

土壤중 殺蟲劑 ethoprophos의 分解性 및 移動性的 測定과 豫測에 관한 모델 研究

文永熙 · 金閔泰 · 金英錫 · 韓秀坤

Simulation and Measurement of Degradation and Movement of Insecticide Ethoprophos in Soil

Young-Hee Moon, Yun-Tae Kim, Young-Seok Kim, Soo-Kon Han

Abstract

The behaviour of insecticide ethoprophos (O-ethyl S,S-propyl phosphorodithioate) in soil was investigated. In a laboratory study, the degradation of ethoprophos in soil followed first-order reaction kinetics. The half-life of the insecticide in the soil incubated with 10, 18 and 25°C was 12.4, 5.5 and 2.5 days, respectively. Arrhenius activation energy was 73.8 KJ/mole. The half-life was 46.4, 17.6 and 6.9 day in the soil with 7, 14 and 19% of soil water content, respectively. The moisture dependence B value in empirical equation was 1.67. The adsorption isotherm for ethoprophos in the soil agreed with freundlich equation. The adsorption distribution coefficient (Kd) was 0.27. In a field study prepared in autumn with undisturbed soil column in a mini-lysimeter system, ethoprophos residues were largely distributed in the top 0~2cm soil layer and moved down to the top 6cm soil layer. Persistence of ethoprophos in field soil was correlated with variation in weather pattern during the period of experiments. The half-life of ethoprophos treated at March and October was about 17 and 5 days, respectively. The ethoprophos soil was degraded up to 90% at 37day after the both treatment. In persistence and mobility of ethoprophos in field soil, the observed data were reasonably corresponded with predicted data by some computer model of pesticide behaviour.

* 全北大學校 農科大學 農化學科(Department of Agricultural Chemistry, College of Agriculture, Chonbuk National University, Chonju 560-750, Chonbuk, Korea)
이 논문은 1992년도 교육부지원 한국 학술진흥재단의 자유공모(지방대학육성)과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

序 論

農藥이 農作物 栽培에 있어서 큰 貢獻을 해 왔다는 사실을 否認할 수가 없다. 그러나 農藥은 農作物에 해를 주는 病, 蟲, 雜草 등 對象 生物뿐만 아니라 사람을 비롯, 家畜, 魚類, 鳥類, 益蟲, 他作物, 微生物 등 非目的對象生物(non-target organism)에 대한 危險성을 排除할 수 없다. 따라서 農藥의 環境중 行動을 究明하는 일은 農藥의 安全使用은 물론 環境汚染 側面에서 매우 중요한 일이다. 특히 사용되어진 農藥이 土壤處理型뿐만 아니라 莖葉處理型일 경우에도 그 대부분이 土壤중에 浸透됨으로 土壤중 農藥의 行動을 究明하는 것은 農藥의 効果, 栽培作物의 汚染, 後作物 栽培, 土壤生物, 土壤汚染 등에 직접적으로 影響을 미치기에 대단히 중요한 일이다¹⁻⁶⁾. 따라서 선진외국에서는 土壤중에 있어서 農藥의 分解性 및 移動性에 대하여 매우 활발한 研究들이 進行되고 있으나, 국내에서는 이에 대한 研究가 부진한 실정이다. 더구나 우리나라의 主食이 쌀인 관계로 研究對象도 논土壤이 주였으며 밭土壤을 대상으로 하는 研究는 더욱 未備한 실정이다.

土壤중 農藥의 行動중 가장 중요한 것은 土壤중 浸透된 農藥이 얼마나 移動되어지고 또 어느期間만큼 殘留되는가의 問題이다. 그러나 이 移動性 및 殘留性은 農藥의 理化學的 特性, 土壤의 特性 및 環境要人 등에 의하여 크게 變動되는 것으로 알려져 있어⁷⁻¹²⁾ 變化되는 室外 環境條件에서 農藥의 行動을 恒상 測定하는 것은 쉬운일이 아니다. 따라서 條件을 調節할 수 있는 室內 모델 實驗을 통한 結果를 基礎로 computer program을 利用하여 室外 圃場條件에서 農藥의 殘留性과 移動性을 豫測 究明하는 研究¹³⁻¹⁶⁾가 進行되고 있어 주목을 끌고 있다.

본 研究에서는 우리나라에서 널리 사용되고 있는 土壤處理型 有機磷系 殺蟲劑 ethoprophos (O-ethyl S,S-propyl phosphorodithioate) 選定하여¹⁷⁾ 土壤水分含量 및 溫度를 달리한 室內實驗을 통하여 발

條件의 土壤중 分解에 미치는 溫度와 水分의 影響을 測定하였다. 또한 室外圃場에서 殘留性과 移動性을 調査하였으며, 室內實驗 結果를 基礎로 農藥의 行動 computer model을 利用하여 室外圃場에서 殘留性 및 移動性을 豫測하고 實際 測定值와 比較 檢討하였다.

材料 및 方法

1. 使用 農藥 및 土壤

사용된 ethoprophos는 5% 粒劑와 96.0% 標準品이었으며, 供試 土壤은 全北大學校 農科大學 附屬 農場의 밭土壤으로 pH : 7.66, 有機物含量 : 2.22%, CEC : 17.2me/100g, clay : 34.3%, silt : 27.8%, sand : 37.9%인 埴壤土였다. 室內試驗을 遂行하기 위하여 圃場에서 0~20cm 층위에서 土壤을 採取하여 2mm채로 精選한 후 잘 混合하여 土壤試料로 사용하였다.

2. 室內條件의 土壤중 農藥分解 實驗

土壤 1kg에 ethoprophos를 4ppm이 되게 添加한 다음 豫정된 水分含量이 되도록 물을 添加하고 3 mm 토양체에 수회 통과시켜 잘 혼합하였다. 土壤을 광구 시약병 (1 L 용)에 넣은 다음 느슨하게 마개를 하여 70일간 一定溫度에서 保溫定置하였다. 土壤水分含量의 影響을 調査하기 위하여는 土壤水分을 圃場溶水量의 20, 40, 60%인 7, 14, 19%로 調節하여 18℃에서 保溫定置하고, 土壤溫度의 影響을 調査하기 위하여 土壤의 水分含量을 圃場溶水量의 60%로 조절하여 10, 18, 25℃에서 保溫定置하였다. 保溫 定置 期間중 일주일 간격으로 減少된 水分을 공급하여주고 잘 혼합한 다음 分析用 土壤試料 약 45g을 취하여 分析때까지 冷凍保管 하였다.

3. 土壤 吸着 實驗

Ethoprophos를 5, 10, 20, 50, 100ppm을 含有한 0.01 M CaCl₂ 溶液 50ml를 2반복으로 공전삼각후라스크(250 ml 용)에 옮긴 다음 風乾土壤 5g을 室溫

에서 왕복 진탕기를 이용하여 8시간 진탕하였다. 진탕한 土壤을 3,000rpm에서 10분간 遠心分離한 다음 상층액을 취하여 다시 12,000rpm에서 15분간 遠心分離하였다. 상층액 2ml를 취하여 2ml n-hexane으로 5분간 진탕 추출하여 gas chromatography상에서 용액중의 ethoprophos의 함량을 측정하였다.

4. 圃場條件의 土壤중 農藥殘留 實驗

圃場實驗을 실시한 場所는 全州市 德津洞 全北大學校 農科大學 附屬農場的 밭圃場이었다. 同圃場에 5×1.3m(6.5m²)의 試驗區를 2反復으로 設置한 후 ethoprophos 5% 粒劑 (450g a.i./10a)를 1992년 3월 11일에 土壤表面에 고루 處理하였다. 農藥處理 直後부터 경시적으로 각 處理區에서 15코어(3cm×10cm)의 土壤試料를 採取하였다. 한편 處理時期에 따른 殘留性 變化를 調査하기 위하여 10월 5일에 ethoprophos를 동일 수준으로 mini-lysimeter(下記와 동일) 表土에 處理한 다음 經時的으로 10cm층까지의 土壤試料를 취하였다. 試料는 2mm체에 수회 통과시켜 잘 혼합한 다음 土壤 무게를 測定하고 약 45g의 分析試料를 취하여 分析시까지 冷凍保管하였다. 實驗期間 중 氣象資料는 全州氣象臺로부터 얻었다.

5. 農藥의 移動性 實驗

원통형 column(직경 10cm, 길이 40cm)에 上記圃場의 土壤을 충전하여 mini-lysimeter를 만든 다음 圃場의 土壤중에 埋立 放置 保管하였다. Mini-lysimeter의 表土에 ethoprophos 5% 粒劑를 450g a.i./10a 水準으로 1992년 10월 5일에 처리하였다. 處理 直後부터 경시적으로 mini-lysimeter를 취하여 土壤을 2cm간격으로 分割採取하여 2mm체에 수회 통과시켜 잘 혼합한 다음 전체 무게를 測定하고 약 45g의 分析試料를 2반복으로 취하여 分析시까지 冷凍保管하였다.

6. 土壤중 農藥의 定量分析

土壤試料 40g에 acetone 50ml를 가하여 1시간 振湯機에서 振湯하여 濾過한 다음 濾過液을 취하였다. 濾過液중의 農藥 濃度를 gas chromatography로 定量하였다.

사용된 gas chromatograph은 Shimadzu사의 GC-14A model이었으며, detector는 FTD였고, 사용 column은 3% OV-1을 충전한 유리column(2mm id ×1m)이었다. 操作溫度는 column oven : 220°C, inject port : 250°C, detector : 300°C이었으며, 사용 gas의 流速은 carrier(He) : 20 ml/min, air : 160 ml/min, hydrogen : 4 ml/min이었다. Gas chromatography 分析에서 ethoprophos의 retention time은 1.6분이었고, 試料중의 濃度는 標準品の peak 높이와 比較하여 決定하였다.

Ethoprophos의 回收率을 調査하기 위하여 ethoprophos를 土壤에 0.1과 0.5ppm이 되게 각각 첨가한 다음 上記 分析方法에 따라 分析한 結果, 回收率은 각각 98.9, 92.1%로 높은 回收率을 나타냈다.

7. 室外圃場의 土壤중 農藥의 移動性 및 殘留性 豫測

室內實驗에서 얻어진 土壤特性(假密度, 圃場 容水量, 表高)과 土壤중 ethoprophos의 分解性(土壤溫度 및 土壤水分의 影響정도) 및 吸着實驗의 結果와 氣象資料(最高, 最低溫度, 降水量)를 walker¹⁴의 土壤중 農藥의 行動 computer model을 利用하여 圃場條件하에서 移動性 및 殘留性을 豫測하고 圃場實驗에서 測定한 값과 比較 檢討하였다.

結果 및 考察

1. 分解에 미치는 土壤溫도의 影響

土壤중에 있어서 ethoprophos의 分解速度에 미치는 土壤溫度에 대한 影響을 調査한 結果는 그림 1에 나타난 바와 같다. Log scale상에 나타난 殘留量과 保溫位置 期間 사이에는 實驗 溫度條件에서 모두 直線關係 (r=0.98 이상)로 ethoprophos의 分解는 一次反應式에 따랐다. 回歸直線式으로부터

일은 分解半減期는 10°C에서 12.4일, 18°C에서 5.5일, 25°C에서 2.5일로 溫度가 10°C에서 25°C로 增加됨에 따라 分解半減期는 약 1/5배로 짧아져 土壤溫度의 影響이 큰것으로 나타났다.

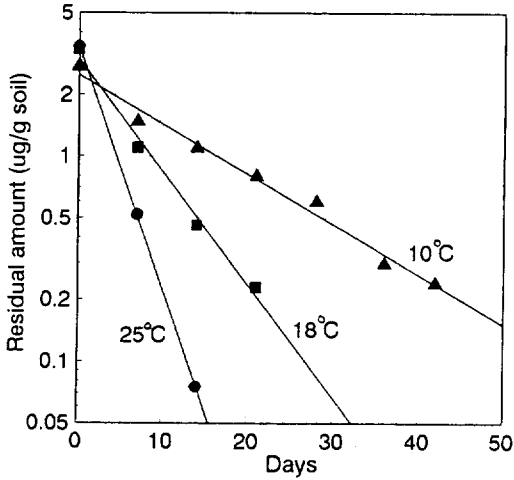


Fig. 1. Effect of soil temperature on the degradation of ethoprophos in soil.

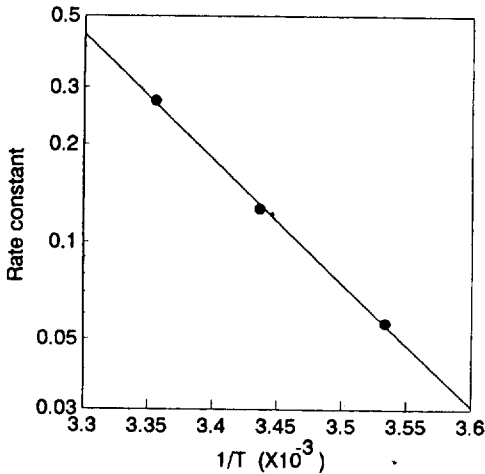


Fig. 2. Arrhenius plot for the degradation of ethoprophos in the soil.

Hurle 등¹³⁾은 除草劑에 대한 土壤溫度의 影響程度를 Arrhenius方程式을 利用하여 特性을 나타내고 있는 바, 土壤溫度와 分解常數의 關係를 調

査한 結果 그림 2와 같이 絶對溫度의 逆數에 대하여 log scale상에서의 分解常數 사이에는 直線回歸 關係를 보여, 分解率이 溫度에 比例함을 알 수 있었다. Arrhenius 方程式에서 구한 ethoprophos의 Arrhenius activation energy는 73.8 KJ/mol이었다. Walker와 Brown¹⁶⁾은 除草劑 propachlor, alachlor, dimethachlor, metazachlor, metolachlor의 Arrhenius activation energy는 각각 57.0, 57.0, 54.5, 60.8과 52.0 KJ/mol이었으며, Walker 등^{16, 19)}은 5종의 土壤중 alachlor와 16종의 土壤중 simazine의 activation energy가 각각 68~75, 27~69 KJ/mol로 報告하였는 바, 본 實驗에서 사용한 ethoprophos의 energy값은 이들보다 높아 ethoprophos의 分解는 溫度의 影響을 크게 받는 것으로 나타났다.

2. 分解에 미치는 土壤水分의 影響

土壤水分정도가 ethoprophos의 分解速度에 미치는 影響을 調査한 結果는 그림 3과 같다. 土壤溫度의 影響 實驗結果에서와 마찬가지로 ethoprophos의 分解는 一次反應式에 따라 分解되었고, 回歸直線式으로부터 구한 分解半減期는 土壤水分含

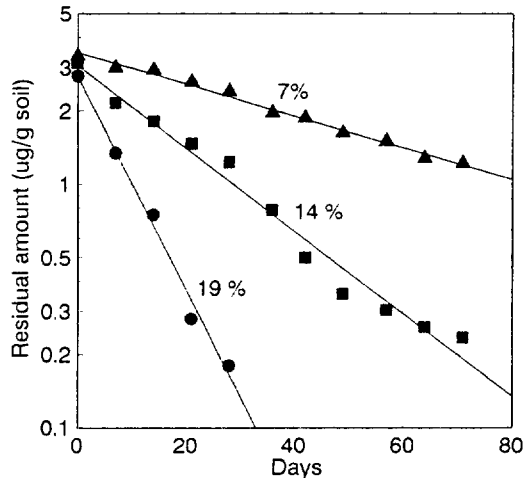


Fig. 3. Effect of soil moisture content on the degradation of ethoprophos in soil.

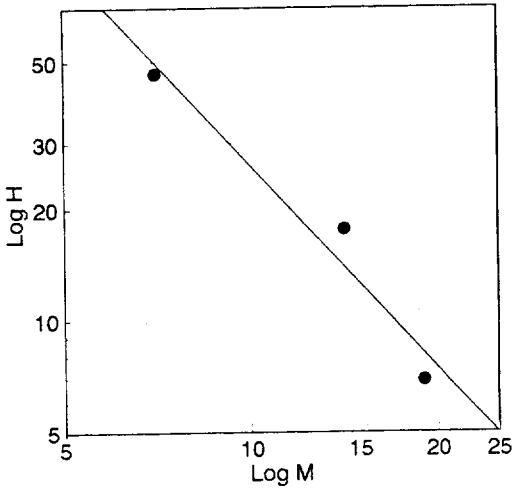


Fig. 4. Empirical plot for degradation of ethoprophos in soil at different moisture levels.

량 7, 14, 19%에서 각각 46.4, 17.6, 6.9일 이었다. Ethoprophos의 分解半減期는 土壤水分含量이 7%에서 19%로 增加함에 따라 1/6.7로 짧아졌다.

Walker^{14, 15)} 등은 除草劑에 대한 土壤水分含量의 影響을 Empirical 方程式 $H=AM^B$ (H : 水分含量, M : 半減期, A와 B: 常數)을 이용하여 特徵지우고있다. 兩 log scale 상에 나타낸 土壤水分含量과 半減期사이에는 그림 4에서와 같이 回歸直線 關係를 보여 半減期는 土壤水分含量에 比例함을 알 수 있었다. 方程式으로부터 구한 分解에 대한 水分含量 依存度(常數 B)값은 1.67이었다. Walker와 Brown¹⁶⁾ 水分依存도 B값이 propachlor, alachlor, dimethachlor, metazachlor, metholachlor의 경우 각각 0.79, 1.46, 1.41, 0.83, 1.54로 報告하고, Walker 등^{16, 20)} 은 16종 土壤중 simazine의 分解와 5종 土壤중 alachlor의 分解에서 B값이 각각 0.03~1.28, 1.33~2.07로 報告하고 있다. 또한 본 實驗과 동일 條件에서 얻어진 pendimethalin의 B값은 0.66으로²⁰⁾ ethoprophos는 土壤중 分解에서 土壤水分含量의 影響을 크게 받는 것으로 나타났다.

3. 土壤중 農藥의 吸着

일반적으로 土壤중 農藥의 吸着性은 移動성과 밀접한 關係가 있는 것으로 알려져 있는 바, ethoprophos의 土壤 吸着性을 調査한 結果는 그림 5와 같다. 吸着 等溫線은 Freundlich식에 따랐으며 吸着分配係數(Kd값)은 0.27이었다. 일반적으로 農藥의 土壤吸着 정도는 토양중 有機物含量, 粘土含量, CEC 등과 正比例하는 것으로 알려져있으며, Kd값은 chlorsulfuron이²¹⁾ 0.01~0.35, metsulfuron-methyl이²²⁾ 0.04~0.54, triasulfuron이²²⁾ 0.19~0.55, alachlor의 경우¹⁶⁾ 0.53~2.22로 Kd값이 土壤 條件에 따라 크게 변화되어지는 바, ethoprophos의 吸着性 또한 土壤條件의 變化와 더불어 더욱더 검토되어져야 하겠다.

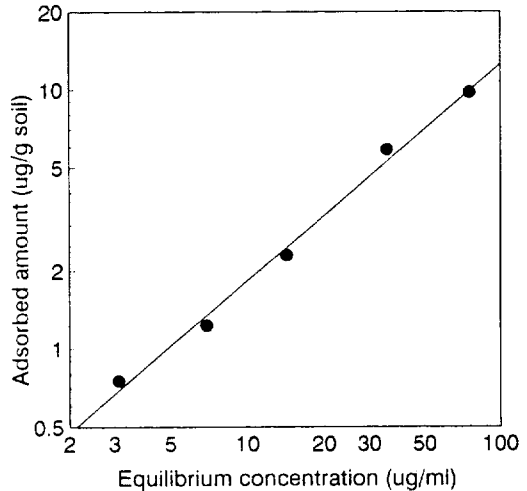


Fig. 5. Adsorption isotherm of ethoprophos by soil.

4. Mini-lysimeter중 農藥의 移動性

Mini-lysimeter를 이용하여 1992년 10월 5일부터 室外 圃場條件하에서 ethoprophos의 移動性을 經時적으로 調査한 結果 표1에서와 같이 殘留量의 거의 대부분이 0~2cm 層位에 分布하며 時間 경과와 더불어 分解消失됨을 알 수 있었다. 처리 7일 후에는 微量이지만 2~4cm層位까지 移動되었다. 처리 후 15일에는 4~6cm층까지 移動되었으며 그 濃度가 처리 27일후에는 0.5ppm높아졌다. 이후

Table 1. Vertical distribution of ethoprophos in mini-lysimeter system.

Soil depth (cm)	Residue (% of initial dose)							
	Days after application							
	0	7	15	20	27	38	52	69
0~2	100.0	41.5	23.3	17.3	11.7	5.6	4.0	4.3
2~4	N.D	1.9	0.5	1.1	2.7	0.6	0.4	0.4
4~6	N.D	N.D	0.2	0.3	0.5	N.D	N.D	N.D
6~8	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
8~10	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D

N.D : Non-detected

부터는 4~6cm층에서는 檢出되지않고 0~4cm층에서만 檢出되었다.

Moon등¹⁵⁾은 mini-lysimeter를 이용한 移動實驗에서 alachlor는 20cm까지 移動됨을 報告한 바 있으며, 圃場條件하에서 linuron과 isoxaben¹⁴⁾은 각각 6cm와 8cm, chlorsulfuron²¹⁾은 약 50cm까지, isoproturon²⁰⁾은 10cm까지 移動됨을 報告하고 있다. 이상의 結果로 미루어 볼때 ethoprophos의 移動性은 적은 것으로 판단되었다. 農藥의 移動性은 土壤 特性뿐만 아니라 降水量에도 크게 影響받는다.

것으로 알려져있는데²⁵⁾ 그림 6에 나타낸바와 같이 본 實驗期間중 가장 많은 降雨은 20mm정도(2회)로 降水量이 매우 적었던 점은 移動性을 적게 한 이 유중의 하나로 사료된다.

3. 室外圃場條件의 土壤중 農藥의 殘留性

圃場條件의 土壤에 ethoprophos를 1992년 3월 11일과 10월 5일에 처리하고 경시적으로 殘留量을 調査한 結果는 그림 7과 같으며, 實驗期間中 氣溫 및 降雨量 변화는 그림 6과 같다. 試料採取 期間중

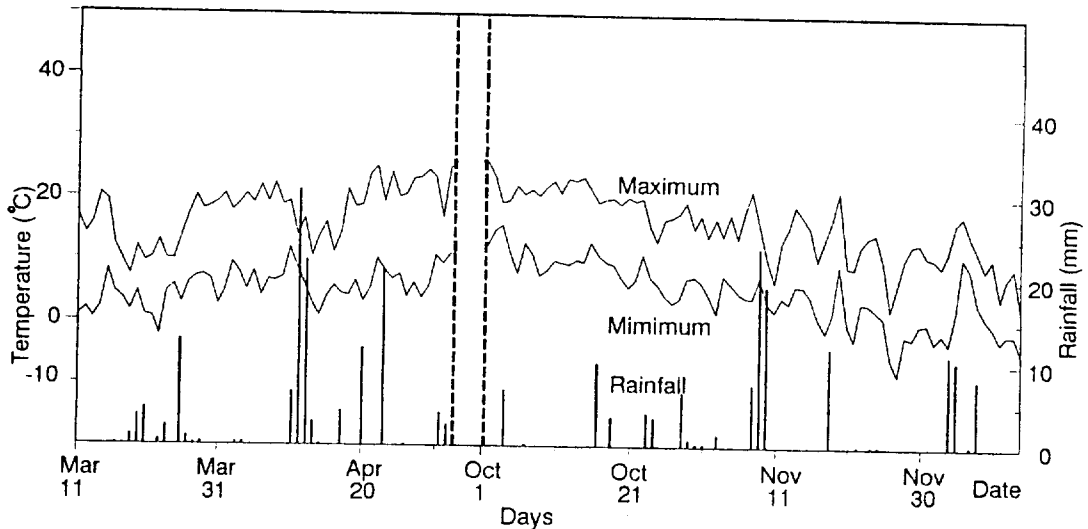


Fig. 6. Air temperature and rainfall during the period of field experiment.

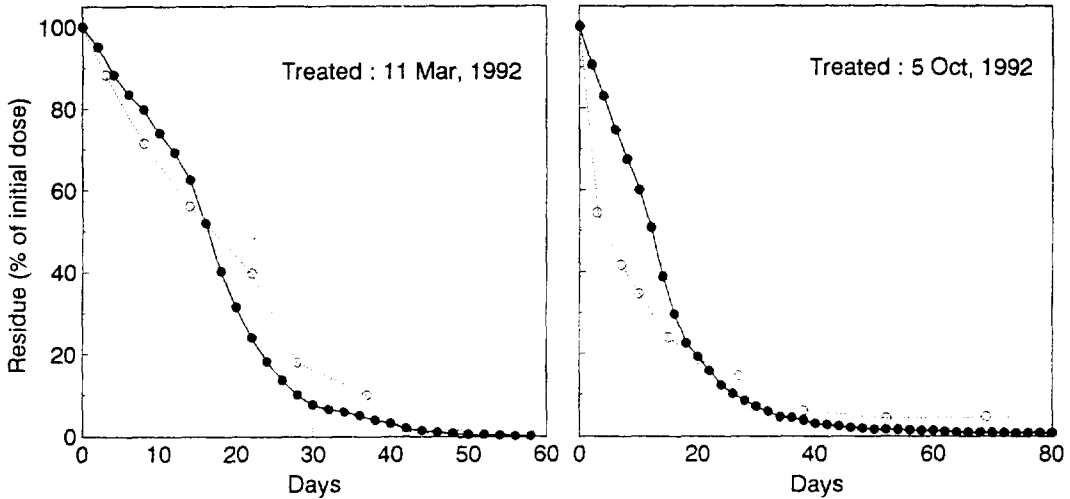


Fig. 7. Comparison between predicted and observed data on residue of ethoprophos in the field soil. Predicted ●, Observed ○

最低溫도와 最高溫도는 3월 11일 처리의 경우 각각 0~10℃, 10~25℃ 정도이였으며 전반적으로 氣溫이 점점 上昇하는 경향이였으나, 10월 5일 처리의 경우 각각 약 1개월간은 最低 最高 氣溫이 각각 0~10℃, 15~25℃ 정도이였고 11월부터는 最低 最高 氣溫이 모두 점점 減少되어 最高氣溫이 10℃, 最低 氣溫이 0℃ 내외이였다.

土壤중 ethoprophos의 消失速度는 3월에 處理 하였을 경우 經過日數와 殘留量과의 사이에 대개 直線 關係를 나타냈으며, 分解 半減期는 약 17일이었고, 처리후 약 37일에는 處理量의 90% 이상이 分解消失되였다. 10월에 처리하였을 경우에는 半減期가 약 5일 정도로 처리후 20일까지는 매우 빨리 分解 消失되였으나 그후부터는 완만히 分解되어져 90%가 分解되기까지는 약 37일정도 所要되였다.

10월에 처리하였을 경우에는 3월에 처리하여을 경우에 비하여 初期 分解速度는 월등히 빨랐으나 후기에는 反對의 경향을 보였는데 이는 氣象表에서 나타난 바와 같이 기온이 3월에는 낮았으나 4월부터는 점점 上昇하였는데 반하여 10월 처리의 경우에는 處理初期는 氣溫이 높았으나 점점 낮아졌기 때문에 判斷되어지며, 또 室內實驗結果에서

ethoprophos의 分解는 溫度에 크게 影響받음을 잘 반영한 結果라하겠다. 梁동²⁰은 圃場의 土壤에서 ethoprophos의 半減期는 10일程度로 본 結果와도 類似하였다.

4. 室外圃場의 土壤중 移動性 및 殘留性的 豫測

일반적으로 同一한 農藥이라 하여도 土壤중 行動은 앞에서 지적한 바와 같이 環境要因에 의하여 크게 變動되기에 室外圃場에서 農藥의 行動을 豫測한다는 것은 대단히 어려운 일이다. 따라서, Walker 등^{15, 16, 22}은 室內實驗에서 農藥 分解率과 土壤特性, 氣象data를 組合한 후 computer model을 利用하여 圃場條件의 土壤중 農藥의 移動性 및 殘留性을 豫測하였다. 본 研究에서도 Walker¹⁴의 方法에 準하여 ethoprophos의 土壤중 移動性 및 殘留 分解性을 豫測하여 실제 分析値와 比較한 結果는 다음과 같다.

處理후 15일에서 70일까지 ethoprophos의 移動性을 豫測한 結果는 그림 8과 같다. 처리후 15~38일 사이의 豫測値(그림 8)를 실제 分析値(표 1)와 比較하면 豫測値에서 移動幅이 넓게 나타났으나 分析値에서 실험여건상 最少檢出限界를 감안하여

볼때 豫測値와 分析値 사이에 매우 類似한 移動程度를 나타냈다. 豫測値에서 移動幅은 時間經過와 더불어 增大되었으며 最大 移動은 38일후에 32cm까지 移動되는 것으로 나타났다. 層位별 分布量을 보면 分析値에서는 항상 0~2cm層位에서 最高値를 나타냈으나 豫測値에서는 처리 27일후부터 最大分布層位가 下層部位로 점점 移動되는 것으로 나타났다. 3월과 10월에 처리한 ethoprophos의 殘留性에 대한 豫測値와 分析値를 比較한 結果 그림 7에서 보는 바와 같이 豫測消失曲線은 分析値와 매우 類似한 傾向을 보였다.

일치되는 경우와 동일조건에서도 一致되지 않는 경우도 있는 바, 今後 土壤의 種類 및 環境, 農藥의 種類와 處理時期 등을 달리하여 分解性을 더욱더 면밀히 調査함과 아울러 移動性과 殘留性에 대한 豫測 研究가 더욱더 檢討되어져야 하겠다.

要 約

土壤중에 있어서 殺蟲劑 ethoprophos의 行動特性을 調査한 結果를 要約하면 다음과 같다. 室內條件중의 土壤중 ethoprophos分解는 一次反應式에 따랐으며, 半減期는 10, 18, 25°C에서 각각 12.4, 5.5, 2.5일이었고, Arrhenius activation energy는 73.8 KJ/mol이었다. 水分含量이 7, 14, 19%인 土壤에서 ethoprophos의 半減期는 각각 46.4, 17.6, 6.9일이었으며 Empirical방정식에서 水分依存度(B)값은 1.67이었다. Ethoprophos의 土壤중 吸着等溫線은 Freundlich式에 따랐으며 吸着分配係數(Kd)값은 0.27이었다. Mini-lysimeter를 이용한 室外條件하의 移動實驗에서 ethoprophos는 대부분이 0~2cm層位에 分布되었으며 6cm層位까지 移動되었다. 室外圃場에서 ethoprophos의 分解는 氣象變化와 밀접한 關係를 보였으며, 3월과 10월의 처리에서 半減期는 각각 17일과 5일 정도이었고, 처리후 약 37일에는 90%까지 分解 消失되었다. 土壤중 農藥의 行動 豫測 computer model에 의한 ethoprophos의 移動性과 殘留性의 豫測値는 分析値와 類似하였다.

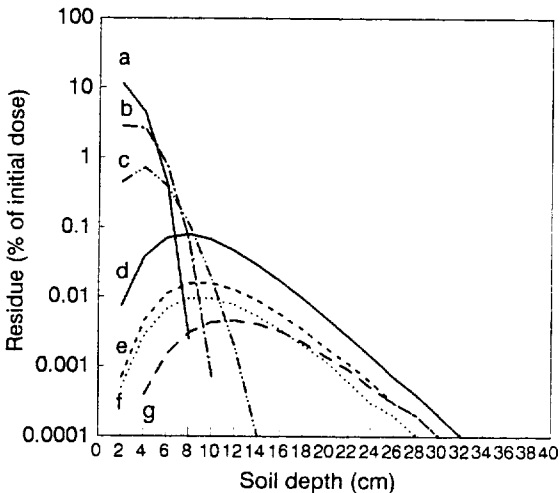


Fig. 8. Predicted distribution of residue of ethoprophos in soil at difference times.

Date a:15, b:20, c:27, d:38, e:50 f:60, g:70 days after application.

이상의 結果로 미루어 볼때 본 實驗에서 사용된 土壤중 農藥의 移動性 및 殘留性 豫測 computer model은 ethoprophos의 移動性 및 殘留性을 豫想하는데 매우 有用한 方法이라 思料된다. 金²⁹⁾은 본 實驗과 동일 조건에서 pendimethalin의 殘留 豫測値는 豫定値와 매우 類似함을 報告하고 있으며, 또 Walker 등^{15, 16, 19, 24, 28, 29)}이 研究한 alachlor, simazine, isoproturon등의 移動性 및 殘留性 豫測 結果를 綜合하여 볼 때 豫想値는 實際分析値와 잘

參 考 文 獻

1. Somerville, L. and Greaves, M.P.(1987) : *Pesticide effects on soil microflora*. Taylor & Francis, London.
2. Tooby, T. E. and Marsden, P.K. (1977) : Interpretation of environmental fate and behaviour data for regulatory purposes, In *pesticides in soils and water : Current perspectives* ed. by A. Walker, BCPC Monograph No. 47, p.3

- ~10.
3. 福永一夫 (1981) : 農藥, 白亞新書房, 東京.
 4. Guenzi, W. D. (1977) : *Pesticide chemistry*(4), Pergamon Press, Oxford.
 5. Riley, D. (1991) : Using soil residue data to assess the environmental safety of pesticides, In *Pesticides in soils and water : Current perspectives* ed. by A. Walker, BCPC Monograph No 47, p11~19.
 6. Hill, I. R. and Wright, S. J. L. (1978) : *Pesticide microbiology*, Academic Press, London.
 7. Hance, R. H. (1980) : *Interaction between herbicide and soil*, Academic Press, London.
 8. Walker, A. (1989) : Factors influencing variability in pesticide persistence in soils, *Aspects of Applied biology*, 21, 159~172.
 9. 深見順一, 上木康言, 石塚皓造, 富澤長次郎 (1981) : 農藥實驗法(4), ソフトサイエンマ社, 東京,
 10. 文永熙, 李王休, 梁桓承 (1990) : 湛水土壤중에 있어서 除草劑 butachlor의 分解速度에 미치는 各種 土壤環境條件의 影響, 韓國雜草誌, 10(1), 41~48.
 11. 文永熙 (1990) : 湛水土壤중에 있어서 殺蟲劑 fenitrothion의 分解速度에 미치는 各種土壤環境條件의 影響, 韓國農化學會誌, 9(1), 1~8.
 12. 文永熙(1990) : 湛水土壤중에 있어서 殺菌劑 IBP의 分解速度에 미치는 各種 土壤環境條件의 影響, 韓國農化學會誌, 32(2), 133~137.
 13. Hurlle, K. and Walker, A. (1980) : Persistence and its prediction, In *Interactions between herbicides and the soil*, ed. by R. J. Hance, Academic Press, London, p. 83~122.
 14. Walker, A.(1987) : Evaluation of a simulation model of herbicide movement and persistence in soil, *Weed Research*, 27, 147~152.
 15. Moon, Y. H. and Walker, A.(1991) : The degradation and mobility of alachor in a sandy loam soil, *Brighton Crop Protection Conference*, Brighton, U.K. 4D-5, 499~506.
 16. Walker, A., Moon, Y.H. and Welch, S.J. (1992) : Influence of temperature, soil moisture and soil characteristics on the persistence of alachlor, *Sci.*, 35, 109~116.
 17. 農藥工業協會(1991) : 農藥年譜.
 18. Walker, A. and Brown, P.A. (1985) : The relative persistence in soil of five acetanilide herbicides, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.*, 34, 143~149.
 19. Walker, A. et al 16 (1983) : EWRS herbicide-soil working group : Collaborative experiment on simazine persistence in soil, *Weed Research*, 23, 373~383.
 20. 金閔泰(1993) : 土壤중 殺蟲劑 ethoprophos와 除草劑 pendimetalin의 分解에 미치는 土壤水分과 溫度的 影響, 全北大學校 大學院 (碩士學位論文).
 21. Walker, A., Cotterill, E.G. and Welch, S. J. (1989) : Adsorption and degradation of chlor-sulfuron and metsulfuron-methyl in soils from different depths, *Weed Research*, 29, 281~287.
 22. Walker, A. and Welch, S. J. (1989) : The reative movement and persistence in soil of chloresulfuron, metsulfuron-methyl and triasulfuron, *Weed Research*, 29, 375~383.
 23. Bowman, B. T. (1990) : Mobility and persistence of alacher, atrazine and metolacher in plainfield sand and atrazine and izasofos in honeywood silt loam, using field lysimeters, *Environmental Contamination and Chemistry*, 9, 453~461.
 24. Blair, A.M., Martin, T.D., Walker, A. and Welch, S.J. (1990) : Measurement and prediction of isoproturon movement and persistence in three soils, *Crop protection*, 9, 289~294.
 25. Bowman, B.T. (1988) : Mobility and persistence

- of metolachlor and aldicarb in field lysimeters, *J. Environ. Qual.*, 17(4), 689~694.
26. 梁桓承, 文永熙, 金洛應 (1988) : 폴리에틸렌 멀칭재배시 農藥의 土壤 및 作物體中 殘留에 관한 研究, 제 3보 土壤殺蟲劑 endosulfan, fonofos, ethoprophos의 殘留性, 韓國環境農學會誌, 7(1), 8~13.
27. Walker, A. and Barnes, A. (1981) : simulation of herbicide persistence in soil : Arevised computer model, *Pestici. Sci.*, 12, 123~132.
28. Blair, A. M., Martin, T.D., A. Walker, A. and Welch, S.J. (1990) : Measurement and prediction of isoproturon movement and persistence in three soils, *Crop Protection*, 9, 289~294.
29. Nicholls, P.H., Walker, A. and Baker, R.J. (1982) : Measurement and simulation of the movement and degradation of atrazine and metribuzin in a fallow soil, *Pestic. Sci.*, 13, 484~494.