

Carassius auratus(goldfish)를 이용한 BPMC와 Carbaryl의 生物濃縮係數의 測定

박선열 · 민경진 · 강희양

계명대학교 자연과학대학 공중보건학과

Determination of Bioconcentration Factor on BPMC and Carbaryl in *Carassius auratus*(goldfish)

Sun-Youl Park, Kyung-Jin Min and Hoe-Yang Kang

Department of Public Health, College of Natural Science, Keimyung University

ABSTRACT

Bioconcentration Factor (BCF) is known as important criteria for ecotoxicology on hazardous chemicals. But there is no standard method for determining BCF and reported BCFs were slightly different in accordance with authors. This study was performed with aims to determine BCFs on BPMC and Carbaryl.

Carassius auratus(goldfish) be chosen as test organism and test period were 3-day, 5-day and 10-day. Extract solvents were n-hexane and acetonitrile. GC-ECD was used to detecting carbamates. The obtained results were as follows :

1. It was possible to determine short term BCFs of Carbaryl or BPMC through relatively simple procedure.
2. BCF₃ of Carbaryl in concentration of 1, 2, 5, 10 ppm were 0.34 ± 0.06 , 0.18 ± 0.02 , 0.10 ± 0.01 , 0.06 ± 0.01 respectively. BCF₅ of Carbaryl were 0.34 ± 0.05 , 0.18 ± 0.02 , 0.13 ± 0.01 and 0.07 ± 0.01 , BCF₁₀ of Carbaryl were 0.45 ± 0.05 , 0.27 ± 0.02 , 0.16 ± 0.02 and 0.09 ± 0.01 . BCF₃ of BPMC in concentration of 1, 2, 5 ppm were 4.66 ± 0.17 , 2.64 ± 0.49 , 1.88 ± 0.24 respectively. BCF₅ of BPMC were 4.09 ± 0.50 , 2.42 ± 0.37 and 1.83 ± 0.15 .
3. BCFs of BPMC were decreased as increasing concentration. However, BPMC concentration in fish were increased in contrast to BCF. But more concentrated BPMC was found in fish 3-day test than found concentration in fish 5-day test.
4. Same trend appeared in Carbaryl. BCFs of Carbaryl were decreased as increasing concentration and prolonging test period. But found Carbaryl concentration in fish were increased.
5. BCFs of BPMC were higher than that of Carbaryl by 10 times, in spite of the physicochemical properties of the two carbamates were similar to each other. Further study is recommended to find out the reason of the difference.

Keywords : *Carassius auratus*, BPMC, carbaryl, BCF.

I. 서 론

유해화학물질에 의한 환경오염은 인류의 건강에 위해를 끼치고 있다.¹⁾ 그 중에서도 농약에 의한 환경오염은 수질 및 토양오염외에도 심각한 건강상의 위해요인이 되고 있다. 특히 유기수은제와 유기염소제는 잔류독성이 강하기 때문에 심각한 환경오염

을 가져다 주었다.²⁾ 우리나라에서는 1972년부터 DDT^{3,4)}, Eldrin제, 살포용 유기수은제 등의 사용이 금지되었으며, 무기수은제는 1977년에, BHC와 Heptachlor의 생산과 사용은 1979년에 중단되었다.^{5,6)} 이에 따라 잔류독성이 비교적 약한 것으로 알려져 있는 Carbamate계 농약의 수요가 늘고 있다.^{2,6)} Carbamate계 화합물은 살충제, 제초제, 살균제로서

사용되고 있으며, 포유동물에 대하여는 cholinesterase를 저해하여 중독을 일으키는 것으로 알려져 있다.⁷⁾ 특히, BPMC는 잉어의 척추를 변형시킬 수 있는 물질 중 최강으로 분류되는 화합물이다.⁸⁾ 그리고, 이러한 농약은 먹이사슬을 통하여 수초에서, 어류 또는 조류를 통하여 인간으로 옮겨져 체내에 일정농도이상 농축되어 중독증상을 일으킬 수도 있으므로 농약의 안전성을 위한 기준의 설정이 학계의 과제가 되고 있다.

1978년⁹⁾, 1982년¹⁰⁾ Korte 등이 몇 가지 유기화합물의 생태독성학적 연구를 통하여 유해화학물질 특히, 농약의 생태독성학적 연구방법을 제안하였으며, 1989년 金 등¹¹⁾은 화학물질의 환경독성학적인 평가 방법 및 기준의 설정에 대해 여러 가지 실험예를 소개한 바 있다. 1990년 Harris¹¹⁾, Cairns 등¹²⁾은 유해화학물질의 생태독성에 관해 보고하였고, 구체적인 실험계획에 대하여는 언급하지 않았다. 1992년 宋 등¹³⁾은 잔류농약에 대한 식품안전성을 위한 평가기준을 제안하였으나, 환경에 대한 안전성에는 미치지 못하였다.

안전성평가는 농약의 생물농축성, 분해성, 독성, 노출량 등을 항목으로 하는데 이 중에서도 생물농축성은 건강에 직결되는 요인으로 알려져 있다.¹⁴⁾

생물농축계수(Bioconcentration factor; BCF)는 해당화학물에 대하여 일정기간, 일정농도에서 물고기를 사육한 후 물고기의 체내에 농축되어 있는 화합물의 농도와 수중에 잔류되어 있는 농도비로써 표시한다.^{10, 15)}

Clark 등¹⁶⁾은 화학물질이 환경내에서 이동하는 현상과 생물체내에 농축하는 과정을 나타내는 지수로써 BCF의 중요성을 언급하였고, 아울러 물고기를 이용하여 화학물질의 생물농축정도를 추정하기 위한 이론적 Model을 제시하였다. 그러나, 이러한 연구는 측정된 BCF의 값을 토대로 하여야 되는데 많은 연구자들은 보고되어 있는 BCF값을 그대로 사용하고 있으며, 유기염소계와 유기인계 이외의 농약에 대하여는 BCF가 조사되어 있지 않을 뿐 아니라 Carbamate계 농약에 대한 BCF 또한 거의 보고되어 있지 않은 실정이다. 또한 BCF 측정방법에 대하여도 통일된 기준이 없는 실정이다.

한편, Carbamate계 농약의 분리, 경제, 확인을 위한 실험으로서는 1970년 Nagasawa 등¹⁷⁾이 Carbamate의 TLC에 관하여 보고하고 있고, 1973년 Holden 등¹⁸⁾ 2,4-dinitrofluorobenzen(FDNB)으로 Carbamate를 ether유도체로 하여 GC로 분석하는 방법에 대해 보고하였다. Carbamate류의 미량분석법은 국

가마다, 연구자에 따라 다른 것으로 알려져 있다. 우리나라의 公定試驗法¹⁹⁾은 Carbamate를 TLC로 분리한 후 GC-ECD로 분석하는 것이다. 일본²⁰⁾은 trifluoroacetylation한 시료중의 Carbamate를 GC-ECD로 분석하는 것이다. 미국의 公定書는 Carbamate 각각에 대해 서로 다른 분석방법을 별개로 지정하고 있다. 즉, Calorimetric method²¹⁾, TLC-densitometer²²⁾, HPLC(EPA method)²³⁾, GC-ECD 등²⁴⁾이다.

우리나라는 어류의 생물농축을 측정하기 위한 실험방법이 정립되어 있지 못한 실정이다. 일본의 경우는 어류에 잔류하는 화학물질의 시험법을 제시하고는 있으나, 개개 시료에 대한 적절한 처리방법에 대하여는 전혀 언급이 없다.²⁰⁾

BCF의 측정은 환경보건학적으로 중요한 일이며 화학물질의 환경독성을 평가하는데 필수적이다. 이 연구는 Carbamate계 농약인 BPMC와 Carbaryl에 대한 단기간 BCF(short-term BCF)를 측정하고자 시도되었다.

II. 재료 및 방법

1. 실험재료

(1) 재료 및 시약

실험동물은 시중에 시판되는 *Carassius auratus* (goldfish), 길이 5~6 cm, 무게 4~5 g인 것을 구입하여 10일 동안 실험실에서 적응시킨 후 5마리를 1군으로 하여 사용하였다.

Carbamate계 농약인 Carbaryl(NAC, 1-Naphthyl methyl carbamate)과 BPMC(2-sec-Butylphenyl methyl carbamate, 주식회사 경농)^{25, 26)}를 재결정 또는 증류하여 사용하였다.

사용된 시약은 trifluoroacetic anhydride(JANSSEN), selite 545, ethylacetate, pyridine, anhydrous sodium sulfate, acetonitrile, sodium chloride, n-hexane, ethyl ether 등으로 분석용 특급 시약이었다.

(2) 기기 및 조건

분석기기는 Shimadzu GC-14A를 이용하였으며 분석조건은 아래와 같다.

Instrument : Shimadzu GC-14A

Column : gaschrome Q (60~80 mesh)
1.0% Silicone OV-17

Column size: Length-2 m
Diameter-1/8 inch
SUS Column

Temperature: Injection temp.-220°C
 Column temp.-180°C
 Detector temp.-250°C
 Carrier gas : N₂, 60 ml/min
 Injection volume : 1 μl
 Type of detector : ⁶³Ni-ECD
 Range : 10¹
 Current : 0.5 nA×0.1

Table 1. Condition of experimental water used for BCF test

Parameter	Range
Water Temperature(°C)	18~20
pH	6.0~7.0
Total Hardness(mg/l)	50~60
DO(mg/l)	6.0~7.0
Chloride(mg/l)	18.0~20.0

2. 실험방법

(1) 표준용액의 조제 및 검량선 작성²⁰⁾

Carbaryl과 BPMC를 ethyl acetate 10 ml에 녹여 10 μg/ml되게 하였다. 이 표준용액은 갈색 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 anhydride 0.2 ml 넣은 후 밀전 혼화하고 실온에서 60분간 방치하였다. 다음, n-hexane : ethyl ether(45 : 3) 4.8 ml를 넣고 증류수를 5 ml 넣어서 충분히 잘 흔들어 섞었다. 상층액을 증류수 5 ml로 2회 세척한 후 무수 sodium sulfate (Na₂SO₄)로 탈수하였다. 조제된 시료용액을 1 μl씩 3회 GC에 주입하여 Peak면적법에 의하여 Carbaryl과 BPMC의 검량선을 작성하였다.

(2) 금붕어의 실험조건 및 BCF의 계산

1회 실험시 금붕어 5마리씩을 사용하였고, 같은 농도, 같은 기간의 실험을 3회씩 반복하였다. 전 실험기간 중 먹이를 주지 않았으며, 공기의 공급도 하지 않았다. 실험에 사용한 수조는 한변이 25×25×25 cm인 정육면체 유리수조로 용량은 약 15l였다. BPMC, Carbaryl을 10, 20, 50 및 100 mg을 전자식 상면천칭에서 칭량하여 수조에 넣고, 실험수 10l를 넣어 잘 섞어서 완전히 녹인 후 금붕어를 넣었다.

실험기간은 BPMC는 3일, 5일, Carbaryl은 3일, 5일, 10일로 하여 측정하였다.

이들의 BCF값은 3일을 BCF₃, 5일을 BCF₅, 10일을 BCF₁₀으로 나타내었고, BCF의 계산^{10, 15)}은 아래 공식에 따라 산출하였으며 실험수의 조건은 Table 1과 같다.

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

(3) 금붕어에서의 Carbaryl과 BPMC의 추출 및 정량²⁰⁾

시료 약 20 g을 세절마쇄한 후 acetonitrile 30 ml,

selite 545 약 2g을 넣어 고속으로 3~5분간 교반한 후, selite 545를 약 5 mm 두께로 입힌 흡인 여과기로 여과하였다. 여과판상의 잔사를 다시 비이커에 옮겨서 증류수 100 ml을 가하여 혼화한 후, acetonitrile 20 ml를 가하여 같은 방법으로 다시 여과하였다. 5% NaCl용액 40 ml 및 n-hexane 20 ml넣은 분액 여두에 acetonitrile 추출액을 가하여 1분간 세게 흔든 후 수층은 n-hexane 20 ml로 다시 추출하였다. n-hexane 추출액을 합하여 증류수 40 ml씩으로 2회 세척한 후 무수 Na₂SO₄ column(내경 20 mm×높이 50 mm)을 통과시켜 탈수하였다. 다시 column을 n-hexane 약 4 ml로 씻어낸 후 이것을 35°C에서 2 ml되게 감압 농축하였다. 농축액 0.2 ml를 취해서 trifluoroacetylation시켜 GC로 측정하였다.

(4) 실험수의 추출 및 정량

금붕어실험을 행한 실험수 100 ml를 n-hexane : ethyl ether(4 : 1) 50 ml씩으로 2회 추출하고, 추출액을 무수 Na₂SO₄ column(내경 20 mm×높이 50 mm)을 통과시켜 탈수한 후 n-hexane으로 column을 세척하였다. 세척액과 추출액을 합하여 35°C에서 2 ml되게 감압 농축하였다. 농축액 0.2 ml를 취해서 trifluoroacetylation시켜 GC로 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. GC성적

표준용액에서의 Carbaryl과 BPMC의 GC chromatogram은 Fig. 1(A) 및 (B)와 같이 머무름 시간이 약 15분과 4분이었고, 금붕어의 초기상태의 추출물에 대한 chromatogram과 실험에 사용된 실험수의 chromatogram에서는 Carbaryl과 BPMC의 peak가 나타나지 않았다.

Carbaryl의 실험에서 금붕어의 추출물(Fig. 2(A)), 실험수(test water), 대조실험수(control water)의 GC성적은 표준용액의 GC와 같이 머무름시간 약 15분에서 그 peak를 찾아볼 수 있었다.

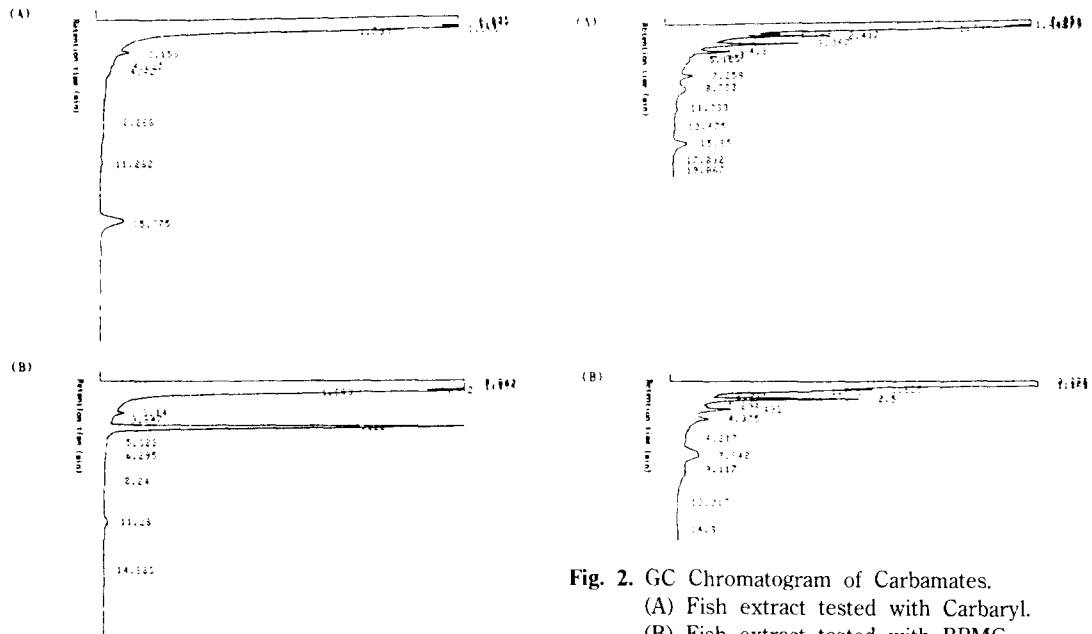


Fig. 1. GC Chromatogram of Carbamates.
 (A) Carbaryl standard solution.
 (B) BPMC standard solution.

BPMC의 실험에서 금붕어의 추출물(Fig. 2(B)), 실험수(test water), 대조실험수(control water)의 GC성적은 표준용액의 결과와 같이 머무름시간 약 4분에서 그 peak를 찾아볼 수 있었다.

2. 실험조건에 따른 BCF의 변화

(1) 실험기간과 농도에 따른 BCF

Carbaryl의 3일 실험에서 금붕어 체내에 농축되는 정도와 실험수, 대조실험수, BCF₃의 성적은 Table 2와 같다.

Carbaryl의 농도가 증가할수록 금붕어 체내에서의 농축정도는 증가하였고, BCF₃는 감소하였다. BCF₃가 감소하는 이유는 금붕어 체내에 농축되는 Carbar-

Fig. 2. GC Chromatogram of Carbamates.
 (A) Fish extract tested with Carbaryl.
 (B) Fish extract tested with BPMC.

yl의 양보다 실험수에 잔류하는 Carbaryl의 양이 상대적으로 증가하기 때문이다.

Carbaryl의 5일 실험의 결과는 Table 3과 같다. BCF₃와 같은 경향으로 금붕어체내에서의 농축정도는 Carbaryl의 농도가 증가할수록 증가하고 BCF₅는 감소하였다. 3일 실험군보다 5일 실험군에서의 농축이 다소 증가함을 볼 수 있다.

Carbaryl의 10일 실험군에서도 Carbaryl의 농도가 증가할수록, 실험기간이 증가할수록 금붕어체내에서의 농축정도가 증가하고, BCF₁₀은 감소함을 Table 4에서 볼 수 있다.

BPMC의 3일 실험군에서의 성적은 Table 5와 같다. 금붕어 체내에서의 농축정도는 BPMC의 농도가 증가할수록 증가하고, BCF₃는 감소함을 볼 수 있다. BPMC는 Carbaryl의 3일 실험군에서의 농축

Table 2. Concentration of Carbaryl in Fish, Test Water, Contral Water and Calculated BCF₃

(Mean±S.E.)

Spiked conc.(ppm)	Groups	Fish (µg/g)	Test Water (µg/ml)	Control Water (µg/ml)	BCF ₃
1		0.27± 0.05	0.80± 0.01	0.93± 0.05	0.34± 0.06
2		0.31± 0.03	1.72± 0.07	1.89± 0.10	0.18± 0.02
5		0.50± 0.07	5.11± 0.15	4.85± 0.10	0.10± 0.01
10		0.50± 0.08	8.33± 0.25	9.68± 0.95	0.06± 0.01

*No chemicals were found in control fish group. Each value represents Mean±S.E. of 3 experiments.

Table 3. Concentration of Carbaryl in Fish, Test Water, Control Water and Calculated BCF₅ (Mean± S.E.)

Spiked conc.(ppm) \ Groups	Fish (µg/g)	Test Water (µg/ml)	Control Water (µg/ml)	BCF ₅
1	0.27± 0.04	0.80± 0.05	0.89± 0.05	0.34± 0.05
2	0.40± 0.06	2.22± 0.07	1.77± 0.05	0.18± 0.02
5	0.61± 0.05	4.71± 0.04	4.91± 0.09	0.13± 0.01
10	0.56± 0.07	8.00± 0.66	9.43± 0.47	0.07± 0.01

*No chemicals were found in control fish group. Each value represents Mean± S.E. of 3 experiments.

Table 4. Concentration of Carbaryl in Fish, Test Water, Control Water and Calculated Water BCF₁₀ (Mean± S.E.)

Spiked conc.(ppm) \ Groups	Fish (µg/g)	Test Water (µg/ml)	Control Water (µg/ml)	BCF ₁₀
1	0.40± 0.07	0.89± 0.06	0.87± 0.06	0.45± 0.05
2	0.51± 0.04	1.91± 0.05	1.81± 0.08	0.27± 0.02
5	0.71± 0.09	4.57± 0.12	4.63± 0.11	0.16± 0.02
10	0.84± 0.06	9.11± 0.21	8.99± 0.27	0.09± 0.01

*No chemicals were found in control fish group. Each value represents Mean± S.E. of 3 experiments.

Table 5. Concentration of BPMC in Fish, Test Water, Control Water and Calculated BCF₃ (Mean± S.E.)

Spiked conc.(ppm) \ Groups	Fish (µg/g)	Test Water (µg/ml)	Control Water (µg/ml)	BCF ₃
1	4.19± 0.20	0.96± 0.04	0.90± 0.13	4.66± 0.17
2	5.36± 0.63	2.07± 0.19	2.11± 0.08	2.64± 0.49
5	8.97± 1.01	4.77± 0.09	4.95± 0.14	1.88± 0.24

*No chemicals were found in control fish group. Each value represents Mean± S.E. of 3 experiments.

Table 6. Concentration of BPMC in Fish, Test Water, Control Water and Calculated BCF₅ (Mean± S.E.)

Spiked conc.(ppm) \ Groups	Fish (µg/g)	Test Water (µg/ml)	Control Water (µg/ml)	BCF ₅
1	3.94± 0.15	0.99± 0.16	1.04± 0.17	4.09± 0.50
2	4.26± 0.54	1.77± 0.04	2.01± 0.09	2.42± 0.37
5	8.50± 0.75	4.66± 0.06	4.59± 0.15	1.83± 0.15

*No chemicals were found in control fish group. Each value represents Mean± S.E. of 3 experiments.

정도보다 10배 이상으로 높은 것으로 나타났다. Carbaryl과 BPMC의 물리화학적인 성질이 비슷함에도 이러한 차이가 나타나는 이유는 더 연구되어야 할 것으로 사료된다.

BPMC의 5일 실험군에서의 성적은 Table 6과

같다. 3일 실험군보다 BPMC농도가 증가할수록 금붕어체내에서의 농축정도가 감소하는 것을 볼 수 있었다. 이는 3일 이후 금붕어체내에서의 대사량이 흡수량보다 증가함에 따라 더 이상의 농축을 저해하는 결과로 추정된다.

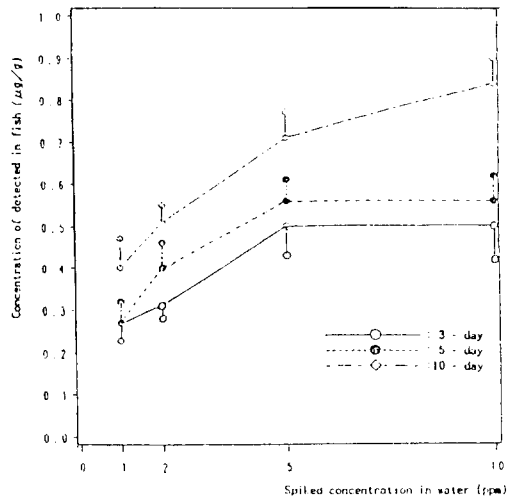


Fig. 3. Accumulation Tendency of Carbaryl & Fish by Tested Concentration and Test Period.
*Each value represents Mean \pm S.E. of 3 experiments.

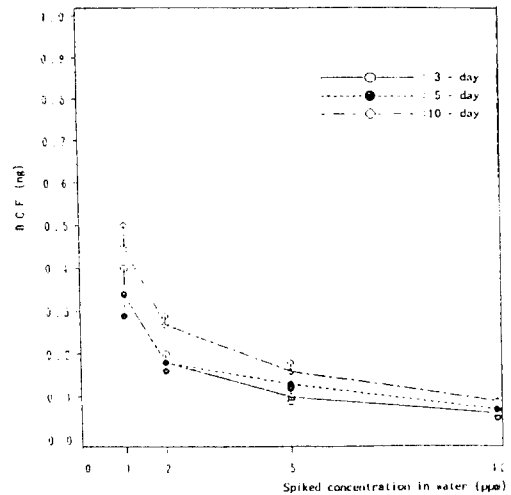


Fig. 5. Plots on BCFs of Carbaryl vs. Tested Concentration.
*Each value represents Mean \pm S.E. of 3 experiments.

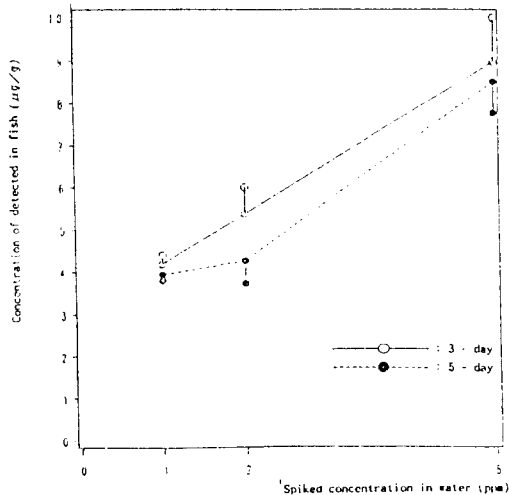


Fig. 4. Accumulation Tendency of BPMC & Fish by Tested Concentration and Test Period.
*Each value represents Mean \pm S.E. of 3 experiments.

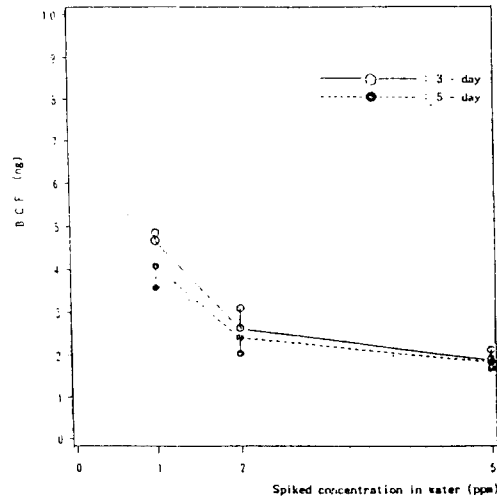


Fig. 6. Plots on BCFs BPMC vs. Tested Concentration.
*Each value represents Mean \pm S.E. of 3 experiments.

이 결과들을 종합하면 Fig. 3와 같다. 즉, Carbaryl의 경우 실험농도와 실험기간이 증가할수록 금붕어체내에 농축되는 Carbaryl의 양이 증가하는 것을 볼 수 있다.

BPMC에 있어서 금붕어체내에 농축되는 정도는 Fig. 4에서 나타난 바와 같이 실험농도가 증가할수록

높아진다. 그러나, 3일 실험군이 5일 실험군보다 오히려 높게 나타났다.

Carbaryl의 실험기간과 실험농도에 따른 BCF와의 관계는 Fig. 5와 같다. 실험기간이 증가할수록 점차 BCF는 높아지고, 실험농도가 증가할수록 BCF가 감소하는 것을 볼 수 있다.

Table 7. TLC of the Carbamates

Carbaryl		BPMC	
Solvent	R _f	Solvent	R _f
Ethanol-hexane (1 : 1)	0.93	Ethanol-Toluene (3 : 2)	0.72
Ethanol-DMF (1 : 1)	0.89	Ethyl ether	0.52
Ethanol-DMF (3 : 2)	0.85	Ethanol-DMF (3 : 2)	0.92
DMF	0.82	DMF	0.85
Ethanol-DMF-Hexane (6 : 3 : 1)	0.81	Toluene-DMF (1 : 1)	0.74
Ethanol	0.74	Ethanol	0.80
		Toluene	0.51

BPMC의 실험농도와 기간에 따른 BCF변화는 Fig. 6에 나타낸 성적과 같이 실험농도가 증가할수록, 그리고 기간이 증가할수록 점차 감소하는 경향을 볼 수 있다.

Oliver 등¹⁵⁾은 폭로기간이 길어지면 어류의 체내에 화합물이 농축되는 정도는 상승하지만 상당기간(10일~20일)이 지나면 거의 일정하다고 하였다.

이 실험에서도 실험기간이 길어지면 농축정도가 완만히 증가하는 것을 확인할 수 있었으므로 Oliver 등의 성적과 일치한다고 볼 수 있다.

(2) Carbamate의 물리화학적 성질과 BCF

Carbamate의 TLC성적을 Table 7에 나타내었다. 여기서 볼 수 있듯이 Carbaryl과 BPMC의 R_f값에서 추정할 수 있는 극성이 서로 비슷하다. 그러나, Ethanol에서 전개시킨 경우의 R_f값을 비교하면 BPMC의 극성이 다소 높은것으로 추정된다. 극성이 증가할수록 BCF가 감소한다는 박 등²⁷⁾의 연구와는 달리 BPMC의 BCF가 Carbaryl보다 10배 이상 높은 의외의 결과를 얻었다.

Carbaryl과 BPMC의 수용액에서의 pH는 Carbaryl이 0.1 μM에서 7.74, BPMC는 7.76, 0.1 mM에서의 pH는 Carbaryl이 7.81, BPMC는 7.87이었다. 산성도가 낮으면 BCF가 증가한다는 박 등²⁷⁾의 연구 결과와는 달리 BPMC의 BCF가 높게 측정되었다.

Carbaryl과 BPMC의 수용성을 비교해 보면 Carbaryl이 120 mg/l(30℃)이고, BPMC가 660 mg/l(30℃)이다. 수용성이 낮으면 BCF가 증가한다는 박 등²⁷⁾의 실험결과와는 상반된 결과를 나타내었다. Oliver 등²⁸⁾은 BCF와 분배계수(K_{ow})와의 상관성에 대해서는 분배계수가 클수록 BCF가 증가한다고 주장하였다. 일반적으로 극성이 크면 수용성이 증가하여 분배계수는 감소하는 것으로 알려져있다.²⁹⁾ 그러나 이 실험의 결과는 반대의 현상을 보이고 있다.

Carbaryl과 BPMC의 분자구조를 비교해 보면 -O-CO-NH-CH₃을 제외한 탄소고리 부분만이

다르다. 즉, Carbaryl을 naphthalene고리를, BPMC는 sec-butylphenyl고리를 가지고 있다.

Hansch는 약물의 흡수에 영향을 미칠 수 있는 약물분자의 물리화학적 성질 중에서 입체효과(steric effect)가 중요함을 밝힌 바 있다.³⁰⁾ BPMC의 경우는 형태변화(conformational change)가 Carbaryl보다 클 것으로 예측되며 이것이 BCF에 영향을 미칠 것으로 추정된다.

그러나, 실험수의 pH변화에 따른 Carbaryl과 BPMC의 분해가능성을 비롯한 여러가지 요인들 즉, BCF에 영향을 줄 수 있는 분해성, 휘발성, 대사성 등에 대한 연구가 앞으로 이루어져서 보다 자세한 이유가 밝혀져야 할 것으로 사료된다.

IV. 결 론

금붕어(*Carassius auratus*)를 이용하여 Carbamate계 농약인 Carbaryl과 BPMC의 생물농축계수(BCF)를 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) *Carassius auratus*(goldfish)를 이용한 Carbaryl의 단기간 생물농축계수인 BCF₃, BCF₅, BCF₁₀를 실험농도 1, 2, 5 및 10 ppm에서 측정할 수 있었고, 의미있는 결과를 얻을 수 있었다. BPMC에 대하여는 BCF₃과 BCF₅를 실험농도 1, 2, 5 ppm에서 측정할 수 있었다.
- 2) 측정결과는 Carbaryl의 경우 BCF₃는 실험농도 1, 2, 5, 10 ppm에서 각각 0.34±0.06, 0.18±0.02, 0.10±0.01, 0.06±0.01이었고, BCF₅는 같은 실험농도에서 각각 0.34±0.05, 0.18±0.02, 0.13±0.01, 0.07±0.01이었다. 같은 방법으로 측정된 BCF₁₀는 각각 0.45±0.05, 0.27±0.02, 0.16±0.02, 0.09±0.01이었다. BPMC의 BCF₃는 실험농도 1, 2, 5 ppm에서 각각 4.66±0.17, 2.64±0.49, 1.88±0.24이었고, 같은 방법으로 측정된 BCF₅는 4.09±0.50, 2.42±0.37, 1.83±0.15이었다.

- ③ BPMC에서는 실험농도가 증가할수록 BCF는 감소하였고, 금붕어체내의 농축정도는 증가하였다. 그리고 3일 실험군이 5일 실험군보다 금붕어체내의 농축정도가 높았다.
- ④ Carbaryl에서도 BPMC와 같은 추세를 보였다. 즉 농도와 기간이 증가함에 따라 금붕어체내의 농축정도는 증가하였고, BCF는 감소하였다.
- ⑤ Carbaryl과 BPMC의 경우 금붕어체내에서의 농축정도를 비교하면, BPMC에서 Carbaryl보다 10배 이상의 농축정도를 보였다. 두 화합물의 물리화학적 성질이 거의 비슷함에도 이런 차이가 나타나는 이유는 더 연구되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- 1) H. J. Harris, P. E. Saper, H. A. Reiger, and G. R. Francis : Ecotoxicology and Ecosystem Integrity. *Environ. Sci. Technol.*, **24**(5), 598, 1990
- 2) 차기원, 이덕재, 장병두 : 농산물에서 농약의 분해에 관한 연구. 인하대학교 기초과학연구소 논문집, **7**, 105-112, 1986.
- 3) R. P. Farrow, F. C. Lamb, R. W. Cook, J. R. Kimball, and E. R. Elkins : *J. Agr. Food Chem.*, **16**, 65, 1968.
- 4) R. P. Schnobus and W. F. Phillips : *J. Agr. Food Chem.*, **15**, 661, 1967.
- 5) 우리나라 식품 및 화학물질의 안전성현황 조사 및 방책수립. 한국과학기술연구소, 1990.
- 6) 이해금, 최용순, 최규열 : 과일 및 야채의 Carbamate계 농약의 잔류량. *Kor. J. Food Hygiene*, **2**(1), 3-8, 1987.
- 7) S. C. Lau, and R. L. Maximiller : *J. Agr. Food Chem.*, **18**, 413, 1970.
- 8) S. R. Lee : New Challenger in Environmental Toxicology, *Kor. J. Environ. Agric.*, **7**, 65, 1988.
- 9) F. Korte *et al.* : Ecotoxicological Profile Analysis. *Chemosphere*, **1**, 77, 1978.
- 10) F. Korte *et al.* : Ecotoxicology and Environmental Safety. *Ecotoxicological Profile Analysis VII*, **6**, 60, 1982.
- 11) Y. H. Kim : *Kor. J. Environ. Agric.*, **8**, 148, 1989.
- 12) J. Cairns Jr. and D. I. Mount : Aquatic Toxicology. *Environ. Sci. Technol.*, **24**(5), 154, 1990.
- 13) 송병훈 : 식품안전성연구의 최근 동향. 우리나라 농산물중의 잔류농약과 안전성, 제 5 회 한국식품위생학회 학술강연회, 서울, 1992.
- 14) 김용화, 김 균 : 화학물질의 환경화학적 시험과 환경독성학적 평가. *화학과 공업의 진보*, **30**(4), 252-253, 1990.
- 15) Barry G. Oliver and Arthur J. Niimi : Bioconcentration of Chlorobenzene from Water by Rainbow Trout: Correlations with Partition Coefficients and Environmental Residues, *Environ. Sci. Technol.*, **17**(5), 287-291, 1983.
- 16) Kathryn E. Clark, Frank, A. P. C. Gobas and Donald Mackay : Model of Organic Chemical Uptake and Clearance by Fish from Food and Water, *Environ. Sci. Technol.*, **24**(8), 1203-1213, 1990.
- 17) K. Nagasawa *et al.* : Separation and Detection of Carbamates, *J. of Chrom.*, **52**, 453, 1970.
- 18) E. R. Holden : Pesticide Residues, *J. of AOAC*, **56**, 713, 1973.
- 19) 食品公典 : 농산물의 농약잔류 허용기준 시험법. 보건사회부 고시 제 91-24호, 1991.
- 20) 衛生試驗法注解 : 日本藥學會編. 金原出版社, pp. 75-81, 1980.
- 21) Leon D. Sawyer, Bernadette M. McMahon and W. Harvey Newsome : Gail Abbott Parker, Pesticide and Industrial Chemical Residues, *AOAC Official Methods of Analysis*, p. 296, 1990.
- 22) *AOAC Official Methods of Analysis* : pp. 297-298, 1990.
- 23) 잔류농약분석세미나 : HPLC를 이용한 카바메이트 분석, 영인과학, 1989.
- 24) *AOAC Official Methods of Analysis* : pp. 291-292, 1990.
- 25) 이성환, 홍종옥 : 개정 농약학. 향문사, pp. 189-191, 1990.
- 26) 유홍일, 이해근, 전성환 : 농약잔류분석방법. 동화기술, p. 173, 1991.
- 27) J. H. Park and E. H. Cho : Estimation of Bioconcentration Factors in Fish for Organic Nonelectrolysis Using the Linear Solvation Energy Relationship, *Bull. Korean Chem. Soc.*, **14**(4), 457-461, 1993.
- 28) Barry G. Oliver and Arthur J. Niimi : Bioconcentration Factors of Some Halogenated Organics for Rainbow Trout: Limitations in Their Use for Prediction of Environmental Residues, *Environ. Sci. Technol.*, **19**(9), 842-849, 1985.
- 29) G. D. Vieth, K. J. Macek, S. R. Petrocelli and John Carroll : Aquatic Toxicology, pp. 116-129, 1980.
- 30) C. Hansch *et al.*, *J. Med. Chem.*, **4**, 538, 1981.