

수질 및 토양 중 Endosulfan 제거효과에 관한 연구

안중혁 · 이석종¹ · 이 완¹ · 김준범 · 이광춘¹ · 권영두² · 전 총 · 박광하

강릉대학교 환경응용화학공학과,
¹강원도보건환경연구원, ²한중대학교 환경공학과
(2006. 1. 9. 접수, 2006. 2. 14. 승인)

A study on removal effect of Endosulfan in soil and aquatic system

Jung-hyeok An, Seog-Jong Lee¹, Woan-Lee¹, Joon-bum Kim, Gwang-chun Lee¹,
Young-du Kwon² Choong Jeon and Kwang-ha Park

Kangnung National University, Kangnung 210-702, Korea

¹Gangwon-Do INST. Health & Environment Engineering, Chuncheon 200-822, Korea

²Department of Environmental Engineering, Hanzhong University, Donghae 240-713, Korea

(Received January 9, 2006, Accepted February 14, 2006)

요 약 : 본 연구에서는 잔류농약을 효과적으로 제거하는 방법을 토양 및 수용액상에서 연구하였다. 이를 위해 표준물질은 유기염소계 α -endosulfan, β -endosulfan을 사용하였다. 분석방법은 각각 채취한 시료를 전처리하여 Ultra II[(30 m×0.25 mm(ID)×0.25 μ m] 컬럼을 장착한 GC- μ -electron capture detector(μ -ECD)로 분석하였다. 토양 중 잔류농약의 회수율은 96-100%로 나타났다. 토양에 농약분해제를 살포하여 시간별 α -endosulfan, β -endosulfan의 변화량을 분석한 결과 73, 61% 감소하였다. 토양시료에 농약분해제를 첨가하고, 수분의 양을 10 mL에서 100 mL로 증가 시키면서, 잔류농약의 변화량을 측정하였다. 그 결과, α -endosulfan은 45%에서 85 %로, β -endosulfan은 44%에서 88%로 제거되었다. 마지막으로, 수용액상에서도 시간별 endosulfan의 제거율 실험을 하였다. 실험 결과 30분 내에서 α -endosulfan은 99%, β -endosulfan은 98%가 분해 제거되었다. 이와 같은 현상은 농약분해제에 많은 유기산염과 강알칼리 성분들이 알칼리 가수분해를 일으킨 것으로 추정할 수 있다.

Abstract : In this study, a series of experiments were conducted using a standard solution containing α and β -endosulfan to follow the removal effect of residual pesticides on soil and aqueous solution. An analytical method for residual pesticides was established by a gas chromatography equipped Ultra II[(30 m×0.25 mm(ID)×0.25 μ m] capillary column and a μ -electron capture detector(μ -ECD). Recovery rates of residual pesticides for soil samples were 96-100%. The amount of α and β -endosulfan that was spread in the soil was checked for various period of time. It indicated that the amount was reduced to 73 and 61%, respectively. When the water spread amount increased from 10 to 100 mL, α -endosulfan was eliminated from 45 to 85% and while β -endosulfan from 44 to 88%. Removal rates of α -endosulfan and β -endosulfan were 99% and 98% respectively within 30 minutes. It was assumed that the organic salts and strong alkali elements contained in the pesticide degradator hydrolyzed the residual pesticide.

Key words : pesticides, α -Endosulfan, β -Endosulfan, μ -electron capture detector

★ Corresponding author

Phone : +82-(0)33-645-0830 Fax : +82-(0)22-645-0839

E-mail: yang-dda@hanmail.net

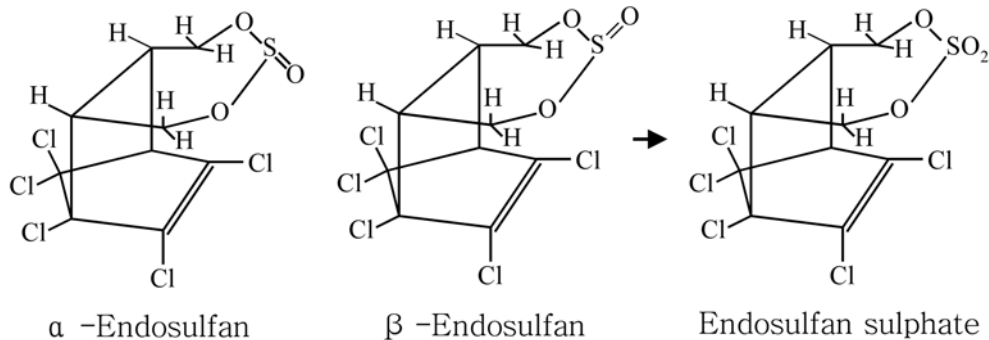


Fig. 1. Two enantiomers of endosulfan and its metabolites.

1. 서론

농업분야에서 농작물의 병충해 방지와 잡초방제의 목적으로, 광범위하고 무분별하게 농약을 사용하고 있는 실정이다.^{1,2} 농약은 사용 용도에 따라 살충제, 제초제, 성장 조정제, 살균제 등이 있다. 이들은 농작물이나 병충해의 종류, 토양 등 여러 가지 요인에 따라 다르게 사용하고 있다.³ 농약은 자연에 잔류하여 생물체내의 지방조직에 축적하여 만성중독을 유발할 가능성이 있다. 따라서 잔류농약에 대한 유출은 사회 문제화하고 있고, 국내뿐만 아니라 국제적으로도 관심의 대상이 되고 있다.^{4,5} 우리나라는 국민소득의 증가와 레저생활의 고급화에 따라 골프가 대중적인 스포츠로 자리를 잡아가고 있다. 골프 인구가 점차 증가함에 따라 골프장의 수요 및 시설이 급증하고 있다. 농약은 주로 농경지에서 대부분 사용해 왔으나, 골프장에서도 잔디와 수목을 보호하기 위해 다량의 농약을 사용할 수 밖에 없는 실정이다. 이에 따라 수질오염과 필드의 농약오염으로 건강위해가 심히 우려되고 있다.⁶ 이러한 문제로 많은 학자들은 잔류농약의 제거방법을 개발하거나 개선시키기 위해 많은 노력을 기울이고 있다.

현재 잔류농약의 제거방법으로 활성탄, 제올라이트, 여과막 등 흡착, 응집의 물리적 성질을 이용하여 토양, 수질 중 잔류농약의 제거에 대한 많은 연구가 다양하게 이루어졌다.⁷⁻¹⁰ 활성탄 등을 이용한 잔류농약 제거는 고비용과 별도의 처리시설이 필요하다는 문제점이 있다. 서 등(2003)은 *P. chrysosporium*으로 유기염소계 농약인 endosulfan의 생물학적 분해에 관한 연구를 수행하여, α , β -endosulfan이 각각 28.8, 22.3%가 분해된 것으로 보고하였다.¹¹ 미생물을 이용한 생물학적 잔류농약 분해는 자연친화적인 장점을 가지고 있지만 미생물의 증식이 어렵다는 단점을 갖고 있다. 이 등

(1999)은 유기산염과 알칼리 수용액상에서 화학적 반응을 이용하여, 과일, 채소 중 잔류농약 제거 연구로 합성세제보다 우수한 제거효과가 나타나고, 식품첨가물인 유기산염과 알칼리 pH는 채소에 잔류하는 농약 제거에 밀접한 관계가 있다고 보고하였다.¹² 이 등(2003)은 알칼리가 서로 다른 중성, 알칼리, 산성 세제 용액을 사용한 잔류농약 제거방법을 연구하였다.¹³

본 연구의 대상 잔류농약으로 유기염소계 농약인 α , β -endosulfan을 포함한 endosulfan을 사용하였다. endosulfan은 수용액상에서 α -endosulfan, β -endosulfan은 이성질체로 존재한다. 또한, Fig. 1과 같이 자연 상태에서 endosulfan이 주요 metabolite로서 endosulfan sulphate로 전환한다.¹⁴ endosulfan은 인축 및 어류독성이 강하여 Class I에 속하고,¹⁵ *in vitro*에서 rat의 간 유전자에 현저한 변형을 야기 시키며, gap-junctional intercellular communication의 잠재적인 저해인자로도 알려져 있다.¹⁶ 이 등(1994)은 공시어인 참잉어에 대한 독성시험에서 공시약제인 endosulfan의 96시간 LC₅₀은 7.96 ppb이었으며, LC₁₀은 4.49ppb로 아주 강한 어독성을 보였다.¹⁷

본 연구는 농약을 화학적으로 분해 할 수 있는 약품을 선정하여 수질 및 토양 상태에서 농약을 분해하는 잔류농약 제거효과에 대해 알아보고자 하였다. 그리고 잔류농약 분해 원인과 골프장 등의 토양과 잔류농약을 함유한 수질 중 적용 가능성에 대해서도 연구하였다.

2. 재료 및 실험방법

2.1. 시약 및 장치

표준농약은 α -endosulfan(99%), β -endosulfan(99%)과 endosulfan sulphate(97%)를 사용하였다. 공시약제

농약은 시중에 판매하고 있는 α -endosulfan, β -endosulfan를 포함한 지오릭스유제(35%)를 사용하였다. 잔류농약 분석의 전처리에 사용한 아세톤, 디클로로메탄 등 모든 용매는 잔류농약 분석용, 무수황산나트륨과 염화나트륨 등은 특급시약을 사용하였다.

농약 분석용으로 Hewlett Packard 6890(Agilent Technologies, Paloalto, California, U.S.A) 모델의 GC를 사용하였다. 이 기기의 인젝터는 splitless/split 겸용인데, capillary inlet system은 single-taper liner를 사용하였다. 검출기는 Hewlett Packard(Agilent Technologies, Paloalto, California, U.S.A)로 ECD(μ -ECD)를 사용하였고, column은 Ultra II(30 m \times 0.25 mm \times 0.25 μ m film thickness(Agilent Technologies, Paloalto, California, U.S.A)로 충전물은 100% dimethyl polysiloxane을 사용하였다.

농약분해제로 사용한 약품은 특허 제 0402817호로 등록된 제품((주)J회사)을 구입하였다. 이 약품은 강알칼리성 복합기능 조성물을 함유한 농약 분해제로 폴리옥시에틸렌, 알칼에테르유산염 17-23%, 이지 알킬디메틸아민옥사이드 7-11% 등의 유기산염을 함유한다. 그리고 그 외에도 물 1/를 기준으로 규산칼륨 70-80 g, 글리세로인산칼슘 10-20 g, 칼슘나트륨($C_{10}H_{12}CaN_2 \cdot Na_2O_8 \cdot 2H_2O$) 25-30 g, 염화칼슘 10-20 g 등 액상의 천연광물 추출물을 15-20 wt.% 정도를 함유하고 있다.

본 실험에 사용한 농약 분해제는 카바메이트계, 피레스로이드계 및 유기염소계 농약분해에 효과적인 것으로 알려져 있다. 따라서 이를 이용하여 토양 및 수질 중 잔류농약 분해력과 활용 방안에 대해 연구하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1 시료의 전처리 및 분석

토양 실험은 환경부에서 발행한 골프장 농약 잔류량 시험방법, 토양오염공정시험방법을 참고하여 잔류농약을 분석하였다. 토양시료의 채취는 토양의 재현성 및 정밀성을 높이기 위해, Fig. 2와 같이 규격화한 시료 채취기로 1회 채취시 여러 지점에서 0-15 cm의 일정한 높이에서 1 kg을 채취하였다. 채취한 토양시료 50 g에 0.2 N NH_4Cl 용액 30 mL와 아세톤 100 mL를 혼합하여, 1시간 진탕하고 감압 여과하여 5 mL로 농축하였다. 농축한 시료에 포화 NaCl 50 mL, 증류수 400 mL 혼합한 후, 디클로로메탄 50 mL로 3회 추출하여 무수황산나트륨을 통과시켜 추출한 유기 용매층을 회전감압농축기로 완전 건조시켰다. 최종액은 아세톤 5 mL를 첨가하여 GC-ECD(μ -ECD)로 분석을 하였다.^{18,19}

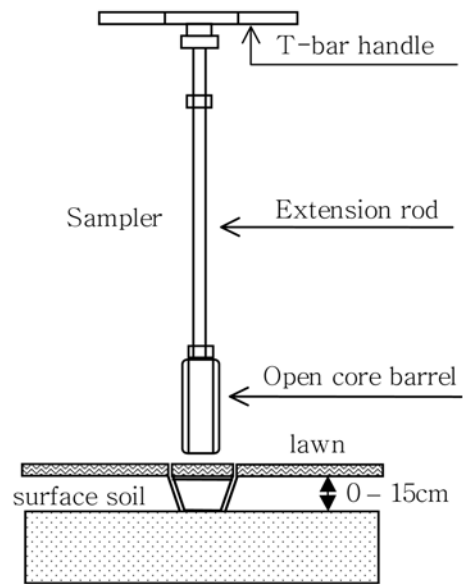


Fig. 2. A schematic of sampling system.

수용액상에서 실험은 토양시료의 전처리 방법을 응용하였다. 수질시료에 과포화 NaCl 50 mL를 첨가하고, 디클로로메탄 50 mL로 3회 추출하여 이하 토양시료 전처리와 동일하게 하였다.

2.2.2 토양 실험

농약 분해 약품을 사용하여 Endosulfan의 토양으로부터 분해제거하는 효율 및 시간에 따른 변화량을 측정하고자 하였다. 이를 위해 Fig. 3과 같이 규격 2.0 m \times 2.5 m 2개의 실험구를 준비하여 각각 A 처리구, B 대조구에 35% 지오릭스 유제를 500배로 희석하여 살포하였다. A 처리구에는 강알칼리성 잔류농약 분해 약품을 700배로 희석하여, 5 l를 처리하였다. B 대조구에는 농약분해 약품의 분해 효과를 비교하기 위해, 증류수만 5 l 살포하였다. 시간에 따른 endosulfan의 변화량을 알아보기 위해, 농약살포 후 초기 토양시료를 각각 채취하였다. A 처리구에 잔류 농약 분해제 살포는 2일 간격으로 4회 반복 실시하였다. 그리고 잔류 농약 분해제 살포 2일 후, 각각 A 처리구, B 대조구 토양 시료를 채취하여 수분함량과 잔류농약 endosulfan을 분석하였다.

토양 2번째 실험으로 지오릭스 유제(35%) 농약만을 살포한 B 대조구에서 토양을 채취하여, 50 g으로 여러 개 나누어 700배로 희석한 농약 분해약품을 동일하게 첨가하였다. 조제한 시료에 증류수 10-100 mL를

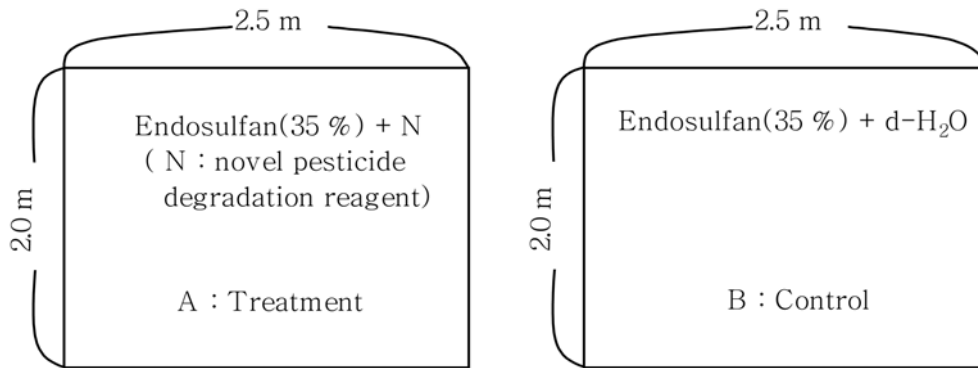


Fig. 3. Design of field test; endosulfan(EC, 35%) is applied in each place and the test solution(at A) and H₂O(at B) are introduced for control test.

Table 1. The operating conditions of GC-ECD for the analysis of endosulfan

Operating conditions	Oven Temp. 140°C(2 min) → 5°C/min → 280°C(7 min)
	Inj. Temp. 280°C
	Det. Temp. 300°C
	Split ratio 10:1
	Column flow 1.0 mL/min
	Injection vol. 1 μL

단계적으로 첨가하여 수분량에 따른 잔류농약 endosulfan의 변화량을 분석하였다. 모든 시료는 증류수를 첨가한 후, 하루 동안 실온에 방치하여 사용하였다. 실험은 실험방법 2.2.1의 토양시료 추출방법에 따라 실시하여, Table 1과 같은 조건으로 GC-ECD(μ -ECD)분석을 하였다.

2.2.3 수용액상 실험

수용액상에서 잔류농약 분해제에 의한, endosulfan의 제거에 미치는 영향을 알아보려고 하였다. 이를 위해 100 ml 용량플라스크에 35% endosulfan 유제 200

μ L와 농약분해 약품 200 μ L를 첨가하여, 증류수로 100 mL 표선을 맞추었다. 한편 대조구는 100 mL 용량플라스크에 35% endosulfan 유제 200 μ L와 증류수만 처리하여, 농약 제거효과를 비교하였다. 조제한 시료는 하루 동안 시간에 따라 각각 7회 채취하여 추출하였으며, 실험은 수질시료 추출방법(실험은 실험방법 2.2.1)에 따라 실시하였다.

2.2.4 GC 분석의 기본 변수

토양과 수질 시료를 전처리한 후, GC-ECD로 분석하였다. 그 결과 기기분석은 Fig. 4과 같이, 모든 피크에서 양호한 분리가 이루어졌다. 머무름 시간은 α -endosulfan이 19.454 min, β -endosulfan은 21.539 min, endosulfan sulphate는 23.082 min에서 나타났다. 정량을 하기 위해 검량선 작성은 α -endosulfan, β -endosulfan, endosulfan sulphate에 대해서 농도 0.0-10.0 μ g/ml로 하였으며, 직선식은 $y=1808.5x$, $y=1608.8x$, $y=1427.1x$ 로 나타났다. 각각 endosulfan의 선형 회귀선으로부터 표준용액의 검출한계(Cm)를 산정하였다. 선형 회귀선의 기울기(m), 바탕신호의 표준편차(SD)를 이용하여

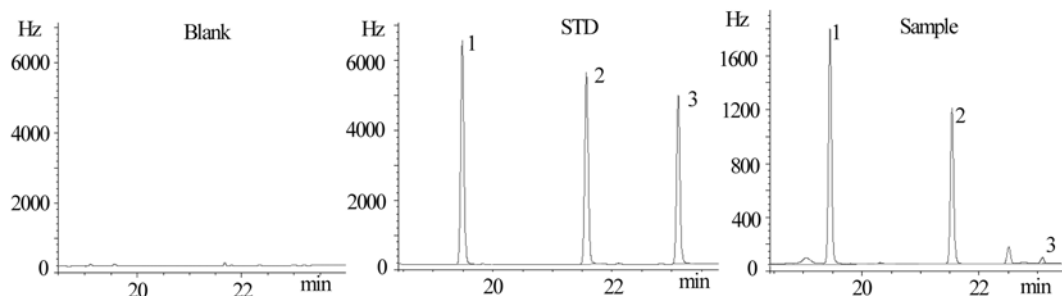


Fig. 4. GC-ECD chromatogram of endosulfan(1 : α -endosulfan 19.486 \pm 0.003, 2 : β -endosulfan 21.568 \pm 0.002, 3 : endosulfan sulphate 23.108 \pm min, STD : 1,2,3(10 μ g/ml), sample : 1(3.84 μ g/ml), 2(3.93 μ g/ml), 3(0.13 μ g/ml).

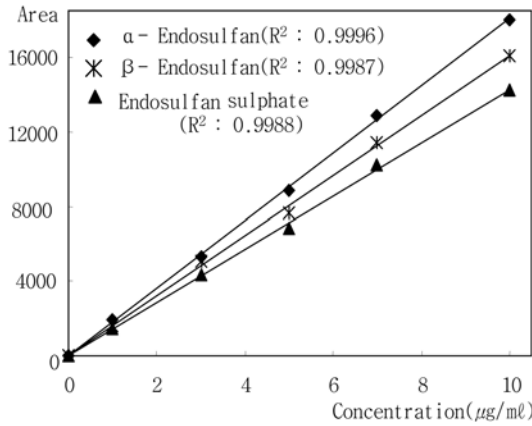


Fig. 5. Calibration curves for α -endosulfan, β -endosulfan and endosulfan sulphate

구하였다($C_m=3 \times SD/m$).²⁰ α -endosulfan, β -endosulfan, endosulfan sulphate의 검출한계는 1.6, 2.4, 1.5 ng/ml이었다. 그리고 각각의 상관계수(R^2)는 0.9996, 0.9987, 0.9988로 좋은 직선성을 나타냈다(Fig. 5). 한편, Table 2와 같이, 정밀도, 재현성, 정확도의 실험은 토양, 수질시료에서 각각 실시하였다. 이 실험은 각각 시료에 표준물질을 0.20, 1.00 $\mu\text{g/mL}$ 를 첨가하여 각각 4회 실시하였다. 시료의 전처리는 2.2 실험방법과 같이 동일하게 실험하였다. 정밀도, 재현성을 나타내는 RSD 값은 토양시료에서 α -endosulfan은 1.21-1.58%, β -endosulfan은 1.10-2.00%로 나타났다. 수질에서 RSD 값은 α -endosulfan이 1.00-1.76%, β -endosulfan 1.0-2.67%로 나타났다. 측정값이 참값에 얼마나 근접한지를 나타내는 정확도는 측정값의 표준편차 대 표준농

도의 비로 계산하였다. 토양시료에서 endosulfan은 1.10-2.00%, 수질시료에서 endosulfan은 1.00-2.8%로 양호하게 나타났다. 회수율은 α -endosulfan이 96%, β -endosulfan은 104% 이상으로 나타났다. 이상에서 매우 양호한 회수율, 재현성, 정확도를 보여주고 있어, 본 방법을 정량분석에 적용할 수 있었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 토양 중 Endosulfan의 분해율

토양 중 7일 동안(4회) A 처리구(농약분해 약품처리)와 B 대조구(물처리)에 대한 시간대별 endosulfan의 변화량 및 잔류량을 비교 분석하였다. 그 결과는 Fig. 6에 제시한 바와 같이 A 처리구, B 대조구 모두 큰 차이 없이 α -endosulfan은 41, 37%, β -endosulfan은 3, 9% 감소하였다. 4주 후에(NO.5) A 처리구, B 대조구에서 α -endosulfan은 73, 77%, β -endosulfan은 61, 62% 감소하였다. A 처리구, B 대조구 토양시료가 차이 없이 감소하는 것은 농약 분해 약품에 의한 α -endosulfan, β -endosulfan의 분해에 영향이 없음을 시사한다. 즉, 농약분해 약품을 살포한 A 처리구와 물론 살포한 B 대조구 모두 비슷한 비율로 endosulfan이 감소했기 때문에 농약분해제로 인한 제거 효과라고 볼 수 없었다. 이것은 박 등(1998)이 발표한 내용과 같이 토양 중에 수분, 미생물, 광, 온도 등 자연적 환경요인으로 분해하여 endosulfan이 감소한 것으로 판단한다.²¹ 박 등의 보고에 따르면 가수분해는 온도가 높을수록, 광이 많을수록 증가한다고 하였고, 미생물에서 분비하는 물질이 가수분해 촉매제의 inhibitor로

Table 2. Recoveries of endosulfan in soils and aquatic system (n=4, average : found, recovery)

	Added ($\mu\text{g/ml}$)	Found ($\mu\text{g/ml}$)	Recovery (%)	SD ¹	RSD ² (%)	accuracy (%)
soil samples						
α -Endosulfan	0.20	0.19	96	0.003	1.58	1.50
	1.00	0.99	99	0.012	1.21	1.20
β -Endosulfan	0.20	0.20	100	0.004	2.00	2.00
	1.00	1.00	100	0.011	1.10	1.10
aqueous samples						
α -Endosulfan	0.20	0.20	100	0.002	1.00	1.00
	1.00	1.02	102	0.018	1.76	1.80
β -Endosulfan	0.20	0.20	100	0.002	1.00	1.00
	1.00	1.04	104	0.028	2.67	2.80

¹SD : Standard deviation,

²RSD : Relative standard deviation

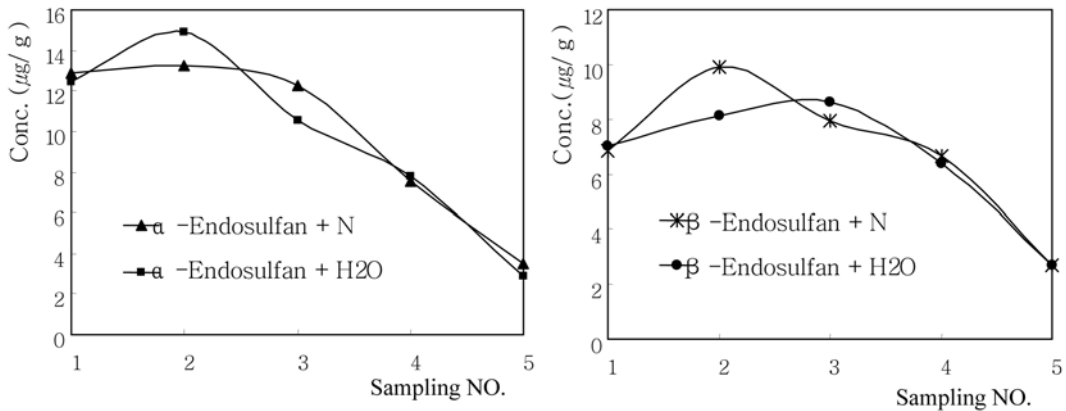


Fig. 6. Degradation trend of α and β -endosulfan depend on treatment. (NO. 5 : sampling after 4th week, N : Novel pesticide degradation reagent)

Table 3. Removal efficiency as a function of H₂O addition and concentration of endosulfan in soils(n=4)

H ₂ O input(ml)	α -Endosulfan		β -Endosulfan	
	Conc. (μ g/g)	Removal efficiency(%)	Conc. (μ g/g)	Removal efficiency(%)
0	14.84	0	9.63	0
10	8.20	45	5.35	44
20	6.04	59	4.33	55
50	4.83	67	3.24	66
100	2.17	85	1.13	88

작용하는 것으로 판단하였다. 또한 Fig. 4와 같이, 첨가하지 않은 endosulfan sulphate가 모든 실험구 토양 시료에서 검출된 것으로 보아 일부 endosulfan이 endosulfan sulphate으로 전환하여 일부 감소한 것으로 판단된다. endosulfan sulphate는 endosulfan의 산화물질로 독성이 endosulfan보다 강하다고 알려져 있다.

토양 중 농약 분해약품에 의한 분해 효과를 관찰할 수 없었다. 그렇지만 B 대조구의 토양 시료를 채취하여 농약 분해제를 같은 양으로 첨가하고, Table 3과 같이 증류수를 단계적으로 증가시켜 24시간 방치 한 후, 토양 중 endosulfan의 분해 제거율을 실험하였다. Table 3에서 α -endosulfan의 경우 45%부터 85%까지 급격히 분해되었고, β -endosulfan도 유사한 44%부터 88%까지 분해하였음을 알 수 있었다. 이와 같은 현상은 잔류농약 분해제에 포함된 강알칼리 성분들이 알칼리 가수분해의 산화·환원 반응을 일으켜 분해되고, 토양 중에 수분은 알칼리 가수분해 반응을 촉진시키는 역할을 한다. 토양 중에 수분량은 토양과의 접촉 면적

을 넓혀 잔류농약 분해약품이 토양에 침투하여 endosulfan의 가수분해 반응을 촉진시켜 endosulfan의 분해를 증가시키는 것으로 판단되어진다.

본 실험 결과로 토양 자체에서 잔류농약 분해 효과는 볼 수 없었지만, 골프장과 같은 토양에 수분과 충분한 반응을 일으키는 방법을 간구한다면 토양에서도 잔류농약 제거 가능성이 충분하다고 판단한다.

3.2. 수용액 중 잔류 농약 Endosulfan의 분해를

수용액상에서 endosulfan의 제거율을 알아보기 위해, 2개의 100 ml 용기에 표준물질을 각각 첨가하고 500 배로 희석한 분해약품과 물을 각각 용기의 100 ml 포선을 맞추어 시간별 endosulfan을 변화량을 분석하였다(Table 4). 물로만 첨가한 용기는 서서히 가수분해하여 24시간 후에는 α -endosulfan이 15%, β -endosulfan이 13%가 감소하였다. 잔류농약의 분해약품을 처리 즉시 채취하여 분석한 결과, α -endosulfan 68%, β -endosulfan은 79%가 감소하여 순간적으로 알칼리 가수분해 반응이 일어난다는 것을 알 수 있었다. 30분 후에 시료를 채취하여 분석한 결과, α -endosulfan 99%, β -endosulfan은 98%가 감소하여 30분 내에서 모든 반응이 이루어진다는 것을 알 수 있었다. 그리고 3시간 후에는 99% 이상으로 endosulfan 모두가 제거되는 것을 알 수 있었다.

본 실험에 사용한 잔류농약 분해제는 강알칼리성 복합기능 조성물로 pH(원액)는 13이상이고, 다량의 유기산염을 함유하고 있다. 원액을 희석하여 사용시에는 pH(500배 증류수 희석)가 약알칼리를 나타냈다. 이등(2003)은 알칼리 및 산성용액을 이용하여 채소 중

Table 4. Temporal variations of endosulfan residue after on test solution treatment in waters ($\mu\text{g/mL}$)

Time	0h	0.02h	0.5h	1h	2h	3h	24h
STD + water							
α -Endosulfan	2.11	-	1.91 (9%)	1.90 (10%)	1.90 (10%)	1.89 (10%)	1.80 (15%)
β -Endosulfan	1.85	-	1.78 (4%)	1.74 (6%)	1.64 (11%)	1.63 (12%)	1.61 (13%)
STD + N							
α -Endosulfan	2.11	0.68 (68%)	0.03 (99%)	0.03 (99%)	0.03 (99%)	0.02 (99%)	ND (100%)
β -Endosulfan	1.85	0.39 (79%)	0.04 (98%)	0.03 (98%)	0.02 (99%)	0.02 (99%)	ND (100%)

유기인계 잔류농약 제거율을 실험하였다. 실험 결과, 알칼리 용액에서 잔류 농약 제거 효과가 높는데 이는 유기인계 잔류 농약이 일반적으로 약산성에서 안정하고 알칼리에 가수분해가 쉽기 때문으로 판단하였다. 이 등(1999)은 알칼리도의 증가로 인한 세정력 증진 실험을 하였다. 세정력을 충족시켜 주기 위해 알칼리 수용액과 식품첨가물 유기산염을 사용하여 약알칼리도로 실험하였다. 실험 결과, 유기산염의 증가는 잔류 농약 세정력을 증가시키고, 알칼리 pH가 증가할수록 훨씬 우수한 세정력을 나타낸다고 하였다. 문헌에서 보듯이, 본 연구에 사용된 잔류 농약 분해제는 강알칼리도와 풍부한 유기산염을 포함하고 있어 잔류 농약 제거에 큰 영향을 준다고 판단한다.

수용액상 잔류 농약 실험은 토양보다 수용액상에서 잔류 농약 분해가 빠르게 진행되는 것은 충분한 수분으로 잔류 농약 분해제와 endosulfan이 쉽게 반응을 할 수 있기 때문으로 판단한다. 이와 같이 수용액 상태에서 농약분해 약품에 의한 잔류 농약의 분해효율은 상당히 높고 빠른 시간에 종결된다는 것으로 농약에 노출된 골프장의 호수 등 수질에서 잔류 농약의 제거에 응용 가치가 높다고 판단된다. 특히 많은 농약과 다량의 농약을 살포하는 골프장에서는 저렴한 비용으로 호수나, 폐수의 잔류 농약 처리에 적합한 것으로 사료된다.

3. 결 론

본 연구에서 endosulfan의 분해 효과는 잔류 농약 분해제에 함유한 유기산염과 알칼리도에 의해 분해하고, 토양에서는 수분량에 많은 영향을 받는다는 것을 알았다. 이와 같은 정보로 실제 토양 및 수질에서 잔류농약 분해제의 효과를 알아보았다.

토양 및 수질 중에 함유한 유기염소계 잔류농약 endosulfan의 분석은 GC-ECD로 분석하였다. GC-ECD 분석은 재현성, 정확성 등 정량하기에 적합한 값을 보였고, 높은 회수율을 확보하였다. 토양 중 1주일 간 α -endosulfan, β -endosulfan의 잔류성을 실험한 결과, 농약분해 약품을 처리한 시료와 물로만 처리한 토양시료에서 모두 감소하였다. 각각 토양시료에서 비슷한 비율로 감소하였기 때문에 토양에서는 농약분해 약품에 의한 분해효과를 볼 수 없었다. 그래서, 토양 시료에 수분의 양을 10 ml에서 100 ml로 증가시키면서 잔류농약 endosulfan을 측정하였다. 그 결과, α -endosulfan은 45%에서 85%로, β -endosulfan은 44%에서 88%로 높은 제거효율을 보여주었다. 또한 수용액상에서 잔류농약 분해약품에 의한 endosulfan의 잔류성을 실험한 결과, 잔류농약 분해약품을 첨가한 즉시, 반응은 일어났다. 그 결과, 30분 이내에서 α -endosulfan은 99%, β -endosulfan은 98%의 높은 제거효율을 보여주었다.

본 연구의 결과, 농약 분해제의 잔류 농약 분해효과는 농약 분해제에 함유한 유기산염과 강알칼리 성분에 의해 뚜렷하게 영향을 미치는 것을 확인할 수 있다. 토양 중 농약분해 약품에 의한 잔류 농약 제거효과는 수분이 중요한 인자로 작용한다는 것을 알 수 있다. 토양 중에 수분량은 농약 분해제가 토양으로 침투하는 것을 돕고, 가수분해를 촉진시켜 준다. 이와 같이 잔류 농약 분해제는 골프장과 같은 토양에서 수분을 충분히 반응시켜 준다면, 잔류 농약 제거에 이용 가치가 충분하다고 판단된다. 특히, 골프장의 호수 등 농약에 노출된 수질에서도 잔류 농약 제거에 활용 가치가 높고, 수질 중 endosulfan외 다른 유기염소계 잔류 농약 제거에도 활용 가능성이 높을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 김우성, 손영욱, 정지윤, 안경아, 홍무기, 임무혁, 이흥재, 이봉현, 박홍재, 김부길, 김영식, 김성만, 한국환경분석학회지, **27**(1), 88-92(2001).
2. 이동호, 송병권, 신영민, 김형수, 김형일, 손영욱, 김재이, 김우성, 한국환경분석학회지, **3**(2), 135-139(2000).
3. Deog-Gwan Ra, Young-Kyu Kim, Journal of KoSES, **5**(3), 17-23(2001).
4. 이은주, 김우성, 박건상, 오재호, 김대병, The Korean of Pesticide Science, **4**(2), 11-17(2001).
5. Robert, M. J., *Toxicol. Appl. Pharma.*, 35-95(1976).
6. 이서래, 한대성, 이미경, Korean J. Environ. Agric., **14**(2), 26-39(1996).
7. 김수원, 환경과학회지, **1**(1), 35-154(1996).
8. 박주황, 박종우, 김중수, 김장억, J. Korean Soc. Chem. Biotechnol. **45**(3), 145-151(2002).
9. 박종우, 김장억, Agricultural Chemistry and Biotechnology, **37**(6), 472-479(1994).
10. Young-Eon Cheong, Yoshitaka Sudo, Jin-Eon Sohn, Motoyuki Suzuki, J. of KESS, **18**(10), 1209-1216(1996).
11. 서유덕, 조정우, 환경관리학회지, **9**(1), 69-76(2003).
12. 이재덕, 이만호, J. Korean Ind. Eng. hem., **10**(6), 907-912(1999).
13. 이종미, 이해란, 남상민, 한국식품과학회지, **35**(4), 586-590(2003).
14. Hiroyasu Aizawa, "metabolic maps of pesticides", Academic press, **2**, 91.
15. 류홍원, 이해근, 김성환, "농약잔류 분석방법"동화기술, 163-168(1994).
16. Dubois, M., Pfohl, I.A., Kremers, p., *Environ. Toxicol Pharmacol*, **1**, 249-256(1996).
17. 이강봉, 심재환, 서용택, 한국농화학회지, **37**(3), 203-209(1994).
18. 환경부, "골프장농약잔류량시험방법", 환경부발행, 2002.
19. 환경부, "토양오염공정시험방법", 환경부발행, 2002.
20. 함동근, 공창웅, 이창섭, 조석형, 김연철, 황재욱, "기기분석", 창문각, 2003.
21. 박병준, 최주현, 이병무, 임건재, 김찬섭, 박병훈, 한국농약과학회지, **2**(2), 39-44(1998).