

오리나무 잎벌레 (*Agelastica coerulea* B.) 방제용 살충제 Trichlorfon(Dipterex)의 환경 동태

이 성 규·김 용 화·노 정 구

Environmental Fate of Trichlorfon Used to Control *Agelastica coerulea* B. in Forest by Aerial Application

Sung Kyu Lee,* Yong Hwa Kim* and Jung Koo Roh*

Abstract

Disappearance of the trichlorfon (Dipterex) in the forest, following aerial to control *Agelastica coerulea* B., were studied by sampling deposits on slide glasses, soils, water, and leaves, and analysing with a gas chromatograph equipped with an electron capture detector.

By analysing the amount remained on slide glasses, it was shown that the pesticide was adequately sprayed and nearly all deposit was lost in a day. The amount deposited under the tree was about 1/100 of the amount at an exposed site.

Concentration of trichlorfon in creek water was 10 to 100 times as high as the acute toxic level to zooplankton for 6 to 24 hours, The rain could recontaminate the stream water up to the toxic level.

Loss rate of trichlorfon from soils showed variations by sampling sites and was generally slower than from slide glasses.

Amount deposited on leaves were less than the calculated or expected amount. The loss from leaves were similar to that from soil.

서 론

우리 나라 산림에서 병충해 구제를 위한 농약의 항공살포는 1971년부터 시작하여 매년 실시되어 오고 있으며, 1985년까지 15년간 실시된 연면적은 999,883 ha에 이르고 있다. 대상해충은 솔나방, 흰불나방, 오리나무잎벌레, 밤나무해충 등이며, 1985년의 경우 오리나무잎벌레의 방제 면적이 전체 면적의 약 30%를 점하고 있다.⁽¹⁾

그런데 산림에 항공살포된 농약은 단지 적은 양만이 대상 생물에 흡착 또는 흡수될 뿐, 나머지 대부분은 농약의 이화학적 성질과 생태계내 생물상(biota)과 물리적 환경과의 상호작용에 의하여 이동되어, 대기중, 식생, 토양 및 대수면에 분포하게 된다.^(2,3) 그러므로 산림내에 항공살포된 농약의 잔류, 동태 및 non-target 생물에 대한 영향을 평가하는 일은 선진각국에서는 수년전부터 실시되어 왔다.

미국에서는 1972년에 개정된 FIFRA(Federal Insecticide, Fungicide and Rodenticide Act)에 의거 산림

* 한국화학연구소(Korea Research Institute of Chemical Technology, P.O. Box 9, Daedeog Danji, Daejeon, 300-32, Korea)

용 농약은 사용전에 약효와 환경에서의 안전성을 증명해야 하고, 아울러 Forest Service 주관하에 Pilot Project를 통하여 이를 입증하도록 하고 있으며,^(4,5) 1979년 TSCA(Toxic Substance Control Act)에 의거 산림내에 사용하는 화학물질에 대해서는 환경독성학적 영향 평가를 하도록 권고하고 있다.⁽⁶⁾ 캐나다에서는 CFS(Canadian Forest Service)의 주도하에 주로 Forest Pest Management Institute(FPMI)에서 산림에 살포되는 농약의 살포기술 및 환경에의 영향을 평가하고 있다.^(7,8)

그런데 우리 나라에서는 앞에서 언급한 바와같이 산림에 항공살포를 시작한지 15년이 경과하였음에도 산림생태계내 농약의 동태 및 그 영향에 대해 체계적인 연구가 이루어지지 않아 효율적인 병충해 방제 및 환경보호라는 양측면이 간과되어 왔고, 더우기 산림작업의 성력화로 인한 임지제초제의 사용이 앞으로 증가한다고 볼 때, 산림에서의 농약의 동태 및 환경독성학적 영향평가는 앞으로 크게 부각되어야 할 분야로 생각된다.

Trichlorfon은 유기인계 농약으로 잔류기간이 비교적 짧고, 어독성 및 꿀벌에 대한 독성이 낮아 현재 널리 쓰이고 있으나 수서곤충에 대한 영향은 있다고 알려져 있다.^(9,10) 그러나 산림해충방제용으로는 사용하지 오래되지 않았으므로 항공살포에 의한 환경동태, 생태계에 대한 영향 등에 대한 자료가 충분하지 못하

다.⁽¹¹⁾

따라서 본 연구에서는 우리 나라 산림에서 오리나무 잎벌레(*Agelastica coerulea* B.)를 방제하기 위하여 trichlorfon(Dipterex[®])을 항공살포하고 이 지역에서 각 환경생태계를 대표하는 시료를 경시적으로 채취하여 농약의 동태를 파악코져 하였다.

재료 및 방법

1. 조사지역

야외조사 지역은 충남 대전시 중구 갑동 소재 국립묘지 구내로서 면적은 약 68ha이다. 이 지역은 갑하산(470m) 계곡으로 계곡의 길이가 약 1km이며, 계곡입구에 저수지가 있어 이 계곡에서 유출된 물은 이곳에 집수된다. 경사는 비교적 급하고, 계곡에는 유량은 많지 않지만 물이 흐르고, 물고기 및 수서곤충이 서식하고 있다.

임상은 이 지역이 국립묘지 지역으로 고시된 후 약 3년간 보호되어 왔기 때문에 침엽수 및 활엽수가 혼효되어 잘 발달되어 있다.

조사지역 및 조사지점은 다음 Figure 1과 같다.

2. 처리농약 및 살포

처리농약은 Trichlorfon 80% 수화제인 DEP 수화제로서 시판되고 있는 것을 사용하였다.

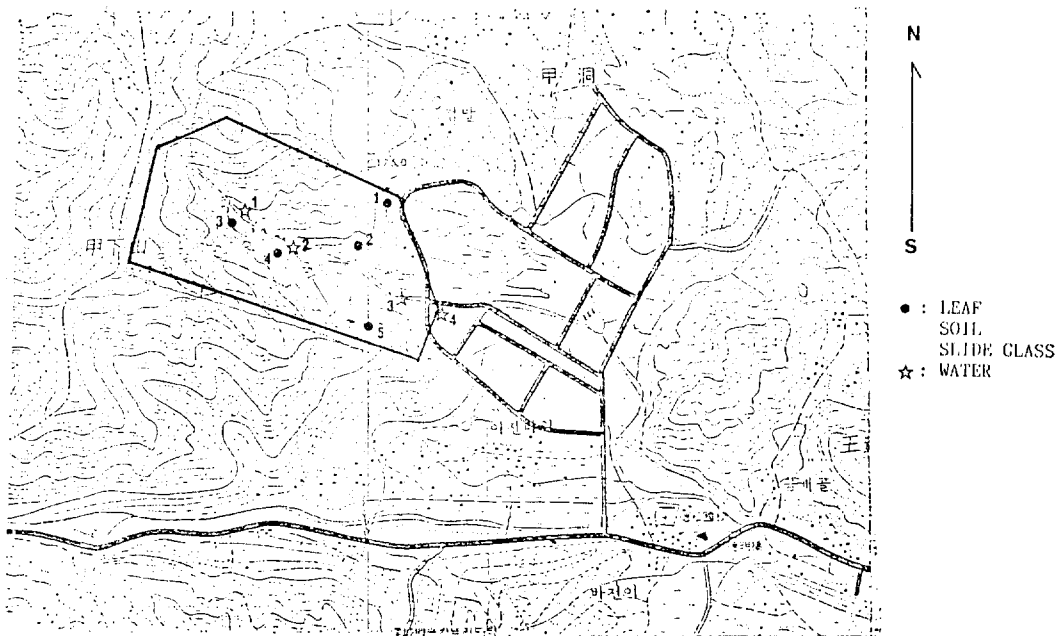


Figure 1. Spray areas and sampling sites

살포약량은 ha당 약 670g을 살포하였고, 살포기종은 휴즈사 Helicopter 500 MD-FP 802이었고 살포시 사용한 노즐은 Four Size(Simplex Aerial Application Equipment 제품)로 직경 2mm, 양쪽에 각각 24개씩 총 48개의 노즐이 있고, 살포폭은 7.3m이다.

살포시간은 오전 9시 20분부터 9시 33분까지 약 13분에 걸쳐 살포하였다.

3. 조사지점 선정 및 시료채취 방법

가. 조사목 선정, 토양, 슬라이드그라스 설치

잎, 토양 및 슬라이드그라스에서 trichlorfon의 시간에 따른 동태를 보기 위하여, 조사지내 5개 지역에 10m×10m의 조사구를 설치(Figure 1)하고, 각 조사구별로 시료채취 대상목을 활엽수는 물오리나무, 침엽수는 소나무를 2-3목 선정하여 표시하였고, 토양은 각 조사구별로 노출지역과 임분내로 구분하여 슬라이드그라스(76mm×24mm)를 각각 14장씩 수평으로 깔고 그 위에 주위 토양을 취하여 10mesh체를 통과시킨 동일한 방법으로 노출지역 및 임분내에 각각 142장씩 수평으로 설치하였다.

나. 물시료조사 지점

물속에 trichlorfon의 동태를 보기 위한 조사지점은 상류에 1개소, 약 50m 하류에 1개소, 약 100m 하류에 1개소, 약 50m 하류에 있는 저수지에 1개소, 총 4개소를 선정하였다.

다. 시료채취 방법

trichlorfon 분석을 위한 시료채취 일정 및 내용은

다음 Figure 2와 같다.

시료채취는 대조군으로 trichlorfon 살포전에 각 조사구별로, 채취하였고, 1986년 6월 4일 농약살포한 직후 1차 오후에 2차 시료 채취한 후 1일 내지 2일 간격으로 6월 13일까지 7차 시료까지 채취하였다.

채취방법은 잎의 경우 기 선정된 조사목에서 눈 높이의 잎을 대상으로 물오리나무잎은 Punch를 사용 0.3cm²(ϕ 0.6cm) 크기의 disc를 20장 취하여 물 20ml이 들어있는 시료병에 넣었고, 소나무의 경우는 칩엽을 5cm 길이로 절단하여 20개를 시료병에 넣었고, 토양은 기 설치된 토양이 피복된 슬라이드그라스를 1회에 무작위로 2개씩 취하여 아세톤 20ml씩 들어 있는 시료병에 슬라이드그라스채로 넣었고, 슬라이드그라스의 경우도 토양과 같은 방법으로 시료를 채취 하였다. 물시료는 1l 갈색병을 사용, 표면수를 각 조사지점에서 1l씩 채수하였다.

이때 모든 시료는 실험실 운반전까지는 Dry Ice가 들어 있는 Ice Box에 보관하였으며, 실험실에 곧 가져와 물이 들어 있는 시료는 냉장고(3-4°C)에, 아세톤이 들어 있는 시료는 냉동고(-15~-20°C)에 각각 보관하였다. 잎시료의 경우는 실험실에서 물에 있는 시료를 다시 아세톤 20ml가 들어 있는 시료병에 옮겨 보관하였다.

4. 화학적 분석재료 및 방법

가. 재 료

1) 시 약

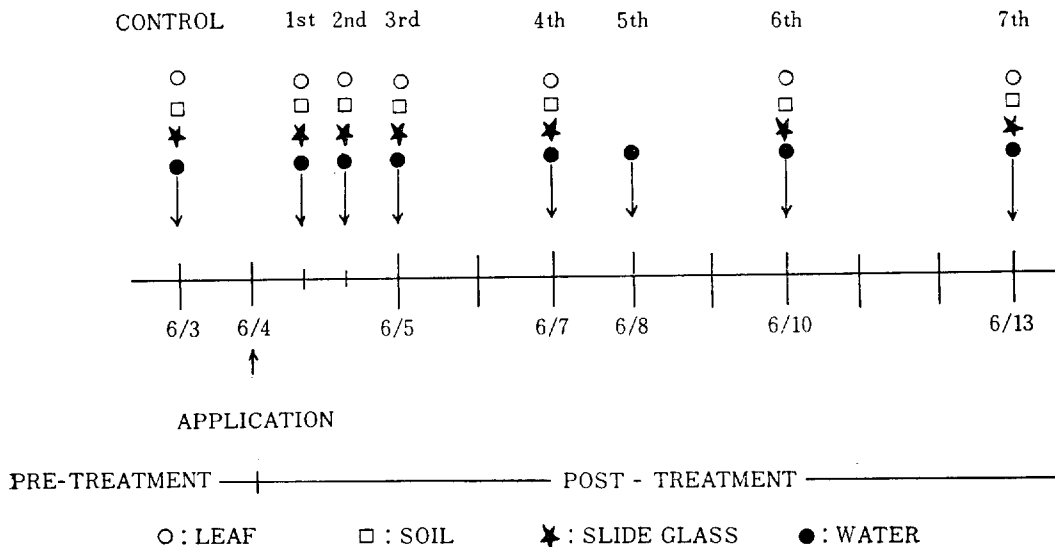


Figure 2. Sampling schedule for the chemical analysis of trichlorfon from various samples

사용한 trichlorfon 표준시약은 한정화학(주)에서 분양받은 순도 97.4%의 것을 그대로 사용하였다. 용매인 헥산, 에테르, 디클로로메탄, 아세톤, 에칠아세테이트 등은 GR급 및 EP급을 사용하되 농축하여 개스크로마토그래프에 주입하였을 때 trichlorfon의 열분해 산물에 영향을 주는 peak가 나올 때는 초자로 된 증류 장치에서 1차 증류하여 사용하였다.

2) 기기 및 분석조건

분석기기는 Hewlett-Packard사 제품인 개스크로마토그래프 model 5840 A를 사용하였다. 이때 분석조건은, 칼럼 : Pyrex초자관 10피트 x1/16인치(내경) 충전제는 1.5% OV-17과 1.95% QF-1을 100/120 mesh Chromosorb W에 입힌 것을 사용하였다.

온도 : 칼럼 50°C, 주입구 260°C, 검출구 230°C

담체가스 : 5% 메탄, 95% 알곤, 유속 : 분당 10.3ml
분석기기가 Varian사 제품의 모델 3700인 경우에는 다음 조건을 사용하였다.

칼럼 : 12m BP-1 fused silica capillary column
(0.25mm I.D.)

온도 : 칼럼 175°C, 주입구 230°C, 검출구 230°C

담체가스 : 질소가스, 유속 : 검출구 분당 30ml
Split ratio: 1 : 35

나. 방 법

1) 시료의 전처리—추출 및 정제

(1) 슬라이드 그라스

시료 병안에 20ml의 아세톤으로 잠긴 슬라이드그라스를 teflon조각으로 표면에 묻은 약액을 긁어내면서 5g의 무수 황산 소오다(그라놀)가 들어 있는 깔대기를 통하여 감압농축용 플라스크에 옮겼다. 10ml씩의 아세톤을 사용하여 3회 반복하여 씻어내어 같은 감압농축용 플라스크에 옮기는 작업을 반복하여 총 세척액이 약 50ml이 되도록 하였다. 이 세척액을 감압 농축하여 5ml 이하로 만든 뒤 질소 개스로서 건조한 후 에칠아세테이트를 사용하여 용량 플라스크(volumetric flask)에 옮겨 개스크로마토그래프 분석용 시료로 하였다.

(2) 물

물속의 trichlorfon 추출방법은 미국 EPA⁽¹²⁾ 방법인 유기인계 농약추출 일반 방법을 약간 변경하여 사용하였다. 물 시료를 잘 흔들어 섞은 뒤 500ml을 분액 여두에 취한다. 무수황산소오다 10g을 가하여 완전히 녹인다. 50ml의 디클로로메탄을 넣고 2분간 격렬히 흔든 후 정지하여 층이 분리되게 한다. 이 때 층이 완전히 분리되지 않을 때는 유리막대로 하층의 미세한 구상입자를 부서 주었다. 분리된 디클로로메탄층을 10g의 무수황산소오다가 충전된 칼럼에 통과시켰다.

이때 받은 용기는 250ml 감압농축용 flask였다. 다시 새 50ml의 디클로로메탄을 물층에 넣어 추출하는 작업을 반복하여 하층은 다시 같은 칼럼에 통과시켜 감압농축용 flask에 모았다.

이 추출액은 약 5ml 이하가 되도록 감압농축하여 디클로로메탄으로 원심분리용 초자관에 옮겨서 질소개스를 통하면서 30°C-40°C의 열판에서 디클로로메탄을 날려 보냈다. 0.2ml가 된 뒤에는 상온에서 완전히 건조시켰다. 여기에 1ml 에칠아세테이트로 정량이 되게 하여 맞춘 뒤 Vial에 담아 분석용 시료로 하였다.

(3) 잎 세척수

시료 채취시 시료병에 든 20ml의 증류수를 30초간 격렬히 진탕한 뒤 시료병 속의 잎 disc들을 핀셋으로 다른 시료병에 옮겼다. 시료병에 남은 잎 disc들은 2)의 물분석법에 준하여 추출하였다. 다만, 사용한 용액의 양은 최초의 물량에 기준하여 축소하여 사용하였다.

(4) 잎

잎의 분석을 위한 전처리과정은 Anderson등⁽¹³⁾의 방법에 준하였다. 채취한 잎을 물로 씻고 남은 disc들은 20ml의 아세톤으로 막자사발에서 마쇄하였다. 여과지 No. 2를 사용하여 여과한 후 여과지 위에 남은 찌꺼기를 다시 막자사발에서 10ml의 아세톤으로 마쇄하였다. 그 후 다시 여과하고 여액을 감압농축용 플라스크에 옮겨 감압하에서 5-10ml로 농축하고 이것을 상온에서 질소개스로 날려보냈다. 이 건조액에 헥산(혹은 헵탄) 25ml로서 수차례 나누어 씻어서 125ml 분액여두에 옮긴다. 이 분액여두에 증류수 50ml을 넣고 30초간 격렬히 흔든다. 아랫층은 다른 250ml 분액여두에 옮기고 헥산층을 다시 50ml의 증류수를 넣어 진탕한 후 하층의 물층을 250ml 분액여두에 첫번째 분리된 물층과 합친다.

이 분액여두에 30g의 염화나트륨을 넣어 용해시킨 다음 100ml의 에테르를 넣어서 1분간 진탕한다. 물층은 다른 분액여두에서 새로운 100ml의 에테르를 넣어 1분간 진탕한 후 물층은 버리고 에테르층을 그전의 에테르층과 같이 20g의 무수황산소오다가 든 깔대기를 통하여 감압농축용 플라스크에 모으고 감압하 40°C에서 5ml 이하로 농축하였다. 이를 질소 개스로 날려 보낸 후 에칠아세테이트로서 10ml 용량 플라스크에 채운 것을 개스크로마토그래프 분석 시료로 하였다.

(5) 토 양

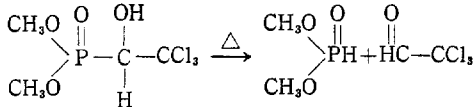
토양의 분석은 AFRIB⁽¹⁴⁾에 준하였다. 슬라이드그라스상의 토양을 긁어내어 막자사발에 옮기고 6g의 무수황산소오다와 함께 20ml의 클로포름으로 3분간 마쇄하였다. 여지 No. 5 로서 감압여과한 후에 잔사물 다시 막자사발에 넣어서 15ml씩의 클로포름을 넣어

마래하면서 추출여과하는 조작을 2회 반복하였다.

여과액은 감압농출하여 에칠아세테이트로 10ml 용량 플라스크에 채워 개스크로마토그래피 분석시료로 하였다.

2) 정량 방법

정량방법은 Anderson등⁽¹³⁾이 사용한 chloral 정량법에 준하였다. 그 원리로 볼 때 trichlorfon이 개스크로마토그래피내에서 열분해되어 클로랄과 디메틸포스파이트로 분해되어지는 것을 이용하는 것이다. 즉,



따라서 trichlorfon이 열분해되는 시간을 연장하기 위하여 주입구에 글라스울을 2cm 가량 충전하는 것이 필요하였다.

새로 구입한 Varian 3700 개스크로마토그래프에서 fused silica capillary column을 사용하여 분석하였을 때는 상기와 같은 열분해가 없이도 분석이 가능함을 발견하여 시료분석의 후반 및 확인시험을 위해서는 본 연구의 방법 및 조건으로 정량하였다.

결과 및 고찰

1. 주입구의 온도에 따른 trichlorfon의 분해

Anderson등⁽¹³⁾에 따르면 주입구에서 분해된 trichlorfon이 클로랄로 되어 64% 정도 검출된다고 하였다. 즉 100의 trichlorfon을 개스크로마토그래프에 주입하면 64의 클로랄만이 검출된다는 것이었는데 이것이 재현성이 있기만 하면 문제점이 없을 것이라 하였다. 이를 확인해 보기 위하여 주입구의 온도를 상승시키면서 최대의 분해회수율을 얻을 수 있는지 알아 보았다. 이 결과를 Figure 3, Figure 4에 보였다. Figure 3에서 보는 바와 같이 주입구의 온도가 상승함에 따라 분해된 클로랄의 농도가 높아짐을 볼 수 있었고, 실험한 260°C에서 최대로 나타났다. Figure 4에서는 표준 trichlorfon이 어느 온도에서나 정량적으로 분해되고 있음을 보여 주어서 시료분석에 이 방법이 사용될 수 있음을 알았다. 그리고 2ng에서의 분해율을 계산해 본 결과 약 74%의 분해율을 보여서 Anderson등⁽¹³⁾의 결과와 거의 일치함도 알았다. 그러나 이러한 분해현상은 fused silica capillary를 사용할 때는 나타나지 않았다.

2. 개스크로마토그래프에 의한 정량과 회수율

개스크로마토그래프 분석조건에 맞추어서 분석한 각

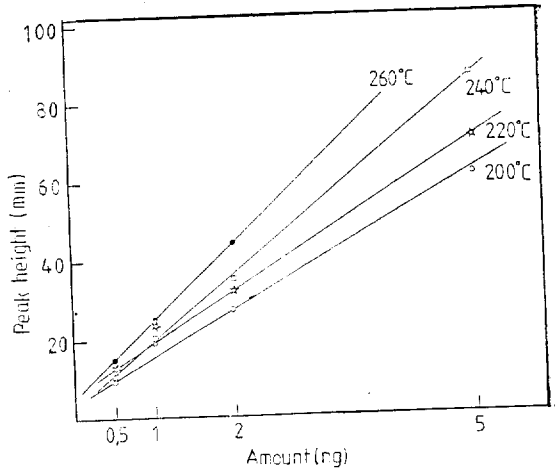


Figure 3. Degradation of trichlorfon to chloral with the increase of GC injector temperature

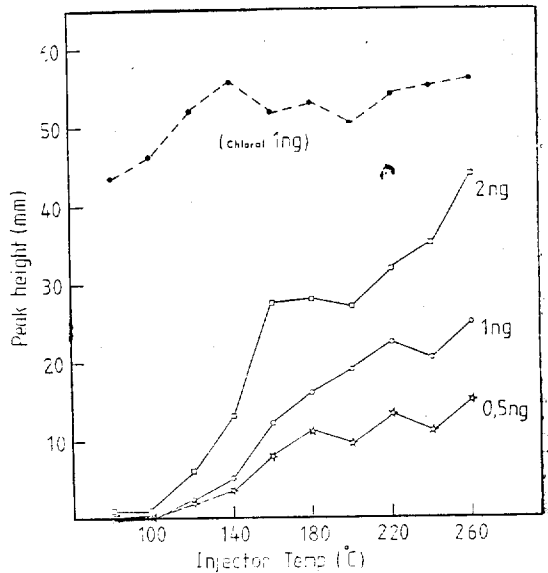


Figure 4. Standard curves at different injector temperature

종 시료의 대표적인 개스크로마토그램은 trichlorfon의 열분해에 의한 크로랄분석방법에 의한 경우, Figure 5와 trichlorfon 자체를 fused silica capillary column으로 분석하는 경우 Figure 6로 나누어 나타내었다.

본 연구에서 대부분의 시료를 추출, 정제하는 데는 기본적인 용매추출법만을 적용하는 것이었는데 대부분의 경우 복잡한 방해 peak이 없이 분석할 수 있었던 것을 알 수 있다. 대개의 경우 사용하는 용매에서 연유된 방해 peak이 발견되는 수가 있었으나 1차 증류에 의하여 이런 물질들이 제거되었다. 예상되었던 바는

packed column의 경우, 방해물질이 많고, capillary column이 적을 것이라는 것이었으나 별로 차이가 없음을 알 수 있고, capillary column의 장점으로 뚜렷한 peak, retention time(t_R)의 짧음, 원물질 미분해라는 점 등을 들 수 있다. 그러나 물 분석의 경우 capillary column이 오히려 다른 방해물질이 많은 것으로 나타

나서 두 가지 분석방법이 상보적으로 사용된 것은 좋은 접근방법이라고 생각되었다.

회수율을 알아보기 위하여 일정량의 표준 trichlorfon을 첨가하여 상기 추출정제 방법에 따라 전처리하여 정량한 결과는 Table 1과 같다. 거의 모든 시료가 80% 내외의 회수율을 보였으므로 본 연구에서의 결과는 회

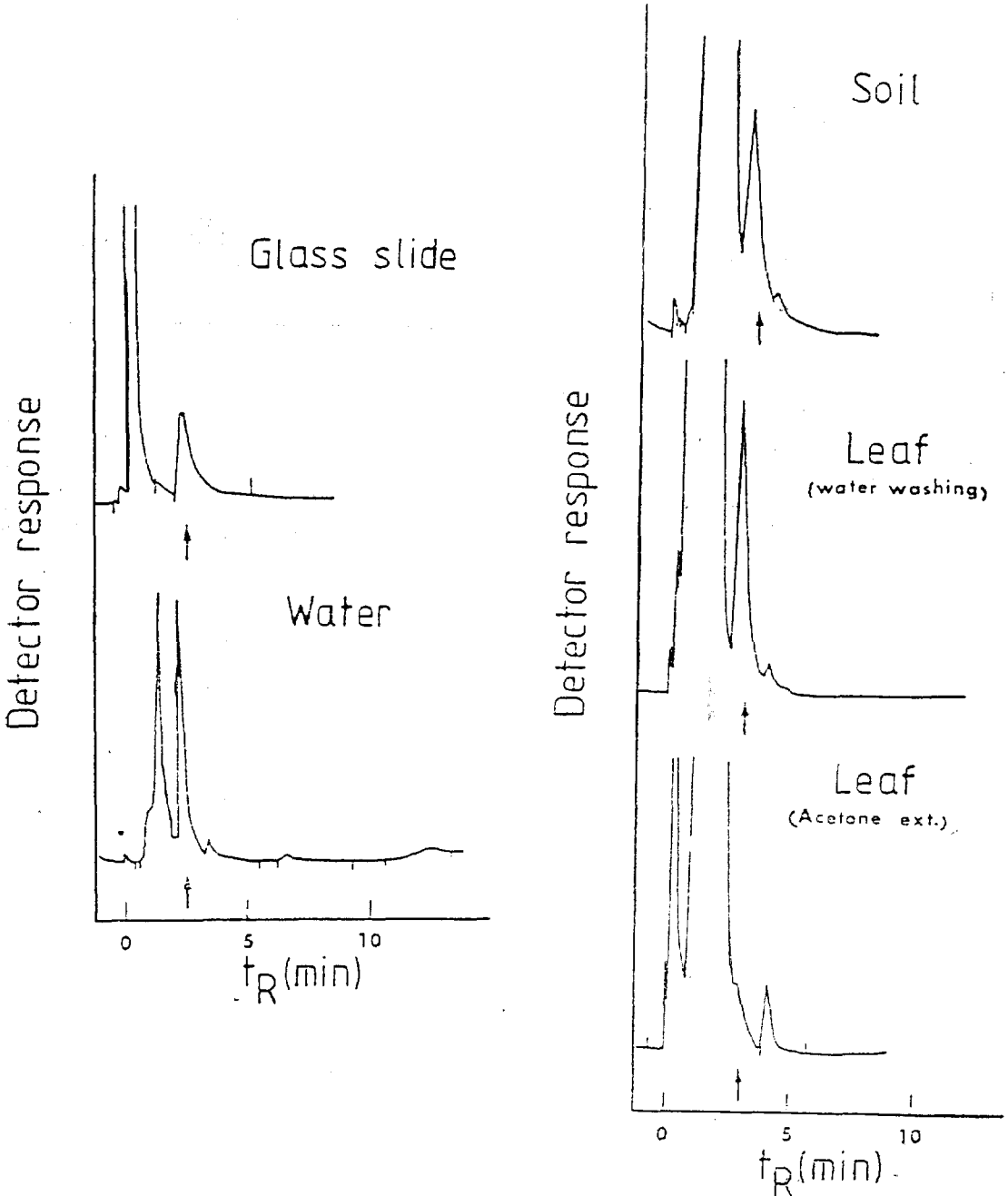


Figure 5. Representative GC chromatograms of various samples (OV-17 & QF-1 packed column)

수술을 감안하지 않고 표시하였다.

3. 슬라이드그라스상의 trichlorfon 변화

슬라이드그라스 위에 살포된 trichlorfon의 변화는 Table 2에 나타낸 바와 같다. 살포 직후 시료를 채취하여 분석하였을 때, 노출된 장소에 놓은 슬라이드 그

라스에서는 제1, 3, 4지점에서 각각 238 μ g, 231 μ g, 87 μ g 이 검출되었다. 이것은 사용법에 명시된 대로 살포할 때에 두 개의 슬라이드 그라스의 면적인 36.48cm²에 예상명중량인 196 μ g과 유사한 양으로서 살포시에 거의 유실되지 않고 살포된 것으로 추정할 수 있었고 이 살포량이 6시간 후에는 거의 존재하지 않게 되었고 1일

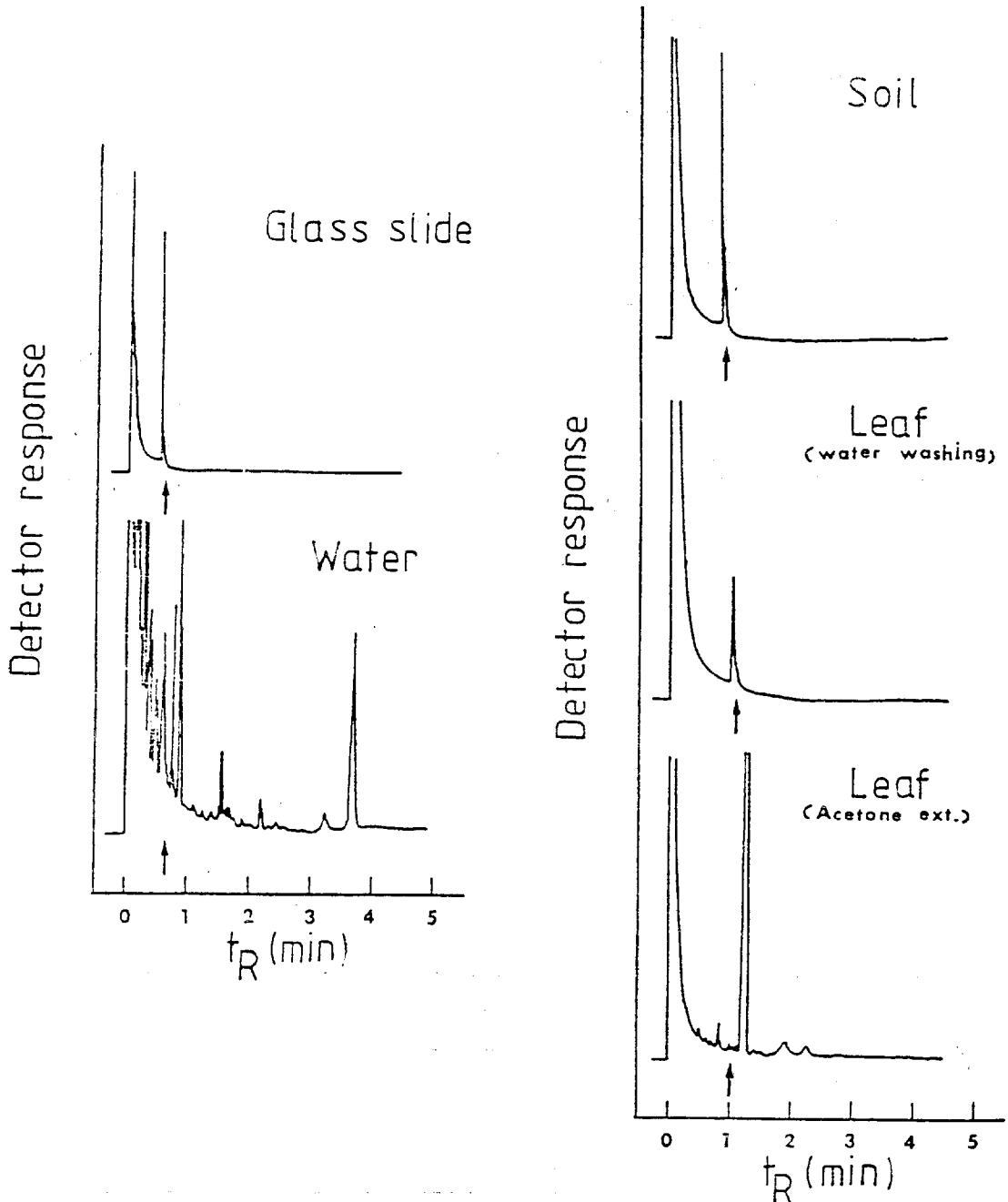


Figure 6. Representative GC chromatograms of various samples (BP-1 fused silica capillary column)

Table 1. Recovery of trichlorfon from various samples

sample	Spiked amount(μg)	% Recovery ^a	
water	20	82	
Water washings of leaves	Alder	10	84
	Pine	10	80
Acentone extract of leaves	Alder	10	86
	Pine	10	72
Soil	10	88	

a. average of duplicate determination

Table 2. Disappearance of trichlorfon from slide glass

Location	Site	Residual amount on the glass slide(μg) ^a		
		1 st (0 day)	2 nd (0.25day)	3 rd (1 day)
Exposed	1	238	— ^b	—
	2	—	—	—
	3	231	11	—
	4	87	—	—
	5	—	—	—
Shaded	1	—	—	—
	2	—	—	—
	3	2	2	—
	4	4	2	—
	5	—	—	—

a. amount collected on two glass slides(dimension of a glass: 76mm×24mm)

b. < 1 μg

후에는 검출되지 않았다. 이러한 현상이 증발, 휘산 등의 물리적인 소실인지 광분해 등의 화학적인 분해에 의해서인지는 본 야외 실험만으로는 알 수 없었다. 임목 아래 그늘진 곳에 놓은 슬라이드 그라스에는 노출된 장소에 보다 약 1/100 이하로 검출되므로서 수관층

을 통과하여 지면의 낙엽이나 토양, 혹은 관목, 일년생 잡초에 도달하는 양은 극미량인 것을 알 수 있었다.

제 2지점과 제 5지점에는 전혀 검출되지 않음으로서 살포 가장자리에서 시료채취한 두 개는 초기에 살포가 되지 않은 것을 알 수 있었고, 앞으로 시료 설치 및 채취는 어느정도 내부에서 행하여져야 할 것으로 판단된다. 또한 반복구간의 큰 변이는 야외실험에서 극복하기 어려운 난점이라 생각되어 진다.

4. 물 중의 trichlorfon의 변화

Table 3에서 보는 바와 같이 제 1 지점에 많은 양이 살포된 것을 알 수 있다. 전체 물의 양으로 볼 때는 제 1 지점과 제 2 지점이 거의 차이가 없었으나, 제 1 지점에서 trichlorfon의 절대량이 많은 것으로 미루어 보아 제 1 지점을 중심으로 하여 상류에는 살포 농약이 수면에 직접 뿌려진 것으로 추측된다.

제 4 차 시료에서 trichlorfon 양이 많아진 것은 Markin등⁽¹⁵⁾이 보고한 바와 같이 시료채취 전에 내린 강우(약 8mm)에 의해서 주위의 농약이 씻겨들어 간 것으로 생각된다. 이러한 경향은 Pieper⁽¹⁶⁾, Judd⁽¹⁷⁾ 등이 보고한 바와 거의 일치하였다. 즉 이들이 보고한 바에 따르면 trichlorfon은 살포후 24시간 이내에 대체로 10% 이하로 떨어지고, 5~7일 후에는 측정한계 이하로 된다고 하였다.

본 분석에서 검출된 145.9μg을 농도로 표시하면 0.29 ppm이 되는데 이는 trichlorfon의 잉어 및 송사리에 대한 48hr LC₅₀ 값인 25-28ppm⁽¹⁸⁾에 미치지 못하는 못하고 있지만 동물성 플랑크톤인 *Daphnia pulex*에 대한 48hr EC₅₀ 값이 0.18ppb⁽¹⁹⁾이므로 수중의 동물성 플랑크톤에는 영향을 줄 수 있는 농도로 생각되어진다.

5. 토양 중 trichlorfon 잔류량의 변화

Table 4에 나타난 바와 같이 제 2 지점 및 제 5 지점에서는 trichlorfon이 검출되지 않아 슬라이드그라스의 결과와 같은 양상을 보여주었다.

Table 3. Residue of trichlorfon in water after aerial application

Site	Total amount (μg) and concentration in water (ppm) ^a						
	1 st (0 day)	2 nd (0.25day)	3rd(1 day)	4th (3day)	5th (4day)	6th (6day)	7th (9day)
1	145(0.29)	8.2(0.016)	— ^b	17.4(0.035)	—	—	—
2	—	21.6(0.043)	—	25.0(0.05)	16.1(0.032)	—	—
3	—	—	—	—	—	—	—
4	—	—	—	—	—	—	—

a. One grab sample (500ml)

b. < 5 μg(0.01 ppm)

Table 4. Residue of trichlorfon in soil

Location	Site	Residual amount in soil (μg) ^a					
		1st (0day)	2nd(0.25day)	3rd(1day)	4th(3day)	5th(6day)	6th(9day)
Exposed	1	70.1	12.6	— ^b	—	—	—
	2	—	—	—	—	—	—
	3	103	93.2	64.9	—	—	—
	4	101	29.6	—	—	—	—
	5	—	—	—	—	—	—
shaded	1	7.3	—	—	—	—	—
	2	—	—	—	—	—	—
	3	6.3	11.3	—	—	—	—
	4	42.3	33.6	47.0	—	—	—
	5	—	—	—	—	—	—

a. amount in soil which was dispersed on two glass slides(dimension of a glass slide: 76mm×24mm, soil depth: 1-2mm)

b. < 5 μg

Table 5. Residue of trichlorfon in water washings of leaves

Sample ^a	Site	Residual amount in water washings of leaves (μg)			
		1 st (0 day)	2nd (0.25 day)	3rd (1 day)	4 th (3 day)
Alder	1	13.0	10.9	— ^b	—
	2	—	—	—	—
	3	—	3.3	—	—
	4	—	1.4	—	—
	5	—	—	—	—
Pine	1	—	3.3	—	—
	2	—	—	—	—
	3	31.4	1.1	—	—
	4	—	1.7	—	—
	5	—	—	—	—

a. Alder: amount found in 20 discs (0.6 cm dia.) of leaves

Pine: 5 cm length of 20 leaves

b. < 1 μg

균일하지는 않지만 노출된 장소에 놓여진 토양에 비하여 임목아래 그늘진 곳에 놓여진 토양에 살포된 농약의 양이 극히 적은 것으로 나타났는데 이는 슬라이드그라스에서와 비슷하거나 약간 높은 것으로 나타났다. 또한 노출여부에 관계없이 그 잔류량의 변화는 슬라이드그라스에서 보다 훨씬 완만하게 나타나서 토양에 흡착된 trichlorfon의 소실되는 정도가 유리표면에서의 형태와는 다른 것으로 나타났다. 일관된 결론을 내리기는 힘들지만 대체로 노지에서 소실되는 것이 그늘에서 소실되는 정도보다 신속한 경향이였다. 이러한

소실정도의 차이가 단순한 증발, 휘산에 의한 것인지 혹은 광분해에 의한 것인지는 앞으로 밝혀져야 할 것이다.

6. 엽면상의 trichlorfon 잔류량의 변화

엽면에 잔존하는 trichlorfon을 경시적으로 정량한 결과는 Table 5와 같이, 증류수로 씻어낸 후 잎에 잔존하는 trichlorfon을 아세톤으로 추출하여 본 결과 trichlorfon은 거의 엽면에 존재하고 엽내로 침투하지 않음을 간접적으로 시사해 주므로 Table 5의 결과가 식

물체의 잔류량을 대표하는 것으로 가정할 수 있다.

이 결과를 볼 때, 역시 제2,5지점에서는 검출되지 않았고, 엽면에 투하된 실제 농약의 양은 물오리나무 잎의 경우 제 1차 시료에서는 제 1 지점에서만 13μg이 검출되었고, 제3,4지점에서는 전혀 검출되지 않았는데, 제 2차 시료에서 미량이 검출되었다.

제 1 지점 제 1 차 시료의 경우 전체 시료 채취면적 (5.65cm²)을 감안하면 예상명중량인 30.4μg 보다 다소 적었고, 제3,4차 시료에서 검출되지 않은 것으로 볼때, 농약이 엽면에 균일하게 살포되지 않았고, 시료채취시 시료가 불균일하기 때문에 생긴 결과로 사료되었다.

소나무에서는 물오리나무에서보다 많은 양이 제 3 지점에서만 검출되었는데 반하여 제1,4지점에서는 검출되지 않았는데, 위에서 언급한 두가지 원인에 의한 변이인 것으로 추측된다. 본 분석결과에서만 해석한다면 잎에서 trichlorfon의 잔류량은 살포후 2일째는 거의 없는 것으로 추정할 수 있고 이러한 경시적 변화의 기작(mechanism)에 관해서는 앞으로 연구되어야 할 것이다.

본 연구에서 관찰된 살포 및 시료채취의 불균일성은 Pieper와 Richmond⁽⁶⁾의 연구에서도 나타났지만 그들의 연구에서는 엽면으로부터의 감소속도가 본 연구에서보다 다소 완만한 것으로 나타났다.

요 약

오리나무잎벌레 방제용으로 항공 살포한 trichlorfon (Dipterex[®] 혹은 Dylox[®])의 환경생태계내 동태를 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 슬라이드그라스에서 검출한 trichlorfon으로서 항공 살포시에 농약이 적량으로 살포되었음을 알 수 있었고 살포한 당일에 거의 소실됨을 확인하였다. 음지에 낙하되는 약량은 노지에 비하여 약 1/100에 불과하였다.

2. 수중에서 검출된 trichlorfon은 항공살포에 의한 내수면의 오염이 동물성 플랑크톤류에 영향을 미칠 수 있는 농도임을 확인하였고, 강우에 의한 내수면의 재오염이 가능함을 관찰하였다.

3. 토양에 잔류한 trichlorfon의 변화양상을 보면 위치에 따라 소실속도의 완급이 다름을 알 수 있었고 슬라이드그라스와는 달리 소실속도가 늦음을 확인하였다.

4. 식물체 엽면에 살포된 농약의 양은 예상 투하량보다 비교적 적었고 소실 속도는 토양에서와 유사한 양상이었다.

본 연구에서 밝혀진 잔류량의 변화만으로는 그 소

실 형태가 물리적인 확산, 이동에 의해서인지 화학적 인광분해, 가수분해 등에 의해서인지는 확실히 않았으므로 차후에 보완적인 연구가 수행되어야 함과 아울러 문제시 되는 수중농도의 생물학적인 영향 연구도 병행되어야 할 것이다.

감사의 말

본 연구를 하는데 조사지역 제공, 항공살포 및 현지 조사에 협조해 주신 대전시청 및 대전 국립묘지관리소 여러분께 깊이 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 산림청 통계자료.
2. Norris, L.A. (1971) : The behavior of chemicals in the forest, In. Pesticides, Pest Control and Safety on Forest Range Lands. 1971 Proceedings Course for Pesticide Applicators. A Continuing Education Book, 90-106
3. Norris, L.A. and V.H. Freed (1966) : The absorption and translocation of several phenoxyalkyl acid herbicides in Bigleaf maple. Weed Research 6 : 203-211
4. Flavell, T.H., S. Tunno, and H.E. Meyer (1977) : A pilot project evaluating trichlorfon and acephate for managing the western spruce budworm, Choristoneura occidentalis F. Helena National Forest, Montana 1976, Forest Insect and Disease Mangement Report No. 77-16
5. Flavell, T.H., S. Tunnock, J.W. Barry, R.B. Ekblad, and W.M. Ciesla(1978) : Pilot project of carbaryl and trichlorfon against the western spruce budworm, Beaverhead National Forest, Montana, 1975, USDA F.S. Report No. 78-5
6. Norris, L.A. (1984) : Use, ecotoxicology, and risk assessment of herbicides in the forest. In. Chemical and Biological Controls in Forestry(W.Y. Garner and J. Harvey Jr. eds.), ACS Symposium Series No. 238, p. 381-393
7. Griffiths, K.B. (1983) : Forest Pest Management Institute Bibliography (1977-1982). Information Report FPM-X-60, Canadian Forestry Service.
8. Forest Pest Management Institute (1985) : Program Review 1984-1985, Canadian Forestry Service

9. Woodward, D.F. and W.L. Mauck (1980) : Toxicity of five forest insecticides to Cutthroat Trout and two species of aquatic invertebrates. Bull. Environm. Contam. Toxicol. 25 : 846-853
10. Kozlovskaya, V.I. and B.A. Flerov (1980) : Organophosphorus pesticides and their hazards to aquatic animals. In. Proceedings of the 3rd. USA-USSR symposium on the effects of pollutants upon aquatic ecosystems: Theoretical aspects of aquatic toxicology. EPA-600/9-80-034
11. Ghassemi, M., L. Fargo, P. Painter, S. Quinlivan, R. Scofield, and A. Takata (1981) : Environmental fates and impacts of major forest use pesticides, TRW environmental division.
12. Watts, R.R. (ed.) (1980) : Analysis of pesticide residues in human and environmental samples. U.S.EPA EPA-600/8-80-038 Section 10.
13. Anderson, R.J., C.A. Anderson, and T.J. Olson (1966) : A gasliquid chromatographic method for the determination of trichlorfon in plant and animal tissues. J. of Agricultural and Food Chemistry, 14 : 508-512
14. Marler, R.L. (1972) : Environmental impact and efficacy of Dylox used for gypsy moth control in New York State, Applied Forestry Research Institute Research Report No. p. 24
15. Markin, G.P., J.W. Brewer, and H. O. Batzer (1978) : Field life of Orthene[®], Sevin[®]-4-oil and Dylox[®] 1.5 bioassay with Douglasfir, willow, grass, aspen foliage, and in creek water after aerial application, Bull. Environm. Contam. & Toxicology 15 : 250-256
17. Judd, J.H., T.G. Coffey, and H.H. Wilcox, III (1972) : Impact of Dylox on an aquatic environment. In. Environmental impact and efficacy of Dylox used for gypsy moth control in New York State, AFRU Report No. 10, State University of College of Forestry, Syracuse, N.Y.
18. Yamamoto, I. and J. Fukami (1979) : Pesticide Design, Soft Sci. Inc. Tokyo, p. 1069
19. Jhonson, W.W. and M.T. Finley (1980) : Handbook of acute toxicity of chemicals to fish and aquatic invertebrates. U.S. Dept. of Interior, Washington D.C. p. 78