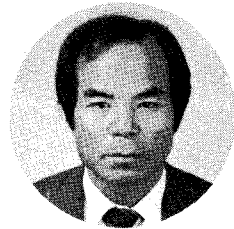
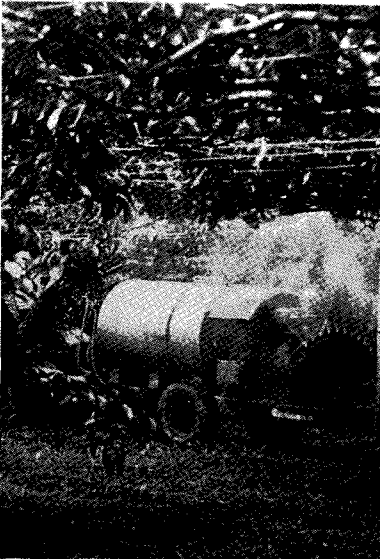


“이번호부터는 농약이 수계(水系)로 이동되는 경로와 하천수중 농약의 잔류실태, 농약이 수생생물에 미치는 영향, 생물농축, 수질중 잔류농약의 분해·소실 및 수질중 잔류농약의 경감대책에 관하여 알아본다”

수질중의 농약잔류 ①



농약연구소 농업연구관  
농학박사 이 해 근

살포한 농약이 병해충과 잡초방제라는 그 본래의 목적을 달성한 후 자연환경이나 우리 인간에게 전혀 무해한 물질로 분해되어 버린다면 가장 이상적일 것이나, 현재의 방제기술로는 부득이 사용한 농약의 일부는 하천이나 호수, 바다와 같은 물속으로 유입(流入)되어 수질오염의 원인이 되기도 하며 나아가서 수생생물에 뜻하지 않은 피해를 주어 사회적 물의를 일으킬 수도 있다.

그러므로 이들 잔류농약으로 인한 수질오염이나 수산동식물에 대한 피해를 미연에 방지하기 위해서는 농약의 사용법에 대한 관리·감독을 철저히 하는 것도 중요하지만 이에 못지않게 농약 자체의 특성을 잘 이해하고 수질이 농약으로 오염되는 경위와 오염실태 파악 및 오염기작을 체계적으로 조사·연구하고 나아가서 어독성의 본질을 파악하는 것은 매우 중요한 의미를 갖는다 하겠다.

따라서 이번호 부터는 농약이 수계(水系)로 이동되는 경위와 하천수중 농약의 잔류실태, 농약이 수생생물에 미치는 영향, 생물농축, 수질중 잔류농약의 분해·소실 및 수질중 잔류농약의 경감대책 등에 대해 알아보기로 한다.

## 수계로 이동되는 경로

농경지에 살포한 농약이 수계로 이동되는 경로로는 논에 살포한 농약이 관개수와 함께 하천이나 호수 및 바다로 유입되는 경우가 가장 많으며 과수원이나 밭 또는 산림에 살포하였던 농약이 폭우로 인하여 농경지 토양의 유실과 함께 부근의 하천이나 저수지 또는 양어장에 유입되기도 한다. 또한 저이토의 혼탁이나 대기중에 분진으로 떠 있던 잔류농약이 빗물과 함께 수계로 이동되기도 하며 농약생산 공장의 산업폐수 속에 잔존하는 농약도 수계로 이동된다. 또한 농약의 무절제한 사용이나 농약용기의 세척 또는 폐기 등으로 잔류농약이 수계로 이행되기도 한다.

그러므로 일단 사용한 농약은 완전히 분해되어 버리지 않는 한 그 일부는 수계로 들어가게 마련이다.

## 수용성 클수록 이동율 높아

농경지에 살포한 농약이 수계로 이동되는 정도는 농약의 종류, 사용량, 이화학적 특성, 지형, 토성, 기상조건 등에 따라 매우 상이한데 보통은 물에 대한 용해도(수용성)가 높은 농약일수록 수계로의 이동율은 높다.

우리나라에서는 살포농약의 수계로의 이동율을 조사한 연구결과는 아직 보고된 바 없는 것으로 알고 있으나

이웃 일본의 경우를 보면 논토양에 살포된 제초제인 thiobencarb(벤치오)는 살포량의 1.6~2.3%, chlome-thoxynil(그로트)은 0.4%, simetryn은 21.7%, molinate는 3~4%가 수계로 이동되는데, 수용성이 높을수록 이동율은 높은 경향이였다.

Wauchope(1978)에 의하면 밭토양으로 부터 농약이 수계(水系)로 이동되는 것은 주로 폭우에 의한 것으로 대부분 농약사용량의 0.5%를 초과하는 경우는 극히 드물며, 이동은 주로 사용후 1~2주내에 일어난다고 하였다. 그런데 표토(表土)에 처리한 제초제의 이동율이 5%에 이르는 경우도 있다고 하였다.

### 수질중 농약의 잔류실태

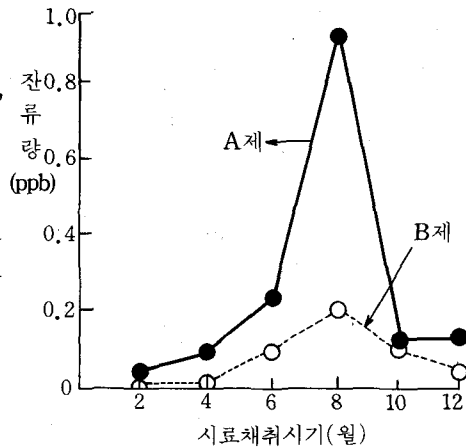
하천수가 잔류농약으로 오염되는 정도는 농약의 종류와 이화학적 특성, 사용량, 사용시기 등과 밀접한 관계가 있는데, 우리나라에서는 주로 여름철에 농약을 많이 사용하므로 이 계절에 하천 수중의 잔류농약이 가장 높은 검출빈도와 잔류수준을 보여줄 것으로 예상된다.

#### 가. 하천수질중 농약잔류실태

우리나라에서는 하천수에 대한 농약잔류량 조사를 시도한 경우는 매우

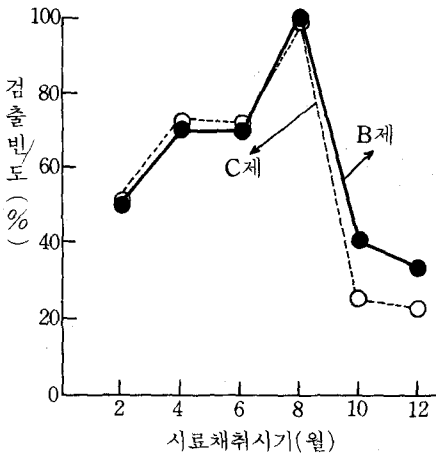
드문데, 1982년 모 학회에서 낙동강에 대한 농약의 잔류실태를 조사한 바 있으나 전국 규모로 조사를 시도한 예는 드물다. 1978년도에 농업기술연구소에서 5대 강에 대한 농약잔류실태조사를 실시한 바 있으며 최근(1982)에는 농약연구소에서 5대강에 대해 조사를 실시한 바 있다.

그림 1과 2는 필자 등이 1983년에 농약연구소에서 조사한 하천수질중 농약잔류량을 조사하기 위하여 철새도래지를 포함한 농약오염 우려하천 12개소를 선정, 하천별로 동일지점에서 2개월 간격으로 시료를 채취 조사·분석한 결과를 계절별로 표시한 것이다.



〈그림 1〉 계절별 수질중 농약잔류량의 변화(1983, 이등)

현재 수도용 약제로 많이 사용되고 있는 A제, B제 등 살균제의 잔류수준은 8월에 가장 높았으며 그림에는 표시하지 않았으나 살충제인 C제와 D제도 같은 경향이였다. 또한 검출빈도도 조사대상 모두 8월에 가장 높은 경향이였다.



〈그림 2〉 계절별 수질중 농약 검출빈도의 변화(1983, 이등)

당시의 조사결과를 요약해보면 살균제로는 A제와 B제, 살충제로는 C제와 D제의 검출빈도가 다소 높았으나 그들의 잔류수준은 매우 낮아서 조사최대치의 경우에도 잉어반수치사농도의 1/900~1/11만에 불과한 매우 낮은 수준이었다. 그런데 이 수준은 미국 연방수질오염통제국에서 적용하는 안전계수 100을 적용(수질중 잔류농약의 안전한 수준은 TLM 값의 1/100 이하로 보는 견해) 하여도 매우 안전한 수준이다.

한편 일본의 하천수질중 농약잔류량을 조사한 결과도 우리의 조사치와 거의 비슷한 경향이였다(표1).

하천수에 일단 유입된 잔류농약은 농약성분의 용해도에 따라 다르지만, 수용액상태, 현탁물질 그리고 저이토 사이에 일정한 분배가 일어난다. 그리하여 농약의 용해도는 하천수질에서의 잔류정도를 좌우하는 중요한 요

〈표 1〉 일본의 하천수질중 농약잔류량

(1986, Toxicology forum, 일본)

농 약	채취장소	채취년도	검출량(ppb)
다 수 진	大 淀 川	1975~1976	0.14~0.88
	白 川	1976	0.1~2.9
메 프	馬場目川	1975	<0.1~28
	筑後川	1980~1981	불검출~2.4
비 피	筑後川	1980~1981	불검출~0.66
아 이 비	白 川	1976	<0.1~0.3
총 BHC	遠賀川	1970~1974	0.4~12

인이 된다. 예컨대 물에 대한 용해도가 매우 낮은 DDT의 경우 하천 근처의 농경지에 사용하였음에도 불구하고 하천수에서는 매우 낮은 수준으로 검출되고 오히려 저이토에서는 보다 높은 수준으로 검출되었다는 보고가 있다.

나. 강하구 海水중 농약잔류량

바닷물 중의 잔류농약에 관한 조사 연구는 하구(河口)를 제외하고는 매우 제한되어 있다.

강물은 잔류농약을 바다로 운반하게 되므로 하천수가 만일 농약으로 오염된다고 하면 하구에는 높은 수준으로 잔류농약이 축적될 것으로 생각되지만 실제로는 매우 낮은 수준으로 잔류하고 있음을 알 수 있다. (표 2 참조)

<표 2>는 한국과학기술원(KAIST, 1982)이 우리나라 강하구 해수(海水) 중 유기염소계 살충제들의 잔류량을 조사한 결과인데 그들의 잔류수준은 매우 낮아 잉어반수치사농도의 1/200 ~ 1/15,000에 불과하였다. 그러므로

<표 2> 강하구 海水중 유기염소계 살충제의 잔류량 (1980, KAIST)

조사농약	BHC	Heptachlor	Aldrin	Endrin	PCBs	
TLM값(ppm, A)	0.5	0.3	0.08	0.008	0.12	
잔류량 (ppb)	평균(B)	0.16	<0.02	<0.02	<0.04	<0.1
	금강	0.10	"	"	"	"
	형산강	0.57	"	"	"	"
	낙동강	0.10	"	"	"	"
	섬진강	0.08	"	"	"	"
	영산강	0.05	"	"	"	"
한강	0.05	"	"	"	"	
대어 (B/A)	1/3,000	1/15,000	1/4,000	1/200	1/1,200	

강물이 바닷물 오염의 주원인이 되리라고는 생각되지 않으며, 오히려 대기중에 떠있던 농약성분이 빗물이나 먼지와 함께 바닷물에 떨어지는 것으로 생각하고 있다. Goldberg등(1971)은 세계에서 생산된 DDT를 모두 지

구상의 바다에 투입하여 골고루 섞었을 때의 농도는  $10^{-3}$  ppb(1 ppt)가 될 것으로 추정·계산하였으나 실제로는 이보다 훨씬 낮을 것으로 생각되고 있다. 이와같은 이유 때문에 바닷물의 농약오염 판정은 생선이나 프랑크

톤 및 수산 무척추동물에 대한 잔류량 조사결과에 의존하고 있다. 즉 바닷물 자체의 농약잔류량은 채택한 분석방법의 최소검출한계치 이하가 될 것이기 때문에 조사가 시도된 예는 거의 없다.

여기서 환경오염물질의 농도를 측정하는데 자주 사용되는 ppb(10억분의 1) 단위에 대한 개념을 보다 현실적이고 실제적인 예를 들어 그 의미를 설명해 보면 1ppb는 인간의 전생애를 70년으로 볼때 그중 2.2초의 시간에 해당하며, 유럽 벨기에의 브뤼셀에서 뉴질랜드의 오크랜드까지 여행하는 거리중 1인치(2.54cm)에 해당한다. 또한 1천만분의 1 상풍구입에 1센트를 할인할때에 해당하는 값으로 비교되고 전체 세계인구 50억중 5명에 해당되는 수이며 올림픽 규모 크기의 수영장에 1그램의 소금을 골고루 녹였을 때의 농도에 해당되는 지극히 낮은 수준이다.

### 수질중 잔류농약이 수생생물에 미치는 영향

환경을 구성하고 있는 물이 잔류농약으로 오염되면 정도의 차이는 있으나 자연히 그속에 서식하고 있는 수생생물에 어떠한 영향을 끼칠 가능성은 있다.

농약이 수생생물에 미치는 악영향

은 2가지 관점에서 다루어지고 있는데 그 하나는 수권생태계(水圈生態系)에 영향을 주어 생태계의 균형을 파괴하고 바람직하지 못한 부작용을 초래할 것으로 보는 환경보존의 측면이다. 다른 하나는 농약이 경제적으로 중요한 위치를 차지하고 있는 여러가지 물고기, 조개류, 해조류 등을 죽이거나 오염시켜 손해를 끼치지 않을까 걱정하는 수산 양식의 측면이다. 따라서 농약의 관리·규제면에서는 어독성이란 이름으로 그 문제를 다루고 있으며 우리나라에서는 농약관리법에 수질오염성 농약으로 정의하고 이에 해당하는 농약은 수도용으로는 일체 사용을 금지시키고 있다.

특히 우리나라에서는 전체 농약사용량의 절반 가량이 수도용으로 사용되고 있으므로 이들 수도용 농약은 관개수, 하천수, 호수와 직결되는 경우가 많으므로 어류에 대한 독성은 매우 중요하게 여겨지고 있다.

가. 어독성의 평가 및 독성구분

수생생물에 직접 또는 간접적으로 피해를 주는 물질은 어독성이 있다고 말한다. 어독성은 일반적으로 급성독성인 반수치사농도(TLm값)를 그 지표로 사용하고 있다.

농약에 의한 어류의 독성반응은 어종(魚種), 생육상태, 환경조건 등에

따라 상이하게 나타나나 일반적으로 잉어를 공시어로 사용하는 것이 국제적인 통례로 되어 있다. 따라서 어독성 시험은 크기가 5cm 정도 자란 일정한 수의 잉어를 시험하려는 농약이 들어있는 물에서 48시간 노출시켰을 때의 반수치사농도를 조사하여 결정하게 된다.

현재 우리나라에서도 잉어를 공시어로 하여 위와같이 시험한 결과로 어독성을 평가하고 있으나 최근에는 여러 종류의 어종을 공시어로 하고 노출시간도 24, 48, 72, 96시간 등으로 변화시켜 시험을 실시하고 그 결과에 따라 어독성을 평가해야 한다는 주장이 대두되고 있다.

여기서 우리나라의 농약관리법에 명시한 수질오염성 농약의 정의를 보면, 수도용 농약으로서 48시간내의 잉어반수치사농도(TLm값)가 0.1 ppm(유효성분 농도를 말한다) 이하인 농약. 다만, 10a당 농약의 사용량이 유효성분으로 0.1kg을 초과하는 것은 반수치사농도 ppm값을 10a당 사용량에 대한 유효성분으로 나눈 값이 1이하인 것으로 한다고 정의하고 있는데 상기 2가지 조건중에 어느 한가지만 적용되어도 수도용으로는 일체 사용을 금지하고 있으며, 신규 개발 농약의 경우 이에 해당시 품목 고시에서 제외된다.

이웃 일본에서도 어독성이 강한 농

약은 수질오탁성 농약으로 지정하여 엄격히 통제하고 있는데 이의 정의는 우리와 같으나 실제 적용시는 어독성에 의한 농약의 분류를 A, B, C 3등급으로 나누고 있는데 분류의 기준은 담수어인 잉어와 갑각류인 물벼룩을 지표생물로 하여 <표3>에서와 같이 분류하고 있다.

<표3> 어독성 정도에 따른 농약의 분류 (일본)

등급	반수치사농도(ppm)	
	잉어	물벼룩
A	>10 그리고	>0.5
B	0.5~10 혹은	<0.5
C	<0.5	

여기서 A류는 어독성이 매우 낮아 통상 사용시 문제가 없는 농약인데, 잉어에 대한 TLm값이 10ppm 이상이고 물벼룩에 대한 TLm값이 0.5 ppm 이상인 농약이 여기에 해당되고, B류는 잉어에 대한 TLm 값이 0.5~10ppm 범위이거나 혹은 물벼룩에 TLm값이 0.5ppm 이하인 농약으로서 일시에 광범위하게 사용시 주의를 요하는 농약은 여기에 속한다. C류는 물벼룩에 대한 TLm 값에 관계없이 잉어에 대한 TLm 값이 0.5 ppm 이하인 농약으로서 하천, 호수, 해역, 양식장에 유입이 우려되는 지역에서는 사용이 금지되는 농약인데,

이는 소량의 농약이 수질을 오염시켜도 수생생물에 큰 피해를 줄 가능성이 있는 약제로서 항공방제용으로 사용이 금지될 뿐아니라 신개발 약제인 경우 수도용으로는 사용이 허용되지 않는 약제들이다. 그러므로 이들 약제의 사용시에는 수질오염에 따른 피해를 미연에 방지하기 위한 안전사용 지침이 반드시 설정되어야 한다. 우리나라에서 수도용으로 사용되는 약제를 이 규정에 따라 분류하면 chlorpyrifos(그로포)와 carbofuran(카보)은 C류에 속하므로 이들 약제의 취급 및 사용시에는 특별한 주의가 요망된다.

한편 미국의 경우는 농약에 대한 독성반응이 매우 민감한 새우를 지표생물로 하여 농약의 어독성을 3群(A, B 및 기타)으로 분류하고 있는데 연방수질오염통제국(FWPCA, 1968)에 의하면 A群은 5ppb 이하의 농도에서도 강한 급성독성을 보이는 농약으로서 대부분의 유기염소계 살충제들과 chlorpyrifos, fenthion, coumaqhos, parathion 등 일부 유기인계 살충제들이 여기에 속하는데, 새우에 대한 TLm값(48시간)의 1/100이 합리적인 적용인자로 가정하고서 이들 농약의 환경잔류수준이 0.05ppb 초과하면 안된다고 권고하고 있다.

B群은 새우에 대한 TLm 값이

0.005~1.0ppm 범위인 농약으로서 1/100의 적용인자(안전계수 100)를 감안하더라도 환경잔류수준은 10ppb 이하인데 이에 해당하는 농약은 유기비소계, 식물성농약, 카바마이트제, 2,4-D, triazine계 제초제 및 요소계 화합물들이다.

기타 群으로 분류되는 농약은 위에서 언급한 농약 이외의 화합물로서 사용후 잔류농약이 수권생태계에 도달하지 않거나, 등록된 라벨에 따라 사용하게 되면 수생생물에 독성을 발휘할 수 있는 수준으로 잔류되지 않을 것으로 생각되는 농약들이 여기에 포함된다.

농약이 환경오염과 관련하여 논의되기 시작한 것은 BHC, DDT 등 유기염소계 살충제에서 비롯된 잔류독성으로서 사용된 농약성분이 자연환경 중에 오랜기간 동안 잔류하면서 생물농축현상을 초래한데서부터 시작되었다. 그런데 농약의 어독성이 문제가 된 것은 이들 유기염소계 살충제가 세계적으로 문제되어 사용이 금지되고 그 대체약으로 많이 사용하게 된 유기인제나 카바마이트제이다. 이들은 자연환경 중에서 잔류기간이 매우 짧고 인축에 대한 독성이 낮은 것이 많음에도 불구하고 그중의 일부가 어패류에 영향을 주고 있다는 보고도 있다. <다음호에 계속>