

농약의 토양 표면유출에 관한 연구-I 포장에서 자연강우에 의한 Captafol의 유출특성

김 균* · 김용화 · 김정한 · 박창규¹

한국화학연구소 안전성센터 환경독성연구팀, ¹서울대학교 농업생명과학대학 농화학과

초록 : 농약의 토양 표면유출에 관한 연구의 일차단계로 사과 과수원에서 자연강우를 이용한 captafol의 토양 표면 유출 실험을 수행하였다. Captafol의 유출농도는 약제를 살포한 직후 강우가 있었던 5차시기에 가장 높은 180 ppb의 수준을 보였으며, 그 이외의 시기에는 대부분 20 ppb 이하였고, 전체 유출된 양은 처리한 유효성분량에 대하여 0.1% 이하 수준이었다. 지천과 합류되는 지점에서 captafol의 회석배율은 과수원의 배출구와 바로 인접한 지천에서는 약 10배, 좀 더 이동되어 큰 지천과 합류되는 지점에서는 약 50배의 수준이었다. 따라서 captafol이 유출로 인하여 인접 하천으로 유입되는 경우는 회석요인(약 10~50배로 회석)과 빠른 가수분해성을 고려할 때 환경생물에 대한 급성적인 독성은 문제가 되지 않을 것으로 판단되었다.(1996년 9월 17일 접수, 1996년 10월 5일 수리)

서 론

식량증산을 위해 사용되는 농약은 대상이 제한된 의약품이나 일반 화학물과는 달리 직접 생태계에 처리되는데 살포된 농약중 1% 미만이 목표에 도달하고 99% 이상이 비표적 환경에 유입된다.¹⁾ 대표적인 예로 토양을 보면 작물에의 살포 때와 같은 간접적 유입도 있지만 토양처리의 경우는 농약이 직접 토양에 투입되며 일단 토양에 도달한 농약의 운명은 미생물에 의해 분해되거나, 흡착, 증발, 표면 광분해 등으로 대사, 소실되며, 또한 강우에 의해 유출되어 지표수에 도달하거나 용탈에 의해 지하수로 침투한다. 이러한 여러 현상중 토양에서의 유출은 하천에 도달하면서 회석이 되기는 하나 다량의 농약이 수계로 이동하는 경우가 있기 때문에 일시적으로 "최대 오염 수준(MCLs)"을 초과하는 농도에 도달할 수 있는 가능성이 있고 따라서 수생생태계 및 지표수를 이용하는 인간에게 급,만성독성적 영향을 끼칠 수 있어 오랫동안 연구의 대상이 되어 왔다.^{2,3)}

1970년대부터 활발하게 수행된 유출에 관한 연구는 자연강우를 이용하여 경작토양과 비경작토양에서 실시하였으며, 유출에 영향을 미치는 가장 중요한 인자는 약제 살포 후의 강우 시기 및 강우량이며, 대부분의 실험결과 유출율은 살포된 양의 5% 이하의 수준이라고 보고하였다.⁴⁻²⁰⁾ 또한 Rhode 등²¹⁾은 제제형태에 따른 유출농도의 차이를 연구하였고, 1990년대에 들어서 Mayer 등²²⁾은 유출농약의 생태학적인 영향을 규명하고자 하였다. Yamaguchi 등²³⁾은 하천에서 약 30개의 농약 성분이 유출됨을 확인하였으며, 유출율은 처리한 양의 0.26%에서 최고 12% 수준까지 된다고 보고하였고, Sudo 등²⁴⁾은 골프장에서의 농약의 유출특성에 대하여 연구를 수행하는등 다양한 접근방법이 이루어지고 있

는데 최근에 들어서는 단순히 농약의 유출농도를 확인하는데 그치지 않고 유출농약의 농도가 환경생물 등에 급,만성 독성적 영향을 미칠 것인가를 확인하는 위해성 평가의 개념을 도입하여 연구를 수행하고 있다.²⁵⁻³⁰⁾

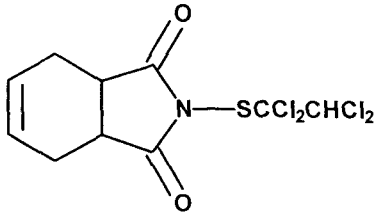
하지만 국내에서는 환경에 대한 관심과 연구가 활발한데도 아직도 농약의 유출에 관한 연구사례가 거의 없어 본 연구에서는 농약의 유출연구에 관한 기법 확립의 1차단계로 포장에서 농약의 유출특성을 연구하고 환경생물 자원에 대한 영향평가를 시도하였다. 실험대상 농약인 captafol (Fig. 1)은 1961년 Chevron Chemical Co.에서 주로 과일 및 채소의 살균제로 개발되어 우리나라에서는 사과, 배, 포도, 복숭아, 오이, 고추의 탄저병 약으로 사용되어 왔으며, 1993년에는 380톤에 가까운 양이 생산, 출하되어³¹⁾ 국내에서 많이 사용되었던 살균제의 하나이다. 그러나 captafol은 설치류(rat와 mouse)를 이용한 동물실험에서 잠재적 발암성이 있는 것으로 판명되었으며,³²⁾ 또한 안전성 종합평가 결과 한국인 총 식이 섭취 위험도가 2×10^{-5} 정도로서 "무시할 수 있는 위험기준"인 1×10^{-6} 을 크게 초과하여 captafol 수화제를 포함한 captafol 성분 함유 8품목이 지난 93년 4월에 품목폐지되어 국내에서는 현재 생산, 판매 및 사용이 금지된 상태이다.³³⁾ 그러나 이 농약은 어독성이 비교적 강한 농약으로 알려져 있어(96시간 LC_{50} 은 무지개 송어 0.5, bluegill sunfish 0.15, killifish 0.021 mg/L)^{32,34)} 강우에 의한 수생 생태계로의 유출연구는 매우 중요한 의미를 갖고 있다.

재료 및 방법

재료 및 시약

Captafol 표준품은 미국 EPA에서 분양받아 사용하였으

찾는말 : 표면유출, captafol, 회석배율, 유출농도, 급성독성, 가수분해, 환경생물
*연락처



Captafol: (cis-N-[(1,1,2,2-tetrachloroethyl)thio]-4-cyclohexene-1,2-dicarboximide, MW 349.05)

Fig. 1. Chemical structure of captafol.

며, 순도는 98%였으며, 포장에 처리한 약제는 수화제로 유효성분량은 80%였고, 물 20 L당 25 g의 비율로 희석하여 처리하였다. 추출, 분석 등에 사용한 methylene chloride, ethylacetate, toluene, sodium sulfate 등은 GR급을 사용하였다.

기기 및 조건

시료의 분석은 ECD가 장착된 Varian model 3700 게스 크로마토그래프로 수행하였고 DB-1(0.25 mm id×30 m) column을 사용하였다. Oven 온도는 200°C, injector는 280°C, detector는 300°C였고 carrier gas로 N₂는 60 ml/min.를, split ratio는 1 : 9로 하였다.

실험장소

충북 영동지역의 사과 과수원으로 규모는 약 99,000 m²였으며, 과수원 지역의 토양특성을 조사하기 위해 5군데 토양을 채취하여 물리화학적 성질을 조사하였다.

Captafol 약제는 과수원에서 통상 사용하는 수준과 빈도로 처리하였고 과수원의 지형조사 결과 과수원에서 유출되는 물은 과수원의 중앙부에 위치한 배수관을 거쳐서 1개의 배수구를 통하여 배출되며 바로 과수원 주위를 흐르는 소하천에 합류되어 강의 하류로 이동되어 유출시료의 채취등 유출연구에 적합한 구조였다(Fig. 2).

실험방법

약제처리

Captafol 약제의 처리는 실험기간중 2회(1차; 1991 6. 24~6. 25, 2차; 8. 6~8. 7)에 걸쳐 speed sprayer를 이용하여 사과나무 앞에 직접 살포하였고, 처리량은 유효성분량으로 1회당 30~32 kg을 처리하였다.

유출시료의 채취

유출수의 채취는 실험지역에 자연강우가 있는 시점에 수행하였으며, 총 6회에 걸쳐서 시료를 채취하였다(Table 1). 채취방법은 배출구를 통하여 물이 유출되는 시점부터 유출수가 나오지 않을 때까지 1시간 간격으로 4 L 용량의 갈색 병에 채취하였고, 시간당 배출되는 물의 양을 계산하기 위하여 flow meter(UC-3 Digital current meter, TAMAYA,

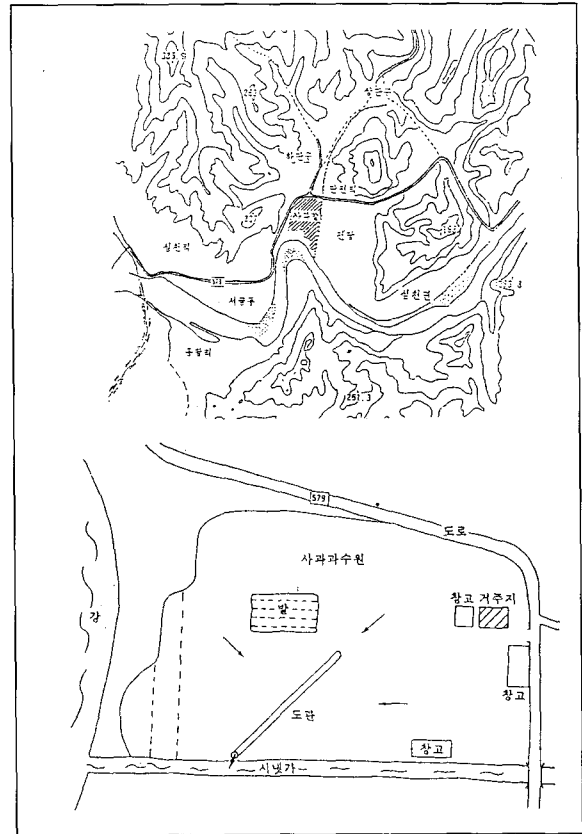


Fig. 2. Detailed map of the experimental site.

Table 1. Sampling date, number and rainfall intensity.

	Sampling Date	Sample number	Rainfall (mm)
*1st	1991. 7. 7.	1~ 4	46.0
2nd	1991. 7. 9.	5~11	41.2
3rd	1991. 7. 11.	12~20	58.3
4th	1991. 7. 15.	21~30	24.4
**5th	1991. 8. 9.	31~40	30.6
6th	1991. 8. 23.	41~43	38.5

*1st application date of captafol : 1991. 6. 24.~25. **2nd application date of captafol : 1991. 8. 6.~7.

Japan)를 사용하여 유속을 측정하였다. 유속의 측정은 시료를 채취할 때마다 측정하였고, 총 1시간에 4회 측정 후 1시간 동안의 평균 유출량을 계산하였다. 배출되는 물의 양이 적어서 flow meter를 사용하지 못한 경우에는 1 L 용량의 mess cylinder를 사용하여 유속을 측정하였다.

유출수가 하천과 합류에 의한 희석효과를 보기 위해 4차 시료 채취시에는 배출구에서 나오는 유출수와 과수원 주위를 흐르는 하천과 합류된 곳의 상류와 하류 두 지점에서 3회에 걸쳐 시료를 채취하였다.

유출 시료의 분석

1차 약제 처리 후 채취한 1, 2, 3, 4차 유출시료는 실험실로 옮겨 냉장고에서 0~4°C로 보관하면서 채취 후 1~3일 이내에 추출하였고, 2차 약제 처리 후 채취한 5, 6차 시료의 경우는 시료 채취장소에서 바로 추출하여 가수분해 반감기

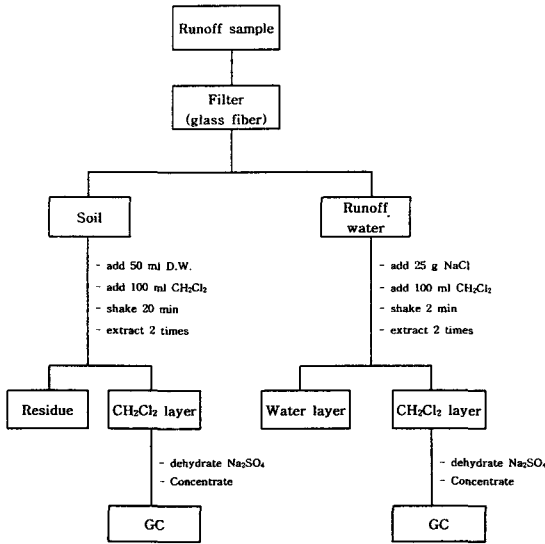


Fig. 3. Extraction procedure of captafol from the runoff sample.

가 짧은³²⁾ captafol의 시료보관 중 가수분해의 가능성을 배제하였다.

유출시료 중의 captafol은 김 등의 방법³⁶⁾을 참고로 하여 추출, 분석하였고, 추출과정(Fig. 3)은 먼저 유출시료를 1 L 취해 glass fiber filter (Gelman Sci. Inc., type A/E)로 유출수와 유출토양을 분리하였다. 여과한 유출수는 2 L 용량의 분액깔때기에 옮긴 후, methylene chloride 100 ml로 2번 진탕추출하여 추출액을 합쳤다. 여과한 유출토양은 glass fiber filter와 함께 잘게 잘라서 250 ml 용량의 삼각플라스크에 넣고 methylene chloride 100 ml과 증류수 50 ml로 2번 추출한 후 추출액을 모았다.

상기의 추출액들은 무수황산나트륨으로 탈수하고 감압농축하여 최종부피를 1 ml로 맞춘 후 1 u를 취해 GC로 분석하였다.

결과 및 고찰

농약에 대한 유출실험연구는 국내에서는 거의 수행되어 있지 않은 상태로 본 연구에서는 김 등의 유출실험 연구방법³⁶⁾ 일본에서 수행한 “*담 流域 開發에 따른 水道水原의 保 全에 관한 調査研究*” 報告書³⁷⁾를 참고로 하여 실험을 수행하였다.

실험지역의 토양은 주로 양토와 사양토였으며 유기물함량은 2.9% 수준이었다(Table 2).

1차 채취한 시료는 약제 처리 후 12일째에 수행하였으며, 이 때의 강우량은 약 46 mm로 비교적 많은 양이었으나 과수원 토양이 매우 건조한 상태였으므로 유출되는 물의 양이 적어 채취한 시료는 4점이었다. 1차 시료에 있어서 captafol의 유출 최고농도는 10 ppb였으며, 유출된 총량은 679 mg으로 과수원에 살포한 captafol 유효성분량 30 kg에 대하여 0.003% 수준이었다. 2차 시료(7점)채취는 1차 시료 채취 후 2일 제인데 이 때의 강우량은 1차시기와 유사한 41

Table 2. Physicochemical properties of soils from experimental location

Soil Texture	Clay (%)	Silt (%)	Sand (%)	pH	O.M. (%)	CEC (meq./100 g)
1 Sandy loam	12	35	53	6.7	3.1	11.5
2 Loam	13	61	26	6.5	2.9	9.0
3 Loam	12	36	52	6.8	2.9	9.5
4 Loam	12	44	44	7.1	2.7	11.0
5 Sandy loam	11	35	54	6.8	3.0	11.7
				6.8	2.9	10.5

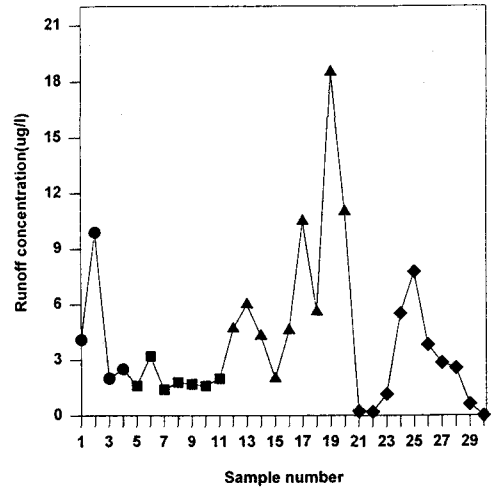


Fig. 4. Concentrations of captafol in runoff sample after first treatment (1st samples : 1~4 sample number, 2nd samples : 5~11 sample number, 3rd samples : 12~20 sample number, 4th samples : 21~30 sample number).

mm였으며 유출 최고농도는 2 ppb 수준이었고 유출된 총량도 161 mg으로 1차시기에 비하여 유출되는 captafol의 양이 현저하게 감소(약 1/5 수준)하였다.

3차 시료 (9점) 채취는 약제 처리 후 16일 경과 후 수행하였으며 강우량은 실험기간 중 가장 많은 58 mm의 비가 내려 유출 최고농도는 19 ppb 정도로 비교적 높았다. 이 때 유출된 captafol의 총량은 2.43 g 이상으로 0.008% 수준의 유출율을 보였다. 4차 시료 (10점)는 약제 처리 20일 후인데 이 때 강우량은 24 mm였으며, 유출 최고농도는 7.8 ppb 수준이고 유출된 captafol의 총량은 789 mg으로 살포한 양의 0.003%가 유출되었다.

1차 약제를 처리 후 1차에서 4차시기까지의 결과 중 유출 최고농도는 3차시기의 19 ppb였으며, 총 양은 4.1 g으로 전체 처리량의 0.014%가 유출되었다 (Fig. 4).

유출수가 하천과 합류에 의한 희석효과를 보기 위해 4차 시료 채취시에는 배출구에서 나오는 유출수와 과수원 주위를 흐르는 하천과 합류된 곳의 상류와 하류 두 지점에서 시료를 채취하여 분석을 수행하였다(Table 3). 합류지점 1(Fig. 2A)에서의 농도는 과수원에서 유출되는 농도의 약 1/10 수준이었으며, 합류지점 2(Fig. 2B)에서의 농도는 합류지점 1의 농도보다 1/4 수준으로 떨어져 약 50배 이상으

Table 3. Concentrations of captafol in the creek water

Sample No.	Concentration (ppb)		
	Outlet	Point 1 ^{a)}	Point 2 ^{b)}
1	0.22	ND*	ND
2	6.65	0.43	0.11
3	3.33	0.19	ND

^{a)}located at 5 m away from outlet of runoff water ^{b)}located at 30 m away from outlet of runoff water *ND<0.1 ppb

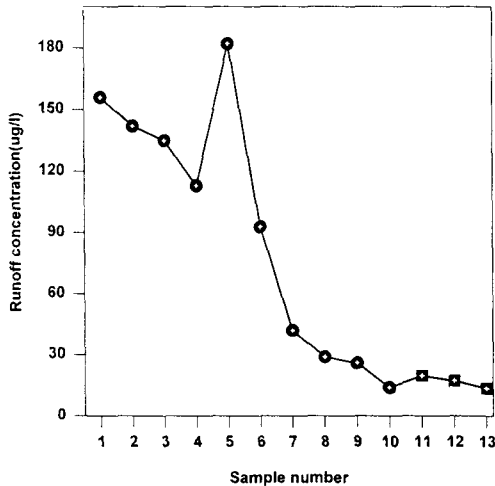


Fig. 5. Concentrations of captafol in runoff sample after second treatment (5th samples : 1~10 sample number, 6th samples : 11~13 sample number).

로 희석된 후 하류로 이동되었다.

2차 약제 처리 직후인 1일 경과 후 5차 시료 (10점)를 채취하였는데 이 때 강우량은 31 mm였고 유출 최고농도는 180 ppb 수준으로 1차 약제를 처리한 후 채취한 4차례의 결과보다 약 10배 이상 높은 수준이었다. 이와 같은 결과는 captafol 약제를 살포하고 시간이 많이 경과 하지 않아 식물에 부착상태가 완전하지 않은 시점에 강우량은 많지 않았으나 초기에 집중적으로 비가 내려 사과나무 잎이나 토양에 남아있는 약제가 쉽게 유실되었고 시료의 추출을 채취 지역에서 바로 수행하였으므로 가수분해에 의한 영향이 최소화되었기 때문인 것으로 판단된다. 이 때 유출된 captafol의 총량은 약 15 g 정도로 처리한 약제에 대하여 0.1% 수준이었다(Fig. 5).

2차 약제 처리 후의 유출농도에 비하여 1차 약제처리시 유출농도가 낮은 가장 큰 이유로는 약제 살포 후 강우의 시점이 12일 경과 후이므로 유출농도가 높지 않았으며, 두 번째 요인으로는 시료 채취후 2~3일 경과한 시점에서 분석을 수행한 관계로 가수분해에 의한 영향이 있었던 것으로 추측된다.

6차 시료(3점) 채취 시기는 2차 약제를 처리한 후 15일 경과 후 수행하였으며 강우량은 39 mm였고 유출 최고농도는 20 ppb 수준으로 5차시기 보다 약 1/10 농도로 감소하였다.

전체적 분석과정 중 유출토양에서는 몇 개 시료를 제외

하고는 대부분 검출되지 않아 유출수와의 구별을 크게 고려하지 않았다.

결론

Captafol의 유출농도는 약제살포 후 바로 강우가 있었던 5차시기에 가장 높은 180 ppb의 수준인 경우를 제외하면 대부분이 20 ppb 이하의 수준을 보였다. 농약의 유출율은 많은 연구자들이 각기 다른 화합물을 대상으로 실험한 결과 0~12%로 매우 다양하다고 보고하였고, 일반적으로 포장에서 농약의 유출율은 5% 이하 수준이라고 하였다.^{6-10,12,13,16)} 이와 같은 결과와 비교해 보면 captafol의 유출율 0.1%는 이들의 결과와 큰 차이가 없는 것으로 판단되었으나 유출농도와 마찬가지로 유출율도 단일요인에 의하여 영향을 받는 것이 아니라 약제살포 후의 강우시기, 강우의 세기, 강우 지속기간과 강우량, 토양의 구조와 유기물 함량, 토양표면의 상태, 강우 이전의 토양수분 함량, 경사도의 길이와 경사도 등 다양한 환경적인 요인과 대상 약제의 수용성, 흡착양상, 극성과 이온성 행동지속성, 제제형태 등 많은 요인들에 의해 영향을 받기 때문에 직접적인 비교는 어려운 문제라 사료된다. 그러므로 야외실험을 통한 유출율과 유출농도에 대한 연구는 실제 상황을 판단하고 문제점을 도출하는 가장 근본적인 중요성을 갖고 있으나 각각의 농약에 대한 유출율과 유출농도 등을 농약의 물리화학적 특성과 비교, 그 유출특성을 신뢰성있게 예측하기 위해서는 우선적으로 환경조건에 대한 조절이 선행되어야 할 것으로 판단되었다. 따라서 조절가능한 조건인 인공강우를 사용한 표준모의시험을 설계, 수행하였으며 그 결과를 곧 보고할 예정이다.

유출수 중 captafol의 환경 위해성 평가의 기본접근으로 captafol의 유출농도가 환경생물 중 어류에 미치는 급성독성적 영향을 고려해 보았다. 본 강우조건에서는 전체적인 유출수준이 문제가 없으며 약제를 처리한 직후의 강우에 의한 유출 최고농도 180 ppb를 어류 급성독성치(96시간 LC₅₀)와 비교해 볼 때 rainbow trout(500 ppb) 및 goldfish(3 ppm)³⁴⁾에 대해서는 급성독성적인 영향이 없을 것으로 사료되나, bluegill(150 ppb), killifish(25 ppb)³⁴⁾는 유출수의 배출구에서 직접 captafol에 노출된다면 위해 영향이 있을 것으로 여겨진다. 그러나 본 연구의 실험지역에서만 captafol이 유출된다고 가정한다면 captafol은 가수분해가 매우 빠르고, 또한 본 실험에서 나타난 바와 같이 환경생물이 서식하는 인접 하천으로 유입되는 경우의 희석효과(약 10~50배)를 고려할 때 환경생물에 대한 급성적인 독성은 별 문제가 되지 않을 것으로 여겨진다.

참고 문헌

1. 이성규 (1994. 7.8) 농약정보. pp. 32-39.
2. Wauchope, R. D. (1978) The pesticide content of surface water draining from agricultural fields-a review. *J. Environ. Qual.* **7**, 459-472.
3. Holden, L. R., J. A. Graham, R. W. Whitmore, W. J. Alex-

- ander, R. W. Pratt, S. K. Liddle, and L. L. Piper (1992) Results of the national alachlor well water survey. *Environ. Sci. Technol.* **26**(5), 935-943.
4. Thurman, E. M., D. A. Goolsby, M. T. Meyer, and D. W. Kolpin (1991) Herbicides in surface waters of the midwestern United States. The effect of spring flush. *Environ. Sci. Technol.* **25**(10), 1794-1796.
 5. Pionke, H. B. and G. Chesters (1973) Pesticide-sediment-water interactions. *J. Environ. Qual.* **2**, 29-45.
 6. Triplett, G. B., Jr., B. J. Conner, and W. M. Edwards (1978) Transport of atrazine and simazine in runoff from conventional and no-tillage corn. *J. Environ. Qual.* **7**, 77-84.
 7. Leonard, R. A., G. W. Langdale, and W. G. Fleming (1979) Herbicide runoff from upland piedmont watersheds-data and implications for modeling pesticide transport. *J. Environ. Qual.* **8**, 223-229.
 8. Baker, J. L., and H. P. Johnson (1979) The effect of tillage systems on pesticides in runoff from small watersheds. *Trans. ASAE* **22**, 554-559.
 9. Wheeler, W. B., R. S. Mansell, D. V. Calvert, and E. H. Stewart (1978) Movement of 2,4-D in drainage waters from a citrus grove in a Florida USA flatwood soil. *Proc. Soil Crop Sci. Soc. Fla.* **37**, 180.
 10. Wu, T. L. (1980) Dissipation of the herbicides atrazine and alachlor in a Maryland USA corn (*Zea mays*) field. *J. Environ. Qual.* **9**(3), 459-465.
 11. Johnsen, T. N., Jr. (1980) Picloram in water and soil from a semiarid pinyon-juniper watershed. *J. Environ. Qual.* **9**, 601-605.
 12. Edwards, W. M., C. G. Triplett, Jr., and R. M. Kramer (1980) A watershed study of glyphosate transport in runoff. *J. Environ. Qual.* **9**, 661-665.
 13. Rhode, W. A., L. E. Asmussen, E. W. Hauser, R. D. Wauchope, and H. D. Allison (1980) Trifluralin movement in runoff from a small agricultural watershed. *J. Environ. Qual.* **9**, 37-42.
 14. Carrol, B. R., G. H. Willis, and J. B. Graves (1981) Permethrin concentration on cotton plants, persistence in soil, and loss in runoff. *J. Environ. Qual.* **10**, 497-500.
 15. McDowell, L. L., G. H. Willis, C. E. Murphree, L. M. Southwick, and S. Smith (1981) Toxaphene and sediment yields in runoff from a Mississippi USA delta watershed. *J. Environ. Qual.* **10**, 120-125.
 16. Nicholaichuk, W., and R. Grover (1983) Loss of fall applied 2,4-D in spring runoff from a small agricultural watershed. *J. Environ. Qual.* **12**, 412-414.
 17. Willis, G. H., L. L. McDowell, C. E. Murphree, L. M. Southwick, and M. Smith (1983) Pesticide concentrations and yields in runoff from silty soils in the lower Mississippi Valley, USA. *J. Agric. Food Chem.* **31**(6), 1171-1177.
 18. Smith, S., T. E. Reagan, J. L. Flynn, and G. H. Willis (1983) Azinphos-methyl and fenvalerate runoff loss from a sugarcane *saccharum-officinarum* and insect integrated pest management system. *J. Environ. Qual.* **12**, 534-537.
 19. Hall, J. K., N. L. Hartwig, and L. D. Hoffman (1984) Cyanazine losses in runoff from no-tillage corn in "living" and dead mulches vs. unmulched conventional tillage (herbicide, *Zea mays*). *J. Environ. Qual.* **13**, 105-110.
 20. Mayeux, H. S., Jr., C. W. Richardson, C. W. Bovey, R. W. Burnett, and E. Merkle (1984) Dissipation of picloram in storm runoff. *J. Environ. Qual.* **13**, 44-49.
 21. Rohde, W. A., L. A. Asmussen, E. W. Hauser, and A. W. Johnson (1979) Concentrations of ethoprop in the soil and runoff water of a small agricultural watershed. USDA-SEA Agric. Res. Results ARR-S-2. U.S. Gov. Print. Office, Washington, D.C.
 22. Mayer, J. R., and N. R. Elkins (1990) Potential for agricultural pesticide runoff to a Puget Sound estuary: Padilla Bay, Washington. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* **45**, 215-222.
 23. Yamaguchi, Y., M. Fukushima, and T. Fujita (1992) Distribution and seasonal variation of pesticide residues in Yodo river basin, Japan. *Wat. Sci. Tech.* **25**(11), 61-68.
 24. Sudo, M., and T. Kunimatsu (1992) Characteristics of pesticides runoff from golf link. *Wat. Sci. Tech.* **25**(11), 85-92.
 25. Isensee, A. R., and A. M. Sadeghi (1993) Impact of tillage practice on runoff and pesticide transport. *J. Soil Water Conserv.* **48**(6), 523-527.
 26. Marsh, J. M. (1993) Assessment of nonpoint source pollution in stormwater runoff in Louisville (Jefferson County), Kentucky, USA. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* **25**, 446-455.
 27. Schreiber, J. D., S. Smith, and R. F. Cullum (1993) Pesticides and nutrients in southern U.S. shallow groundwater and surface runoff. *Wat. Sci. Tech.* **28**(3), 583-588.
 28. Stamer, J. K., R. B. Swanson, and P. R. Jordan (1994) Atrazine in spring runoff as related to environmental setting in Nebraska, 1992. *Water Resour. Bull.* **30**(5), 823-831.
 29. Spalding, R. F., D. D. Snow, and D. A. Cassada (1994) Study of pesticide occurrence in two closely spaced lakes in northeastern Nebraska. *J. Environ. Qual.* **23**, 571-578.
 30. Williams, R. J., D. N. Brooke, and P. Matthiessen (1995) Pesticide transport to surface waters within an agricultural catchment. *J. IWEM*, **9**, 72-81.
 31. 농약공업협회 (1994) 농약연보
 32. 노정구 외 15인 (1992) Captafol의 안전성 시험. 한국화학연구소 연구보고서.
 33. 농림수산부 (1993. 4. 3.) 농림수산부 고시 제 1993-11호
 34. Tomlin, C. (Ed.) (1994) *The Pesticide Manual* (10th Ed.), British Crop Protection Council, Suffolk, U.K.
 35. 김용화 외 8인 (1991) 농약이 자연생태계 미치는 영향 조사 연구(I). 한국화학연구소 연구보고서.
 36. 김용화 외 6인 (1992) 농약이 자연생태계에 미치는 영향조사 연구(II). 한국화학연구소 연구보고서.
 37. Anonymous (1989) 奥野ダム 流域 開發による水道水原の保全に關する 調査研究報告書, システム 科學 研究所, 奥野ダム 水道水原水質保全研究會.

Study on Pesticide Runoff from Soil Surface-I, Runoff of Captafol by Natural Rainfall in Field

Kyun Kim*, Yong-Hwa Kim, Jeong-Han Kim and Chang-Kyu Park¹ (*Toxicology Research Center, Korea Research Institute of Chemical Technology, ¹Department of Agricultural Chemistry, College of Agriculture and Life Science, Seoul National University*)

Abstract : As a first step of pesticide runoff studies, runoff losses of captafol were measured under natural rainfall conditions in apple orchard area. The maximum concentration of captafol was 180 ppb at 5 th sampling period when the rainfall occurred within 24 hours after captafol was applied, and the concentration of samples from other periods was below than 20 ppb. Total runoff loss of captafol was below 0.1%. About 10 fold of dilution factor was observed at the merging point with stream near outlet from orchard and about 50 fold was observed at the next merging point which is located further down. Therefore, captafol will not harm the aquatic organisms due to dilution factor(10~50 fold) and rapid hydrolytic degradation rate even when it was run off into a stream nearby.

*Corresponding Author