

## ***Carassius auratus*(goldfish)를 이용한 Carbofuran의 단기간 생물농축계수의 측정**

민경진 · 배영규 · 차춘근 · 박천만 · 강희양  
계명대학교 자연과학대학 공중보건학과

### **Determination of Short-term Bioconcentration Factor on Carbofuran in *Carassius auratus* (goldfish)**

**Kyung-Jin Min, Young-Kyu Bae, Chun-Geun Cha, Chun-Man Park and Hoe-Yang Kang**  
*Department of Public Health, College of Natural Science, Keimyung University*

#### **ABSTRACT**

The Bioconcentration factor(BCF) is used as an important criterion in the risk assessment of environmental contaminants. Also it can be used as indicator of biomagnification of environmentally hazardous chemicals through food-chain as well as a tool for ranking the bioconcentration potential of the chemicals in the environment.

This paper reports the measured BCF value on carbofuran in *Carassius auratus*(goldfish), under steady state, and examined corelation between the BCF value and the depuration rate constant.

*Carassius auratus*(goldfish) was chosen as test organism and test periods were 1-day, 3-day and 5-day. Experimental concentrations were 0.05, 0.10 and 0.50 ppm. Carbofuran in fish tissue and in test water was extracted with n-hexane and acetonitril. GC-ECD was used to detect and quantitate carbofuran. The depuration rate of carbofuran from the whole body of goldfish is determined over the 24-h period after treatment.

The obtained results were as follows:

1. It was possible to determine short term BCF<sub>s</sub> of carbofuran through relatively simple procedure in environmental concentrations.
2. BCF<sub>1</sub> of carbofuran in concentration of 0.05, 0.10 and 0.50 ppm were 1.66, 1.64 0.61, BCF<sub>3</sub> were 2.08, 2.14, 0.66 and BCF<sub>5</sub> were 2.21, 2.57, 0.86, respectively.
3. Carbofuran concentration in fish extract was increased as increasing test concentration and prolonging test period, but BCF<sub>s</sub> in concentration of 0.50 ppm was greatly decreased.
4. Determined depuration rate constants of carbofuran in concentration of 0.05, 0.10, 0.50 ppm were 0.076, 0.082 and 0.089, respectively.
5. It is considered that great decrease of BCF<sub>s</sub> in concentration of 0.50 ppm is due to high water solubility and stability of carbofuran in testwater.
6. It is suggested that low BCF of carbofuran is due to its relatively high water solubility and depuration rate, compared to BPMC, carbaryl and chlorothalonil.

**Keywords** : Bioconcentration factor(BCF), carbofuran, depuration rate constant.

#### **I. 서 론**

농약은 생태계의 먹이사슬을 통하여 궁극적으로 인간의 건강에 유해요인이 되기 때문에 미국, 일본 및 유럽 여러 국가에서 생산량 및 소비량의 규제를 위한 필수적인 실험방법으로 생물농축실험

(Bioconcentration Factor, BCF)을 채택하고 있다.

동위원소 표지법으로 DDT를 비롯한 수종의 유기 화합물의 대사산물과 생물확산 및 분해율 등을 mosquito larvae를 이용한 실험,<sup>1)</sup> 옥탄올-물 분배계 수 값을 이용하여 사염화탄소의 BCF값을 예측하고 이값이 rainbow trout를 이용하여 측정된 실험값과

유사함을 밝힌 보고,<sup>2)</sup> 제초제인 TCDD의 BCF를 동위원소 표지법으로 측정한 연구,<sup>3)</sup> 28종의 유기화합물에 대하여 bluegill sunfish를 이용하여 BCF를 측정하고 BCF, 분배계수, 수용성 등의 상관성을 규명한 연구 등 다수가 있다.<sup>4-11)</sup>

최근, Mackay<sup>12)</sup>는 화학물질의 독성과 분배계수, 분배계수와 BCF의 상관관계로부터 물고기 체내에서의 농도를 예측할수 있는 QSAR, 즉 정량적 구조형성 상관관계식의 이론적 모델을 제시하였다.

그러나 우리나라에서 유해화학물질인 농약을 이용한 BCF실험은 1994년 민에 의해 carbamate계 농약인 carbaryl과 BPMC 그리고 유기염소계 농약인 chlorothalonil을 환경농도조건에서 *Carassius auratus*(goldfish)를 이용하여 용매추출법으로 GC-ECD로 측정한 바 있다.<sup>13-15)</sup>

BCF실험에 영향을 미치는 인자들을 살펴보면 실험어종, 측정방법, 추출기법, 폭로기간, 실험농도, 실험온도, 산소공급 등에 따라 각기 차이가 있기 때문에 BCF실험에 있어서 국제적으로 통일된 기준이 없는 실정이다.

따라서 본 실험은 많이 사용되고 있는 농약에 대하여 BCF를 측정하는 것은 환경보건학적 의의가 큰 연구임에도 불구하고 비축된 자료가 매우 빈약한 현실이므로, 식물에 의한 침투이행성이 최강으로 분류되고 있는 화합물인 carbamate계 농약인 carbofuran의 단기간 BCF를 환경농도에서 측정하고 depuration rate constant를 아울러 구하여 민 등이 보고한 carbamate계 농약과 유기염소계 농약의 BCF값을 서로 비교함으로써 계열이 다른 화합물과 서로 같은 화합물 사이에서의 생물농축 경향이 어떠한지를 검토하고자 본 실험에 착수하게 되었다.

## II. 실험재료 및 방법

### 1. 실험동물 및 재료

#### 1) 실험동물

실험동물은 시중에 시판되는 *Carassius auratus* (goldfish), 길이  $6.2 \pm 0.7$  cm, 무게  $3.8 \pm 0.5$  g(wet weight)인 것을 구입하여 실험실 조건에서 1개월간 적응시킨 후, 5마리를 1군으로 실험하였다. 실험온도는 사육과 실험 전 기간동안  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ 를 유지하고 사육기간에는 시판사료 (Tetra min)와 공기를 공급하였다.

#### 2) 기기 및 시약

실험에 사용한 기기로는 gas chromatograph(GC-14A, Shimadzu), rotary vacuum evaporator (Rikakikai. NE-IS), blender(Rikakikai. DC-2RT) 및 실험실에서 사용하는 일반기기를 사용하였다. 사용된 시약으로는 trifluoroacetic anhydride(JANSSEN), selite545, ethyl acetate, pyridine, anhydrous sodium sulfate, acetonitrile, sodium chloride, n-hexane, ethyl ether 등으로 잔류농약시험용(Wako. Co)을 사용하였다. 탈 이온수로는 MILLI-Q-PLUS(Millipore) 순수제조장치를 이용하여 실험시 제조하여 사용하였다.

추출액 중의 수분을 제거하기 위하여 사용되는 anhydrous sodium sulfate ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ )는 약  $300^\circ\text{C}$ 의 dry oven에서 4시간 가열하여 사용하였으며, selite 545는 약  $130^\circ\text{C}$ 에서 24시간 건조시켜 desiccator내에서 냉각시켜 실험에 사용하였다.

#### 3) 실험농약

실험에 사용한 농약은 현재 국내에서 시판되는 carbamate계 농약인 carbofuran [Furadan, 2, 3-dihydro-2, 2-dimethyl-7-benzo-furanolmethylcarbamate, (주)경농]을 재결정하여 사용하였다.

#### 4) 실험수조

어류의 순응수조는 용량이 100 l였으며, 실험용 수조는 각변이  $60 \times 30 \times 40$  cm인 직육면체 유리수조로 용량은 72 l였고 실험수는 OECD guideline<sup>16)</sup>에 따라 수도물과 증류수를 각각 50%로 하였으며 조건은 Table 1과 같다.

## 2. 실험방법

### 1) 표준용액의 제조 및 검량선의 작성<sup>17)</sup>

Carbofuran을 ethyl acetate 10 ml에 녹여 10 µg/ml 되게 표준용액을 조제하였다. 이 표준용액은 갈색용량 플라스크에 밀전하여 보관하였다. 검량선 작성과정은 표준용액을 각각 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 ml를 시험관에 취하고 ethyl acetate를 가하여 전량이 0.20 ml되게 하였다. 여기에 pyridine 0.1 ml, trifluoroacetic

**Table 1.** Condition of experimental water used for BCF test

Parameter		Range
Water Temperature	( $^\circ\text{C}$ )	$20 \pm 1$
pH	(mg/l)	6.8~7.2
Total Hardness	(mg/l)	50~60
DO	(mg/l)	> 7.0
chloride		18.0~20.0

**Table 2.** GC conditions of determination of pesticide

Items	Conditions
Instrument	SHIMADZU GC-14A
Column	Gaschrom Q(60-80 mesh) 1.0% Silicone OV-17
Column size	Length 2 m Diameter 1/8 inch Glass column
Temperature	Column temp. 180°C Injection temp. 240°C Detector temp. 270°C
Carrier gas	N <sub>2</sub> 50 ml/min
Injection volume	2 μl
Detector	<sup>63</sup> Ni-ECD
Range	10 <sup>1</sup>
Current	0.5 nA
Record	CR-6A
Calibration program	CR-6A BASIC(Applied program)

anhydride 0.2 ml 넣은후 밀전혼화하고 실온에서 60분간 방치하였다. 다음, n-hexane:ethyl ether(45:3) 4.8 ml를 넣고 증류수를 5 ml 넣어서 충분히 잘 흔들어서 섞었다. 상층액을 증류수 5 ml로 2회 세척한후 anhydrous sodium sulfate(Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)로 탈수하였다. 조제된 각 농도별 표준용액을 2 μl씩 GC에 주입하여 peak면적법에 의하여 carbofuran의 검량선을 작성하였다. BCF측정을 위한 GC의 조건은 Table 2와 같다. 각 검량선은 GC-14A에 부착된 CR-6A Recorder에 내장된 BASIC applied program을 이용하여 다단계 표준샘플을 통한 직선검량선인 least-square method를 사용하여 정량을 행하였다.

2) 금붕어의 실험조건 및 BCF의 계산

금붕어에 대한 실험조건은 OECD guideline<sup>16)</sup>을 따랐다. 1회 실험시 금붕어 5마리를 1군으로 사용하였고, 같은 농도, 같은 기간의 실험을 3회씩 반복하였다. 전 실험기간 중 먹이를 주지 않았으며, 공기의 공급도 두경의 덮는 틈을 조절하여 최소량만 공급하였다. 대조수는 단기간 BCF측정에 영향을 미치는 실험농약의 분해, 증발, 실험수조 기벽의 흡착 등으로 인한 손실량을 조사하기 위해 대조수 중의 농약을 정량하였다. 실험농도는 각각 환경농도<sup>7)</sup>인 0.05, 0.10, 0.50 ppm으로 실험기간은 1일, 3일, 5일로 하였다. 단기간 BCF의 측정을 위해서는 실험기간이 짧을수록, 배출속도(depuration rate), 대사율, 분해율, 휘발율 등과 같이, 실험어종에 대한 흡수율에 영향을 줄 수 있는 요인을 피할 수 있는 잇점이 있어

실험기간을 0일, 1일, 3일 및 5일로 제한하였다.

Carbofuran의 BCF값은 1일을 BCF<sub>1</sub>, 3일을 BCF<sub>3</sub>, 5일을 BCF<sub>5</sub>로 나타내었고, BCF의 계산은 아래 공식에 따라 산출하였다.<sup>7,18-19)</sup>

$$BCF = \frac{\text{carbofuran concentration in whole fish body}(\mu\text{g/g})}{\text{carbofuran concentration in water}(\mu\text{g/ml})}$$

3) 금붕어에서의 carbofuran의 추출 및 정량<sup>20)</sup>

시료 약 20 g을 세절 마쇄한 후 acetonitril 45 ml, selite 545 약 2 g을 넣어 고속으로 3-5분간 교반한 후, selite 545를 약 5 mm두께로 입힌 흡인여과기로 여과하였다. 여과판상의 잔사를 다시 비이커에 옮겨서 acetonitrile 45 ml를 가하여 혼화한 후, 같은 방법으로 다시 여과하였다. 5% NaCl용액 50 ml 및 n-hexane 45 ml를 넣은 분액여두에 acetonitrile 추출액을 가하여 1분간 세게 흔든 후 수층은 n-hexane 45 ml로 재추출하였다. 추출액을 합하여 증류수 40 ml로 2회 세척한 후 무수 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> column(내경20 mm, 높이50 mm)을 통과시켜 탈수하였다. 다시 column을 n-hexane 약 10 ml로 씻어낸 후 이것을 35°C에서 약 5 ml되게 농축시킨 후 미리 습식충진한 florisil(20 g) 상부에 무수 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(8 g)를 깔고 난 column(내경20 mm, 높이 25 cm)에 이액을 유입시켜 n-hexane:ethyl ether (85:15) 200 ml를 5 ml/min으로 칼럼크로마토그래피를 행하였다. 이액을 받아 35°C에서 약 0.5 ml되게 농축시킨후 마지막 최종 액은 질소가스를 써서 날려보냈다. 농축잔류물을 ethyl acetate 0.2 ml에 녹여 표준용액과 같은 방법으로 시료를 조제한 후 n-hexane으로 적당히 희석하여 GC로 측정하고 검량선 범위내에서 정량한 후 μg/g으로 환산하였다.

4) 대조수와 실험수의 추출 및 정량

금붕어 실험을 행한 대조수 및 실험수 100 ml를 n-hexane:ethyl ether(4:1) 50 ml로 2회 추출하고 추출액을 무수 Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> column(내경20 mm, 높이50 mm)을 통과시켜 탈수한 후 n-hexane 약 10 ml로 씻어낸 후 이것을 35°C에서 약 0.5 ml되게 농축시킨 후 마지막 최종액은 질소가스를 써서 날려보냈다. 농축잔류물을 ethyl acetate 0.2 ml에 녹여 표준용액과 같은 방법으로 시료를 조제한 후 n-hexane으로 적당히 희석하여 GC로 측정하고 검량선 범위내에서 정량한 후 μg/ml로 환산하였다.

5) Carbofuran의 회수율 측정

금붕어(약 20 g)와 실험수 시료(100 ml)에 carbofuran표준용액을 10 μg/ml로 제조하여 이 용액

을 0.2 ml씩 첨가시켜서 전술한 실험방법에 의거하여 carbofuran의 함량을 정량 하였으며 이로부터 회수율을 구하였다.

6) Carbofuran의 배설속도상수(depuration rate constant)의 측정

금붕어 체내에서의 carbofuran의 배설속도상수를 계산하기 위하여 다음의 식을 사용하였다.<sup>21)</sup>

$$C=C_0 e^{-kt}$$

여기서 C는 5일 실험후 24시간이 지난 시점에서의 금붕어 체내에서의 carbofuran의 농도(µg/g)이며, C<sub>0</sub>는 5일 실험후의 최초 금붕어 체내에서의 carbofuran의 농도(µg/g)이고, k는 배설속도상수를 가리키며, t는 시간(hour)을 가리킨다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 회수율 측정 및 GC 성적

**Table 3.** Recovery of spiked carbofuran in *Carassius auratus*(goldfish) and test water

Sample	% Recovery (Mean±S.E.)
<i>Carassius auratus</i> (goldfish)	87.4±7.2
Test water	10.3±11.4

**Table 4.** Concentration of carbofuran in fish, test water, control water and calculated BCF<sub>1</sub><sup>†</sup> (MEAN±S.E.)

Groups spiked conc.(ppm)	Fish* (µg/g)	Test Water (µg/ml)	Control Water (µg/ml)	BCF <sub>1</sub>
0.05	0.07±0.01 <sup>†</sup>	0.04±0.00	0.05±0.00	1.66±0.03
0.10	0.15±0.01	0.09±0.02	0.11±0.02	1.64±0.03
0.50	0.25±0.09	0.41±0.04	0.49±0.08	0.61±0.04

\*No chemicals were found in control fish group.

<sup>†</sup>Each value represents mean±S.E. of 3 experiments.

<sup>†</sup>BCF<sub>1</sub> indicates 1-day bioconcentration factor.

**Table 5.** Concentration of carbofuran in fish, test water, control water and calculated BCF<sub>3</sub><sup>†</sup> (MEAN±S.E.)

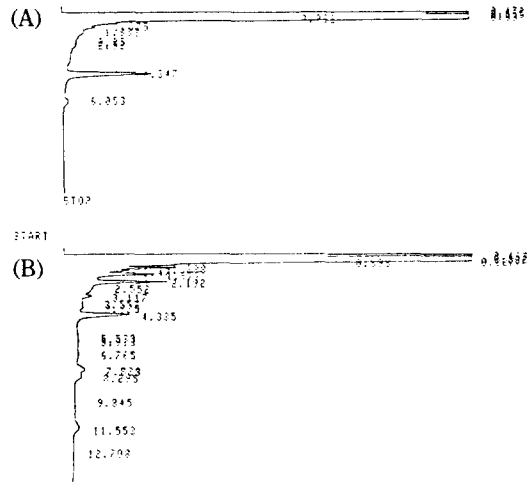
Groups spiked conc.(ppm)	Fish* (µg/g)	Test Water (µg/ml)	Control Water (µg/ml)	BCF <sub>3</sub>
0.05	0.08±0.01 <sup>†</sup>	0.04±0.00	0.04±0.00	2.08±0.05
0.10	0.16±0.03	0.08±0.01	0.08±0.01	2.14±0.06
0.50	0.25±0.06	0.38±0.05	0.43±0.06	0.66±0.09

\*No chemicals were found in control fish group.

<sup>†</sup>Each value represents mean±S.E. of 3 experiments.

<sup>†</sup>BCF<sub>3</sub> indicates 3-day bioconcentration factor.

금붕어와 실험수 시료에서 carbofuran의 회수율을 구한 결과는 Table 3과 같다. 표준용액에서의 carbofuran의 GC chromatogram은 Fig. 1(A)와 같이 머무름시간은 약 4.3분이었고, 금붕어의 초기 상태의 추출물에 대한 chromatogram과 실험에 사용된 실험수의 chromatogram에서는 carbofuran의 peak가 나타나지 않았다. Carbofuran의 실험에서 금



**Fig. 1.** GC-ECD Chromatogram of carbofuran.

(A) carbofuran standard solution.

(B) Fish tissue extract tested with carbofuran.

붕어의 추출물((Fig. 1(B)), 실험수(test water), 대조실험수(control water)의 GC 성적은 표준용액의 GC와 같이 머무름시간 약 4.3분에서 그 peak를 찾아 볼 수 있었다.

**2. 실험조건에 따른 BCF의 성적**

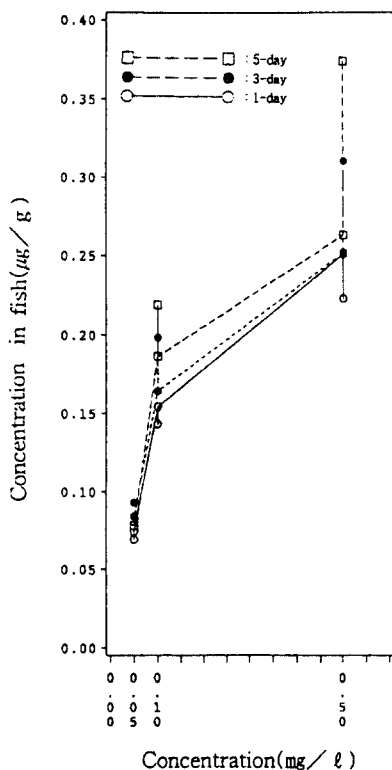
Carbofuran의 1일 실험에서 금붕어 체내에 농축되

는 정도와 실험수, 대조실험수, BCF<sub>1</sub>의 성적은 Table 4와 같다. carbofuran의 농도가 증가할수록 금붕어 체내의 농도는 증가하였으나, BCF<sub>1</sub>의 값은 0.05와 0.10 ppm에서는 거의 변화가 없었으며, 0.50 ppm 에서는 오히려 감소하는 결과를 알 수 있다. Table 5와 6은 carbofuran의 3일 및 5일 실험에서 금붕어 체내에 농축되는 정도와 실험수, 대조실험수, BCF<sub>3</sub>

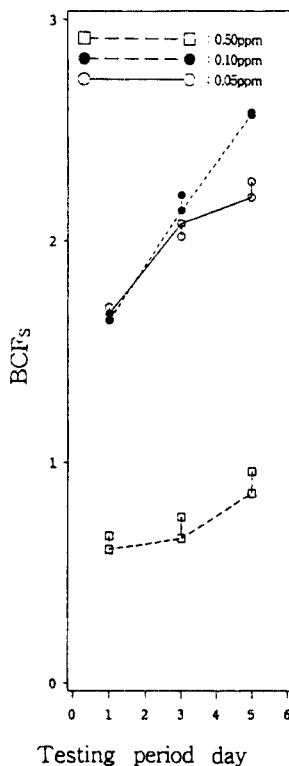
**Table 6.** Concentration of carbofuran in fish, test water, control water and calculated BCF<sub>5</sub><sup>†</sup> (MEAN±S.E.)

Groups spiked conc. (ppm)	Fish* (µg/g)	Test Water (µg/ml)	Control Water (µg/ml)	BCF <sub>5</sub>
0.05	0.08±0.00*	0.04±0.00	0.04±0.00	2.21±0.07
0.10	0.19±0.03	0.07±0.03	0.08±0.05	2.57±0.01
0.50	0.26±0.11	0.31±0.08	0.36±0.09	0.86±0.09

\*No chemicals were found in control fish group.  
 \*Each value represents mean±S.E. of 3 experiments.  
 †BCF<sub>5</sub> indicates 5-day bioconcentration factor.



**Fig. 2.** Accumulation tendency of carbofuran in fish tissue by tested concentration period.  
 \*Each value represents mean ± S.E. of 3 experiments.



**Fig. 3.** Plots on BCF<sub>5</sub> of carbofuran vs. tested concentration.  
 \*Each value represents mean ± S.E. of 3 experiments.

및 BCF<sub>5</sub>의 성적을 정리한 것이며, 각각의 BCF값은 BCF<sub>1</sub>과 같은 경향을 나타내고 있다. 각각의 실험농도 0.50 ppm에서 carbofuran의 BCF값이 현저히 감소하는 이유는 carbofuran의 수용성이 700 mg/l로 크며 실험수 중에서 분해되지 않고 안정한 상태로 존재하기 때문으로 사료된다.<sup>22)</sup> 대조수 중의 농약농도는 BCF측정에 영향을 미치지 않는 것으로 조사되었다.

Fig. 2와 Fig. 3은 carbofuran의 각 농도별, 각 기간별 금붕어 체내에서의 농축정도와 BCF값의 변화를 그림으로 나타낸 것이다. 전술한 바와 같이 실험기간이 증가할수록 금붕어 체내에서의 농축정도는 농도가 증가할수록 증가하였으며, 각각의 BCF값은 실험농도 0.05 및 0.10 ppm에서는 일반적으로 농도가 증가할수록 BCF값이 증가하는 기존의 실험결과와 일치하나, 0.50 ppm에서는 현저한 감소를 나타내고 있다.

### 3. Carbofuran, carbaryl, BPMC, chlorothalonil의 BCF 비교

Table 7은 carbaryl, BPMC, chlorothalonil, carbofuran의 4가지 화합물에 대하여 실험농도 0.05, 0.10 및 0.50 ppm에서 측정된 3일 및 5일의 BCF값을 비교한 것이다.

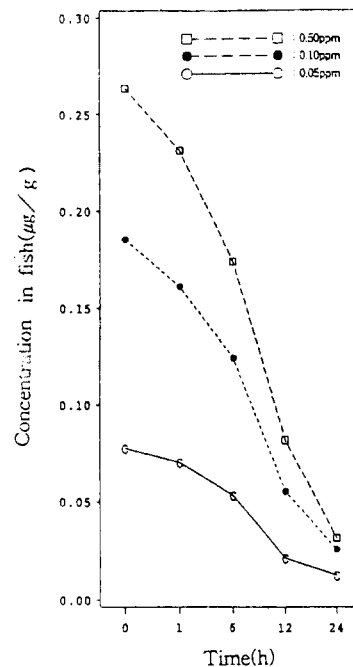
Chlorothalonil의 경우에는 0.10 ppm 이상에서는 금붕어가 살 수 없기 때문에 실험할 수 없어 0.05 ppm 농도에서의 값만 정리하였다. 이런 실험으로 볼때 carbofuran의 BCF값이 제일 낮게 나타남을 알 수 있으며, 또한 유기염소계인 chlorothalonil의 값이 carbamate계 농약 보다 BCF의 값이 높게 나타나는 것을 알 수 있다.

### 4. Carbofuran의 배설속도상수(depuration rate constant)

Table 8은 carbofuran의 각 농도에서 실험한 배설속도상수를 정리한 것이다. Fig. 4는 carbofuran의 배설속도상수를 구하기 위하여 각각의 실험농도에 서 1시간, 6시간, 12시간, 24시간의 depuration rate 실

**Table 8.** Depuration rate constants of carbofuran

carbofuran (ppm)	k (h <sup>-1</sup> )
0.05	0.076
0.10	0.082
0.50	0.089



**Fig. 4.** Depuration of carbofuran from the whole body of goldfish.

**Table 7.** Comparison of BCF in test concentration

		carbaryl <sup>#</sup>	BPMC <sup>#</sup>	chlorothalonil <sup>6</sup>	carbofuran
0.05 ppm	BCF <sub>3</sub>	4.67	4.08	10.20	2.08
	BCF <sub>5</sub>	3.90	3.47	23.46	2.21
0.1 ppm	BCF <sub>3</sub>	3.62	4.90	-	2.14
	BCF <sub>5</sub>	4.22	4.61	-	2.57
0.50 ppm	BCF <sub>3</sub>	1.20	4.75	-	0.66
	BCF <sub>5</sub>	1.19	4.08	-	0.86

<sup>#</sup> Data of carbamates were cited from ref. 14.

<sup>6</sup> Data of chlorothalonil were cited from ref. 15.

험결과를 그림으로 표시한 것이다. 각 실험농도가 달라 도 24시간 이후는 금붕어 체내에서 carbofuran의 농도가 g당 0.05 µg이하로 떨어지는 현상을 볼 수 있다. 이것으로 24시간 이후는 거의 배설된다는 것을 알 수 있다. 지용성에 있어서는 유기염소계 농약과 비슷한 값을 가지는 carbofuran이지만 수용성은 유기염소계보다 훨씬 큰 값을 가진다. 이렇게 큰 수용성이, 조직친화성의 척도로 알려진 지용성보다, 배출속도에 큰 영향을 미치기 때문에 이러한 현상이 일어난다고 사료된다.

#### IV. 결 론

금붕어(*Carassius auratus*)를 이용하여 환경농도인 0.05, 0.10 및 0.50 ppm에서 carbofuran의 생물농축계수(BCF)와 배설속도상수(depuration rate constant)를 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 측정결과, BCF<sub>1</sub>은 실험농도 0.05, 0.10 및 0.50 ppm에서 각각 1.66, 1.64, 0.61 이었고, BCF<sub>2</sub>는 같은 실험농도에서 2.08, 2.14, 0.66 이었으며, BCF<sub>3</sub>는 같은 실험농도에서 2.21, 2.57, 0.87 이었다.

2. Carbofuran의 실험농도와 실험기간이 증가할수록 금붕어 체내의 농축정도는 증가하였으나, BCF는 실험농도 0.05와 0.10 ppm에서는 거의 같았으나 0.50 ppm에서는 오히려 현저히 감소하였다. 실험기간이 길수록 BCF는 다소 증가하는 경향이 있다.

3. Carbofuran의 배설속도상수는 0.05, 0.10 및 0.50 ppm에서 각각 0.076, 0.082 및 0.089로 측정되었고, 24시간 이후에는 거의 배설된다는 것을 알 수 있었다. 따라서 환경농도에서는 생물농축효과가 현저히 작을 것으로 예측된다.

4. 실험농도 0.50 ppm에서 carbofuran의 BCF값이 현저히 감소하는 이유는 carbofuran의 수용성이 크며 실험수 중에서 분해되지 않고 안정한 상태로 존재하기 때문으로 사료된다.

5. Carbamate계 농약인 BPMC 및 carbaryl과 유기염소계농약인 chlorothalonil의 BCF값 보다 carbofuran의 BCF값이 낮은 이유는 수용성이 상대적으로 매우 크며, 금붕어 체내에서의 carbofuran의 배설속도가 크기 때문으로 추정된다.

#### 참고문헌

1) Metcalf, R.L., Sangha, G.K., and Kapoor, I.P.: Model ecosystem for the evaluation of pesticide

biodegradability and ecological magnification. *Environ. Sci. Technol.*, **5**(8), 709-716, 1971.

2) Neely, W.B., Branson, D.R., and Blau, G.E.: Partition coefficient to measure bioconcentration potential of organic chemicals in fish. *Environ. Sci. Technol.*, **8**(13), 1113-1115, 1974.

3) Isensee, A.R., and Jones, G.E.: Distribution of 2, 3, 7, 8-tetrachlorodibenzo-p-dioxine(TCDD) in aquatic model ecosystem. *Environ. Sci. Technol.*, **19**(7), 668-672, 1975.

4) Vieth, G.D., et al.: An evaluation of using partition coefficients and water solubility to estimate bioconcentration factors for organic chemicals in fish. *Aquatic toxicology*, 116-129, 1980.

5) Kanazawa, J.: Measurement of the bioconcentration factors of pesticides by freshwater fish and their correlation with physicochemical properties or acute toxicities. *Pestic. Sci.*, **12**, 417-424, 1981.

6) Korte: *Ecotoxicological profile analysis. Ecotoxicology and Environmental safety*, **6**, 60, 1982.

7) Oliver, B.G., and Niimi, A.J.: Bioconcentration of chlorobenzene from water by rainbow trout. Correlations with partition coefficients and environmental residues. *Environ. Sci. Technol.*, **17**(5), 287-291, 1983.

8) Schimmel, S.C., et al.: Acute toxicity, bioconcentration, and persistence of AC225, 705, Benthio carb, Chlorpyrifos, Fenvalerate, Methyl Paration, and Permethrin in the estuarine environment. *J. Agric. Food. Chem.*, **31**, 104-113, 1983.

9) Shaw, G.R., and Connel, D.W.: Physicochemical properties controlling Polychlorinated biphenil (PCB) concentration in aquatic organisms. *Environ. Sci. Technol.*, **18**(1), 18-23, 1984.

10) Swackhamer, D.L., and Hites, R.A.: Occurrence and bioaccumulation of organochlorine compounds in fishes from Siskiwit lake, Isle Royale, Lake Superior. *Environ. Sci. Technol.*, **22**(5), 543-548, 1988.

11) de Wolf, W., et al.: Influence of biotransformation on the relationship between bioconcentration factors and octanol-water partition coefficients. *Environ. Sci. Technol.*, **26**(6), 1197-1201, 1992.

12) Mackay, D.: Correlation of bioconcentration factors. *Environ. Sci. Technol.*, **16**(5), 274-278, 1982.

13) 민경진, 박선열, 강희양: *Carassius auratus*(gold fish)를 이용한 BPMC와 Carbaryl의 생물 농축계수의 측정. 한국환경위생학회지, **20**(1), 75-82, 1994.

14) 민경진: Carbamate계 농약의 생체농축계수의 측정. 한국환경위생학회지, **20**(4), 80-89, 1994.

15) 차춘근: *Carassius auratus*(goldfish)를 이용한

- Chlorothalonil의 단기간 생물농축계수와 분배계수의 측정. 한국환경위생학회지, **21**(3), 38-48, 1995.
- 16) OECD : OECD Guideline 305 A-E, OECD.
- 17) 일본약학회편 : 위생시험법주해. 금원출판사, 75-77, 1980.
- 18) Jorgensen, S.E. : *Modelling in ecotoxicology*. **16**, 69-79, 1990.
- 19) Korte, F., et al. : A concept for establishing ecotoxicologic priority lists for chemicals. *Chemosphere*, **1**, 79-102, 1978.
- 20) 일본약학회편 : 위생시험법주해. 금원출판사, 440-442, 1980.
- 21) 심창구 : 약물체내속도론. 서울대학교 출판부, 3-21, 1994.
- 22) Philip, H. H. : Handbook of environmental fate and exposure data for organic chemicals, Lewis Publishers, volume III, 1991.