅콩, 메밀, 밀, 수수, 옥수수, 조가 농약 잔류 허용기준을 초과할 것으로 나타났다.

$$\frac{\text{단위면적당 연간 농약의 침적량}(\mu\text{g}/\text{m}^2)}{\text{단위면적당 연간 농산물의 생산량}(\mu\text{g}/\text{m}^2)} \times \text{단위환산} \left(\frac{1\text{mg}}{10^3\mu\text{g}} \right) = \left(\frac{\text{연간 농약의 침적량}(\text{mg})}{\text{연간 농산물의 생산량}(\text{kg})} \right) \text{ppm} \quad (1)$$

V. 결론 및 고찰

골프장과 연계된 환경문제 중에 특히 농약에 대한 문제는 대기, 수질, 토양뿐만 아니라 생활환경에 전가되어 결국 동식물과 인간에 급성, 만성적 피해를 야기시킬 수 있다. 현재 골프장의 수는 증가하고 있으며, 골프장에서 사용되는 농약의 사용량은 매해 증가하는 추세이다. 하지만 골프장 운영 시 농약에 대한 영향평가는 현재 수질, 토양에 치중하고 있으며, 농약 분사 시 대기확산으로 인근 지역에 발생하는 환경피해에 대해서는 관련 연구 및 영향평가가 거의 이루어지지 않았다.

본 연구에서는 농약 분사 시 대기확산으로 인한 농약 침적량의 예측 방안을 제시하고, 이를 실제 강원도 홍천에 건축예정인 골프장을 대상으로 적용해보았다. 농약의 침적량을 예측하기 위하여 사용한 모델

은 AGDISP모델이며, 모델링을 수행하기 위한 입력 변수는 대상 골프장의 토지이용계획도, 농약분무방법, 홍천기상대 등에서 수집하여 입력하였다. 이를 이용하여 분석된 결과는 풍하거리 96 m에서 2.32 $\mu\text{g}/\text{m}^2$ 의 농약이 침적되는 것으로 예측되었다. 이때 기준 농약은 에토프로포스로 해당 농약의 잔류허용기준은 농작물에 따라 0.02 ppm, 0.005 ppm으로 나뉜다. 농작물에 연간 침적되는 농약을 산정하여 분석한 결과, 메밀, 밀, 조는 농약 잔류허용기준치인 0.005 ppm를 초과할 가능성이 있고, 유기농으로 재배할 경우, 메밀, 밀, 조뿐만 아니라 수수, 옥수수, 땅콩 또한 기준치를 초과할 우려가 있다.

대기확산만으로 기준치를 초과하는 농산물이 예측된 이유는 AGDISP모델의 특성상 다방향의 풍향을 고려할 수 없어 분사되는 농약의 전량이 한방향의 풍하거리에 영향을 미치기 때문이다. 또한, 기상자료 및 입력변수를 최대로 침적되는 조건으로 설정하였기 때문에 실제 관측 자료를 사용하여 모델링을 수행하였을 때 보다 과대모사가 되었을 것을 판단된다. 그리고 농약을 변경하였을 경우, 농약 잔류허용기준이 다르기 때문에 농약이 농산물에 미치는 영향은 다소 상이할 수 있고, 연간 단위면적당 농산물 생산량과 농약 사용량을 사용하였기 때문에 농산물의 생장기간에 따라 농약 침적량이 달라질 수 있다고 사료된다. 하지만 소량의 농약으로도 인간과 동·식물의 급성, 만성적 피해를 유발시킬 수 있으므로 수질, 토양에서 미치는 영향뿐만 아니라 다각도에서 정밀한 예측과 평가 필요할 것으로 판단된다.

References

- 김민중, 정근한, 2009, 국내 골프장의 입지적 유형 분류에 관한 연구, 한국잔디학회지, 23(1), 151-162.
- 김현중, 차은실, 문은경, 고유선, 김재영, 정미혜, 이원진, 2011, 일부 농업인에서의 농약 중독 증상과 농약 사용정보에 대한 예비조사, 한국환경보건학회지, 37(1), 22-28.
- 박현주, 이기원, 정경환, 박병준, 서곤, 2007, 사과

- 와 배에서 Ethoprophos의 확산, 한국환경농화학회지, 26(2), 171-178.
- 이경무, 민선영, 정문호, 2000, 농약살포 농민의 농약노출로 인한 건강피해에 관한 연구, 한국농촌과학회지, 25(2), 245-263.
- 정영호, 김장익, 김정한, 이영득, 임치환, 허장현, 2004, (최신)농약학. 시그마프레스.
- 식품의약품안전청, 2009, 식품의 농약 잔류허용기준, 식품의약품안전청.
- 통계청, 2009, 2009년 농작물생산통계, 통계청.
- 한국골프장경영협회, 2012, 2011전국 골프장 내장객 현황, 한국골프장경영협회.
- 환경부, 2011, 2010년도 전국 골프장 농약사용 실태조사 결과, 환경부.
- BilaninAJ, Teske ME, Barry JW, EKblad RP, 1989, AGDISP: The Aircraft spray dispersion model, code. development and experimental validation, Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 32(1), 327-334.
- Milton E. and Harold W. thistle, 2004, Aerial Application Model Extension into the Far Field, Biosystems Engineering, 89(1), 29-36.
- Richard Londergan, A.C. Newcombe, Thomas M. Wolf, 2011, Assessment of deposition and drift downwind of ground spray applications - a case study examining the impact of droplet size, boom height and wind speed, Agriculture and Air Quality 3A: Emission Measurements and Models.
- S.J.R Woodward., R.J. Connell., J.A. Zabkiewicz., K.D. Steele, J.P. Praat., 2008, EVALUATION OF THE AGDISP GROUND BOOM SPRAY DRIFT MODEL, New Zealand Plant Protection Society, Agrichemicals, 164-167.
- Teske Me, Valcore DL, Hewitt AH, 2001, An analytical ground sprayer model. Presented at 2001 American Society of Agricultural Engineers International Meeting, Sacramento, California, 30, July-1 August 2001.
- <http://sgis.nier.go.kr/>
- <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/footprint/en/Reports/279.htm>
- <http://www.doopedia.co.kr/>
- <http://www.epa.gov/>
- <http://www.rda.go.kr/>
- <http://www.law.go.kr/lsInfoP.do?lsiSeq=115273#000>