J. Fd Hyg. Safety 14(3), 249–254 (1999)

BPMC와 Chlorothalonil의 생분해율의 측정

민경진† · 차춘근
계명대학교 자연과학대학 공중보건학과

Determination of Biodegradation Rate on BPMC and Chlorothalonil

Kyung-Jin Min† and Chun-Geun Cha
Department of Public Health, College of Natural Science, Keimyung University, Taegu 704-701, Korea

ABSTRACT – The present study was performed to investigate biodegradation rate of BPMC(2-sec-butylphenyl methyl carbamate) and chlorothalonil. In the biodegradation test of two pesticides by the modified river die-away method from June 17 to August 22, 1998, the biodegradation rate constants and half-life were determined in Nakdong(A) and Kumho River(B). Bio- degradation rate of BPMC was 27% in A sampling point, 40% in B sampling point after 7 days. Biodegradation rate constants and half-life of BPMC were 0.0460 and 15.1 days in A sampling point, 0.0749 and 9.3 days in B sampling point, respectively. Biodegradation rate of chlorothalonil was 100% in A and B sampling points after 7 days. Biodegradation rate constants and half-life of chlorothalonil were 0.1416 and 4.9 hours in A sampling point, 0.1803 and 3.8 hours in B sampling point, respectively. Biodegradation rate of chlorothalonil was faster than that of BPMC. Correlation analysis between biodegradation rate constants of pesticides and water quality(DO, BOD, SS, ABS, NH_3-N and NO_3-N) showed significant correlation with BOD, SS and NH_3-N. Furthermore, regression analysis with BOD, SS and NH_3-N as independent variable and biodegradation rate constant as independent variable showed a significant linear equation. These results suggested that BPMC and chlorothalonil were mainly degraded by biodegradation, and the difference in biodegradation of two pesticides was due to difference of water quality.

Key words □ Biodegradation, BPMC, Chlorothalonil

농약의 생분해는 농약이 환경에 노출된 후 무생물학적 분해 이외의 미생물에 의한 분해를 말한다. 환경에 노출된 농약은 환경인자들의 조건에 따라 정도는 다르나 이들을 탄소원 또는 질소원 등으로 이용하는 미생물에 의해 생물학적으로 분해되며 결과적으로 CO_2 및 NH_3로 무기질화 된다.[1] 난분해성인 농약들의 경우에는 이러한 분해과정이 매우 길어 환경에 축적됨으로써 환경오염을 일으키는 원인이 되고 있으며 비교적 환경 내에서 분해가 빠르다고 알려진 카르바메이트계 농약이나 유기인계 농약들도 사용량의 증가로 인하여 하천, 호소 및 지하수 오염의 우려가 높아지고 있다.[2-3] 이로 인해 전 세계적으로 농약의 오염실태 및 환경에서의 신속한 분해 방안들에 대한 정보를 얻기 위하여 생물학적인 분해과정에 관한 다양한 연구가 진행되고 있다.[4]

†Author to whom correspondence should be addressed.

농약은 수질과 토양에서 주로 미생물의 작용에 의하여 분해되며 이와 같은 성질을 미생물 분해성 또는 생분해성이라 한다. 환경 중에서 존재하는 많은 종류의 미생물은 농약 분해능을 가진 것으로 알려져 있으며 농약 분해균들은 특수한 종류의 미생물들이 아니라 일반적으로 환경에 존재하고 있는 미생물이며 한 종류의 농약을 분해하는 미생물이 복수로 존재하는 경우가 많이 있다.[5]

생분해성 시험은 분해의 정도에 따라 ready biodegradability test, inherent biodegradability test 및 simulation test로 분류된다.[6] 현재까지 여러 가지 생분해성 시험법이 개발되어 왔으며 분석대상물질 또는 시험 목적에 따라 다양하다.[7]

미생물에 의한 농약 분해균의 배양은 Audus[8]가 2, 4-D를 이용한 집적배양실험에서 미생물에 의한 적응적 분해과정이 최초로 알려졌다. 그리고 생분해속도를 정량적 구조활

성 상관관계로 해석하려는 보고도 있다. Kanazawa[9]는 BPMC를 비롯한 8종의 농약을 이용하여 생분해속도와 옥탄올-물 분배계수와의 2차 반응속도식 및 알칼리가수분해 속도와의 상관식을 구하였다. 그러나 생분해속도는 실험조건의 표준화가 마련되어 있지 않아 이러한 관계식으로부터 생분해속도를 추정하는 것은 매우 어려움이 많다.

미생물에 의한 농약의 분해는 농약의 농도, 독성, 반응시간 또는 미생물 수 등에 따라 크게 좌우되어 분석 대상물질 또는 시험목적에 따라 시험방법이 다양하다.[7,10-11] 일반적으로 ready biodegradability test로 하천수와 활성오니를 이용한 수중 미생물 분해시험이 실시되며 DOC, BOD 및 CO_2 등을 분석하는 비 특이적 분석방법을 이용하거나,[6] 잔류농약의 양을 측정하여 분해율과 반감기를 구한다.[12-14]

우리나라의 생분해시험법은 1998년에 유해화학물질 관리법에 따라 환경내 동태와 관련된 안전성 평가시험으로 미생물 및 생물농축성 시험분야의 미생물 시험법이 1998년에 비로소 마련되었다.[15] 이로인해 국내적으로 농약의 생분해에 대한 연구는 현재까지 찾아보기가 매우 어렵다. 이 연구는 농약에 대한 안전성 평가를 위한 국내 연구기반이 조성되지 않은 상황에서 농약에 대한 생분해성 실험을 수행함으로써 우리나라의 농약에 대한 안전성 평가 연구에 도움을 주고자 하며 환경오염 예방대책을 세우는 데 필요한 연구라고 생각된다.

그리고 생분해 실험에 사용된 농약은 유기염소계 농약인 chlorothalonil과 카르바메이트계 농약인 BPMC를 사용하였다. Chlorothalonil은 사과, 감귤, 포도, 복숭아, 땅콩, 양파, 담배 등 다양한 과수와 밭작물에 주로 탄저병 예방을 위한 살균제로 사용되고 있으며,[16] 이는 1963년에 개발[17]되어 국내에서만 1995년까지 성분량으로 매년 300~1300톤이 사용되었으며, 국내에서 합성한 원제 생산량만 1995년 한해 1773톤에 이르고 있다.[18] 카르바메이트계 농약인 BPMC는 어류의 척추를 변형시키는 물질 중 최강으로 분류되는 농약[19]으로서 벼멸구 해충제거용 살충제로 1995년 한해 국내 생산량이 444톤에 달했다.[16,18] 이들 농약의 국내사용량이 매년 증가하고 있고 농약의 안전성 평가자료인 생분해 자료는 국내외적으로 찾아보기가 힘들었다. 따라서 이들 농약에 대한 생분해속도를 측정함으로써 미생물에 의한 환경 내 분해 경향을 파악하고자 하였으며, 실험방법에 있어서도 농약이 환경에 유입되었을 때 그 유해성을 평가하는 실험실적 연구방법인 일본의 화학물질 심사법에 준하여 river die-away법에 의해 생분해 실험을 수행하였다. 이 연구는 선진각국에서 필수적으로 요구하고 있는 농약의 안전성에 대한 생분해 기초 자료를 생산하고 국내적으로는 농약의 생분해 연구에 대한 연구기반 조성에 도움을 주고자 시도되었다.

실험재료 및 방법

실험농약

실험농약은 현재 국내에서 시판되는 carbamate계 농약인 BPMC [2-sec-butylphenyl methyl carbamate, 99%, (주)경농], 유기염소계 농약인 chlorothalonil [Daconil®, tetrachloro isophthalonitrile, 97%, (주)경농] 을 사용하였다.

기기 및 시약

실험에 사용한 기기로는 gas chromatograph(Shimadzu, GC-14A), 진탕배양기(Hwashin, HS-DS45F), 회전증발농축기(Rikakikai, NE-IS), pH meter(TOA, HM-20S), 화학천칭(Chyo, JL-180) 및 그 외 실험실에서 사용하는 일반기기를 사용하였다. 사용된 시약으로 peptone은 Difco사(미국), trifluoroacetic anhydride는 Acros사(미국), anhydrous sodium sulfate는 Junsei사(일본), sodium chloride는 Kanto사(일본), acetone, acetonitrile, ethyl acetate, ethyl ether 및 n-hexane은 Wako사(일본)에서 구입하여 사용하였다. 탈 이온수로는 MILLI-Q-PLUS(Millipore) 순수제조장치를 이용하여 실험시 제조하여 사용하였다.

실험방법

시료채취장소 – 하천수의 차이에 의한 농약의 생분해율

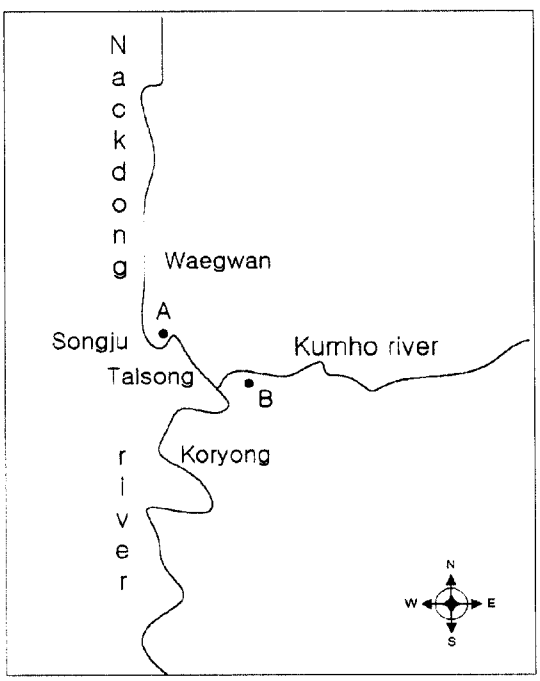

Fig. 1. Location of sampling points.
(A: Songju bridge B: Gangchang bridge)

을 비교하고자 환경기준의 차이가 있는 두 지점의 하천수 (A지점: BOD〈 2 mg/l, B지점: BOD 2~10 mg/l)로 A지점은 낙동강원수(성주대교)이고 B지점은 금호강원수(강창교)를 시료로 채택하였다(Fig. 1).

시료의 수질분석 – 수온과 pH는 시료채취장소에서 측정하였고 즉시 분석이 가능하지 않은 항목은 멸균된 polypropylene bottle과 DO bottle에 시료를 담아 4°C로 냉장, 실험실로 운반한 후 분석하였다. 시료의 수질분석은 환경부 고시 수질오염공정시험법 수질편[20]에 따라 분석하였으며 영양염류의 분석은 0.45 μm의 membrane filter로 여과된 시료를 사용하였다. 용존산소 농도 측정은 Winkler-azide 변법을 사용하였고, 부유물질량은 GF/C filter에 여과된 물질을 항량으로 건조하여 측정하였다. 영양염류로서 암모니아성 질소(NH_3-N)는 sodium hypochlorite solution (10%) 및 phenol로 반응시켜 생성된 indophenol을 630 nm에서 흡광도를 측정하였고, 질산성 질소(NO_3-N)는 sodium salicylate로 nitrosalicylic acid를 생성시킨 후 410 nm에서 흡광도를 측정하였다. 음이온계면활성(ABS) 성분은 MBAS(Methylene blue active substance) assay를 이용하여 생성된 청색의 복합체를 클로로포름으로 추출하여 클로로포름층을 650 nm에서 흡광도를 측정하였다.

미생물학적 분석 – 미생물학 분석은 standard plate counts를 표준평판법에 의해 측정하였으며 nutrient agar(3 g beef-extract, 5 g peptone, 15 g agar L^{-1}, pH 7.0)를 배지로 하여 희석 농도별로 각각 3개의 plate에 25°C 정도로 식힌 15 ml 정도의 배지와 희석된 시료 1ml를 넣고 잘 흔들어 섞은 뒤 굳혀서 25±0.5°C에서 72±3시간 배양시킨 후 나타난 집락수(colony forming units/ml; CFU ml^{-1})를 계수하였다.

표준용액의 제조 및 검량선의 작성 – 각 농약의 표준용액 조제와 검량선 작성 및 GC의 조건은 위생시험법 주해[21]와 PAM(Pesticide analytical manual)[22]에 따랐다. 즉 BPMC는 ethyl acetate 10 ml에 용해시켜 각각 10 μg/ml되게 조제한 후 각각 0.05, 0.10, 0.15, 0.20 ml를 시험관에 취하고 ethyl acetate를 가하여 각각의 전량이 0.20 ml되게 하였다. 여기에 pyridine 0.1 ml, trifluoroacetic anhydride 0.2 ml를 넣은 후 유도체화 하고 조제된 각 농도별 표준용액을 1 ml씩 GC에 주입하여 peak면적법에 의하여 검량선을 작성하였다.

Chlorothalonil은 ethyl acetate 10 ml에 녹여 각각 100 μg/ml되게 stock solution을 조제한 후 각 단계별로 희석하여 0.005, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 μg/ml가 되게 표준용액을 조제하였다. 조제된 각 농도별 표준용액을 1 μl씩 GC에 주입하여 peak 면적법에 의하여 검량선을 작성하였다. 각 농약의 측정을 위한 GC의 분석조건은 Shimadzu사 제품(모델 GC-14A)에 칼럼은 DB-17(30 m×0.53 mm) capiliary column을 사용하였다. GC 오븐의 온도는 BPMC는 170°C, chlorothalonil은 220°C에서 등온분석하였으며, 검출기는 63Ni-ECD를 사용하였고 그 외의 조건은 민의 방법에 따랐다.[23-24] 각 검량선은 GC-14A에 부착된 CR-6A Recorder에 내장된 BASIC applied program을 이용하여 다단계 표준샘플을 통한 직선검량선인 least-square method를 사용하여 정량을 행하였다.

생분해 실험조건 – 농약의 생분해성 시험은 modified river die-away method에 의해 실험농약의 생분해율을 구하였다.[12-14] 즉, 멸균된 공전시험관에 하천수와 pH 7±0.1의 0.2% 멸균펩톤수를 1:1로 혼합한 것 10 ml를 넣고 농약 표준용액 0.1 ml를 가한 것을 실험군으로 하였다. 대조군으로 미생물 이외의 인자에 의한 농약의 분해를 확인하고자 0.2% 멸균펩톤수 10 ml에 농약 표준용액 0.1 ml를 가하였다. 멸균펩톤수는 10 g peptone, 5 g sodium chloride, 3.5 g disodium hydrogen phosphate, 1.5 g potassium phosphate monobasic을 멸균수에 녹여 1 l되게 조제하였다. 각 군의 동일조건의 용액을 3개씩 제조하여 120rpm, 25°C, 암실에서 진탕 배양하였다.

시료채취와 분석은 시험개시시 0일, 1일, 2일, 3일, 5일 및 7일 후에 실시하였다. Chlorothalonil의 경우는 예비실험결과 생분해속도가 매우 빠르기 때문에 0, 6, 12 24시간 후에 실시하였다. 실험농약의 농도는 초기농도를 각각 1ppm 기준으로 하여 조제하였다. 실험농약의 추출과 분석은 시료용액 10 ml중 5 ml를 취하여 n-hexane : ethyl ether(4 : 1) 5 ml와 염화나트륨 2 g을 가하여 3분간 voltex mixing 한 후 4000 rpm에서 원심분리하여 추출한 후 재차 n-hexane : ethyl ether(4 : 1) 5 ml로 3회 추출 후 추출액을 합하여 무수 Na_2SO_4 column(내경 20 mm, 높이 50 mm)을 통과시켜 탈수하였다. 다시 column을 n-hexane 2 ml로 씻어내고 이것을 35°C에서 회전증발농축기로 약 0.5 ml되게 농축시킨 후 마지막 최종액은 질소가스를 불어 넣어 건조시켰다. 농축잔류물을 ethyl acetate에 녹여 표준용액과 같은 방법으로 시료를 제조한 후 GC-ECD로 분석을 행하였다.

통계자료분석 – 실험결과에서 나타난 자료의 통계처리는 SAS/PC(Version 6.12)를 이용하여 각 실험설계된 조건을 3

회 시행한 각 실험군 별 실험결과의 평균을 취하여 얻어진 값으로 BPMC와 chlorothalonil의 생분해율을 구하였다. 또한, 이들 농약의 생분해율에 영향을 미치는 상관성이 높은 수질환경기준의 변수와 생분해율과의 관계식을 회귀분석을 통하여 구하였다.

결과 및 고찰

하천수의 수질분석 결과

두 지점의 하천수에 대한 수질분석은 Table 1과 같다. A지점은 낙동강원수(성주대교)이며 B지점은 금호강원수(강창교)이다. 두 지점에서 시료채취는 1998년 6월 17일, 7월 1일 및 7월 22일에 각각 3회 채수하였다. BOD와 SS, 암모니아성 질소 및 질산성 질소 등의 수질분석 결과로 볼 때 B지점이 A지점보다 수질오염 정도가 높은 것을 알 수 있다. A지점은 대구시의 낙동강 상수원 취수지역에 해당하는 곳으로 BOD값이 1.3~1.7(mg/*l*)였고, B지점은 금호강 줄기에 해당하는 곳으로 BOD값이 3.5~6.4(mg/*l*)였다. 이는 두 지점 하천수의 수질 차이에 따라 농약의 생분해율의 비교를 하는 데 있어 적합한 채수지역으로 판단되었다.

미생물학적 분석

표준평판법에 의해 측정한 standard plate counts는 Table 2와 같다. A지점의 경우 2.7×10^3~3.7×10^3(CFU ml^{-1}) 이었으며, B지점의 경우 5.1×10^4~6.5×10^4(CFU ml^{-1}) 이었다.

Table 1. Analysis of water quality of two water samples

Sampling points	A	B	A	B	A	B
Sampling date	17 Jun	17 Jun	1 July	1 July	22 July	22 July
Water temperature(°C)	23.5	22.7	24.5	25.2	24.5	26.4
pH	6.5	8.0	7.3	7.3	7.3	7.7
DO(mg/*l*)	6.3	8.2	7.4	7.6	8.4	8.3
BOD(mg/*l*)	1.3	3.5	1.6	5.4	1.7	6.4
SS(mg/*l*)	3.8	38.5	15.7	23.1	26.8	68.9
ABS(mg/*l*)	0.05	0.08	0.04	0.07	0.02	0.06
NH3-N(mg/*l*)	0.06	0.50	0.08	0.54	0.07	0.53
NO3-N(mg/*l*)	0.84	1.35	2.56	4.98	1.52	4.67

Table 2. Standard plate counts in sampling points

Sampling date	Sampling points	Standard plate counts (CFU ml^{-1})
17/06/1998	A(Nackdong river)	2.7×10^3
17/06/1998	B(Kumho river)	5.1×10^4
01/07/1998	A(Nackdong river)	3.2×10^3
01/07/1998	B(Kumho river)	5.8×10^4
22/07/1998	A(Nackdong river)	3.7×10^3
22/07/1998	B(Kumho river)	6.5×10^4

일반적으로 저온일반세균으로 알려진 종속영양세균은 물속의 유기물을 이용할 수 있는 모든 종류의 세균을 말하는 것으로 호기성 내지 통성혐기성균을 계수한다. A지점과 B지점의 미생물학적 검사결과 종속영양세균은 B지점이 A지점보다 1도(order) 정도 높은 것으로 나타났다.

Modified river die-away method에 의한 농약의 생분해 시험 결과

BPMC의 생분해 시험 결과

Modified river die-away method에 의해 낙동강(A)과 금호강(B)에서 채수한 강물로 BPMC의 생분해 시험을 한 결과는 Fig. 2와 같다. A지점의 실험군에서는 배양 7일 경과 후 27%의 생분해를 나타냈으며 B지점의 실험군에서는 배양 7일 경과 후 40%의 생분해를 나타냈다. 즉 B지점이 A지점보다 생분해율이 10% 이상 높게 나타났다. 수질오염이 심한 B지점에서 BPMC의 생분해율이 높다는 것을 알

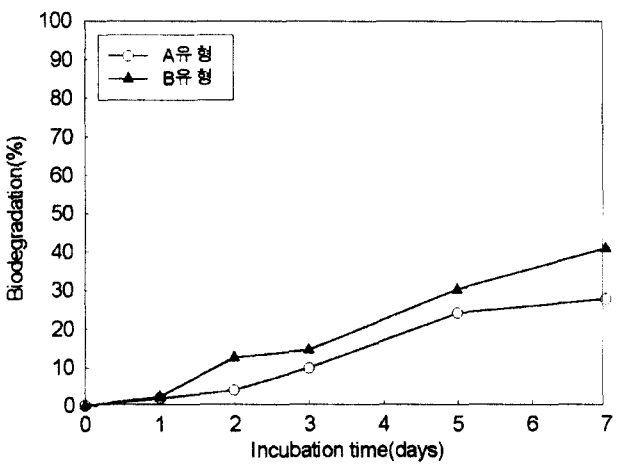

Fig. 2. Biodegradation of BPMC in two water samples.

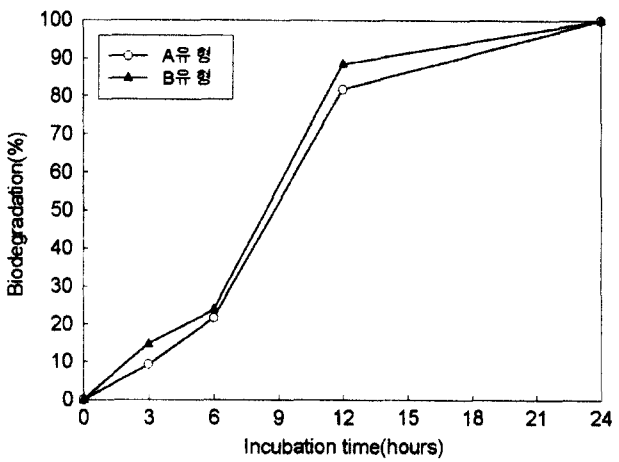

Fig. 3. Biodegradation of chlorothalonil in two water samples.

수 있다. BPMC의 생분해속도상수와 반감기는 A지점에서 0.0460 및 15.1일이었고, B지점에서 0.0749 및 9.3일로 조사되었다.

Chlorothalonil의 생분해 시험 결과

Chlorothalonil의 생분해 시험결과는 Fig. 3과 같다. A지점의 실험군과 B지점의 실험군에서 배양 24시간 경과 후 모두 100%의 빠른 생분해를 나타내었다. Chlorothalonil의 생분해속도상수와 반감기는 A지점에서 0.1416 및 4.9시간이었고, B지점에서 0.1803 및 3.8시간으로 조사되었다.

이상의 두가지 농약의 생분해속도는 chlorothalonil이 BPMC보다 빨랐다. 또한 수질오염이 높은 지역일수록 생분해율이 높은 것은 두 지점의 수질오염 및 종속영양세균수의 차이가 영향을 미치는 것으로 추정된다. Fushiwaki와 Urano의 연구[12]에서 제초제인 CNP(Chlornitrophen)를 river die-away법에 의해 생분해시험을 한 결과, CNP의 생분해는 수질오염이 높은 지역일수록 생분해율이 높았고, 계절별로는 6월과 7월이 조금 높고, 그 외는 그다지 변동이 없음을 보고하였다.

최근 Nishihara 등[14]의 연구에 의하면 5종의 화학물질, 즉 aniline, anthracene, chlornitrophen (CNP), fenitrothion (FNT) 및 linear alkylbenzene sulphonate(LAS)를 세가지 다른 지점의 호소에서 modified river die-away법에 의해 생분해시험을 한 결과 수질오염이 가장 낮은 호소에서 가장 낮은 생분해율을 나타냈으며, 농촌지역에 위치한 호소에서 chlornitrophen(CNP), fenitrothion (FNT) 및 linear alkylbenzene sulphonate(LAS)가 가장 높은 생분해율을 나타내었다. Aniline과 anthracene은 공업지역에 위치한 호소에서 높은 생분해율을 나타내었다. 이 결과는 과거로부터 현재까지에 노출된 화학물질의 종류에 대한 미생물의 적응 결과로 추측할 수 있다.

따라서 수질오염을 평가하는 수질오염지표로 널리 이용되고 있는 DO, BOD, SS, ABS, NH_3-N 및 NO_3-N 등이 각 농약의 생분해속도에 미치는 영향이 어떠한지를 알아보고자 상관분석을 실시하였다.

농약의 생분해속도와 수질환경기준의 상관분석

본 실험에서 측정한 DO, BOD, SS, ABS, NH_3-N 및 NO_3-N과 두가지 농약의 생분해속도와의 상관성을 구한 결과는 Table 2와 같다. 농약의 생분해속도와 상관성이 가장 높은 것으로 나타난 것은 각각 5% 유의수준에서 BPMC의 경우 BOD, SS 및 NH_3-N이었고, chlorothalonil의 경우 SS, BOD 및 NH_3-N순으로 상관성이 높은 것으로 나타났다. 따라서 상관성이 높은 BOD, SS 및 NH_3-N를 독립변수로, 생분해속도를 종속변수로 다중회귀분석을 통하여 각 농약의 생분해속도를 추정할 수 있는지를 검토하였다.

Table 2. Correlation coefficients of K_B† and water quality

	DO	BOD[a)]	SS[a)]	ABS	NH_3-N[a)]	NO_3-N
BPMC	0.63	0.98	0.98	0.62	0.96	0.71
Chlorothalonil	0.68	0.98	0.99	0.57	0.94	0.72

$\log K_B = a \cdot \log BOD + b \cdot \log SS + c \cdot \log NH_3\text{-}N + d$

a, b, c:regression coefficient d:intercept R^2:coefficient of determination

Table 3. Linear regression of K_B and water quality

	a	b	c	d	R^2	p-value
BPMC	0.207	-0.059	0.095	-2.628	0.99	0.01
Chlorothalonil	0.076	0.010	0.044	-1.835	0.98	0.03

† K_B indicates biodegradation rate constant.
a) ($p < 0.05$)

Table 4. Comparison of K_H and K_B in pesticides

	BPMC	Chlorothalonil
K_H	0.0028	0.0017
K_B	0.0749	0.1803

K_H: hydrolysis rate constant in pH 7(data from ref. 25).
K_B: biodegradation rate constant in Kumho river.

농약의 생분해속도와 수질환경기준의 회귀분석

각각의 농약에 대해 상관성이 높은 BOD, SS 및 NH_3-N를 독립변수로, 생분해속도를 종속변수로 회귀분석을 실시한 결과는 Table 3과 같다. 5% 유의수준에서 각각의 농약에 대해 BOD, SS 및 NH_3-N를 이용한 유의한 회귀식을 구할 수 있었으며, dichlorvos의 경우는 SS를 제외하였을 때 더 유의한 회귀식을 구할 수 있었다.

농약의 분해에 미치는 요인

두가지 농약의 분해에 미치는 요인을 알아보기 위해 가수분해속도상수와 생분해속도상수를 정리한 것은 Table 4와 같다. BPMC의 경우 생분해속도가 가수분해속도보다 빠르고 이는 실제 환경중에서 생분해에 의한 영향을 더 받을 것으로 생각되며 chlorothalonil의 경우는 생분해에 의한 영향이 가장 크게 나타난 것으로 보아 주요한 분해경로는 생분해인 것을 알 수 있었다.

국문요약

Modified river die-away 법으로 1998년 6월 17일부터 7월 22일 까지 낙동강(A)과 금호강(B)에서 채수한 강물로 BPMC와 chlorothalonil의 생분해 시험을 한 결과는 다음과 같다. BPMC의 경우 A지점의 실험군에서는 배양 7일 경과 후 27%의 생분해를 나타냈으며 B지점의 실험군에서는 배양 7일 경과 후 40%의 생분해를 나타냈다. 생분해속도상수와 반감기는 A지점에서 0.0460 및 15.1일이었고, B지점에서 0.0749 및 9.3일로 조사되었다. Chlorothalonil의 경우 A지점의 실험군과 B지점의 실험군에서 배양 24시간 경과 후 모두 100%의 빠른 생분해를 나타내었다. 생분해속도상수와 반감기는 A지점에서 0.1416 및 4.9시간이었고, B지점에서 0.1803 및 3.8시간으로 조사되었다. Chlorothalonil이 BPMC보다 생분해속도가 빨랐으며, 수질오염이 심한 지역일수록 생분해율이 높은 것은 두 지점의 수질오염 및 종속영양세균수의 차이가 영향을 미치는 것으로 추정된다. 두가지 농약의 생분해속도와 실험수의 DO, BOD, SS, ABS, NH_3-N 및 NO_3-N와의 상관성을 구한 결과 각각 5% 유의수준에서 BPMC의 경우 BOD, SS 및 NH3-N이었고, chlorothalonil의 경우 SS, BOD 및 NH_3-N 순으로 상관성이 높은 것으로 나타났다. 각각의 농약에 대해 상관성이 높은 BOD, SS 및 NH_3-N를 독립변수로, 생분해속도를 종속변수로 회귀분석을 실시한 결과는 5% 유의수준에서 각각의 농약에 대해 유의한 회귀식을 구할 수 있었다. BPMC는 실제 환경중에서 생분해에 의한 영향을 더 받을것으로 생각되며 chlorothalonil은 주요한 분해경로가 생분해인 것을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. White, G. F. and Russell, N. J.: Biodegradability of surfactants. What is biodegradation?: *Blackie Academic and Professionnal*, 28-64 (1995).
2. Burkart, M. R. and Kolpin, D. W.: Hydrologic and land-use factor associated with herbicides and nitrate in near-surface aquifers. *J. Environ. Qual.*, **22**, 646 (1993).
3. Pereira, W. E. and Hostettler, F. D.: Nonpoint source contamination of the Mississippi river and its tributaries by herbicides. *Environ. Sci. Technol.*, **27**, 1542 (1993).
4. 정규혁: 농약에 의한 환경오염, 파루마콘, **25**, 10-15 (1996).
5. Kobayashi, H. and Rittmanm, B. E.: Microbial removal of hazardous organic compounds. Environ. *Sci. Technol.*, **16**, 170A-183A (1982).
6. OECD: OECD Guideline 301-304, *OECD* (1981).
7. Painter, H. A.: Biodegradability of surfactants. Biodegradability testing: *Blackie Academic and Professionnal*, 65-117 (1995).
8. Audus, L. J.: The biological detoxication of hormone herbicides in soil. *Plant Soil*, **3**, 170-192 (1951).
9. Kanazawa, J.: *Environ. Monit. Assess.*, **9**, 57-70 (1987).
10. Alexander, M.: Biodegradation of organic chemicals. *Environ. Sci. Technol.*, **18**, 106-111 (1985).
11. Berg, M. V. D., Meent, D. V., Peijnenburg, W. J., Sijm, D. T., Struijs, J. and Tas, J. W.: Transport, accumulation and transformation processes. Risk assessment of chemicals, *KAP, Netherlands*, 37-102 (1995).
12. Fusiwaki, Y. and Urano, K.: Biodegradation test of herbicide CNP in river water and sediment using the modified river die-away method. *Wat. Res.*, **22**, 1137 (1988).
13. 北森 成治, 石黑 靖尙, 大野 健治, 鳥羽 峰樹, 田中 義人, 近 紘之: 農藥の水環境における分 解に及ぼす物理化學的·生物學的因子の影響. 用水と廢水, **34**, 477-484 (1992).
14. Nishihara, T., Hasebe, S., Nishikawa and Kondo. M.: Biodegradation of aniline, anthracene, chlornitrophen, fenitrohion and linear alkylbenzene sulphonate in pond water. *J. Appl. Microbiol.*, **82**, 441-447 (1997).
15. 환경부: 화학물질유해성 시험연구기관의 지정등에 관한 규정, 국립환경연구원고시 제 1998-41호, 환경부 (1998).
16. 농약공업협회: 95 ' 농약사용지침서. 농약공업협회 (1995).
17. Buchel, K.H.: Chemistry Pesticides. John Willy & Sons, Inc. (1983).
18. 농약공업협회: 96 ' 농약연보. 농약공업협회 (1996).
19. 이서래: 환경독성학의 새로운 과제. *Korean. J. Environment. Agric.*, 7, 65-73 (1988).
20. 환경부: 수질오염공정시험법 수질편, 환경부 (1992).
21. 日本藥學會編: 衛生試驗法注解, 金原出版社 (1986).
22. USFDA: Pesticide analytical manual, *USFDA* (1991).
23. 민경진, 전봉식, 차춘근, 조영주, 송진욱: *Brachydanio rerio*와 *Xiphophorus hellieri*를 이용한 γ-BHC와 Chlorothalonil의 단기간 생물농축계수의 측정, 한국환경위생학회지, **24**, 124 (1998).
24. 민경진, 전봉식, 차춘근, 김근배, 조영주, 송진욱: *Brachydanio rerio*와 *Xiphophorus hellieri* 를 이용한 BPMC, Carbaryl 및 Carbofuran의 단기간 생물농축계수의 측정, 한국식품위생안전성학회지, **13**, 213 (1998).
23. 차춘근: 일부농약의 분해성에 따른 생물농축의 변화, 계명대학교 박사학위논문 (1998).