

## 삼림 환경에 항공살포된 Cyfluthrin과 Trichlorfon의 물에서의 동태와 수서생물에 미치는 영향

이성규,\* 김용화,\* 김태욱,\*\* 노정구\*

### Fates of Cyfluthrin and Trichlorfon in Water and Their Impacts on Aquatic Organisms Following Aerial Application Over the Forest

Sung Kyu Lee,\* Yong-Hwa Kim,\* Tae Wook Kim,\*\* Jung Koo Roh,\*

#### Summary

This study was conducted to evaluate the behavior in the water and the impact on aquatic organisms following aerial application of two insecticides in the forest, cyfluthrin and trichlorfon, to control the alder leaf beetle.

As active ingredients, 25g of cyfluthrin and 536g of trichlorfon per ha were diluted separately into 30L of tap water, and applied with a helicopter to the study areas. A model stream study was also conducted in a stream located adjacent to the study area in order to confirm the impact of insecticides on aquatic invertebrates.

Cyfluthrin residues in water were  $0.62\mu\text{g/L}$  (1st. application) and  $78\mu\text{g/L}$  (2nd application) immediately after spraying, and decreased to a non-detectable level after one day, while trichlorfon residue increased to  $30.7\mu\text{g/L}$  one day after spraying and fluctuated for 22th day depending on precipitation after spraying. Cyfluthrin application rapidly increased the number of some drifting aquatic invertebrates during 24-hour period immediately after spraying, but had no effects on the other aquatic organisms such as fish and zooplankton.

The largest increase in the number of drifting organisms following application of cyfluthrin was shown by Ephemeroptera, and followed by Trichoptera, Coleoptera, and Diptera. However, trichlorfon little affected the number of drifting aquatic invertebrates and zooplankton population.

#### 서 론

삼림에 항공살포된 농약은 매우 적은 량만이 표적 생물에 도달될 뿐, 나머지 대부분은 농약의 이화학적 성질과 생태계내 생물상과 물리적 환경과의 상호 작용에 의하여 이동되어 대기중, 식생중, 토양 및 내수면등 각종 환경에 분포하게 되어 여러가지 부작용을 야기하고 있다(1,2). 그러므로 삼림내에 항공 살

포된 농약의 잔류, 동태 및 비표적 생물(non-target organism)인 수서생물, 곤충상에 미치는 영향에 관한 연구는 수년전부터 선진국들에서는 실시되어 왔다.(3,4,5,6,7)

그러나 우리나라에서는 삼림에 농약을 항공살포한 지 15년 이상이 경과하였음에도 방제효과나(8,9) 살포된 농약의 동태(10)에 관한 극히 제한된 연구결과 는 있으나, 그들 농약의 동태와 그 영향에 관한 종합

\* 한국화학연구소 안전성연구센터 (Toxicology Center, Korea Research Institute of Chemical Technology, Daejeongdanji, Daejeon, Korea)

\*\* 서울대학교 농과대학 (College of Agriculture, Seoul National University, Suwon, Korea)

적이고 체계적인 연구가 아직 이루어지지 못하고 있어 효율적인 병해충 방제 및 환경보존이라는 측면이 모두 간과되어 왔다.

그러므로 본 연구에서는 우리나라 삼림에서 사용되는 농약의 동태 및 환경독성학적 영향평가를 위한 첫 시도로서 오리나무 잎벌레 (*Agelastica coerulea*) 방제에 오랫동안 사용되어온 trichlorfon과 1985년에 품목고시된 cyfluthrin을 항공살포하여 물에서의 농약의 동태와 수서생물에 미치는 영향을 비교 분석하였다.

Cyfluthrin은 1976년에 Bayer사에서 합성된 pyrethroid계 살충제로서 1985년에 오리나무 잎벌레 방제용 농약으로 등록되었으나, 삼림환경에서의 동태나 영향은 아직 연구된 바 없고, 일반적으로 수서생물에 대한 독성이 크고, 잔류 기간이 비교적 길다고 알려져 있기 때문에(11,12) 본격적인 사용 이전에 삼림 환경에서의 동태와 영향이 구체적으로 파악되어야 한다. 유기인계 농약인 trichlorfon은 삼림용 살충제로 오랫동안 사용되어 왔기 때문에 삼림에서의 동

태와 환경생물에 대한 연구결과, 물에서 잔류기간이 짧고 수서생물에 대한 영향은 크지 않다고 알려져 있다(13,14). 그러나 일반적인 농약의 분해 양상이 제제형태와 환경인자에 크게 좌우되는 바(15,16,17), 기존의 결과들은 Dylox ULV, Dylox 1.5 oil 등과 같이 제제형태, 살포방법 등이 우리와 다르므로 우리나라 환경에서 관행적으로 살포하고 있는 방법에 따른 연구가 필요하다고 하겠다.

따라서 본 연구에서는 공시농약의 물에서의 동태와 수서생물에 미치는 영향을 비교, 평가하기 위하여 항공살포에 의한 실험과 이 실험에서 확인된 수서곤충에 대한 영향을 동일조건에서 정확하게 비교하기 위한 야외의 모의실험을 실시하였다.

### 재료 및 방법

#### 1. 항공살포에 의한 실험

가. 조사지 개황

항공살포 지역(Fig.1)은 충남 대전시 중구 갑동 소

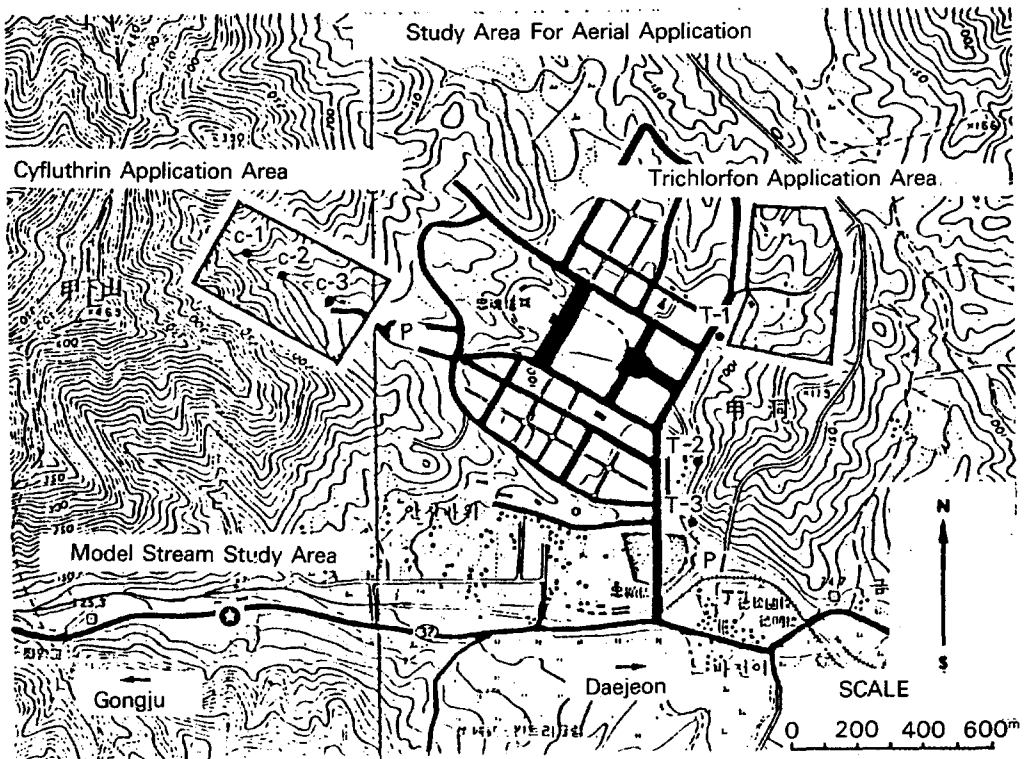


Fig. 1. Location of spray area and sampling sites.

제 대전국립묘지 구내 삼림으로 임야면적이 약 90ha 이고, 임상은 침·활혼효림이다.

Cyfluthrin 살포지역은 갑하산(470m) 북동계곡으로 계곡의 길이가 약 1km이고, 계곡입구에 저수지가 있어, 계곡에서 유출된 물은 이곳에 집수되며, 계류에는 물고기 및 수서곤충이 서식하고 있다. Trichlorfon 살포지역은 cyfluthrin 살포지역에서 동쪽으로 약 1km에 위치하고 있으며, 계곡이 아니고, 사면을 포함한 평지로, 이 지역에 약간씩 흐르는 물은 콘크리트 수로를 거쳐 수로로 유입된다. 수로는 바닥이 유기물이 많은 점토로 되어 있으며, 자갈이 적어 이곳에서 서식하는 수서곤충은 별로 없었다.

나. 처리농약의 조제와 살포

Trichlorfon (Dimethyl (2,2,2-trichloro-1-hydroxyethyl)phosphate)은 80% 수화제(DEF®수화제)를, cyfluthrin (Cyano-(4-fluoro-3-phenoxyphenyl)-methyl-3-(2,2-dichloroethenyl)-2,2-dimethylcyclopropane carboxylate)은 Bayrin® 5% 액제를 사용하였다.

살포농약의 조제는 산림청 기준에 의거 ha 당 물 30 L에 trichlorfon 80% 수화제 670g의 비율(536g, ai/ha)로 1회 조제시, 10ha에 살포할 수 있는 양을 조제하였으며 cyfluthrin은 Bayer사에서 간행된 지침(18)에 따라 ha당 물 30L에 5% 액제 500ml의 비율(25g, ai/ha)로 조제하여 헬기(휴즈사 500 MD-FP802)로 살포하였다.

노즐은 four size(Simplex Aerial Application Equipment 제품)로 양쪽 각각 24개씩(0.2mm), 총 48개의 노즐이 있고, 노즐의 폭은 7.3m 이었다.

1차 약제살포는 1986년 5월 29일 9시 30분 부터 10시 까지 실시하였고, 2차 살포는 같은 방법으로 1986년 6월 24일 10시 30분 부터 11시 사이에 실시하였다.

다. 시료의 채취 방법 및 보관

수서생물과 농약 분석용 물시료의 채취일정은 다음 Fig.2와 같다.

(1) 물

Cyfluthrin을 살포한 경우는 계곡의 상류에 1개소, 100m 하류에 1개소, 그리고 300m 아래 중간 저수지에 1개소 등 3개소를 선정하였고, trichlorfon을 살포한 경우는 살포지역에 계곡이 없으므로 살포지역 바로 밑에 있는 도랑에 1개소, 약 200m 하류에 1개소, 그리고 200m 아래 저수지에 1개소 등 총 3개소를 선

정하였고, 물 표면에서 약 5cm 사이의 표층수를 약 1 L씩 채수하여 1 L 갈색병에 담아 ice box에 보관한 후 분석할때까지 냉장고에 보관하였다.

채수할 때 trichlorfon의 경우는 pH가 높으면 쉽게 가수분해 되므로(14,19) 이를 방지하기 위하여 농염산을 두방울 넣은 후 보관하였다.

(2) 동물성 플랑크톤

동물성 플랑크톤은 C-3 및 T-3 지점에서 표층채집 방법으로 Norpac 형(φ 45cm; 망목크기: GG 54)net를 사용하였고, 채집된 시료는 현장에서 7% 중성 formaldehyde로 고정한 후, 분류, 동정하였다. 동정은 각 시료를 균등하게 혼합한 후 10ml을 취하여 입체해부 현미경(x6.5-25)하에서 분류하였으며, 종별 개체수는 다음식에 의하여 구했다.

$$\text{No. of indiv. (No./m}^3\text{)} = \frac{\text{No. of indiv. in subsample} \times \text{sample vol.}}{\text{Subsample vol.} \times \text{water vol. passing the net (m}^3\text{)}}$$

(3) 수서곤충

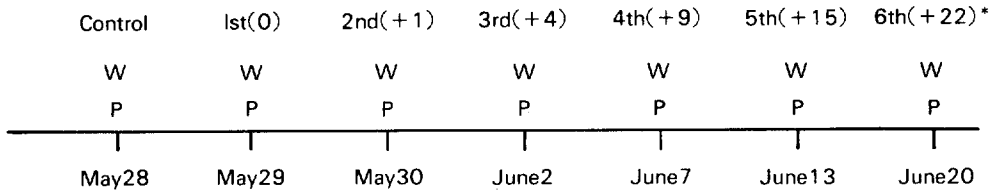
각 농약 살포지역 3개소에 Kingsbury와 Kreutzweiser(5)의 방법을 약간 변형시킨 drift net(30cm×30cm) 설치하고 농약살포 전에 1회 대조구로서 채집하고, 농약살포 후에는 살포 직후부터 1시간 간격으로 채집하였다(Fig.2 참조).

채집된 수서곤충은 10% formaldehyde 용액에 고정하여 실험실에서 해부 현미경(x 6.5-25)하에서 분류 및 계수하였다. 분류시 참고한 자료는 Freshwater Invertebrate Animals 등(20,21,22)이다. 표류된 수서곤충의 수는 number of invertebrates/m<sup>3</sup> of water in drift net로 표시하였고, 단위시간당 drift net를 통과한 물량은 다음 식에 의하여 계산하였다.

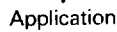
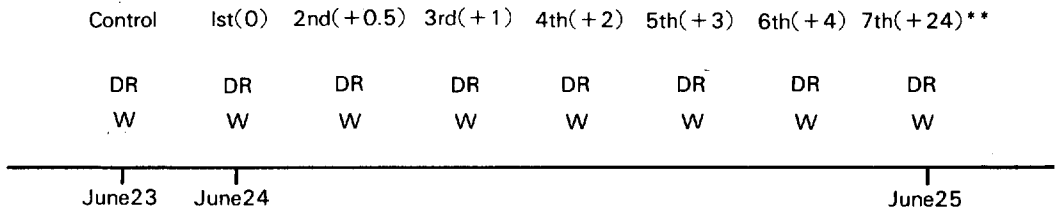
$$\text{Vol. of water in drift column (m}^3\text{)} = \text{depth at station (m)} \times \text{width of drift net (0.3m)} \times \text{current speed (m/sec.)} \times \text{duration of drift sample (sec.)}$$

이와 아울러 수서곤충 채집지점에서 물속의 cyfluthrin과 trichlorfon의 잔류농도와 시간에 따른 농도의 변화를 보기 위하여 살포후 10분, 30분, 60분, 2시간, 3시간, 4시간, 24시간, 72시간 후에 물시료 1 L를 각각 채수하여 앞의 물시료와 같은 방법으로 전처리 및 추출 분석과정을 거쳐 cyfluthrin과 trichlorfon의 잔류농도를 분석하였다.

Sampling schedule after the first application.



Sampling schedule after the second application.



W ; Water P ; Plankton DR ; Drift Net

\* Numbers in parentheses indicate days after application.

\*\* Numbers in parentheses indicate hours after application.

Fig. 2. Sampling schedule for chemical and biological analysis from environmental components.

(4) 어류

본 연구실에서 사육중인 송사리 (*Oryzias latipes*), 치어(부화후 1개월)를 노출상자에 넣어 실험하였다. 노출상자는 20cm×20cm×30cm 크기의 plastic으로 된 윗면이 열린 사각통으로 5면에 15cm×15cm의 구멍을 만들고 거기에 40 mesh wire screen을 붙여 styrofoam을 이용하여 수면에 띄웠다. 각 노출상자에는 송사리 치어를 농약살포 48시간전에 20마리씩 넣어, 환경에 적응시켰으며, 배치는 물시료 채취지점인 C-1, C-2, C-3, 그리고 T-1, T-2, T-3에 각각 하나씩 배치한 후, 시료채취 기간중 계속해서 치사 및 동태를 관찰하였다.

라. 잔류 농약 분석 방법

물에서 trichlorfon 추출방법은 Pieper와 Richmond의 방법(14)에 준하였다. 즉 300ml의 시료물 1 L 분액여두에 취하고, 여기에 NaCl 75g, chloroform 50ml, 염산 1방울을 가하여 1분간 격렬히 진탕하여 추출하였다. Chloroform 층은 5g의 무수황산 소오다가 채워진 깔때기를 통과시켜 감압농축용 플라스크에 받았다. 50ml씩의 chloroform으로 2회 더 추출하였으며 합쳐진 추출액은 감압농축기에서 5ml 정도 남을때까지 농축시킨 후 상온에서 질소개스로 완전히 건조시켰다. 건조물을 ethyl acetate를 사용하여 1ml 혹은 10

ml의 용량 플라스크에 담아 gas chromatography용 시료로 하였다.

Cyfluthrin 분석시에는 300ml의 시료에 50ml의 n-hexane으로 추출하는 조작을 3회 반복하여 무수황산 소오다로 탈수하였다. 추출액을 감압 농축하여 5ml 까지 농축한 뒤 10ml의 용량 플라스크에 옮기고 n-hexane으로 표선까지 채운 뒤 gas chromatography 분석용 시료로 하였다.

잔류농약 분석은 gas chromatography (Varian 사, model 3700)를 사용하였으며 분석조건은 다음과 같았다.

Detector : <sup>63</sup>Ni ECD

Column : 12m BP-1 fused silica capillary(0.32 mm I.D.)

Temperature : Column ; 180°C(trichlorfon), 240°C(cyfluthrin)

Injector ; 250°C

Detector ; 250°C

Carrier gas : N<sub>2</sub> gas 1.9ml/min(column), 30ml/min (make up)

Split ratio : 1 : 18

## 2. 수서곤충에 대한 야외 모의 실험

Cyfluthrin과 trichlorfon의 수서곤충에 대한 영향평가는 본 실험에서 실시한 항공살포의 경우 조사지점의 환경이 서로 달라서 그곳에 서식하는 수서곤충의 종구성이 다르고, 아울러 전체적인 개체수가 적기 때문에 이 두 농약이 이들 생물상에 미치는 영향을 서로 비교하기가 어려웠다. 따라서 이러한 문제점을 극복하고 이들 두 농약이 수서곤충에 미치는 영향을 확실하게 비교하기 위하여 수서곤충의 개체수가 많고, 두 농약을 같이 실험할 수 있는 소하천을 사전답사하여 선정된 후 다음과 같은 방법으로 실험하였다.

### 가. 실험설계

전체 소하천을 상·하로 나누어 두 지역의 수서곤충상에 차이가 없음을 확인한 후, 상류지역은 cyfluthrin을, 하류지역은 trichlorfon을 살포하기로 계획하고, 9월 26일 하류지역에 trichlorfon을 살포하고 하룻밤 지난후 대조군과 처리군을 비교한 후 표류된 수서곤충수에 차이가 없어, 9월 29일 상류지역에 cyfluthrin을 살포하였다. 각 농약별 살포지역과 조사지점은 다음 Fig.3과 같다.

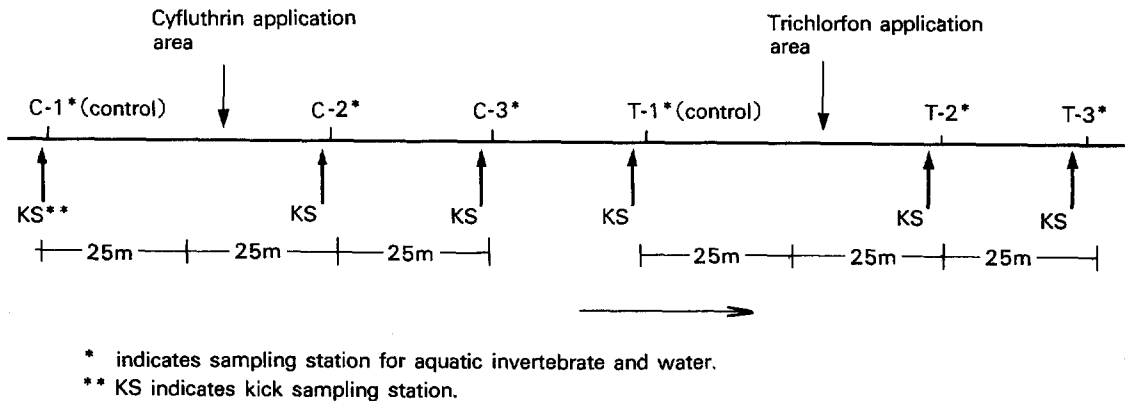


Fig. 3. Distribution of sampling stations for aquatic organism drift study in model stream.

## 나. 농약조제 및 살포

본 실험에 사용한 농약은 항공살포 실험에서와 동일한 농약을 사용하였으며 살포농도도 앞의 실험과 동일하게 하였다. 살포량은 살포수면을 1m×2m로

계획하고, 항공살포시 살포량이 ha 당 30L 이므로 면적비례로 이 면적에 떨어지는 농약량을 산출(6 ml)한 후, 본 농약 살포시 사용될 수동식 분무기의 노즐을 최대한으로 줄인상태(분무상태)에서 1회 분무시 분사

되는 농약량을 실험실에서 측정(약 0.65ml 이었음) 하여 계산된 농약량을 살포하는데 필요한 수동식 분무기의 분무횟수(10회 이었음)를 구하였고, 살포는 수면에 약 50cm 위에서 살포 하였다.

다. Drift net의 설치 및 수서곤충의 채집

본 실험에 사용한 drift net는 앞에서 사용한 것과 동일한 것을 사용하였다. 수서곤충은 농약살포 전에 1분간의 kick sampling에 의하여 각 지점의 종별 개체수를 파악한 후 drift net를 설치하고, 1시간 동안 각 지점별 표류되는 시료를 취하여 대조군으로 하였다.

농약을 살포한 후 1시간 동안 trichlorfon의 경우는 3회, cyfluthrin의 경우는 4회 표류되는 수서곤충을 채집하고, 그 이후는 24시간 방치한 후 채집하였다. 채집된 시료는 앞의 실험과 동일한 방법으로 고정한 후 분류, 동정 및 개체수를 세었다.

결과 및 고찰

1. 항공살포에 의한 실험

가. 물에서 농약의 동태

Cyfluthrin과 trichlorfon을 항공살포한 후, 계곡물과 호수에서 이들 농약의 각 조사지점별 농도와 시간에 따른 농도의 변화는 다음과 같다.

Table 1에서 보는 바와같이 cyfluthrin은 살포직후

모든 조사지점에서 최고 농도인 0.62 µg/L에 도달한 후 1일 후 C-2 지점에서만 0.39µg/L가 검출되었고, 살포 4일후에는 검출되지 않았다. 한편 trichlorfon은 T-3 지점에서 21.0 µg/L으로 이는 살포시 일부 농약이 수면에 직접 떨어진 결과로 생각되며 또한 1일 후에는 30.7 µg/L로 최고 농도에 도달한 후 떨어졌다가, 9일 후에 다시 증가하는등 변화를 보이고 있는데 이는 기상자료, 조사지점의 위치, trichlorfon의 이화학적 성질등으로 미루어 볼 때 식물체 및 토양에 묻어 있던 trichlorfon이 강우에 의하여 씻겨 내려가서 집수지역인 T-3지점의 농도에 영향을 준 것으로 판단된다. 이러한 결과는 Kozlovskaya와 Flerov(13), Markin 등(32), 이 등(10)의 결과에 의해서도 뒷받침 된다. 그러나 T-1, T-2 지점에서 강우에 의한 영향이 없는 것은 조사지점이 직접 살포지역이 아니기 때문인 것으로 생각된다.

물속에서의 농약의 동태를 약종간에 비교해 보면 pyrethroid계통 농약이 물에 잘 녹지않고, 유기물, 저질등에 잘 흡착되므로(24) cyfluthrin은 살포1일 후에는 물에 잔류하지 않고, 강우에 의해서도 용출되지 않음을 알 수 있었는데 이는 permethrin으로 실험한 결과(5,25)와 대체로 일치하였다. 반면에 trichlorfon은 cyfluthrin과는 달리 물에 잘 녹고, 잘 분해 된다고 알려져(23,26) 있듯이 쉽게 분해되나 집수지역에서는 주위에 잔류되어 있는 trichlorfon이 강우에 의하여 씻겨 들어옴으로 인해서 살포후 22일이 경과한 후에도 검출되었다.

Table 1. Residue of cyfluthrin and trichlorfon in water after aerial application

Site	Concentration in water (µg/L)						
	Control	1st(0)	2nd(+1)	3rd(+4)	4th(+9)	5th(+15)	6th(+22)day
C-1	ND*	0.62	ND	ND	ND	ND	ND
C-2	ND	0.62	0.39	ND	ND	ND	ND
C-3	ND	0.62	ND	ND	ND	ND	ND
T-1	ND	3.22	ND	ND	ND	ND	ND
T-2	ND	4.45	ND	ND	ND	ND	ND
T-3	ND	21.0	30.7	0.28	5.03	ND	5.41

\* Not detected(ND) : <0.01 µg/L

나. 수서생물에 대한 영향

(1) 동물성 플랑크톤

농약이 살포된 후 집수지역인 C-3 및 T-3 지점에서 조사한 동물성 플랑크톤의 종조성과 군집의 변화는 다음 Table 2와 같다. 농약살포전 두지점의 종조성은 C-3 지점이 Rotifera류 및 Copepoda 목의 플랑크톤은 출현하지 않고 Cladocera 목의 2종만 나타났으나, T-3 지점은 Rotifera류의 플랑크톤은 나타나지 않았으나 Cladocera 목의 2종과 Copepoda 목의 4종등 총 6종이 나타나, T-3 지점이 C-3 지점에 비하여 동물성 플랑크톤의 조성이 다양하였다.

농약살포후의 종조성 및 출현개체수를 보면 C-3 지점은 Cladocera 목의 경우 농약살포 전후에 따른 영향이 일정치 않았고, Rotifera류는 오히려 농약살포 후에 출현되었다. Kingsbury와 Kreutzweiser(4)에 따

르면 pyrethroid계 농약인 permethrin을 살포(17.5g, ai/ha)했을 때 호수의 동물성 플랑크톤에는 큰 영향이 없었다고 하였고, 실제로 앞의 물분석 결과(Table 1)에서 보듯이 살포직후에 곧 유기물, 저질에 흡착되어서 없어지므로 cyfluthrin은 동물성 플랑크톤 군집에는 영향을 주지 않는 것으로 판단되었다.

Trichlorfon은 Rotifera류 플랑크톤의 경우는 대조군과 비교하여 농약처리에 의한 영향이 인정되지 않았으며, 갑각류인 Cladocera 및 Copepoda 목에 대한 영향은 대조군이 6종에 24개체가 채집된데 비하여 살포당일은 5종 18개체가 채집되었고, 1일후에는 전혀 채집되지 않았으나, 4일후에는 2종에 6개체, 9일후에는 1종 2개체만이 채집되므로써 물속의 trichlorfon 농도변화 양상과 유사하여 trichlorfon이 동물성 플랑크톤중 Cladocera 및 Copepoda 목의 플랑크톤에 영향을 준 것으로 판단되었다. 그런데 trichlorfon은

**Table 2. Population changes of freshwater zooplankton of C-3 and T-3 stations following pesticide application. (individuals/m<sup>3</sup>)**

Taxa	C-3					T-3				
	C*	1st.	2nd.	3rd.	4th.	C	1st.	2nd.	3rd.	4th
<b>ROTIFERA</b>										
<i>Asplanchna priodonta</i>				166						
<i>Brachionus quadridentatus</i>										2
<i>Polyarthra trigla</i>										2
<i>Rotaria rotatoria</i>									3	9
Unidentified sp.				5						
<b>CLADOCERA</b>										
<i>Alona rectangulara</i>					2					
<i>Bosminopsis deitersi</i>	3	533	3			3	3			
<i>Ceriodaphnia quadrangula</i>					4					
<i>Chydorus sphaericus</i>	15		11	69	4	3				
<i>Ilicryptus sordidus</i>									3	
<i>Moina dubia</i>									3	
<b>COPEPODA</b>										
<i>Copepoda copepodite</i>										2
<i>Cyclops strenuus</i>						3	3			
<i>Eucyclops serrulatus</i>						9	9			
<i>Mesocyclops leuckarti</i>						3				
<i>Thermocyclops taihokuensis</i>						3	3			
<b>NO. OF SPECIES</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>4</b>

\* Control

동물성 플랑크톤 중 갑각류에 대한 독성이 크다고 알려져 *Daphnia magna* 나 *D. pulex* 에 대한 EC50 값 (48hr) 이 1ppb 이하(27)이고, *Moina rectirostris* 에 대한 EC50값(48hr)이 1.1 ppb(28)이기때문에 앞의 물 분석 결과, trichlorfon 농도가 살포후 9일까지 0.28-3 0.7µg/L이므로 갑각류인 Cladocera와 Copepoda 목에는 많은 영향을 줄 것으로 생각된다. 그런데 Grahl 등 (29)에 의하면 연못에서 trichlorfon 농도가 300-800 µg/L일때 Cladocera 및 Copepoda 목의 플랑크톤은 큰 영향을 받으나 Rotifera류 및 식물성 플랑크톤은 아무 영향이 없으며, Cladocera 및 Copepoda목의 플랑크톤은 농약이 소실되면서 곧 회복된다고 하였고, Chemagro사(30)에 따르면 0.25ppm에서 동물성 플랑크톤에 아무 영향이 없었다고 하였다. 따라서 기존의 결과와 비교해 볼때 T-3 지점의 농도는 약 1/10정도이기 때문에 동물성 플랑크톤에 대해 치명적인 영향은 없으나, 다소의 영향은 있을 것으로 판단된다.

(2) 수서곤충

각 농약별 조사지점에서 채집된 수서곤충을 보면 C-1 지점에서 Baetidae의 9과, C-2 지점에서 Baetidae의 11과, C-3 지점에서 Baetidae의 15과로 C-3지점의 출현종이 가장 다양하였다.

Trichlorfon 살포구역인 T-1 지점은 7과, T-2 지점은 5과, T-3 지점은 7과의 수서곤충이 출현하였는데 cyfluthrin 살포 지역에 비하여 종의 다양성과 출현종의 종류에 있어서 두 지역간의 차이가 많았다. 이는 수서곤충을 조사한 두 지역의 환경의 차이로, cyfluthrin 살포지역은 계곡으로 바닥이 바위나 큰 돌(C-1, C-2) 또는 작은 돌(C-3)로 이루어져 있는데 반하여, trichlorfon 살포지역은 작은 도랑이면서 바닥이 돌이 아닌 유기물과 진흙으로 이루어져 이에 따른 차이로 생각된다. 일반적으로 저질이 유기물이 많고 진흙으로 이루어지고, 여울이 없는 곳은 다양한 수서곤충의 군집을 이루는데 불리하다.(5)

농약살포로 인하여 수서곤충이 표류된 양상을 보면 cyfluthrin 지역에서 표류된 양은 지점간에 차이가 있지만 세 지점 모두 농약 살포전에 비하여 살포 후 1시간 동안에 약 38-73배 증가하였으나 시간이 경과하면서 점차 감소하여 살포후 24시간 후에는 대조군 수준 이하로 떨어짐을 알 수 있었다.

즉 cyfluthrin은 살포 즉시 수중의 cyfluthrin 농도가 증가하여 그곳에 서식하고 있는 수서곤충에 영향을 주어 표류되었고 시간이 지나감에 따라 물속의 농약

농도도 감소되고, 개체수도 감소되었기때문에 표류되는 양이 감소하고, 24시간 후에는 물속의 cyfluthrin도 검출되지 않았고, 표류되는 수서곤충도 대조군 이하로 나타났다.(Fig.4)

반면에 trichlorfon이 살포된 지역은 농약살포 전에 비하여 농약살포 1시간후에 표류된 생물량이 약 3-10 배 증가하였으나, 점차 시간이 경과하면서 감소되나 살포후 4시간후인 4차 시기에는 다시 증가하다고 살포후 24시간후에는 cyfluthrin과 마찬가지로 농약살포 이전의 수준으로 떨어졌다. 4차시기에 표류된 수서생물량이 증가한 것은 물속의 trichlorfon분석치 (Fig. 4)에서 보이듯이 trichlorfon은 수서곤충상에 다소 영향을 주는 것으로 생각된다. 그러나 두 조사지역의 서식환경의 차이, 이에 따른 출현종의 차이와 농약살포 전후에 약 28mm의 강우때문에, 수서곤충의 표류는 Kingsbury등(31)이 지적했듯이 농약과 강우에 의한 영향이 중복되어 나타나므로 그 영향을 비교하기 위해서는 수서곤충상이 풍부하고, 종구성이 다양한 model stream에서의 실험이 필요하였다.

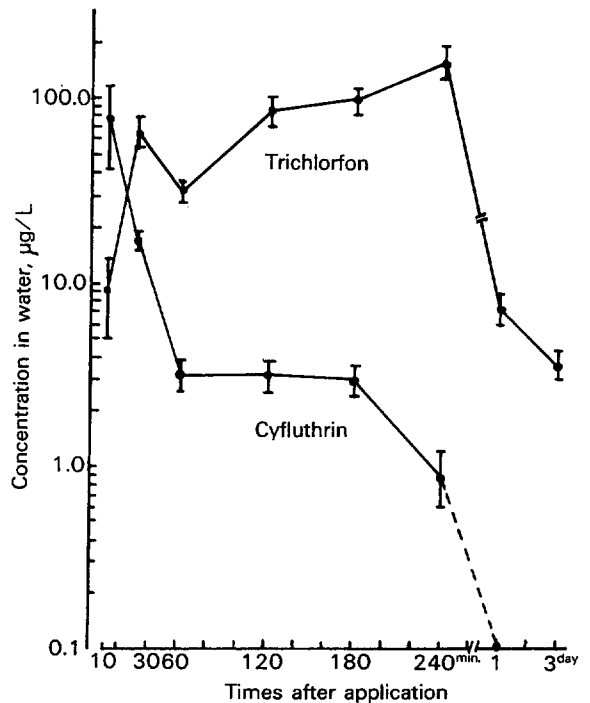


Fig. 4. Time-course disappearance of cyfluthrin and trichlorfon in water after the second aerial application.



(3) 어류

어류에 대한 농약살포의 영향은 송사리 치어를 노출상자에 넣어 실험한 결과 cyfluthrin 및 trichlorfon 지역 모두 치사어를 발견하지 못하였다. Cyfluthrin의 어독성은 잉어(*Cyprinus carpio*)의 경우 0.01mg/L(48 hr)이하이고(11), 잉어와 송사리의 감수성은 유사하므로(32), 수중의 cyfluthrin의 농도(Fig. 4)가 살포직 후에 78µg/L으로 급성독성값보다 높아 치사가 예상되나, 4시간 후에는 1µg/L, 24시간후에는 검출한계 이하로 떨어져 실제로 고농도에 노출되는 시간이 짧기때문에 치사되지 않은 것으로 생각된다. 일반적으로 pyrethroid계통 농약은 어류에 대한 독성이 매우 강하다고 알려져 있으나(33) 실제로는 치사와 같은 직접적 영향은 미치지 않는 것 같았고, 단지 어류의 먹이가 되는 수서곤충의 표류량이 증가하므로써 수서생태계의 구조훼손, 어류의 먹이 섭취량의 감소등 간접적 영향은 있을 것으로 예상된다. 실제로 permethrin을 살포에 살포한 경우도 어류에 대한 치사는 없다고 알려져 있다.(4,5)

Trichlorfon은 어독성이 낮은 농약으로 널리 알려져 있고(6,27,30) 송사리에 대한 급성독성값이 70mg/L(96hr)이므로 수중의 농도(Fig. 4)와 비교해 볼 때 항공살포된 trichlorfon은 수중에 서식하고 있는 어류에 직접 영향을 주지 않는 것으로 판단되고, 간접적 영향은 model stream에서의 실험결과에 따라서 평가될 것이다. 일반적으로 항공살포된 trichlorfon은 그곳에 서식하고 있는 어류에 대해서는 영향이 별로 없다고 알려져 있다.(6,27)

2. 수서곤충에 대한 야외 모의실험

야외실험을 실시한 소하천에서 kick sampling과 drift net에 의해 채집된 수서곤충은 cyfluthrin 살포 시에는 5목 9과 10속이, trichlorfon 살포시에는 2목 6과 7속이 채집되었다.

Cyfluthrin은 농약 살포전에 drift net에 잡힌 수서곤충의 수가 0.05-0.11마리/m<sup>3</sup> 인데 비하여, 농약처리 후 1시간동안 잡힌 수서곤충의 수는 99-133마리/m<sup>3</sup> 로 약1200-2000배 증가하였으나, 시간이 경과함에 따라 표류량이 감소하였고, 농약살포후 24시간후에는 농약처리전의 수준이하로 떨어졌다.(Fig. 5)

그러나 대조군(C-1)의 경우는 kick sampling에 의한 수서곤충의 현존량이 처리군(C-2, C-3)의 68-108마리에 비하여 173마리로 많았음에도 불구하고 실험

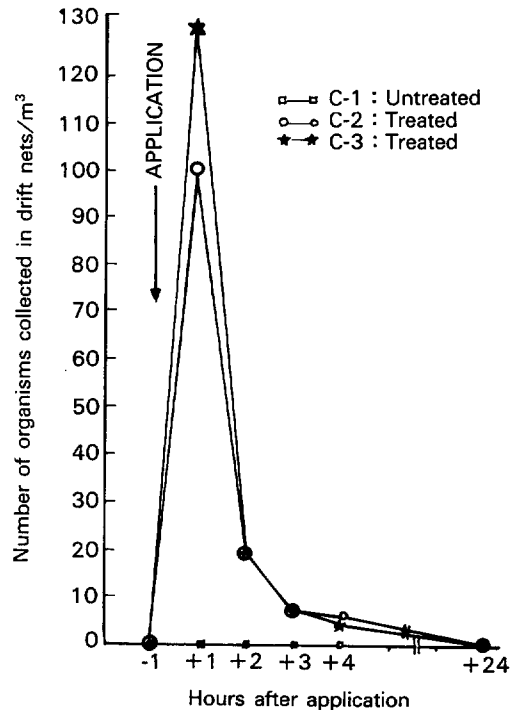


Fig. 5. Total number of aquatic organisms collected in drift nets placed at the model stream following treatment with cyfluthrin.

기간 동안 표류되는 수서곤충의 수에 별 변화가 없었다.

Cyfluthrin의 수서곤충에 대한 영향에 대해서는 현재까지 연구결과가 없기때문에 동일계통의 농약인 permethrin을 항공살포했을때 수서곤충에 미치는 영향을 보면, 농약살포후 1-3시간 이내에 수서곤충의 표류량이 급격히 증가하여 살포전에 비하여 약 1100배 증가한다고 하며 36-48시간 후에는 거의 표류되지 않는다고 보고하였다(5,25). 따라서 cyfluthrin도 permethrin과 유사한 정도로 수서곤충에 대한 영향이 클 것으로 판단되며, 앞에서 항공살포시 계곡에 서식하고 있는 수서곤충에 대한 영향도 이런 결과로 설명할 수 있다.

Trichlorfon을 살포한 조사지점(T-1, T-2, T-3)의 수서곤충의 현존량은 kick sampling에 의하면 74-246마리로 cyfluthrin지역과 비교해 보아도 별 차이가 없음을 알 수 있었다. 그런데 trichlorfon의 수서곤충에 대한 영향은 농약살포전 1시간 동안 표류된 수가 0.

11-0.31마리/m<sup>3</sup>인데 비하여 농약살포후 1시간 동안 표류된 수가 0.20-0.37마리/m<sup>3</sup>로 1.2-2배 증가하였으나 2시간후에는 농약처리전 수준 또는 그 이하로 떨어졌고 농약을 처리하지 않은 T-1 지점은 실험기간 동안 표류되는 수서곤충의 수에 별 변화가 없었다. (Fig. 6)

Trichlorfon의 수서곤충에 대한 영향에 대해 Woodward와 Mauck(34)는 *Pteronarcella badia*에 대한 급성독성이 9.8ppb로, 만일 물속의 trichlorfon농도가 15 mg/L 정도면 영향을 줄 것이라고 하였으며, Haugen(35)과 Flavell 등(27)은 trichlorfon을 항공살포 했을 때 하루살이 및 강도래목 약충의 표류량이 증가하였다고 보고한 바 있으나, Judd등(36)은 수서곤충에 대한 영향은 없다고 하였다.

따라서 본 실험결과와 기존의 결과를 종합하면, trichlorfon은 수서곤충에 대한 영향은 짧은 기간 동안 일부 민감한 종에 대해서만 피해를 줄 것으로 판단된다. 그러므로 cyfluthrin과 trichlorfon이 수서곤충의 표류에 미치는 영향은 cyfluthrin의 경우가 trichlorfon보다 훨씬 크다고 할 수 있다.

그리고 농약에 대한 수서곤충의 목별감수성을 보면, cyfluthrin을 살포한 지점에서는 하루살이목 약충이 가장 민감하여 농약살포전에 0.02마리/m<sup>3</sup>인데 비하여 농약살포후 표류된 수가 112마리/m<sup>3</sup>로 5600배

증가하였고, 대조군과 비교해 보아도 대조군은 표류된 것이 없는데 비하여 처리군은 112마리/m<sup>3</sup> 표류되었으므로 하루살이목 약충이 cyfluthrin에 대해 가장 민감하였다. 파리목 유충은 농약살포전과 대조군에서 표류된 개체수가 0-0.06마리/m<sup>3</sup>인데 비하여 처리후에는 2.55마리/m<sup>3</sup>로 증가한 후 그 이후부터는 점차 감소하므로 파리목 유충도 cyfluthrin에 의하여 많은 영향을 받으나 전체수(kick sampling)에 비하면 상대적으로 표류된 개체수가 적으므로 하루살이목 약충과는 달리 파리목 유충은 cyfluthrin에 의해 일부만 영향을 받은 것으로 생각된다. 딱정벌레목은 kick sampling에서는 출현하지 않았으나 농약살포후 1시간 동안 급격히 증가(1.53마리/m<sup>3</sup>)한 후 점차 감소하여 24시간후에는 대조군의 수준으로 떨어졌다. 따라서 딱정벌레목도 cyfluthrin에 대해 상당히 예민한 종이라고 생각된다. 그 외에 잠자리목 약충과 민물새우는 군집 자체가 풍부하지 않았기때문에 농약살포 전후에 따라 표류된 개체수에 차이가 크게 나타나지 않았다.

Trichlorfon을 살포한 지점에서는 하루살이목 약충이 농약 살포전에 표류된 개체수가 0.02마리/m<sup>3</sup>이고, 대조군에서는 나타나지 않은데 비하여 농약 처리후에는 0.05마리/m<sup>3</sup>로 약 2배 증가하였고, 그 후에도 계속 소량이나마 표류되고 있는 것으로 보아 trichlorfon 살포가 하루살이목 약충 표류를 증가시켰다고 할 수 있으나 이 약충의 전체 개체수(kick sampling 결과)를 고려하면 그 영향은 크지 않았다. 또한 파리목 유충의 표류량은 농약살포 전·후에 비슷하였으나, 농약살포 후에 대조군과 처리군을 비교해 보면 약 4배 증가하였고, 딱정벌레목, 잠자리목, 민물새우등에는 영향을 주지 않았다.

그런데 농약살포에 의해 표류되는 수서곤충은 하루살이목과 강도래목의 약충과 날도래목 유충이 가장 좋은 지표종이라 알려져 있지만(31,37), 본 실험에서는 강도래목 약충과 날도래목 유충이 분포하지 않았기때문에 확인하지 못하였다. 실제로 permethrin을 항공살포했을때 하루살이목, 강도래목의 약충, 딱정벌레목, 파리목 유충 등의 표류가 크게 증가하며(5,25), trichlorfon을 살포했을 때는 파리목의 Chironomidae나 강도래목과 하루살이목의 약충, 날도래목 유충의 표류가 증가한다고 알려져 있어(6,19,26), 본 실험의 결과와 일치하였다.

따라서 농약의 수서곤충에 대한 영향을 평가하기

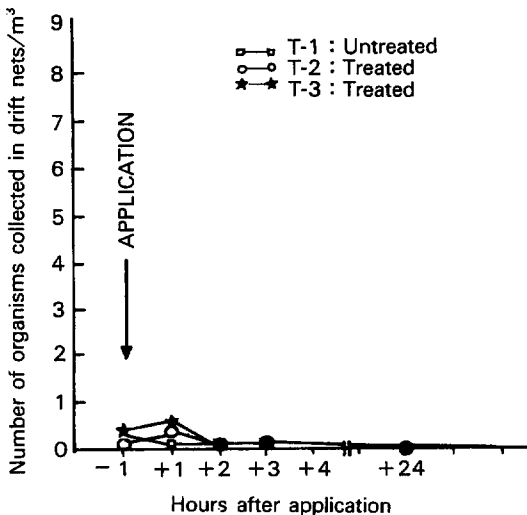


Fig. 6. Total number of aquatic organisms collected in drift nets placed at the model stream following treatment with trichlorfon.

위한 지표종으로는 하루살이목 약충이 가장 예민하고, 그 외에 딱정벌레목과 파리목 유충도 유용하다고 판단된다.

## 요 약

본 연구는 삼림환경내에 살포된 살충제 cyfluthrin 과 trichlorfon의 물에서의 잔류 및 동태와 수서생물에 미치는 영향을 비교, 분석하기 위하여 수행하였다. 농약은 오리나무 잎벌레(*Agelastica coerulea* B.)를 구제하기 위하여 2회 항공살포 (살포량 : cyfluthrin 25g ai/ha, trichlorfon 536g ai/ha)하였으며, 아울러 수서곤충에 대한 영향을 비교하기 위하여 야외 소하천에서 모의실험을 실시한 바, 그 결과는 다음과 같다.

물에서 cyfluthrin은 살포직후에는 0.62 $\mu$ g/L (1차) 78 $\mu$ g/L(2차)이나 토양, 저질등에 흡착되어 1차 살포의 경우는 1일후에 검출되지 않았고, 2차 살포의 경우에는 4시간 이후에 1 $\mu$ g/L 이하로 떨어져 급격히 소실됨을 알 수 있었다. Trichlorfon은 강우에 의한 영향을 크게 받아 농약 살포후 22일까지 농도의 증감이 계속되었다.

수서생물에 대한 영향을 보면, cyfluthrin은 어류와 동물성 플랑크톤에 대한 영향은 없었으나, 수서곤충에 대해서는 38-73배(항공살포), 1200-2000배(모의실험)의 표류량이 관찰되었다. Trichlorfon은 어류에 대한 영향은 없었으나, 동물성 플랑크톤 중 Copepoda와 Cladocera에 대한 영향이 관찰되었으나 수서곤충에 대해서는 큰 영향이 없었다. 수서곤충의 목별 감수성은 cyfluthrin의 경우 하루살이목, 딱정벌레목, 파리목의 순서로 감수성이 낮고, trichlorfon은 파리목이 비교적 민감하였다.

## 참 고 문 헌

- Norris, L.A. and Freed, V.H. (1966) : The absorption and translocation of several phenoxyalkyl acid herbicides in bigleaf maple. *Weed Res.* 6,203-211.
- Norris, L.A.(1971) : The behavior of chemicals in the forest In : *Pesticides, pest control and safety on forest range lands.* 1971 Proceedings short course for pesticide applicators. A continuing education book, pp. 90-106.
- Kingsbury, P.D. and McLeod, B.B.(1979) : *Terrestrial impact studies in forest ecosystems treated with double applications of permethrin*, Forest Pest Management Institute, Canadian Forest Service FPM-X-28.
- Kingsbury, P.D. and Kreutzweiser, D.P.(1979) : *Impact of double application of permethrin on forest streams and ponds.* Forest Pest Management Institute, Canadian Forestry Service, Report FRM-X-27.
- Kingsbury, P.D. and Kreutzweiser, D.P.(1980) : *Environmental impact assessment of a semi-operational permethrin application.* Forest Pest Management Institute, Canadian Forestry Service, Report FPM-X-30.
- USDA.(1974) : *Final environmental statement, Cooperative gypsy moth suppression and regulatory program*, 1974 activities, Forest Service, Animal and Plant Health Inspection Service, pp. 87-90.
- USDA.(1981) : *Proposed cooperative 5-year Maine spruce budworm management program.* Draft programmatic environmental impact statement. USDA-FS-NA-81-01.
- 정상배, 고제호.(1985) : 저독성 약제를 이용한 미국 흰불나방의 항공방제효과, 한국환경농학회지, 4,108-113.
- 정상배, 신상철 (1986) : 잣나무 넓적잎벌의 방제에 관한 연구(화학적 방제), 임업시험장연구보고 No.33 : 126-131.
- 이성규, 김용화, 노정구.(1986) : 오리나무 잎벌레 (*Agelastica coerulea* B.), 방제용 살충제 Trichlorfon(Dipterex)의 환경동태, 한국환경농학회지 51, 19-129.
- Hammann, I. and Fuchs, R.(1981) : Baythroid, a new insecticide. *Planzenschutz-Nachrichten, Bayer*, 34,121-151.
- 농촌진흥청.(1985) : 1985년도 농약품목고시 시험보고서.
- Kozlovskaya, V.I. and Flerov, B.A.(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.
14. Pieper, G.R. and Richmond, C.E.(1976) : Residues of trichlorfon and lauroyl trichlorfon in Douglas-fir, willow, grass, aspen foliage, and in creek water after aerial application. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 15,250-256.
  15. Eschenroeder, A., Bonazountas, M. and Thomas, R. (1983) : Models for pesticide behavior in terrestrial environments. *Residue Rev.* 85, 245-255.
  16. Kovacs, M.F., Jr.(1983) : EPA guidelines on environmental fate. *Residue Rev.* 85,3-16.
  17. Sundaram, K.M.S. and Sundaram, A.(1987) : Influence of formulation on spray deposit patterns, dislodgeable and penetrated residues and persistence characteristics of fenitrothion in conifer needles. *Pestic. Sci.* 18,259-271.
  18. 바이엘 농약사업부, 농작물의 건강장애-원색 병충해 도설 및 바이엘 농약 사용법.
  19. Devince, J.M. and Willcox, H.H., III.(1972) : Persistence of Dylox residues in a forest and lake environment. In : *Environmental impact and efficacy of Dylox used for gypsy moth control in New York State*, AFRT Research Report No. 10, State University College of Forestry, Syracuse, New York. pp. 21-36.
  20. 고래대학교.(1987) : Key to the Aquatic Insects of Korea, 고려대학교, 서울.
  21. Macan, T.T.(1970) : *A Guide to Freshwater Invertebrate Animals*, Longman, London.
  22. 川合 順次(1985) : 日本産水生昆虫検索図説, 東海大學出版會.
  23. Markin, G.P., Brewer, J.W. and Batzer, H.O.(1978) : *Field life of Orthene,® Sevin®-4-oil and Dylox® I. 5 bioassay with Douglas-fir Tussock moth larvae*. USDA FS Research Note, PNW-313.
  24. Leahey, J.P.(1985) : Metabolism and environmental degradation In : *The pyrethroid insecticides* (Leahey, J.P.ed.). Taylor & Francis, London and Philadelphia. pp. 263-342.
  25. Kreuzweiser, D.P.(1982) : *The effects of permethrin on the invertebrate fauna of a Quebec forest*. Forest Pest Management Institute, Canadian Forestry Service, Report FPM-X-50.
  26. Ghassemi, M., Fargo, L., Painter, P., Quinlivan, S., Scofield, R. and Takata, A.(1981) : *Environmental fates and impacts of major forest use pesticides*. U.S. EPA, Office of Pesticides and Toxic Substances.
  27. Flavell, T.H., Tunnock, S. and Meyer, H.E.(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 Management Report No. 77-16.
  28. 신천철, 이성규, 노정구.(1986) : 농약의 급성독성 평가를 위한 담수생물의 감수성 비교연구. 한국환경농학회지 5,130-134.
  29. Grahl, K., Horn, H. and Hallebach, R.(1981) : Zur Beeinflussung von Planktonpopulationen durch Butonat, Trichlorfon und dichlorvos, *Acta. Hydrochim. Hydrobiol.* 9,147-161.
  30. Chemagro Co.(1971) : *Synopsis of the effects of Dylox on the environment*. Chemagro Corp., Res. and Development Dept. Kansas City, MO.
  31. Kingsbury, P.D., Holmes S.B. and Millikin, R.L. (1980) : *Environmental effects of a double application of azamethiophos on selected terrestrial and aquatic organisms* : Forest Pest Management Institute, Canadian Forestry Service, Report FPM-X-33.
  32. 山本出, 深見順一(1979) : 農薬-デザインと開發指針ソフトサインス社, 東京
  33. Hill, I.R.(1985) : Effects on non-target organisms in terrestrial and aquatic, environments. In : *The pyrethroid insecticides*(Leahey J.P. ed.) Taylor & Francis, London and Philadelphia. pp. 151-262.
  34. Woodward, D.F. and Mauck, W.L.(1980) : Toxicity of five forest insecticides to cutthroat trout and two species of aquatic invertebrates. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 25,846-853.
  35. Haugen, G.N.(1971) : U.S. Forest Service, Region I, Missoula, Montana.
  36. Judd, J.H., Coffey T.G. and Willcox H.H. 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*, AFRI Research Paper No. 10 State University College

of Forestry, Syracuse, New York. pp. 59-77.  
37. Coutant, C.C. (1964) : Insecticide Sevin : Effects

of aerial spraying on drift of stream insects. *Science*, 146,420-421.