

## 제초제 Mefenacet의 토양 중 분해에 미치는 토양유기물과 토양수분에 의한 영향

김성민\* · 조일규 · 경기성<sup>1</sup> · 이재구<sup>2</sup>

크롭사이언스 코리아(주) 기술연구소, <sup>1</sup>농업과학기술원 농약안전성과, <sup>2</sup>충북대학교 농과대학 농화학과

**요약** : 제초제 mefenacet의 토양 중 분해 특성을 알아 보고자 2종의 토양을 비살균 토양을 대조로 하여 몇가지 조건으로 전처리한 다음 120일 동안 항온배양하면서 그 잔류량을 분석한 결과 약제처리 후 70일 경과시 대조토양은 55~63%가 분해 소실되었으나 살균토양에서는 32~33%, 담수토양에서는 33~35%가 소실되어 mefenacet의 분해에 토양 미생물의 활성이 크게 영향을 끼치는 것으로 나타났다. 또한 mefenacet의 토양 중 분해에 미치는 수분함량의 영향을 조사한 결과 90일간 배양 시 그 반감기는 포장 용수량의 20%와 50%에 해당하는 7.8%, 19.5%의 수분이 첨가된 토양에서는 각각 83과 82일이었으며 80%인 31.2%의 수분이 첨가된 토양의 반감기가 61일로 단축되어 토양 수분 함량이 높을수록 mefenacet의 토양 중 분해 소실이 빠르게 일어남을 알 수 있었다. 결과적으로 mefenacet의 토양 중 분해 소실에는 토양 성분 중 유기물 함량과 토양 수분 함량이 중요한 인자로 작용하며 토양 미생물이 토양 성분과 더불어 mefenacet의 분해에 중요한 역할을 하고 있음을 시사하고 있다.(2003년 4월 7일 접수, 2003년 9월 22일 수리)

**Key words** : Mefenacet, persistence, water holding capacity, half life.

### 서론

농작물의 재배에 있어 병해충과 잡초를 방제하기 위해 사용되는 농약은 살포시 많은 양이 토양에 도달하게 되는데, 일단 토양에 노출된 농약성분은 일차적으로 토양유기물 혹은 점토광물에 흡착되어 토양의 다양한 물리화학적 성질과 미생물의 작용에 의해 분해 소실된다. 특히 토양 유기물은 농약성분의 토양흡착에 있어 가장 중요한 인자이며, 미생물의 활성에도 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다.

Wang(1999)은 4종의 acetanilide계 제초제의 토양흡착실험에서 토양유기물이 가장 중요한 요인이라고 보고한 바 있다.

Mefenacet은 oxyacetamide계 제초제로서 주로 논잡초 중 피를 포함한 화분과 잡초 방제용으로 국내에 소개되어 sulfonylurea계 제초제와 혼합제 형태로 오랫동안 사용되어 왔다. Nakamura등(1996)은 mefenacet의 토양흡착은 토양내 유기물 함량에 의해 좌우되어 유기물 함량이 높아질수록 약효는 감소하였다고 하였는

데, 결국 mefenacet의 토양 중 분해와 잔류는 토양 중 유기물과 밀접한 관련이 있음을 시사하고 있다. 또한 토양환경 중 농약의 분해는 토양유기물에 의한 화학적 분해와 함께 미생물에 대한 안정성에 의해 결정되며(Schoen, 1987) 그 분해 정도는 미생물의 종류에 따라 매우 상이하게 나타난다(MacRae, 1989; Sato, 1992; 한 등, 1996). 미생물에 의한 농약의 분해에 관여하는 요인은 토양 수분, 유기물 함량, 산도, 온도 그리고 광물조성 등이며 특히 토양 수분과 유기물의 함량이 중요한 요인으로 알려져 있다(Richardson과 Epstein, 1971; Green, 1974; Rijnaarts 등, 1990). 따라서 본 실험에서는 논 토양의 전처리 과정이 서로 상이한 조건하에서 mefenacet의 분해소실 경향을 알아보고 토양의 구성성분 중에서 토양 유기물, 토양 미생물의 활성 및 토양 수분함량이 mefenacet의 잔류에 미치는 영향을 알아보려고 하였다.

### 재료 및 방법

#### 시험약제

본 실험에 사용된 mefenacet은 Bayer Crop Science

\*연락처자

Table 1. Physico-chemical properties of the soils

Soil	pH (1:5,H <sub>2</sub> O)	Organic matter(%)	CEC (cmol <sup>+</sup> /kg)	Particle size distribution(%)			Texture
				Sand	Silt	Clay	
A	4.6	3.1	8.6	45.8	42.6	11.6	Loam
B	5.3	1.3	7.1	50.2	37.1	12.7	Loam

Co.로부터 분양받은 것이며 그 순도는 97.0%이었고 그 구조는 그림 1과 같다.

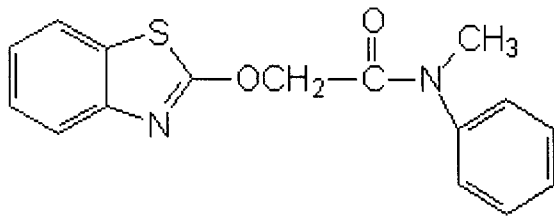


Fig. 1. Structural formula of mefenacet.

시험토양

본 실험에 사용된 토양은 충북 청주시 석판리와 복대동 소재 논토양을 채취하여 사용하였으며 그 이화학적 특성은 표 1에 나타내었으며 토양 A와 B의 포장용수량은 각각 39.0, 27.8%, 수분함량이 각각 8.45, 7.95%인 토양을 사용하였다.

토양의 조제 및 약제처리

토양의 물리화학적 특성에 따른 mefenacet의 분해 특성을 구명하기 위하여 토양 A와 B를 살균토양(SS), 비살균토양(NS) 그리고 담수토양(FS)으로 구분하여 조제하였다. 살균토양은 고압살균기를 이용하여 121 °C, 15 lb 압력에서 30분 동안 3회 연속하여 살균하고 음건한 후 수분함량을 측정하여 포장 용수량(토양 A, 39.0%, 토양 B, 27.8%)의 60% 수준인 23.4%, 16.7%로 수분을 조절하여 사용하였다(이와 김, 1998). 또한 담수토양은 유리시험관내 토양 표층에서 1.5 cm 높이로 증류수를 채워 담수상태를 유지하였다. 상기와 같은 전처리 과정을 거치지 않은 토양을 대조구로 하여 각각의 토양 50 g 에 토양수분은 증류수를 이용하여 포장 용수량의 60% 수준으로 조절한 다음 유리 시험관에 넣고 3일 동안 28°C의 항온기내에서 전배양(preincubation)한 후, mefenacet 표준용액(1,000 mg/l)으로 전체농도가 1 mg/kg 이 되도록 처리한 다음 28°C 항온기내에서 정지 배양하였으며 배양 중 증발에 의

해 소실된 수분은 5일 간격으로 살균증류수를 이용하여 보충하였다.

토양 중 mefenacet의 추출 및 분석

토양 중 mefenacet의 추출(농촌진흥청, 1992)은 먼저 acetone으로 진탕 추출한 다음 감압 농축하고 이를 500 mL의 분액여두로 옮겨 5% 식염수 200 mL와 dichloromethane 50 mL를 넣고 진탕하여 분배, 추출하였고 40°C에서 감압 농축하여 완전히 건조하였다. 이를 10 mL의 n-hexane으로 재 용해한 후 Florisil column chromatography로 정제하였다. 정제 방법은 Florisil(magnesium silicate, 60-120 mesh, Sigma Co.) 5 g을 n-hexane으로 충전한 유리 칼럼(11 mm ID x 400 mm L.)에 상기 농축 시료 중 5 mL를 가하고 5% acetone이 포함된 n-hexane용액 70 mL를 3 mL/min의 속도로 흘려서 버린 후 15% acetone이 포함된 n-hexane 용액 60 mL로 용출하여 40°C에서 감압 농축하였다. 농축잔사는 5 mL의 n-hexane으로 재 용해하여 GLC/NPD로 분석하였다(표 2).

Table 2. Conditions for the analysis of mefenacet remained in soils

Instrument	Gas chromatograph, HP-5890 SERIES II, Hewlett Packard, USA
Detector	Nitrogen phosphorus detector(NPD)
Column	3% OV-210 diatomite-packed glass column (2 mm ID x 6 ft L.)
Temperature	Oven : 250 °C Injector : 240 °C Detector : 260 °C
Gas flow rate	Carrier (N <sub>2</sub> ): 40 mL/min Air : 100 mL/min Hydrogen : 3.4 mL/min
Injection volume	2 µl

분석법의 회수율 검증

토양 A와 B 각각 50 g 을 300 mL 삼각 플라스크에 칭량한 후 mefenacet 표준용액(100 mg/l)으로 그

농도가 0.1, 1.0 mg/kg 이 되도록 각각 3반복으로 처리한 다음 3시간 동안 정치하여 유기용매를 날려 보내고 상기의 추출 및 분석조건에 따라 실험하여 분석법의 회수율을 구하였다.

**토양수분 함량에 따른 mefenacet의 잔류특성**

토양수분 함량에 따른 mefenacet의 잔류특성을 구명하고자 음건 토양(토양 A) 50 g 을 유리 시험관에 넣고 토양 수분함량을 포장 용수량의 20, 50 및 80%인 7.8, 19.5 및 31.2%가 되도록 증류수를 가한 후 3일 동안 28℃의 항온기내에서 전 배양한 후 mefenacet이 1 mg/kg이 되도록 각각 3반복으로 처리하고 3시간 동안 정치하여 유기용매를 날려 보내고 28℃ 항온기내에서 정치 배양하면서 처리 후 5시간(0일), 3, 7, 21, 45, 70 및 90일에 시료를 수거하여 상기의 방법으로 추출하고 표 2의 분석 조건으로 GLC/NPD를 이용하여 그 잔류량을 분석하였다. 매 시료 분석시 매 시료의 정밀한 잔류량 검정을 위한 표준 검량선을 작성하여 그 잔류량을 환산하였고 배양 중 증발로 인하여 소실될 수분은 5일 간격으로 증류수를 이용하여 보충하였다.

**결과 및 고찰**

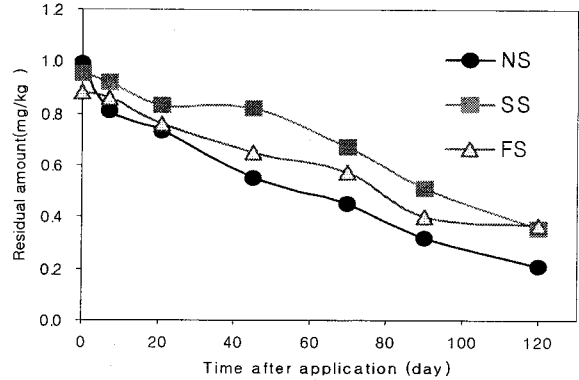
**토양 중 mefenacet의 회수율**

표 2에 제시한 GLC/NPD분석법에 의한 토양 중 mefenacet의 회수율은 토양 A와 B에서 각각 96.7과 97.4%로 양호하였고 최소 검출량은 0.2 ng 이었으며 검출한계는 0.02 mg/kg 이었다.

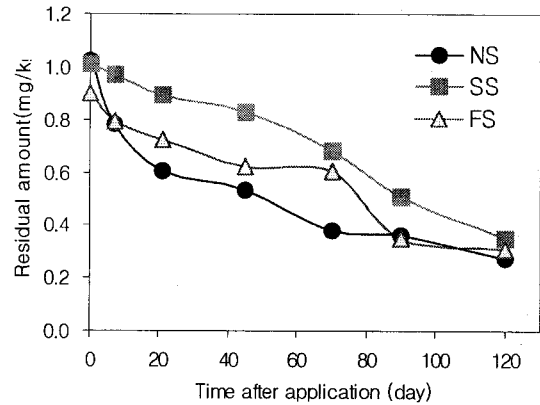
**조제토양 중 mefenacet의 잔류성**

토양 A와 B를 각각 살균처리, 비살균처리, 담수처리 후 이들 토양에 각각 mefenacet을 처리하고 120일 동안 항온 배양하면서 그 잔류정도를 비교한 결과는 그림 2와 3에 나타내었다. 토양 A와 B에서 mefenacet 처리 후 45일이 경과하였을 때 대조구인 비살균 토양에서 mefenacet은 각각 44%와 48%가 소실되었고 살균한 토양에서는 14와 18%가 소실되어 매우 낮은 분해·소실율을 나타내었다. 한편, 담수토양에서는 각각 26%와 31%의 분해 소실율을 나타내어 모든 처리구에서 대조구에 비해 현저히 낮은 분해·소실율을 나타내었다. 그리고 약제처리 후 70일이 경과하였을 때는

대조구의 토양 A와 B에서 각각 55%와 63%가 소실되었으나 살균토양 A와 B에서는 각각 32%와 33%, 그리고 담수토양에서는 각각 35%와 33%의 소실율을 보였다.



NS : nonsterilized soil, SS : sterilized soil, FS : flooded soil.  
Fig. 2. Dissipation curves of mefenacet from soil A.



NS : nonsterilized soil, SS : sterilized soil, FS : flooded soil.  
Fig. 3. Dissipation curves of mefenacet from soil B.

또한 각 토양의 분해·소실율을 근거로 하여 토양 중 반감기를 산출해 본 결과 표 3에서 보는 바와 같이 약제 처리 후 70일 경과 시 토양 A와 B에서 비살균토양(대조구)의 경우 토양 반감기가 각각 68일과 55일 이었는데 비해 살균토양에서는 151과 131일, 그리고 담수토양의 경우 각각 108일과 126일로 대조구와 큰 차이를 나타냈다. 그리고 토양 A와 B 간의 초기 분해 소실율의 차이는 토양 유기물의 함량 차이(토양 A, 3.1%, 토양 B, 1.3%)에 기인한 것으로 토양 유기물에 의한 토양환경상태의 축진으로 mefenacet을 분해하는 토양 미생물의 증식과 활성화에 영향을 주었음을 시사하고 있다. 그리고 약제 처리 후 120일이

Table 3. Half-lives of mefenacet under different soil conditions

Soil	Treatment	k	R <sup>2</sup>	DT <sub>50</sub> (70day) <sup>a)</sup>	DT <sub>50</sub> (120day)
A	Control	0.0121	0.989	68	57
	Sterilized	0.0077	0.929	151	90
	Flooded	0.0077	0.975	108	90
B	Control	0.0101	0.947	55	69
	Sterilized	0.0084	0.945	131	83
	Flooded	0.0078	0.925	126	89

<sup>a)</sup>The half-life was calculated by 70 days after application.

\*First-order kinetics :  $C = C_0 * e^{-kt}$

(C: the concentration at time t, C<sub>0</sub>: the initial concentration, k: the rate constant, R<sup>2</sup>: correlation coefficient)

Table 4. Half-lives of mefenacet in soil with different water contents

Soil	Water content(%WHC)	k <sup>a)</sup>	R <sup>2b)</sup>	DT <sub>50</sub> (day)
A	20	0.0084	0.929	83
	50	0.0095	0.952	73
	80	0.0114	0.992	61

<sup>a)</sup>the degradation rate, <sup>b)</sup>correlation coefficient).

경과하였을 때는 토양 A와 B에서 대조 토양의 반감기가 각각 57일과 69일 인데 비해 살균토양에서는 각각 90일과 83일, 담수토양에서는 90일과 89일로서 처리간 차이가 줄어들었고 토양 A와 B 간의 토양 반감기도 실험기간이 길어질수록 그 차이가 크지 않았다. 살균토양과 대조토양간의 반감기의 차이가 줄어든 것은 장기간의 배양 중 외부 미생물의 부분적인 오염이 원인인 것으로 사료된다.

한편 살균토양에 비해 비 살균토양에서 반감기가 짧은 것은 토양 중 mefenacet의 분해에는 토양 미생물이 매우 중요한 인자로 작용한다는 것을 시사하는 것이며, 분해 미생물은 호기적 미생물로 추정된다. 담수 토양에서 처리 후 70일 경과 시 토양 A와 B간의 반감기가 차이를 보이는 것은 담수 상태에서의 분해에 있어서 토양 유기물이 토양의 환원상태를 촉진시켜 화학적 분해 작용에 영향을 주었기 때문으로 사료된다.

#### 토양수분함량에 따른 mefenacet의 잔류성

토양 수분 함량이 mefenacet의 잔류에 미치는 영향을 알아본 결과, 수분 함량이 7.8%, 19.5%인 토양에서 mefenacet은 매우 유사한 분해 소실 경향을 나타내었고 31.2%일 경우에는 상대적으로 빠른 분해양상을 보였다. Hurle과 Walker(1980)에 의하면 토양 중 제초제의 분해에 있어 토양 수분 함량이 높을수록 그 분해

속도가 증가하며, 그것은 토양 미생물의 활성이 높아짐을 반영한다고 하였다. 또한 Anderson(1985)은 chlorsulfuron이 사양토에서 보다 유기물 함량이 높은 식양토에서 토양 수분 함량을 증가시킬 때 그 분해율이 상승하였다고 보고하였으며, 문 등(1993)도 ethoprophos의 분해 반감기는 토양 수분함량이 7%에서 19%로 증가함에 따라 1/6.7로 짧아졌다고 보고하였다.

본 실험에서 약제처리 후 90일 동안 배양하였을 때 수분함량이 7.8%와 19.5%인 토양에서는 각각 58.7%, 61.2%의 mefenacet이 분해·소실되었으나 31.2%의 수분이 첨가된 토양에서는 65.7%가 분해·소실되었다.

그리고 각각의 수분조건에서의 mefenacet의 반감기를 산출해본 결과 7.8%와 19.5%의 수분함유 토양에서는 각각 83과 73일인데 비해 80%의 수분 함유 토양에서는 그 반감기가 61일 이었다. 결과적으로 토양 수분함량이 증가할수록 mefenacet의 분해가 촉진됨을 알 수 있었고 그 결과는 표 4와 그림 4에 나타내었다.

#### 인용문헌

- Anderson, R. L. (1985) Environmental effects on metsulfuron and chlorsulfuron bioactivity in soil. J. Environ. Qual. 14:517~521.
- Green, R. E. (1974) Pesticide-clay-water interactions. In

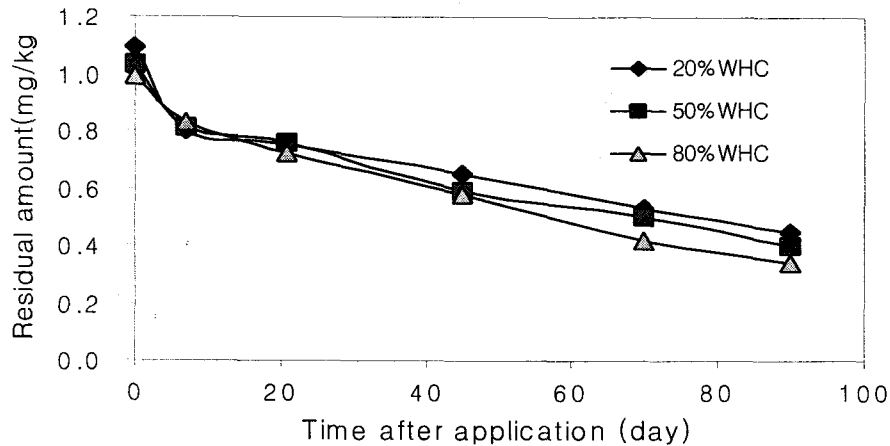


Fig. 4. Dissipation curve of mefenacet from soil with different water contents.

- Pesticide in Soil and Water. W.D. Guenzi(ed.), SSSA, Madison, WI, USA, pp.3~37.
- Hurle, K. and A. Walker (1980) Persistence and its prediction. *In Interactions between herbicides and the soil*; R. J. Hance(ed.). Academic Press, London, pp. 83~122.
- Nakamura, N., K. Kobayashi, I. S. Shim and S. Nagatsuka (1996) Influence of soil organic matter content on mefenacet concentration in soil water and the phytotoxic activity. *Weed Research, Jpn.* 41(4):339~343.
- MacRae, I. C. (1989) Microbial metabolism of pesticide and structurally related compounds. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 109:1~88.
- Richardson, E. M. and E. Epstein (1971) Retention of three insecticides on different size soil particles suspended in water. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 35:884~887.
- Rijnaarts, H. H. M., A. Bachmann, J. C. Jumelet and A. J. B. Jehnder (1990) Effect of desorption and intraparticle mass transfer on the aerobic biomineralization of  $\alpha$ -hexachlorocyclohexane in a contaminated calcareous soil. *Environ. Sci. Technol.* 24: 1349~1354.
- Sato Y. (1992) Degradation of fenitrothion by bacteria isolated from soil. *J. Jpn. For. Soc.* 74(6):482~487.
- Schoen, S. R. (1987) The effects of various soil factors and amendments on the degradation of pesticide mixtures. *J. Environ. Sci. Health* 22(3):347~377.
- Tomlin, C. (1994) *The pesticide manual* (10th ed.) pp.649~650, The British Crop Protection Council, U.K.
- Wang, Q., W. Yang and W. Liu (1999) Adsorption of acetanilide herbicides on soil and its correlation with soil properties. *Pestic. Sci.* 55:1103~1108.
- 농촌진흥청 농약연구소 (1992) 농약 잔류성 시험법, pp.260~261.
- 농촌진흥청 농업기술연구소 (1988) 토양화학분석법 : 토양, 식물체, 토양 미생물 pp.38~40.
- 문영희, 김윤태, 김영석, 한수곤 (1993) 토양중 살충제 ethoprophos의 분해성 및 이동성의 측정과 예측에 관한 모델 연구. *한국환경농학회지* 12(3):209~218
- 이완석, 김장억 (1998) 제초제 oxadiazon의 토양 흡·탈착에 미치는 유기물의 함량과 산화환원효소의 영향. *한국농약과학회지* 2(3):70~78.
- 한승수, 박필제, 정재훈, 임효섭 (1996) 수중 토양세균에 의한 살균제 myclobutanil의 분해력. *한국환경농학회지* 15(1):25~36.

---

**Influence of soil organic matter and moisture on the persistence of the herbicide mefenacet in soils**

Sung Min Kim\* , Il Kyu Cho, Kee Sung Kyung<sup>1</sup> and Jae Koo Lee<sup>2</sup>(*Research center, CropScience Korea Ltd., 449-860 Yongin, Korea, <sup>1</sup>Department of Pesticide Safety, National Institute of Agricultural Science & Technology, 441-707 Suwon, Korea and <sup>2</sup>Department of Agricultural Chemistry, Chungbuk National University, 361-763 Cheongju, Korea*)

**Abstract :** In order to elucidate a degradation characteristics of herbicide mefenacet in soil, the persistence in soils was studied under laboratory conditions for 90~120 days at 28°C. Mefenacet residues were determined from the two soils which pre-treated by sterilization and flooding, respectively. Non-sterilized upland soil was used as a control. When 70 days elapsed from application time, 55~63% of mefenacet applied were dissipated in control soils. However, 32~33% of mefenacet applied were dissipated in the sterilized soils and 33~35% was dissipated in the flooded soils. These results indicated that the degradation of mefenacet was assumed to be due to microorganism, especially aerobic microbes. In order to elucidate the influence of water content on the persistence of mefenacet in soil, water content in soils was adjusted to 20, 50, and 80% of the water-holding capacity(Field capacity, WHC) . The half-life of mefenacet in soil containing 20% and 50% of WHC were 82 and 73 days, respectively, after incubation for 90 days. However, the half-life in soil containing 80% of WHC was shortened to 61 days. These results indicated that degradation of mefenacet in soil was influenced by the activity of soil microorganism, organic matter content and water content.

---

\*Corresponding author (Fax : +82-31-339-2439, E-mail : sungmin.kim@bayercropscience.com)