

Carbofuran 粒劑의 水中溶出과 土壤中 分解特性

홍 무 기* · 홍 종 욱**

(1984년 11월 5일 접수)

Release of Carbofuran from Granular Formulations in Water and Its Degradation Patterns in Soils

Moo-Ki Hong* and Jong-Uck Hong**

Abstract

Experiments were carried out with purified technical grade and two types of impregnated and sand-coated granules of carbofuran, in order to investigate the release patterns in water and the persistence of this chemical in soils. The results obtained are summarized as follows:

1) As regards to release velocity in water, impregnated granule was found to be faster than sand-coated granule. The time to reach maximum concentrations of carbofuran in water from technical carbofuran, impregnated granule and sand-coated granule was 0.5, 3 and 5 days, respectively.

2) Degradation rate of carbofuran in soils decreased in the order of technical carbofuran, impregnated granule, sand-coated granule regardless of soil types and application rates. Degradation of carbofuran in flooded soil was faster than in non-flooded soil. Soil flooding appeared to be the main factor in promoting the degradation of carbofuran in the soil.

3) When carbofuran was fortified in soils in the form of technical carbofuran, impregnated granule or sand-coated granule, the persistencies of two terminal residues of carbofuran, that is, 3-hydroxy carbofuran and 3-keto carbofuran decreased in the order of sand-coated granule, impregnated granule and technical form.

서 론

Carbofuran (2,3-dihydro-2,2-dimethyl-7-benzofuranyl-N-methyl carbamate)은 침투성 및 접촉독성을 가진 carbamate系 살충제로서⁽¹⁾ 적용범위가 매우 넓어 살비제 및 살선충제로서도 사용되고 있다. 특히 수도의 벼멸구 및 끝동매미충방제에⁽²⁾ 상당한 효과가 있어서 우리나라에서는 水稻害虫방제에 널리 사용되고 있으나 이 농약은 쥐에 대한 급성경구독성이 매우 높지

만^(1,3) (8~14 mg/kg) 토끼에 대한 급성경피독성은 매우 낮아서^(1,3) (10, 200 mg/kg이상) 입제로서만 製劑하고 있는 실정이다.⁽⁴⁾ Carbofuran의 이러한 높은 경구독성과 낮은 경피독성은 본 약제를 粒劑化함으로써 인축에 대한 經口와 經氣間으로의 침입을 줄여 독성을 小化시킬 수 있었다.

작물보호를 위하여 살포된 농약은 병·해충방제 및 제초등 그 本來의 사용목적 外에 대기, 토양 및 수질 등에 잔류하게 되어 이로 인한 환경오염 문제가 가끔 사회문제로 대두된 것은 周知의 사실이다. 또 원제내의

* 농촌진흥청 농약연구소 (Agricultural Chemicals Research Institute, O.R.D., Suweon)

** 경북대학교 농과대학 (College of Agriculture, Kyungbook National University, Daegu)

불순물 또는 분해산물들이 오히려 주성분보다 독성이 더욱 강하여 사회문제를 야기했던 사실이 malathion에서 立證되기도 하였다. (6)

Benzamin등(6)은 콩잎에서 carbofuran의 主 분해산물은 3-hydroxy carbofuran(2,3-dihydro-2,2-dimethyl-3-hydroxy-7-benzofuranyl-N-methyl carbamate) 및 3-keto carbofuran (2,3-dihydro-2,2-dimethyl-3-oxo-7-benzofuranyl-N-methyl carbamate)이었다고 보고하였는데 이들 두 대사산물도 포유동물에 대한 급성경구독성이 매우 높으므로(7) (3-hydroxy carbofuran=18 mg/kg-rat, 3-keto carbofuran=69 mg/kg-rat) 이들에 대한 관심도 소홀히 할 수 없다.

그런데 본 약제는 값싼 擔體(carrier), 즉 모래를 母體로 하여 원제를 피복하는 방법인 sand-coating劑로 製劑함으로써 농약 가격을 낮추는데 크게 기여하였으나 제제과정 및 수송에 따른 여러가지 단점 즉, 피복의 불균일, 피복도중 농약분진의 비산으로 인한 노동자의 중독 및 모래에 대한 주성분의 被服비율이 낮으므로 단위면적당 살포량(무게)의 증가 등의 문제점을 지니고 있다. 따라서 본 시험에서는 입제의 제조법 중에서 suspension impregnation technique에(8) 착안, 粒狀구조를 擔體로 하는 impregnated granule을 제조하여 이의 실용성 여부를 조사하기 위한 기초자료를 얻고자 시판하는 sand-coated granule을 대조로 하여 carbofuran의 수중용출속도, 토양중분해 및 carbofuran의 主 대사산물인 3-hydroxy carbofuran과 3-ketocarbofuran의 잔류 樣相을 비교 검토하였다.

재료 및 방법

1. 공시약제

Carbofuran, 3-hydroxy carbofuran 및 3-keto carbofuran 표준품은 미국 FMC社로부터 분양받았다.

Carbofuran 원제(75%up) 및 sand-coated granule은 제조회사로부터 분양받아 원제는 재결정하여 유효성분 함량이 95%의 것을 사용하였고 시판되는 sand-coated granule은 14~35 mesh분을 사용했을 때 HPLC로 분석한 결과 주성분 함량은 평균 3.35%였다. Impregnated granule은 제정제한 carbofuran의 아세톤 용액을 14~35 mesh分의 粒狀구조토(granule type, diatomaceous earth)에 균일하게 흡착시킨 후 용매를 제거하여 10% 입제가 되도록 製劑하였다.

2. 공시재료

가. 물

농약의 수중용출속도를 조사하기 위해 사용된 물(수도물)의 pH는 6.95이었으며 硬度는 CaCO₃로서 160 ppm이었다.

나. 토양

본 시험에 공시된 토양은 사양토와 양토로서 이들의 이화학적 특성은 Table 1과 같으며 사양토는 담수상태로, 양토는 수분이 5~10%인 半乾조 상태를 유지하였다.

Table 1. Physico-chemical properties of the soil used

Particle	Texture size distribution(%)			pH*	OM (%)	CEC (me/100g)
	Sand	Silt	Clay			
Sandy loam	52.0	22.2	15.8	6.10	1.12	10.2
Loam	32.3	46.2	21.5	6.25	2.43	11.8

* 1 : 1 soil-water suspension

3. 약제처리

가. 수중용출속도 시험

Carbofuran의 수중용출속도를 조사하기 위하여 10 l (30 D×15 H cm) 容量의 수조에 수도물을 10 l 가한 후 제정제한 원제, sand-coated granule 및 impregnated granule을 각각 530 mg, 14.9 gr, 5 gr씩 加하여 수중농도가 50 ppm이 되도록 명주선에 싸서 투여하고, 수온을 30±2°C로 유지하면서 시기별로 시료를 채취하여 수중에 용출된 농약성분을 분석하였으며 모든 처리는

3 반복으로 수행하였다.

나. 토양 중 분해시험

공시토양에 제정제한 carbofuran의 아세톤 용액을 2 ppm 및 50 ppm이 되도록 처리하고 잘 섞은 다음 하룻밤 방치한 후 시험관(3 D×20 H cm)에 20 gr씩 精稱하였으며 carbofuran 입제들은 각 농도가 되게 흡에 골고루 섞은 후 上記와 같이 행하였다. 사양토에는 증류수 20 ml을 가하여 澁水狀態로, 양토에는 증류수를 가하지 않은 비담수 상태로 하여 30±2°C의 항온기에서 60일간 보관하면서 매때로 증류수로 수분을 보충하여

주었다.

4. 농약분석

Carbofuran을 HPLC로 분석한 報文 및^(9,10) GLC로 분석한 報文^(11,12)을 고려, 기존의 분석법들을 약간 조정하여서 50 ppm으로 처리한 물 및 토양시료는 HPLC로, 2 ppm이하로 처리한 토양시료 중의 carbofuran 및 그의 metabolites는 낮은 농도 탓으로 penta fluorobenzyl (PFB) ether化 하여 GLC-ECD로 분석하였다.

가. 추출 및 정제

① 물

수조의 중간부위에서 물 50 ml를 피펫으로 취하여 250 ml분액여두에 옮긴 후 포화식염수 10 ml, methylene chloride 50 ml를 차례로 가하여 5분간 격렬하게 진탕하였다. 유기용매층을 10 gr정도 무수 Na₂SO₄로 탈수시키고 30°C이하에서 감압농축한 후 5 ml의 n-hexane으로 재용해하였다. 농축액을 silica SEP-PAK(Water社 제품)에 흡착시킨 후 methanol 10 ml로 용출시켜 HPLC로 분석하였다.

② 토양

토양 20 gr을 250 ml 삼각플라스크에 취한 후 비담수 토양인 양토에는 증류수 20 ml와 함께 acetone 100 ml를 첨가하여 진탕기에서 4시간동안 격렬하게 진탕추출하였다. 추출액은 celite 545를 1 cm 두께로 깔은 Büchner 여두를 통해 여과하고 殘渣는 30 ml acetone으로 세척하여 여액과 세척액을 합한 후 2 l분액여두에 옮겼다. 여기에 25 ml의 포화식염수와 800 ml의 증류수를 차례로 가하여 100 ml 및 50 ml의 methylene chloride로 2회 추출하였다. 수용액층은 버리고 methylene chloride층을 습한 후 이하 조작은 上記 ①항과 같이 HPLC로 분석하였다.

한편, 2 ppm이하로 처리한 토양은 낮은 농도 탓으로 PFB유도체를 만든 후 GLC-ECD로 분석하였는데 그 조작은 다음과 같다. 즉 추출 과정은 上記 50 ppm처리한 토양과 같으며, methylene chloride층에 0.5 N KOH 50 ml를 가하여 약하게 진탕하여 phenol性 물질을 제거한 후 methylene chloride층을 취하여 10 gr의 무수 Na₂SO₄로 탈수시키고 30°C이하에서 감압농축한 후 n-hexane 5 ml로 재용해 하였다.

정제는 내경 1 cm, 길이 30 cm의 glass column에 5% (W/W)로 불활성화시킨 Florisil(Floridin社 제품)을 n-hexane으로 15 cm 높이까지 습식충진하고 1 cm의 무수 Na₂SO₄를 Florisil상부에 충전하여 50 ml의 n-hexane으로 세척한 column에서 행하였다. n-hexane용액을 column에 옮기고 70 ml의 30% acetone/n-hexane으로 용출하여 40°C이하에서 감압농축한 후 acetone 2 ml로

재용해 하였다.

나. 유도체 제조

정제가 끝난 上記의 acetone용액을 teflon lined screw cap이 부착된 15 ml 시험관에 취하고 30% (W/V) K₂CO₃ 수용액 한 방울과 0.3 ml의 10% (V/V) pentafluorobenzyl bromide(東京化成제품) acetone용액을 가하여 95°C의 수조에서 한시간 동안 반응시켜 carbofuran 및 그의 유도체들을 pentafluoro benzyl ether化 시켰다. 실온으로 냉각한 후 5 ml의 증류수와 2 ml의 포화식염수 및 2 ml의 isooctane을 차례로 가하여 진탕추출한 후 무수 Na₂SO₄로 탈수시켜 GLC 공시액으로 하였다.

다. 기기분석조건

HPLC (Water社 model 204)의 column은 μ -Bondapak C-18(3.9 mm×30 cm)을 사용하였고 용출용매는 acetonitrile/water(1:1)을 1.8 ml/min로 조절하였으며 UV(280 nm)로 수행하였다.

GLC(Hitachi model 063)의 Column은 OV-17을 Chromosorb W·HP (80/100 mesh)에 3%가 되도록 중량비로 피복한 충전제를 내경 4 mm, 길이 2 m인 glass column에 충전하여 column 온도 280°C에서 48시간 conditioning한 후 분석에 임하였다. 분석시 column의 온도는 230°C, 주입부와 검출기의 온도는 각각 250°C와 260°C로 하였으며 carrier로서 N₂의 유량은 60 ml/min로 조절하였다.

5. 회수율

水中 carbofuran의 회수율을 조사하기 위하여 5 ppm 및 50 ppm이 되도록 원제를 투여하고 2시간 동안 강하게 진탕하여 물에 완전히 녹인 후 上記의 분석법에 따라 HPLC로 행하였다. 또한 토양에는 acetone에 녹인 carbofuran 및 carbofuran 대사산물(3-hydroxy carbofuran과 3-keto carbofuran)을 0.01~50 ppm 이하로 처리하여 하룻밤 방치한 후 상기의 분석법에 따라 GLC 및 HPLC로 분석하여 회수율을 구하였으며 본 시험에서는 회수율의 교정을 하지 않았다.

결과 및 고찰

1. 회수율 시험

물 및 토양에 처리한 carbofuran 원제(再精製分)와 그의 대사산물의 회수율은 Table 2에서 보는 바와 같이, 거의 모든 시료에서 80% 이상의 양호한 회수율을 얻을 수 있었으며 화학물의 종류와 처리 농도에 따른 차이는 별로 없었다. 母化合物인 carbofuran의 경우 토양에서 보다 물에서 더 높은 회수율을 얻을 수 있었다.

Table 2. Recoveries of carbofuran and its two major metabolites from fortified water and soils

Analysis	Compound	Substrate	Fortification (ppm)	Recovery (mean:%)	
L/C*	Carbofuran	Water	5	96.6	
			50	95.8	
		Sandy loam	5	92.2	
			50	95.0	
		Loam	5	88.6	
			50	91.4	
G/C**	Carbofuran	Sandy loam	0.05	89.4	
			0.5	93.8	
		Loam	0.05	86.8	
			0.5	90.4	
		3-Hydroxy carbofuran	Sandy loam	0.01	78.3
				0.1	81.9
	Loam	0.01	74.8		
		0.1	76.2		
	3-Keto carbofuran	Sandy loam	0.01	86.7	
			0.1	83.9	
	Loam	0.01	85.2		
		0.1	82.3		

* Liquid chromatography

** Gas chromatography

3-hydroxy carbofuran의 회수율은 사양토에서 보다 양토에서 다소 낮았는데 이는 아마도 양토는 사양토보다 유기물 함량이 높기 때문에 다른 화합물보다 물에 대한 용해도가 다소 높은 이 화합물이 토양중의 유기물에 다소 강하게 흡착되어 침출효율이 떨어진 것이 아닌가 생각되어 진다.

한편 HPLC에 의한 carbofuran의 retention time은 전술한 분석조건에서는 3.4분이었으며 분석간섭 물질은 존재하지 않았다. 또한 GLC에 의한 carbofuran과 그 대사물들의 PFB 유도체는 carbofuran, 3-ketocarbofuran 및 3-hydroxy carbofuran의 retention time이 각각 3.1, 5.5, 6.9분으로서 GLC 상에서의 분리는 양호한 편이었다.

2. Carbofuran의 수중용출속도

Carbofuran 원제와 두 종류의 입제농약을 50 ppm이 되도록 물에 처리하여 수중용출 양상을 조사한 결과는 그림 I에서 보는 바와 같다. 원제 처리시 carbofuran의 용출속도는 매우 빨라서 처리 후 12시간 경과시 93%정도 용출되어 거의 모든 농약성분의 용출이 완료된 반면, impregnated granule은 3일, sand-coated granule

은 5일 경과시 93% 이상 용출되어 최고 농도에 도달했다. 이는 원제를 입제화 함으로서 carbofuran의 수중용출속도가 지연되었다. 두 입제를 비교하여 볼 때 예상과는 달리 sand-coated granule 처리시 보다는 오히려 impregnated granule 처리시에 carbofuran의 수중용출이 더욱 빨랐다. 이러한 현상은 두 입제간 粒子의 크기는 동일하나 粒狀原料의 相異 및 粘結劑의 형태 또는 절결제의 첨가비율등에 따라 aldicarb 입제의 수중용출 속도에 차이가 났다는 Stokes등⁽¹³⁾의 보고로 보아, 본 시험에서도 입상원료가 서로 다르며 절결제가 sand-coated granule에는 사용되었으나 impregnated granule에는 사용되지 않은 점, 주성분의 함량 차이 즉, sand-coated granule은 3%이나 impregnated granule은 10%라는 점 등에 의한 여러가지 요인이 단독 또는 복합적으로 작용하여 나타난 결과로 사료된다. 이와같이 impregnated granule이 시판하는 sand-coated granule 보다 수중용출 속도가 빠르므로 보다 속효성을 기대할 수 있을 것이다.

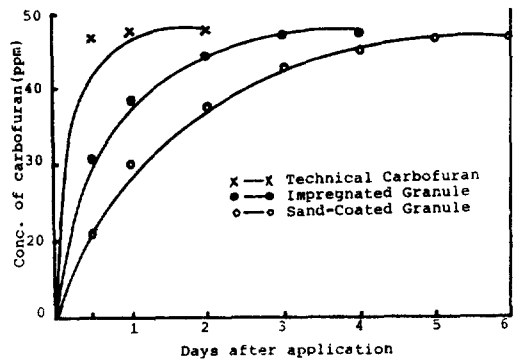


Fig. 1. Release of carbofuran from technical and granular carbofurans in water

3. 製劑形態別 토양 중 carbofuran의 殘留消長

원제 및 두 종류의 carbofuran 입제물 담수 상태의 사양토와 비담수 상태의 양토에 50 ppm이 되도록 처리한 후 토양 중 carbofuran의 잔류 소장에 미치는 제제 형태의 영향을 본 결과는 Fig. 2와 Fig. 3에서 보는 바와 같이, 사양토와 양토에서 모두 carbofuran 원제의 분해는 빠른 편이었으나 두 종류의 입제 처리는 상당히 지연되는 경향이였다. 입제의 종류에 따라서는 impregnated granule이 sand-coated granule 보다 carbofuran의 분해가 다소 빠른 편이었다. 따라서 carbofuran의 분해 속도는 원제(impregnated granule) sand-coated granule 順으로 나타났다.

또한 회귀곡선 방정식에서 구한 처리별 토양 중 반

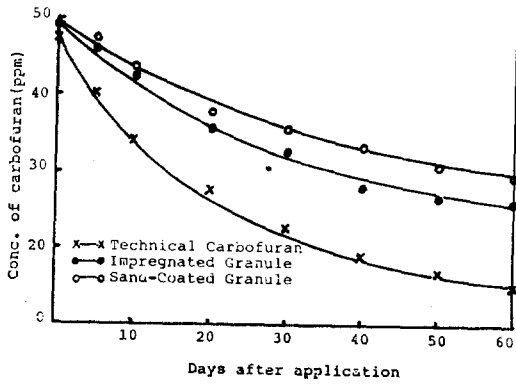


Fig. 2. Persistence of technical and granular carbofurans in sandy loam

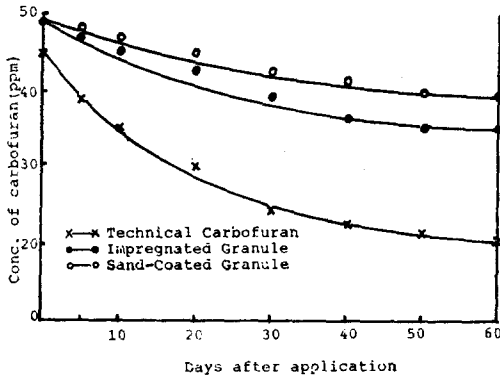


Fig. 3. Persistence of technical and granular carbofurans in loam

감기 (Table 3)를 보면 담수사양토에서는 원제, impregnated granule 및 sand-coated granule이 각각 29, 59, 73일로서 원제 처리가 입제 처리시 보다 반감기가 30~44일 짧았다. 한편 비담수 양토에서는 처리별 carbofuran 잔류기간의 차이의 폭이 훨씬 큰데, 원제 처

Table 3. Half-lives of carbofuran in soils applied with technical grade and granular formulations

Soil textures	Fortification levels (ppm)	Half-lives of carbofuran(days)		
		Technical	Granule impregnated	Sand-coated
Sandy loam	2	30	58	70
	50	29	59	73
Loam	2	40	121	195
	50	37	110	172

리시 반감기는 37일이었으나 입제 처리시에는 110~172일로서 입제 처리 區가 73~135일 지연되는 결과이었다. 원제 처리가 입제 처리시 보다 더욱 빠른 분해를 보인 이러한 현상은 carbofuran 원제를 8 ppm 되게 토양에 처리한 후 21일째에 분석한 결과 15~21%가 회수된 반면, 10% 입제를 토양에 40 ppm 되게 처리한 경우는 34일 째에도 63~75%가 회수되었다는 Ahmad 등⁽¹⁴⁾의 보고와 유사하였다. 또한 공시한 두 종류의 토양에서 carbofuran의 분해를 보면 양토 보다는 사양토에서 더욱 신속하여 impregnated granule의 경우 사양토中 carbofuran의 반감기는 59일로서 양토의 110일보다 50일 이상 짧았으며, sand-coated granule의 경우는 100일 정도 짧았다. 이러한 결과는 사양토는 담수 상태를 유지하였으나 양토는 비담수 상태를 유지 한테서 오는 수분 함량의 차이가 主要原因으로 사료되는데, 이는 토양 중 carbofuran의 분해는 비담수 토양에서 보다는 담수 토양에서 더욱 촉진되었다는 Venkateswarlu 등⁽¹⁵⁾의 연구 결과와 일치하는 것으로 담수여부가 토양 중 carbofuran의 분해에 영향을 미치는 주요 인자임이 증명되었다.

담수 사양토에서 2 ppm 되도록 carbofuran 원제 처리시 carbofuran의 분해와 대사는 Fig. 4에서 보는 바와 같이 母化合物인 carbofuran은 신속히 분해되는 반면, 主대사산물의 하나인 3-hydroxy carbofuran은 처리 후 10일부터 생성되기 시작하여 시일의 경과와 더불어 점차 증가하다가 30일에는 0.07 ppm으로 최고에 도달했으며 그 후로는 빠른 속도로 분해되어 60일에는 0.02 ppm에 이르렀다. 반면 3-keto carbofuran은 처리 5일부터 소량으로 생성되기 시작하여 다소 증가 추세를 보이면서 20일에는 0.016 ppm으로 검출되어 최고에 이르렀다가 30일 이후에는 검출되지 않았다. 또한 비

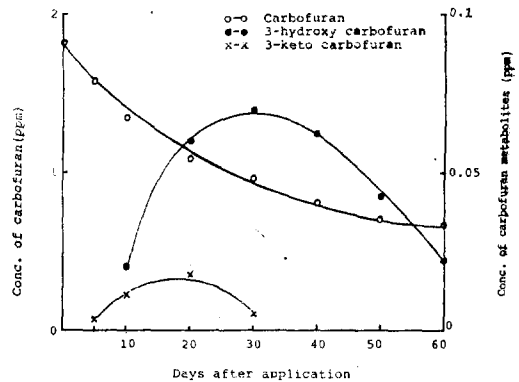


Fig. 4. Persistence of technical carbofuran and its metabolites in sandy loam

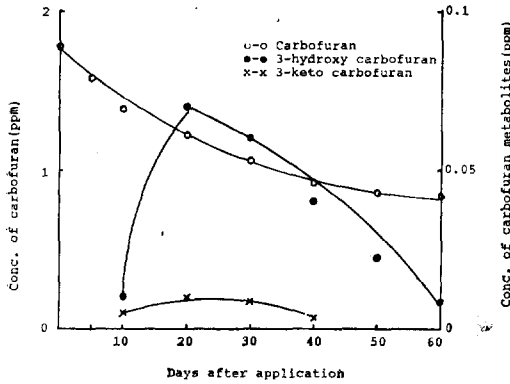


Fig. 5. Persistence of technical carbofuran and its metabolites in loam

담수 양토에서도 담수 사양토와 비슷한 경향이었으나 (Fig. 5), 3-hydroxy carbofuran이 최고 농도에 도달하는 시기는 처리 후 20일이었으며 이때의 농도는 담수 사양토와 비슷한 0.07 ppm 정도이었다. 한편, 母化合物인 carbofuran의 반감기는 Table 3에서 보는 바와 같이 사양토와 양토에서 각각 30일과 40일 정도로서 50 ppm 처리시의 그들과 비슷한 결과이었다. 따라서 본 시험에서는 토양 중 carbofuran의 분해에 미치는 처리 농도의 영향은 인정되지 않았다.

Carbofuran 입체의 처리로 토양에서 carbofuran의 분해와 대사에 따른 3-hydroxy carbofuran과 3-keto carbofuran의 잔류소장은 Fig. 6과 Fig. 7에서 보는 바와 같이 全般的으로 원제 처리시 보다는 훨씬 지연되었으며 (Fig. 4, 5) 아울러 두 주요대사 산물들의 소실 속도도 완만하였다. 즉 carbofuran의 반감기가 사양토에서는 두 입체가 58~70일로서 sand-coated granule이 다소 길었으나 원제 처리시의 30일 (Fig. 4) 보다는 두

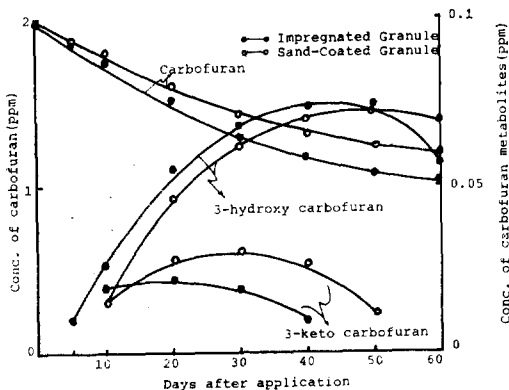


Fig. 6. Persistence of granular carbofuran and its metabolites in sandy loam

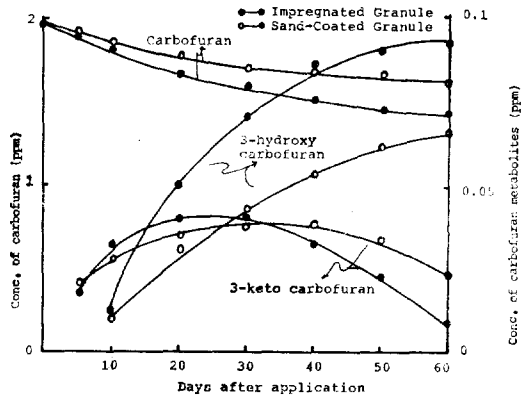


Fig. 7. Persistence of granular carbofuran and its metabolites in loam

입제 처리시에 모두 훨씬 길다. 비담수 상태인 양토의 경우에도 같은 경향이었으며 특히 sand-coated granule은 그 반감기가 195일로서 원제 처리시의 40일 보다는 월등히 길다. 또한 두 주요 대사산물들의 생성과 분해 양상도 원제 처리시와는 상이한데, 사양토의 경우에는 3-hydroxy carbofuran이 처리 후 40일에 최고 농도에 이르러 원제 처리시의 30일 보다 10일 정도 지연되었다. 또한 3-keto carbofuran의 경우도 입제의 종류에 관계없이 원제 처리시 보다 잔류성이 길었으며 비담수 양토에서도 비슷한 양상을 보였다. (Fig. 7) 이러한 결과는 carbofuran 입체를 원제로 환산하여 4.48 kg-ai/ha을 humic mesisol 토양에 처리하였을 때 3-hydroxy carbofuran은 1~7일에, 3-keto carbofuran은 16~36일에 최고 농도에 도달하였다는 Greenhalgh 등⁽¹⁶⁾의 보고와는 다소 차이가 있는데 이는 아마도 공시 토양의 종류, 토양 수분 함양, 처리 시기 및 처리 조건 등이 상이하기 때문에 나타난 결과로 사료된다. 아울러 두 주요 대사산물들의 생성과 분해 양상을 비교해 보면 담수 사양토에서 보다 비담수 양토에서 최고 농도에 이르는 기간이 길었으며 잔류기간도 길었다. 특히 양토에서는 3-hydroxy carbofuran이 최고 농도에 이르는 기간은 입제의 종류에 관계없이 60일 이상이었으며 3-keto carbofuran의 경우에도 마찬가지로 사양토에서 보다 양토에서 그의 잔류기간이 길었다. 따라서 carbofuran의 주 대사산물들인 3-hydroxy carbofuran과 3-keto carbofuran의 생성과 분해양상은 母化合物인 carbofuran의 분해와 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다.

이상의 사실을 종합해 보면 실험실에서 10% 입제로 제한된 impregnated granule이 시판하는 3% sand-coated granule에 비해서 수증용출속도 및 토양 중 분해

가 다소 빠른 편이며 그의 대사산물들의 소실속도도 신속한 경향이였다. 따라서 impregnated granule은 sand-coated granule 보다 약효면에서 볼 때 다소 속효성일 것이며 잔류독성을 줄일 수 있는 利點이 있다. 또한 운송비 절감 및 취급이 용이하다는 점도 이 제제의 장점으로 들 수 있겠다.

요 약

製劑形態에 따른 carbofuran의 수중용출속도와 토양 중 殘留消長을 조사하기 위하여 재결정 하여 정제한 carbofuran 원제와 市販 sand-coated granule 및 실험실에서 粒狀구조토를 擔體로 제조한 impregnated granule을 供試하여 시험한 결과는 다음과 같다.

1) Carbofuran의 수중용출속도는 원제<impregnated granule> sand-coated granule 順으로 지연되었다. 즉 원제 처리시는 처리 12시간 후에 93%가 용출되어 최고 농도에 이르렀으나 impregnated granule은 3일, sand-coated granule은 5일이 소요되었다.

2) 토양 중 carbofuran의 분해는 토양의 종류와 처리 농도에 관계없이 원제 처리가 가장 신속하여 원제<impregnated granule> sand-coated granule 順이었으며 3-hydroxy carbofuran과 3-keto carbofuran의 잔류기간도 임제 처리가 원제 처리시 보다 더 길었다. 또한 토양별로 보면 담수 사양토가 비담수 양토에서 보다 carbofuran과 그의 두 대사산물인 3-hydroxy carbofuran과 3-keto carbofuran의 잔류기간이 짧았는데 이는 담수 여부가 토양 중 carbofuran의 분해에 주요한 인자임이 증명되었다.

3) 두 종류의 carbofuran 입제 처리시 3-hydroxy carbofuran과 3-keto carbofuran이 최고 농도에 이르는 기간은 각각 40~80일, 20~40일 소요되었으며 입제의 종류별로 보면 impregnated granule 처리가 sand-coated granule 처리보다 3-hydroxy carbofuran과 3-keto carbofuran의 잔류기간이 짧았다.

참 고 문 헌

1. Worthing, C. R. (1979) : *Pesticide Manual* (6), British Crop Protection Council, p. 82.
2. IRRI (1971) : *Annual Report for 1970*, p. 237; p. 121 (1972); p. 170 (1973); p. 201 (1975).
3. Spencer, E. Y. (1973) : *Guide to the Chemicals Used in Crop Protection*, Canada Department of Agriculture, Ontario, 6, 81.
4. 농약공업협회 (1984) : 농약연보, p. 242.

5. Baker, E. L., Warren, M., Zack, M., Dobbin, R. D., Miles, J. W., Miller, S., Aldeman, L. and Teeters, W. R. (1978) : Epidemic malathion poisoning in Pakistan malaria workers, *Lancet*, 31.
6. Benjamin, C., Turner. and Joseph, H. C. (1973) : Uptake and distribution of carbofuran and its metabolites in field-grown corn plants, *J. Environ. Quality*, 2, 245.
7. FMC (1978) : *Technical Report*, p. 39.
8. Valkenburg, W. V. (1973) : *Pesticide Formulations*, Marcel Dekker Inc, New York, p. 190.
9. Thomas, R. N. and Ronald, F. C. (1979) : A high-pressure liquid chromatographic method for the determination of carbofuran residues in soil and water, *J. Agric. Food Chem*, 27, 1186.
10. Sparacino, C. M. and Hines, J. W. (1976) : High-performance liquid chromatography of carbamate pesticides, *J. Chromatogr. Sci*, 14, 549.
11. Butter, L. I. and Mcdonough, L. M. (1968) : Method for the determination of residues of carbamate insecticides by electron capture gas chromatography, *J. Agric. Food Chem*, 16, 4093.
12. Butter, L. I. and Mcdonough, L. M. (1971) : Determination of residues of carbofuran and its toxic metabolites by electron capture gas chromatography after derivative formation, *J. AOAC*, 54, 1357.
13. Stokes, R. A., Coppedge, J. R. and Ridgway, R.L. (1970) : Chemical and biological evaluation of the release of aldicarb from granular formulations, *J. Agric. Food Chem*, 18, 195.
14. Ahmad, N., Walgenaach, D. D. and Sutter, G. R. (1979) : Degradation rate of technical carbofuran and a granular formulation in four soils with known insecticide use history, *Bull. Environ. Contamin. Toxicol.*, 23, 572.
15. Venkateswarlu, K., Siddarame Gowda, T. K. and Sethunathau, N. (1977) : Persistence and biodegradation of carbofuran in flooded soils, *J. Agric. Food Chem.*, 25, 533.
16. Greenhalgh, R. and Belanger, A. (1981) : Persistence and uptake of carbofuran in a humic mesisol and the effects of drying and storing soil samples on residue levels, *J. Agric. Food Chem.*, 29, 231.