한국환경분석학회지 제10권 (제3호) 169~174, 2007
J. of the Korean Society for Environmental Analysis

토양 중 유기염소계 살충제의 농도

최민규* · **천만영**†

*국립수산과학원 환경연구팀, 한경대학교 환경공학과

Organochlorine Pesticides Concentration in Soil

Minkyu Choi and Man-Young Chun

**Marine Environment Research Team, National Fisheries Research & Development Institute, Busan, Korea*
Department of Environmental Engineering, National Hankyoung University, Korea

Organochlorine pesticides (OCPs : heptachlor, heptachlor-epoxide, α/γ-chlordane, trans-nonachlor, *p,p'*-DDT /DDD/DDE, endosulfan/endosulfan-sulfate and α/β/γ-HCH) concentration in soil was measured in rural area of Anseong. The average concentration of *p,p'*-DDE and endosulfan-sulfate which was 0.354 and 1.159 (ng/g dry soil) respectively was high, but other OCPs concentration which was below 0.104 (ng/g dry soil) was low, and OCPs residues in paddy field soil was higher than in farmland soil. OCPs concentration in mountain and ground soil which OCPs had not been sprayed directly was relatively lower than in agricultural land soil. The concentration of metabolites (such as heptachlor-epoxide, *p,p'*-DDE/DDD and endosulan-sulfate) of heptachlor, *p,p'*-DDT and endosulan was higher than that of their original components concentration. It is known that OCPs residues of Anseong rural area soil were lower than them of other countries.

Key words : Organochlorine pesticides(OCPs), soil, metabolite

1. 서 론

살충제는 농산물의 생산량을 늘리는데 있어서 가장 중요한 요소 중 하나이다. 특히 유기염소계 살충제(organochlorine pesticides, OCPs)는 해충과 질병을 예방하는데 가장 효과적인 수단이었으므로 과거에 우리나라에서도 많은 양이 사용되었다[1]. 그러나 OCPs는 동물과 인간에게 최기형성, 돌연변이, 암 및 생식기 장애 등 여러 가지 질병을 일으키므로 우리나라를 비롯한 대부분의 구미 각국에서 이미 약 30여 년 전에 제조와 사용이 금지 되었지만 환경 중에서 잔류성이 큰 유기화합물(persistent organic compounds, POPs)이므로 아직까지 대기, 토양, 퇴적물 및 수계 등 환경매체에서 상당량이 검출되고 있다[2-7].

OCPs는 습식(rain out과 wash out) 및 건식 침착에 의하여 대기에서 토양, 식물잎, 수계 등의 환경매체로 침착되며 기온이 높을 때는 다시 대기로 휘발된다. 대기로 휘발된 OCPs는 공기의 이동에 의하여 수천 km까지 장거리 이동이 가능하므로 대기는 전지구적으로 OCPs를 수송하는 중요한 매개체 역할을 한다[8-11]. 토양은 많은 유기물을 함유하고 있으며 OCPs는 토양 중 유기물에 흡착된다. 그러므로 이미 30여 년 전에 우리나라에서 OCPs의 생산과 사용이 중단되었지만 지금도 토양은 다른 환경매체에 비하여 더 중요한 대기 중 OCPs의 2차 발생원 역할을 하고 있으며 토양과 대기 중 OCPs는 먹이사슬을 통하여 인체로 유입된다[12-15]. 이러한 이유로 구미 각국에서는 토양 중에 존재하는 OCPs 농도와 거동에 대한 연구가 활발히 진행되고 있지만 우리나라에서는 PCDD/Fs, PCBs 및 PAHs 등 다른 POPs에 비하여 OCPs에 대한 연구가 매우 미비한 편이다[10,11,16,17].

본 연구는 현재는 도농복합도시이지만 과거에는 농촌지역으로 OCPs의 사용이 많았던 경기도 안성에서 토양 중에 잔류하는 OCPs의 종류와 농도 분포에 대하여

†To whom correspondence should be addressed.
E-mail: mychun@hknu.ac.kr

조사연구한 것으로 OCPs의 인체에 미치는 영향과 자연환경 중에서 OCPs 순환에 대한 기초적인 자료로 활용할 목적으로 연구가 수행되었다.

2. 실험 및 방법

2.1. 시료 채취

토양시료는 2002년 4월 경 농사가 시작되기 전 안성지역 주변의 논과 밭을 중심으로 채취하였으며, 각 지점 당 4~6곳의 토양을 깊이 5 cm로 채취하여 혼합하였다. 채취한 시료는 steel mesh(≒2 mm grid size)로 체질한 다음 용매로 세척된 유리병에 넣고 알루미늄 호일로 밀봉하여 아이스박스에 넣어 실험실로 옮긴 다음 분석 전까지 -20°C 냉동고에 보관하였다.

2.2. 토양 중 수분 및 유기물 함량 측정

토양 중 수분함량은 105°C에서 12시간 건조한 다음 데시케이터에서 방냉하여 건조 전후의 무게차로 계산하였다. 토양 중 유기물(organic matters, OM)의 함량은 수분함량을 측정한 시료를 450°C 전기로에서 12시간 강열한 다음 데시케이터에서 방냉하고 강열 전후의 무게차를 이용하여 계산하였다.

2.3. 시약

실험에 사용된 모든 용매는 잔류농약 분석용을 사용하였다. 크로마토그래피용 실리카겔(SiO_2, 70~230 mesh ASTM, Merck사)과 입자상 무수황산나트륨(Na_2SO_4, Duksan Pure Chemical Co.)은 각각 350°C와 450°C에서 24시간 이상 강열한 것을 사용하였다. GPC(gel-permeation chromatography) 칼럼에는 bio bead(S-X3, 40~80 μm, BIO-RAD사)를 사용하였다.

OCPs 표준용액은 Supelco사에서 구매한 TCL Pesticides Mix(Cat. No. 48913), α-chlordane(Cat. No. 48192), γ-chlordane(Cat. No. 48193) 및 trans-nonachlor(Cat. No. 48137)를 혼합하여 사용하였으며 internal surrogate standard는 $^{13}C_{12}$-lindane, $^{13}C_{12}$-DDT, $^{13}C_4$-dieldrin, d_4-endosulfan(Cambridge Isotope Laboratories, Inc.)를, recovery surrogate standard는 4,4-dibromo-octafluoro-biphenyl(Supelco)를 사용하였다. 또 모든 유리기구는 초순수로 세척하여 건조시킨 후 acetone, hexane 및 DCM으로 각각 3회 세척한 다음 사용하였다.

2.4. 추출 및 전처리

토양시료 15 g(wet weight)을 분취하여 비이커에 넣고 여기에 농도보정 및 회수율 산정을 위하여 internal surrogate standard를 spiking한 후 수분제거를 위하여 무수황산나트륨(anhydrous sodium sulfate) 30 g을 넣고 완전히 혼합하였다. 시료를 glass thimble에 옮기고 DCM 100 ml으로 soxhlet에서 24시간 추출하였으며, 추출한 시료는 무수황산나트륨 15 g을 충전시킨 깔때기를 통과시켜 잔류하는 수분을 제거하였다. 나머지 전처리 방법은 기 논문[11]에 기술되어 있으나 간단히 다시 기술하면 용출된 시료에 hexane 1 ml을 주입하고 회전증발농축기에서 약 1 ml까지 농축하였다. 농축된 시료는 실리카겔 컬럼(직경 10 mm, 길이 300 mm 칼럼에 실리카겔 3 g과 상부에 무수황산나트륨 1 g을 충전하여 DCM 30 ml와 hexane 30 ml로 칼럼을 세정)에 시료를 주입하고 hexane 15 ml, hexane-DCM(1:1) 11 ml, 그리고 DCM 15 ml로 용출하여 시료로 사용하였다. 용출된 시료는 회전증발농축기에서 다시 약 1 ml까지 농축한 다음 bio-bead 12 g을 충전한 GPC 컬럼(내경 20 mm, 길이 300 mm)에 시료를 주입하고 hexane-DCM(1:1) 140 로 용출하였는데 처음 34 ml는 버리고 나머지 용출액을 시료로 사용하였다. 이 용출액을 회전증발농축기에서 약 2 ml까지 농축한 다음 vial로 옮겨 keeper로서 도데칸(dodecane)과 recovery surrogate standard를 spiking하고 질소로 농축하여 최

Table 1. The analytical conditions of HRGC/HRMS for OCPs

HRGC/HRMS	HP 6890/JMS-700
Column	HP-5MS capillary column 5% diphenyl & 95% dimethypolysiloxane 30 m × 0.25 mm × 0.25 μm
Injection volume	1 (Split 10:1)
Carrier gas	Helium 1.0 ml/min
Aux temp.	300°C
Injector temp.	250°C
Temp. program	150°C for 2 min., 30°C/min to 170°C, 4°C/min to 200°C for 5.5 min., 4°C/min to 237°C, 70°C/min to 320°C, 320°C for 4.09 min.
Ionization mode	EI
Detection	SIM
Ionization voltage	28~35 eV
Accel. voltage	6~8 kV
Resolution	>10,000(10% valley)

종부피를 50 μl로 하여 HRGC/HRMS로 분석하였다.

2.5. 분석

시료 분석 조건은 Table 1과 같다[11].

2.6. QA/QC

OCPs에 대한 HRGC/HRMS의 검출한계는 0.2~1.3 pg/μl이었으며 토양시료의 평균 회수율은 89.8%(66~116, SD±11.4%)로 양호한 값을 보였다. 각 측정지점에 대한 이중시료(duplicate)의 분석결과, 두 시료의 변이계수(coefficient of variance)는 15.2%(3.5~25.4%)을 나타내었다. 단, 정량에 포함한 피크 크기는 노이즈 피크의 3배 이상인 것에 한하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 토양 중 유기물 농도

토양 중 유기물 함량은 논토양에서는 평균 4.5%(3.7~5.8%), 밭토양에서는 평균 2.9%(1.3~5.0%)로 논토양 중 유기물 함량이 밭토양에서 보다 더 높았다. 산과 운동장 토양 중 유기물 함량은 각각 1.3%와 0.5%로 논이나 밭토양에서 보다 많이 낮았다.

3.2. 토양 중 OCPs 농도

Table 2와 Fig. 1은 안성지역 토양 중 OCPs의 잔류농도를 나타낸 것이다. *p,p'*-DDE와 endosulfan-sulfate의 평균농도는 0.354와 1.159(ng/g dry soil)로 다소 높았으나 나머지 성분들은 농도(<0.104 (ng/g dry soil)가 높지 않았으며, 논토양에서의 OCPs 농도가 밭토양에서의 농도보다 더 높았다. 그러나 OCPs의 직접적인 살포가 없었던 것으로 판단되는 산과 운동장 토양에서는 논과 밭의 토양보다 농도가 더 낮았다. 또 heptachlor, *p,p'*-DDT 및 endosulfan 등 OCPs의 농도보다는 대사산물인 heptachlor-epoxide, *p,p'*-DDD/DDE 및 endosulfan-sulfate의 농도가 더 높았다.

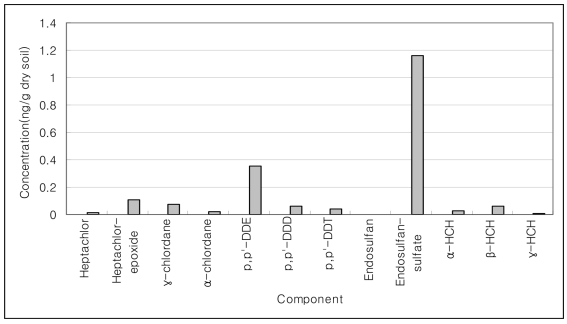

Fig. 1. OCPs average concentration in soil.

3.2.1. Heptachlor

Heptachlor는 미국 Velsicol사에서 chlordane을 제조할 때 부산물로 생성된 OCPs로 우리나라에서는 1962년부터 주로 토양해충방제에 사용해 왔지만 잔류성 농약으로 취급되어 1979년부터 사용 및 판매가 금

Table 2. Organochlorine pesticide residues in Anseong soil samples (ng/g dry soil)

Sampling site	Heptachlor	Heptachlor -epoxide	γ-chlordane	α-chlordane	*p,p'*-DDE	*p,p'*-DDD	*p,p'*-DDT	Endosulfan	Endosulfan -sulfate	α-HCH	β-HCH	γ-HCH
1	ND	0.045	0.116	0.043	1.636	0.200	0.068	ND	0.132	0.064	0.211	0.024
2	ND	0.016	0.114	0.025	0.605	0.187	0.012	ND	0.242	0.052	0.123	0.018
3	ND	0.009	0.168	0.035	0.338	0.107	ND	ND	0.550	0.056	0.104	n.d.
4	ND	0.005	0.016	0.006	0.391	0.056	0.017	ND	0.154	0.031	0.039	0.008
5	ND	0.011	0.039	0.012	0.360	0.053	ND	ND	0.375	0.047	0.144	0.018
6	0.037	1.010	0.306	0.081	0.252	0.016	0.071	ND	6.541	0.035	0.022	0.010
7	ND	0.006	0.003	0.002	0.048	0.005	ND	ND	0.206	0.006	0.007	0.013
8	0.030	0.010	0.002	0.001	0.024	0.002	0.008	ND	2.583	0.021	0.008	0.009
9	0.061	0.032	0.016	0.004	0.191	0.031	0.323	ND	0.529	0.005	0.007	ND
10	ND	0.002	0.001	ND	0.024	0.003	0.024	ND	1.285	0.010	0.004	0.003
11	ND	ND	ND	ND	0.027	0.002	0.006	ND	0.147	ND	ND	ND
mean	0.012	0.104	0.071	0.019	0.354	0.060	0.040	ND	1.159	0.030	0.061	0.009
SD	0.021	0.301	0.097	0.025	0.465	0.073	0.069	ND	1.930	0.023	0.073	0.008

Sampling site 1~6: paddy field, 7~9: farmland, 10: mountain, 11: playground, ND: Below the detection limit, SD: Standard Deviation.

지되었으며 총 사용량은 약 557톤으로 추정된다[1]. 또한 heptachlor는 대부분의 유기체 즉, 곤충, 포유류, 식물 및 토양 등에서 난분해성인 heptachlor epoxide로 전환된다[18].

본 연구에서 토양 중 heptachlor의 평균농도는 0.012 (ng/g dry soil)로 낮았으나 대사물질인 heptachlor epoxide의 평균농도는 0.104(ng/g dry)로 heptachlor의 평균농도보다 8.7배 더 높았다. 이것은 약 20~30년 전에 사용된 heptachlor가 난분해성 대사물질인 heptachlor epoxide로 변환되었기 때문으로 생각된다.

3.2.2. Chlodane

우리나라에서 chlordane을 살충제로 사용했다는 기록은 없다. 그러므로 chlordane은 heptachlor의 불순물로 환경 중으로 배출되었을 것으로 추측된다. Technical chlordane은 29종의 서로 다른 화합물들로 이루어진 혼합물로서 이들의 대략적인 구성비는 α-chlordane 19±3%, γ-chlordane 24±2%, chlordene(4 isomers) 21.5±5%, heptachlor 10±3%, nonachlor 7±3% 및 기타 18.5±10 %이다[19]. 본 연구에서는 technical chlordane 중에서도 가장 많은 분율을 차지하는 α-chlordane 및 γ-chlordane만을 조사하였는데 α-chlordane의 평균농도는 0.019(ng/g dry soil), γ-chlordane의 평균농도는 0.071(ng/g dry soil)로 heptachlor 농도보다 1.6~7.7배 더 높았다. 이것은 각종 환경매체에서 chlordane의 반감기가 heptachlor 반감기보다 훨씬 길기 때문으로 생각된다[9,15,20].

Technical mixture에서 γ/α-chlordane의 평균 농도비는 1.26(1.00~1.63)이지만 본 연구에서는 3.28(1.50~4.80)로 technical mixture에서 보다 더 높았다. 이것은 γ-chlordane이 α-chlordane보다 토양 중에서의 잔류성이 더 크기 때문으로 생각된다[15].

3.2.3. DDT

DDT(Dichloro Diphenyl Trichloroethane)는 살충제로서 우리나라에서도 채소나 과수농사용으로 널리 사용되었는데 우리나라에서는 1973년부터 생산 및 판매가 금지되었고 1946년부터 1973년까지 약 941톤이 사용되었다[1]. DDT의 technical mixture에는 *p,p'*-DDT가 75~85%, *o,p'*-DDT가 15~20%, 그 밖의 동족체가 5~10% 포함되어 있다. 이 중 가장 살충력이 강한 성분이 *p,p'*-DDT이며 곤충의 중추신경을 마비시켜 살충하는 것으로 알려져 있으며, *p,p'*-DDT는 환경 중으로 배출된 후 *p,p'*-DDE, *p,p'*-DDD 등으로 대사된다[9,21,22]. 따라서 *p,p'*-DDT 농도는 보통 *p,p'*-DDT와 대사물질인 *p,p'*-DDE 및 *p,p'*-DDD 농도의 합으로 표시한다. 이 번 연구에서 토양 중 *p,p'*-DDT의 평균농도는 0.040, *p,p'*-DDE 0.354 및 *p,p'*-DDD 0.060(ng/g dry soil)으로 *p,p'*-DDE 농도가 가장 높았다. *p,p'*-DDT의 대사물질인 *p,p'*-DDE와 *p,p'*-DDD의 평균농도를 비교해 보면 *p,p'*-DDE가 *p,p'*-DDD보다 5.9배 더 높았다. 이것은 *p,p'*-DDE가 환경매체 중에서 *p,p'*-DDD보다 더 안정하기 때문으로 생각된다[20].

p,p'-DDT를 살포한 후 시간이 지남에 따라 *p,p'*-DDT가 *p,p'*-DDE로 대사되기 때문에 *p,p'*-DDE/*p,p'*-DDT 농도비는 *p,p'*-DDT가 살포된 다음 얼마나 오랜 시간이 지났는지를 알아보는 척도로 이용할 수 있다. 본 연구에서 *p,p'*-DDE/*p,p'*-DDT 농도비는 8.85로 대단히 커서 *p,p'*-DDT가 상당히 오래 전에 사용되었음을 알 수 있었다.

3.2.4. Endosulfan

Endosulfan은 1956년 독일 Hoechst사에서 Thiodan이란 이름으로 시판된 OCPs로서 처음에는 집파리를 비롯한 가정용 살충제로 사용되다가 그 후 농업용 살충제로 사용되었다. 우리나라에서는 1971년에 Thiolix (Malix)로 등록되었고, 1982년 제조가 허가되어 1999년까지 약 5,218톤이 사용되었으며 어류에 대한 독성은 강하지만 환경 중에서 잔류성이 크지 않기 때문에 논농사를 제외하고는 현재도 사용되고 있다[1]. Technical endosulfan은 α-isomer(endosulfan)와 β-isomer(endosulfan) 두 가지 성분이 혼합되어 있으며 두 화합물 모두 대기를 비롯한 환경 중에서 산화되어 endosulfan sulfate가 된다[23,24].

본 연구에서 토양 중에서 endosulfan은 검출되지 않았지만 대사물질인 endosulfan sulfate는 모든 성분들 중에 가장 농도(1.159 ng/g dry soil)가 높았다. 이것은 분석에 이용된 토양시료는 농사가 시작되기 전인 4월에 채취되었기 때문에 endosulfan이 살포되기 전이었고 전년도에 살포된 endosulfan은 분해속도가 빨라 모두 endosulfan sulfate로 대사되었기 때문으로 생각된다. 위의 사실을 통하여 토양 중에서 endosulfan은 분해가 빠르지만 endosulfan sulfate는 잔류성이 상당히 큼을 알 수 있었다[23,24].

3.2.5. HCH

HCH(Hexachlorocyclohexane)는 생산 초기에는 몇 가지 이성체가 혼합된 technical HCH(α; 55~75%, β; 5~14%, γ: 10~18%, δ; 6~10%, ε; 3~4%의 혼합물)로 생산 되었으나 γ-HCH만이 살충효과가 있다는 것이 확인된 다음부터 γ-HCH가 주성분인 lindane이 생산되어 사용되었다. Technical HCH는 다른 OCPs와 함께 사용과 생산이 규제되었지만 lindane은 아직도 많은 나라에서 사용되고 있다. HCH(또는 lindane)는 산림보호를 위한 해충방제 뿐만이 아니라 위생 및 약품으로도 널리 사용되었지만 주로 농지와 산림에서 해충방제를 목적으로 사용되었다. 우리나라에서는 1945년에 Gammexane이란 이름으로 소개되어 1953년부터 본격적으로 사용되었으며, 1979년부터 생산 및 시판이 금지되었는데, 그 동안 약 1,908 톤이 사용되었다[1]. 이 번 연구에서 토양 중 α-HCH, β-HCH 및 γ-HCH의 평균농도는 각각 0.030, 0.061 및 0.009(ng/g dry soil)로 β-HCH>α-HCH>γ-HCH 순으로 농도가 높았다.

토양 중에서 α/β-HCH 농도비는 최근까지 technical HCH를 사용하였는지 아니면 lidane을 사용하였는지를 알 수 있는 지표로 이용된다[25]. 외국에서는 lindane을 최근까지 사용하였지만 우리나라에서는 lindane의 사용기간과 사용량에 대한 기록이 없기 때문에 토양 중 α/β-HCH 농도비로 lindane 사용 여부를 추정할 수 있다. Technical mixture의 α/β-HCH 농도비는 3.7~10이지만 lindane은 주성분이 γ-HCH이므로 α/β-HCH 농도비가 매우 작다. 본 연구에서 α/β-HCH의 평균농도비가 2.1로 technical mixture의 α/β-HCH 농도비보다 더 낮았다. 토양 중에서 γ-HCH는 α-HCH보다 분해가 훨씬 더 느리고 우리나라에서는 약 30여 년 전에 HCH의 생산과 판매가 금지되었으므로 α/β-HCH가 γ-HCH보다 훨씬 더 많이 분해되었을 것이다[26]. 그러므로 α/β-HCH 농도비가 2.1이라는 것은 우리나라에서는 lindane보다 주로 technical mixture가 사용되었을 가능성을 말해준다.

3.2.6. OCPs 농도와 OM 및 Kow와의 상관성

일반적으로 토양 중 OCPs 농도는 각 OCPs 성분의 K_{ow}(octanol-water partition coefficient)가 클수록, 토양 중 유기물(organic matters, OM)의 함량이 많을수록 높게 된다. 토양 중 OCPs 농도와 OM 함량 간의 결정계수(R^2)는 0.0052~0.4883이었고 OCPs 농도와 K_{ow} 간의 결정계수는 0.0918로 토양 중 OCPs 농도와 OM 함량 및 K_{ow} 간에는 상관성이 크지 않았다. 이것은 각 토양에 살포된 OCPs 양과 OCPs의 분해속도에 영향을 미치는 인자(수분함량, OM 함량, 토질 및 분해미생물의 종류와 밀도)가 서로 다르며 이것이 토양 중 OM 함량이나 K_{ow}보다 토양 중 OCPs 농도에 미치는 영향이 더 크기 때문으로 판단된다.

3.2.7. 다른 지역과 농도 비교

Table 3은 본 연구 결과와 다른 지역의 토양 중 OCPs 농도를 비교한 것이다. 토양 중 OCPs 농도는 OCPs의 살포시기, 살포량, 강우량, 토양 중 OM 함량, 기온 및 토질과 시료 채취시기에 따라 달라질 수 있다. 그러나 본 연구 결과와 김[16] 등의 연구 결과를 종합해 보면 한국 토양 중 OCPs 농도는 다른 나라에 비하여 상당히 적음을 알 수 있었다.

4. 결 론

농촌지역인 안성지역의 토양 중 OCPs(heptachlor, heptachlor-epoxide, α/γ-chlordane, trans-nonachlor, *p,p'*-DDT/DDD/DDE, endosulfan/endosulfan-sulfate 및

Table 3. OCPs concentration in Anseong and other countries soil(ng/d dry soil)

	Category	Chlodane	Heptachlorepoxide	HCHs	DDTs	Date
This study	Agriculture	0.11	0.127	0.12	0.546	2002
U.S.(Alabama)	Agriculture	ND - 5.3	ND - 1.0	ND - 3.2	ND - 2,500	1995[29]
U.S.(Corn Belt)	Agriculture	ND - 756	ND - 39.8	ND - 1.23	ND - 11,800	1995-1996[28]
South Korea	Agriculture	-	ND - 48.0	ND - 0.94	ND - 0.48	2001[16]
China(Haining)	Agriculture	-	-	0.71	83.0	2001[5]
Hong Kong	Farmland	-	-	0.16	1.80	2000[7]
U.S(Alabama)	Farmland	0.59	-	0.30	158	1999-2000[4]
Brazil(Itilapina)	Agriculture	-	0.05	0.56	6.00	2005[6]

Chlodanes = α- + β-chlordane, HCHs = sum of α- + β-HCH, DDT = Sum of *p,p'*-DDT+DDE+DDD

α/γ-HCH) 농도를 측정하였다.

p,p'-DDE와 endosulfan-sulfate의 평균농도는 0.354와 1.159(ng/g dry soil)로 다소 높았지만 나머지 성분들의 농도(<0.104 ng/g dry soil)는 높지 않았으며, 대체로 논토양에서의 OCPs 농도가 밭토양에서의 농도보다 더 높았다. 그러나 OCPs의 직접적인 살포가 없었던 것으로 판단되는 산과 운동장 토양에서는 논과 밭의 토양에서보다 농도가 훨씬 더 낮았다. 또 heptachlor, *p,p'*-DDT 및 endosulan의 농도보다는 이들의 대사산물인 heptachlor-epoxide, *p,p'*-DDD/DDE 및 endosulan-sulfate의 농도가 더 높았다.

외국 토양 중 OCPs 농도와 비교해 본 결과 안성지역 토양에서의 OCPs 농도가 훨씬 낮았다.

참고문헌

1. 한기학, 박창규, 김복영, 김재정, 이규승, 이영환, 신제성, 엄기태, 정영상, 허종수 "*농업환경화학*", 1996, 216-282, 동화기술.
2. T. Colborn, F. S. V. Saal and A. M. Soto, *Environ. Health Perspect,* 1993, 101(5), 378-384.
3. M.S. Wolff, P. G. Toniolo, E. W. Lee, M. Rivera and N. Dublin, *J. Nat. Cancer Inst.* 1993, 85, 648-652.
4. T. F. Bidleman and A. D. Leone, *Environmental Pollution,* 2004, 128, 49-57.
5. H. Nakata, Y. Hirakawa, M. Kawazoe, T. Nakabo, K. Arizono, S. L. Abe, T. Kitano, H. Shimada, I. Watanabe, W. Liand X. Ding, *Environ. Pollut.,* 2005, 133, 415-429.
6. S. R. Rissato, M. S. Galhiane, V. F. Ximenes, R. M. B. Andrade, J. L. B. Talamoni, M. Libanio, M. V. A. Almeida, B. M. Apon and A. A. Cavalari, *Chemosphere,* 2006, 65, 1949-1958.
7. H. B. Zhang, Y. M. Luo, Q. C. Zhao, M. H. Wong and G. L. Zhang, *Chemosphere,* 2006, 63, 633-641.
8. B. Andreas, D. Mackay, M. Matthies, F. Wania and E. Webster, *Eviron. Sci. Technol.,* 2000, 34(4), 699-703.
9. C. J. Halsall, R. Bailey, G. A. Stern, L. A. Barrie, P. Fellin, D. C. G. Muir, B. Rosenberg, F. Y. Rovinsky, E. Y. Kononov and B. Pastukhov, *Environmental Pollution,* 1998, 102, 51-62.
10. 최민규, 천만영, 김태욱, 선우영, *대한환경공학회지*, 2002, 24(6), 1091-1103.
11. 최민규, 천만영, *환경독성학회지*, 2007, 22(2), 111-118.
12. M. S. McLachlan, *Environ. Sci. Technol.,* 1996, 30, 252-259.
13. M. S. McLachlan, *Chemosphere,* 1997, 34, 1263-1276.
14. T. F. Bidleman, *Environ. Sci. Technol.,* 1998, 22, 361-367.
15. G. M. R. Lee, V. Burnett, T. Harner and K. C. Jones, *Environ. Sci. Technol.,* 2000, 34, 393-398.
16. J. H. Kim and S. Alistair, *Chemosphere,* 2001, 43, 137-140.
17. K. T. Lee, S. Tanabe and C. H. Koh, *Environmental Pollution,* 2001, 114, 207-213.
18. G. W. A. Milne, "*CRC Handbook of Pesticides",* 1995, CRC Press.
19. K. Verschuern, "*Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals*", Third edition, 1996, Van Nostr-and Reinhold.
20. D. Mackay, W. Y. Shiu and K. C. Ma, "*Illustrated Handbook of Physical-Chemical Properies and Environmental Fate for Organic Chemicals",* Volume V, 1992, Lewis publishers.
21. R. M. Hoff, D. C. G. Muir and N. P. Grift, *Environ. Sci. Technol.,* 1992, 26(2), 266-275.
22. A. Ramesh, S. Tanabe and R. Tatsukawa, *Environmental Pollution,* 1989, 62, 213-222.
23. F. A. George and E. B. Matthew, *Environmental Toxicology and Chemistry,* 1997, 16(4), 644-649.
24. I. Kaur, R. P. Mathur, S. N. Tandon and P. Dureja, *Environmental Technology,* 1998, 19, 115-119.
25. L. Poissant and J. F. Koprivnjak, *Environ. Sci. Technol.,* 1996, 30(3), 845-851.
26. A. Beyer, D. Mackay, M. Mattihies, F. Wania and E. Webster, *Environ. Sci. Technol.*, 2000, 34(4), 699-703.
27. J. Dimond and R. B. Owen, *Environmental Pollution,* 1996, 92(2), 227-230.
28. J. A. Elizabeth, D. L. Andrea and L. F. Renee, *Environ. Sci. Technol.,* 1998, 32, 1162-1168.
29. T. Harner, J. L. Wideman, L. M. M. Jantuen, T. F. Bidleman and W. J. Parkhurst, *Environmental Pollution*, 1999, 106, 323-332.