

Butachlor의 수서생물에 대한 위해성평가

박연기* · 배철한¹ · 김병석 · 이제봉 · 유아선 · 홍순성 · 박경훈 · 신진섭 · 홍무기 · 이규승² · 이정호³

국립농업과학원 농산물안전성부, ¹한국삼공(주) 농업연구소, ²충남대학교, ³대구대학교

(2009년 2월 25일 접수, 2009년 3월 10일 수리)

The Risk Assessment of Butachlor for the Freshwater Aquatic Organisms

Yeon-Ki Park*, Chul-Han Bae¹, Byung-Seok Kim, Jea-Bong Lee, Are-Sun You, Soon-Sung Hong, Kyung-Hoon Park, Jin-Sup Shin, Moo-Ki Hong, Kyu-Seung Lee² and Jung-Ho Lee³

Pesticide Safety Division, National Institute of Agricultural Science and Technology, ¹Agricultural Research Center, Hankooksamgong Co., Ltd., ²Chungnam National University, ³Daegu University

Abstract

To assess the effect of butachlor on freshwater aquatic organisms, acute toxicity studies for algae, invertebrate and fishes were conducted. The algae grow inhibition studies were carried out to determine the growth inhibition effects of butachlor (Tech. 93.4%) in *Pseudokirchneriella subcapitata* (formerly known as *Selenastrum capricornutum*), *Desmodesmus subspicatus* (formerly known as *Scenedesmus subspicatus*), and *Chlorella vulgaris* during the exposure period of 72 hours. The toxicological responses of *P. subcapitata*, *D. subspicatus*, and *C. vulgaris* to butachlor, expressed in individual ErC₅₀ values were 0.002, 0.019, and 10.49 mg L⁻¹, respectively and NOEC values were 0.0008, 0.0016, and 5.34 mg L⁻¹, respectively. *P. subcapitata* was more sensitive than any other algae species. Butachlor has very high toxicity to the algae, such as *P. subcapitata* and *D. subspicatu*. In the acute immobilisation test for *Daphnia magna*, the 24 and 48h-EC₅₀ values were 2.55 and 1.50 mg L⁻¹, respectively. As the results of the acute toxicity test on *Cyprinus carpio*, *Oryzias latipes* and *Misgurnus anguillicaudatus*, the 96h-LC₅₀s were 0.62, 0.41 and 0.24 mg L⁻¹, respectively. The following ecological risk assessment of butachlor was performed on the basis of the toxicological data of algae, invertebrate and fish and exposure concentrations in rice paddy, drain and river. When a butachlor formulation is applied in rice paddy field according to label recommendation, the measured concentration of butachlor in paddy water was 0.41 mg L⁻¹ and the predicted environmental concentration (PEC) of butachlor in drain water was 0.03 mg L⁻¹. Residues of butachlor detected in major rivers between 1997 and 1998 were ranged from 0.0004 mg L⁻¹ to 0.0029 mg L⁻¹. Toxicity exposure ratios (TERs) of algae in rice paddy, drain and river were 0.004, 0.05 and 0.36, respectively and indicated that butachlor has a risk to algae in rice paddy, drain and river. On the other hand, TERs of invertebrate in rice paddy, drain and river were 3.6, 50 and 357, respectively, well above 2, indicating no risk to invertebrate. TERs of fish in rice paddy, drain and river were 0.58, 8 and 57, respectively. The TERs for fish indicated that butachlor poses a risk to fish in rice paddy but has no risk to fish in agricultural drain and river. In conclusion, butachlor has a minimal risk to algae in agricultural drain and river exposed from rice drainage but has no risk to invertebrate and fish.

Key words Butachlor, algae, invertebrate, fish, risk assessment

*연락처 : Tel. +82-31-290-0591, Fax. +82-31-290-0508
E-mail: pyk519@rda.go.kr

서 론

농약의 위해성은 농약을 사용함으로써 사람 또는 환경에 미치는 부작용에 대한 가능성을 말하는 것으로 농약에 대한 위해성평가는 화학물질의 독성(toxicity)과 생물종에 노출되는 농약의 노출량(exposure)을 개별적으로 검토하고 그 결과를 상호 비교하여 평가하고 있다. 독성과 노출량에 관계되는 시험은 단계적(tier system)으로 수행하는 것으로 최초 급성 독성의 시험결과를 바탕으로 구해진 독성값과 최악의 경우를 가정하여 비교적 간편한 계산식에 의한 환경추정농도를 산출하여 평가기준치에 만족되면 평가를 끝내고 그렇지 않을 경우 위해성 경감조치(사용방법의 규제나 포장지 주의사항 표기 등)로 대체 하거나 비용과 시간은 걸리나 실제에 가까운 시험을 실시하여 재평가 또는 등록 보류하고 있다.

Butachlor는 chloroacetamide 계의 제초제로 1970년 우리나라에 일년생잡초 방제제로 등록되어 현재는 단제(單劑) 및 혼합제(混合劑)로 13품목이 등록되어 사용되고 있으며, 2006년 기준 우리나라 비 재배용 제초제 전체 출하 성분량 중 37%(713 ton)를 차지할 만큼 사용량이 많다(농약사용지침서, 2007). Butachlor에 대한 연구는 분해와 소실(이, 1980; 이, 1983; 문, 1986, 1990; 오 등, 1981; 문 등, 1990; Zheng 와 Ye, 2001; Debnath 등, 2002; Yu 등, 2003), 토양흡착(양과 이, 1976; 김과 김, 1990; 문과 김, 2000; Chiang 등 1997; Zheng 등, 2002;) 그리고 용탈과 이동성(김 등, 2002; 김 등, 2002)에 관한 많은 연구가 진행되어, 주로 토양중 미생물에 의한 분해가 일어나며 약효는 약 40일정도 지속되고, 지표수 중 농약잔류도 20~40일로 거의 안정한 것으로 되어 있다(정과 박, 1990; 문과 김, 2000). 우리나라 6대강 유역(한강, 금강, 낙동강, 영산강, 만경강, 섬진강)의 하천수 중 농약 잔류량을 조사한 결과 butachlor 사용시기인 6월에 butachlor 0.0004~0.0042 mg L⁻¹이 검출되었다(농업과학기술원, 1997, 1998).

이에 본 연구는 우리나라, 미국, OECD 등에서 널리 사용되는 국제 표준 조류 시험종인 녹조류 3종(*Pseudokirchneriella subcapitata*, *Desmodesmus subspicatus* 그리고 *Chlorella vulgaris*)과 물벼룩(*Daphnia magna*), 그리고 잉어(*Cyprinus carpio*), 송사리(*Oryzias latipes*, Medaka), 그리고 미꾸리(*Misgurnus anguillicaudatus*)에 대한 독성시험을 수행하여 butachlor의 수생생물에 대한 위해 가능성을 평가하고자 하였다.

재료 및 방법

시험물질

Butachlor(N-butoxymethyl-2-chloro-2',6'-diethylacetanilide)는 Monsanto社가 1969년 마세트(Machete[®])라는 이름으로 개발한 제초제로 벼 화본과 및 방동산이고 잡초의 발아시에 효과적으로 방제되며, 처리된 약제는 주로 유아(幼芽)에서 흡수되어 성장점으로 이동하여 단백질의 생합성을 저해함으로써 세포분열을 억제하여 생육을 정지시키는 것으로 알려져 있고(정과 박, 1990), 본 시험에서 사용한 butachlor(tech, 93.4%)의 구조식은 Fig. 1과 같다.

Butachlor의 조류(algae)에 대한 독성평가

시험생물

조류성장저해 시험에 사용한 녹조류 3종(*Pseudokirchneriella subcapitata*, *Desmodesmus subspicatus* 그리고 *Chlorella vulgaris*)은 대구대학교 사범대학 생물학과 육수학연구실에서 분양받아 국립농업과학원 위해성평가연구실에서 계대배양하면서 시험에 이용하였다. 시험생물의 순수배양을 위해 *P. subcapitata*, *D. subspicatus* 그리고 *C. vulgaris*는 OECD에서 추천한 배지를 이용하였다.

실내계대배양은 온도와 조도를 각각 24±1℃와 6000~8000 lux로 조절된 incubator에서 100 rpm으로 shaking하며 배양하였다.

성장저해시험(growth inhibition test)

Butachlor의 조류 성장저해시험은 우리나라의 농약등록 시험기준과 방법(농촌진흥청, 2007), 미국 EPA의 생태영향 시험가이드라인(US/EPA OPPTS 850.5400, 1996) 그리고 OECD의 화학물질 시험가이드라인(OECD 201, 2006)에 준하여 수행하였다. 시험시작 7일전에 시험조건과 동일한 조건에서 전배양(pre-culture)을 하여 지수성장기에 도달한 조류를 시험에 사용하였다. 농약의 시험농도를 알아보기 위하여 250 ml 삼각플라스크에 100 ml 배지를 넣고 조류를 10⁴ cell ml⁻¹ 되게 처리하여 예비시험을 수행하였다. *P. subcapitata*,

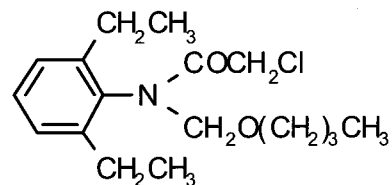


Fig. 1. Structural formula of butachlor.

D. subspicatus, 그리고 *C. vulgaris*는 $24 \pm 1^\circ\text{C}$, 6,000~8,000 lux에서 100 rpm으로 72시간 배양하였다. 시험시작 24, 48, 그리고 72시간 후에 현미경 아래에서 hemocytometer를 이용하여 cell 수를 조사하였다.

pH는 시험 시작전과 종료 시에 측정하였고 온도는 매 24시간 측정하였다. 본 시험 농도는 예비시험 결과에 기초하여 최저농도는 조류의 성장에 대한 영향이 관찰되지 않도록 하고, 최고농도는 대조군과 비교하여 50%이상 성장저해가 관찰되도록 설정하였다. 처리농도는 5농도이상, 농도당 3반복으로 하였다. 조류의 성장율(growth rate)을 기준으로 ErC₅₀와 NOErC 그리고 수율(yield)을 기준으로 EyC₅₀과 NOEyC를 구하였다. 시험기간 동안 일정기간의 조류의 평균 특이성장율(average specific growth rate; μ)과 평균 특이성장율에 대한 저해율(percent inhibition in average specific growth rate; % Ir)과 수율(yield)에 대한 저해율(percent inhibition of yield : % Iy)은 아래식에 의하여 구하였다.

$$\mu = \frac{\ln N_n - \ln N_0}{t_n - t_0} \quad \begin{array}{l} N_0: t_0 \text{ 시간에서의 생물량(biomass)} \\ N_n: t_n \text{ 시간에서의 생물량} \end{array}$$

$$\% \text{ Ir} = \frac{\mu_c - \mu_t}{\mu_c} \times 100 \quad \begin{array}{l} \mu_c: \text{대조군에서의 특이 성장율의 평균값} \\ \mu_t: \text{처리군에서의 평균 성장율} \end{array}$$

$$\% \text{ Iy} = \frac{Y_c - Y_t}{Y_c} \times 100 \quad \begin{array}{l} Y_c: \text{대조군에서의 평균 수율} \\ Y_t: \text{처리군에서의 수율} \end{array}$$

Butachlor의 물벼룩에 대한 독성평가

시험생물

국립농업과학원 위해성평가연구실에서 계대사육하고 있는 *Daphnia magna*를 사용하였다. 사육조건은 수온이 $20 \pm 1^\circ\text{C}$, 광조건 16시간, 암조건 8시간으로 하였으며 물벼룩 먹이로는 순수배양 시킨 *Chlorella vulgaris*를 $1 \times 10^5 \sim 2.5 \times 10^6$ cells mL⁻¹의 농도로 공급하였다. 물벼룩 사육수는 인공으로 조제하여 사용하였고(Table 1), 사육수의 경도와 알칼리도는 CaCO₃ 기준으로 각각 110~163.2와 110~111.2 mg L⁻¹이

Table 1. The composition of rearing solution for *D. magna*

Substance	Conc. in stock solution (mg L ⁻¹ , water ^{a)})	Rearing solution (mg L ⁻¹ , water ^{a)})
CaCl ₂ ·2H ₂ O	11.76	25
MgSO ₄ ·7H ₂ O	4.93	25
NaHCO ₃	2.59	25
KCl	0.23	25

^{a)} distilled water

었다.

급성 유영저해시험(acute immobilisation test)

Butachlor의 물벼룩에 대한 급성유영저해시험은 우리나라의 농약등록 시험기준과 방법(농촌진흥청, 2007), 미국의 EPA 생태영향 시험가이드라인(EPA OPPTS 850.1010, 1996) 그리고 OECD의 화학물질 시험가이드라인 202(OECD, 1984)에 준하여 시험하였다. 시험에 사용한 물벼룩은 생후 24시간 미만의 어린개체를 사용하였다. 시험방법은 125 mL 원형 유리 비이커에 사육수 100 mL을 채운 후 농도별로 농약을 처리하고 물벼룩을 10 마리씩 3반복으로 시험 농도별 총 30마리 물벼룩을 사용하여 시험용액 교체 없이 48 시간동안 관찰하였다. 수온은 대조군에서 매일 측정하였고, 광조건은 16시간, 암조건 8시간으로 조절하였다. 시험기간 동안 먹이와 공기는 공급하지 않았다. 시험농도는 예비시험 결과를 기초로 하여 최저농도는 물벼룩의 유영저해 영향이 관찰되지 않도록 하고, 최고농도는 대조군과 비교하여 50%이상 유영저해가 관찰되도록 설정하였다.

시험시작 후 24시간과 48시간에 처사 또는 유영저해(immobilisation)를 받은 개체와 이상증상을 관찰하였다. 유영저해의 판정은 유리막대로 시험수를 저어준 후 약 15초간 관찰하여 움직이지 않거나 정상적인 유영을 하지 못하는 개체를 영향을 받은 것으로 간주하였고, 독성증상은 육안으로 관찰하여 기록하였다. 시험기간 동안 시험용액의 pH, DO는 시험 시작전과 시험 종료시에 측정하였다.

시험결과는 probit(EPA version 1.5)법을 이용하여 24시간 및 48시간의 EC₅₀값과 95% 신뢰한계를 구하였다. 또한 시험농도 중에서 영향이 없는 최고농도(NOEC)와 100% 영향을 나타낸 최저농도(LOEC)를 표시하였다.

Butachlor의 어류에 대한 독성평가

시험생물

급성독성시험에 사용한 어류는 국립농업과학원 위해성평가연구실에서 실내사육중인 잉어와 송사리 그리고 미꾸리

Table 2. Total length and weight of fish used in acute toxicity test

Species	Length (cm)	Weight (g)
<i>C. carpio</i>	4.77±0.32 ^{a)}	1.17±0.29 ^{a)}
<i>O. latipes</i>	3.05±0.12	0.26±0.05
<i>M. anguillicaudatus</i>	7.66±0.63	2.15±0.45

^{a)} Mean±SD.

부화 후 4~5개월 된 치어를 사용하였고, 어류별 전장과 무게는 Table 2와 같다.

급성독성시험(acute toxicity test)

Butachlor의 어류에 대한 급성독성시험은 우리나라의 농약 등록시험기준과 방법(농촌진흥청, 2007)과 미국 EPA의 생태영향 시험가이드라인(EPA OPPTS 850.1075, 1996) 그리고 OECD의 화학물질 시험가이드라인 203(OECD, 1992)에 준하여 시험하였다. 잉어와 미꾸리는 6 L 원형유리수조(직경20×높이26 cm)에 시험용액을 5 L를 넣고 시험 농도당 5마리씩 2반복 처리하였고 송사리는 시험농도당 10마리씩 반복 없이 넣은 후 시험 기간 동안 시험용액을 교체하지 않는 지수식(static)으로 시험하였다. 시험기간 중에는 먹이와 산소를 공급하지 않았으며, 광주조건 16시간 암조건 8시간으로 조절하였다. 24시간마다 치사어와 독성증상을 관찰하여 기록하였고 치사한 개체는 즉시 제거하였다. 시험기간 동안 시험용액의 pH와 DO는 24시간마다 모든 농도에서 측정하였으며 수온은 대조군에서 측정하였다. 시험결과 분석은 100% 치사농도와 0% 치사농도 사이에 부분적인 치사농도가 2개 이상 일 때는 프로그램화 된 probit (EPA, version 1.5)법을 사용하였으나, 부분적인 치사농도가 2개 미만일 경우에는 moving-average angle(EPA)법을 사용하여 48시간 및 96시간 LC₅₀ 값과 95%신뢰한계를 산출하였다.

Butachlor의 수서생물에 대한 위해성 평가

Butachlor의 수서생물에 대한 위해성 평가(risk assessment)는 우리나라 농약 등록관리법에서 제시하고 있는 생태 위해성 평가 방법에 따라 독성(toxicity)과 노출(exposure)을 비교하여 독성노출비(TER)를 산출하여 평가하였다. 독성 값들은 본 연구를 통해 구한 수서생물에 대한 독성값 중 가장 독성이 강한 수치를 이용하였다. 노출량은 논의 경우는 실제 야

외 논 포장시험에서 구한 논물중 butachlor의 잔류농도를 이용하였고, 배수로는 아래 계산식을 이용하여 산출한 이론적 환경추정농도(PEC)를 사용하였다. 그리고 강에서의 노출량은 국내 6대 강에서의 butachlor 잔류모니터링 결과를 이용하였다.

$$\text{논물 중 PEC} = \frac{10 \text{ a당 추천사용량(a.i. mg)}}{\text{수심 5 cm인 10 a 논물의 양(L)}}$$

$$\text{배수로 PEC} = \frac{10 \text{ a당 추천사용량(a.i. mg)}}{\text{수심 5 cm인 10 a 논물의 양(L)}} \times \frac{1}{100}$$

$$\text{TER} = \frac{\text{LC}_{50} \text{ 또는 EC}_{50} \text{ (mg. L}^{-1}\text{)}}{\text{PEC(mg. L}^{-1}\text{) 또는 실제환경중 잔류농도}}$$

결과 및 고찰

Butachlor의 조류에 대한 영향

생장저해

72시간 생장저해시험 기간 동안의 평균 온도와 pH는 각각 23±2와 6.8~7.4 이었다.

Butachlor의 *P. subcapitata*에 대한 72시간 생장저해시험 결과, 대조군에서의 세포수는 초기 세포수(1×10^4 cells mL⁻¹)보다 평균 59배 증가하여 OECD 시험지침서에서 제시한 72시간 후 대조군의 조류 세포수 16배 이상 증가를 보임으로써 시험의 유효성은 인정되었다. 0.0064, 0.0032 그리고 0.0016 mg L⁻¹ 처리군은 초기 세포수보다 각각 평균 0.8, 3.3 그리고 15.3배 증가하는데 그쳐 생장을 기준으로 저해율은 각각 106.52, 70.47 그리고 33.05%, 수율 기준으로 저해율은 각각 100.4, 95.98, 그리고 75.29% 이었다. 그러나 0.0008과 0.0004 mg L⁻¹ 처리군에서는 생장과 수율에 따른 생장 저해율은 거의 없었다(Table 3~5).

Table 3. Cell density for each replicate of *P. subcapitata* treated with butachlor

Conc. (mg L ⁻¹)	Cell density (10 ⁴ cells mL ⁻¹)	24 h				48 h				72 h			
		1	2	3	M ^{a)}	1	2	3	M	1	2	3	M
0.0064	1	1.0	2.0	1.0	1.3	0.3	1.0	0.0	0.4	1.0	0.3	1.0	0.8
0.0032	1	1.0	1.0	3.0	1.7	5.0	4.0	2.0	3.7	2.0	3.0	5.0	3.3
0.0016	1	5.0	4.0	6.0	5.0	8.0	6.0	7.0	7.0	16.0	15.0	15.0	15.3
0.0008	1	1.0	7.0	6.0	4.7	12.0	11.0	13.0	12.0	58.0	58.0	55.0	57.0
0.0004	1	5.0	4.0	1.0	3.3	12.0	8.0	16.0	12.0	60.0	67.0	64.0	63.7
Control	1	4.0	4.0	2.0	3.3	19.0	19.0	12.0	16.7	64.0	56.0	57.0	59.0

a) Mean

Table 4. Average specific growth rates and percent inhibition in average specific growth rate of *P. subcapitata* treated with butachlor

Conc. (mg L ⁻¹)	24 h		48 h		72 h	
	μ^a	Ir (%) ^{b)}	μ	Ir (%)	μ	Ir (%)
0.0064	0.012	76.11	-0.017	129.72	-0.004	106.52
0.0032	0.021	57.57	0.027	53.82	0.017	70.47
0.0016	0.067	-33.68	0.041	30.83	0.038	33.05
0.0008	0.064	-27.95	0.052	11.68	0.056	0.85
0.0004	0.050	0.00	0.052	11.68	0.058	-1.87
Control	0.050	0	0.059	0	0.057	0

^{a)} Average specific growth rate, ^{b)} Percent inhibition in average specific growth rate

Table 5. Yield and percent inhibition in yield of *P. subcapitata* treated with butachlor

Conc. (mg L ⁻¹)	24 h		48 h		72 h	
	Y ^{a)}	Iy (%) ^{b)}	Y	Iy (%)	Y	Iy (%)
0.0064	0.3	85.71	-0.6	103.62	-0.2	100.40
0.0032	0.7	71.43	2.7	82.098	2.3	95.98
0.0016	4.0	-71.43	6.0	61.70	14.3	75.29
0.0008	3.7	-57.14	11.0	29.79	56.0	3.45
0.0004	2.3	0.00	11.0	29.79	62.7	-8.05
Control	2.3	0	15.7	0	58	0

^{a)} Yield, ^{b)} Percent inhibition of yield

Table 6. Cell density for each replicate of *D. subspicatus* treated with butachlor

Conc. (mg L ⁻¹)	Cell density (10 ⁴ cells mL ⁻¹)	24 h				48 h				72 h			
		1	2	3	M ^{a)}	1	2	3	M	1	2	3	M
0.0256	1	1.0	2.0	2.0	1.7	4.0	6.0	2.0	4.0	6.0	3.0	4.0	4.3
0.0128	1	4.0	4.0	1.0	3.0	9.0	8.0	10.0	9.0	15.0	23.0	18.0	22.0
0.0064	1	1.0	3.0	6.0	3.3	7.0	11.0	9.0	9.0	25.0	46.0	37.0	36.0
0.0032	1	5.0	7.0	10.0	7.3	20.0	15.0	13.0	16.0	43.0	58.0	51.0	50.7
0.0016	1	2.0	3.0	8.0	4.3	30.0	15.0	13.0	16.0	106.0	72.0	62.0	80.0
Control	1	8.0	3.0	3.0	4.7	19.0	15.0	27.0	20.3	73.0	72.0	66.0	70.3

^{a)} Mean

Butachlor의 *D. subspicatus*에 대한 72시간 성장저해시험 결과, 대조군에서의 세포수는 초기 세포수보다 평균 70.3배 증가하였다. 0.0256, 0.0128 그리고 0.0064 mg L⁻¹ 처리군은 초기 세포수보다 각각 평균 4.3, 22 그리고 36배 증가하는데 그쳐 생장율 기준으로 성장저해율은 각각 65.52, 27.33 그리고 15.75%, 수율 기준으로 성장저해율은 각각 95.19, 69.71, 그리고 49.52% 이었다. 0.0032 mg L⁻¹ 처리군의 세포수 증가는 평균 50.7배 증가하였으나 생장율과 수율 기준으로 각각 7.71과 28.37%의 성장저해율을 보였다. 그러나 0.0016 mg L⁻¹ 처리군에서는 평균 80배의 세포수 증가를 보여 대조군과 차이가 없었다(Table 6~8).

Butachlor의 *C. vulgaris*에 대한 72시간 성장저해시험결과, 대조군에서의 세포수는 초기 세포수보다 평균 108배 증가하였다. 18.02와 12.02 mg L⁻¹ 처리군은 초기 세포수보다 각각 평균 1.0과 2.7배 증가하는데 그쳐 생장율 기준으로 성장저해율은 각각 100과 79.05%, 수율 기준으로 성장저해율은 각각 100과 98.44% 이었다. 그러나 8.01, 5.34 그리고 3.56 mg L⁻¹ 처리군에서는 각각 평균 84, 108.7 그리고 115 배의 세포수 증가를 보여 생장율 기준으로 각각 5.37, -0.13, -1.34%, 수율 기준으로는 각각 22.43, -0.62 그리고 -6.54%의 성장저해율을 보였다(Table 9~11).

Butachlor의 *P. subcapitata*, *D. subspicatus*, 그리고 *C.*

*vulgaris*에 대한 72시간 ErC₅₀은 각각 0.002, 0.019, 그리고 10.49 mg L⁻¹이었고, NOErC는 각각 0.0008, 0.0016, 그리고 5.34 mg L⁻¹이었다. 또한 EyC₅₀은 각각 0.0015, 0.0066, 그리고 8.87 mg L⁻¹이었고 NOEyC는 0.0008, 0.0016, 그리고 5.34 mg L⁻¹이었다(Table 12). 이것은 Ma 등(2002)이 보고한 butachlor의 *C. vulgaris*에 대한 72시간 EC₅₀값 8.61 mg L⁻¹과 거의 차이가 없었다.

조류 중간 성장 저해 차이는 *P. subcapitata* > *D. subspicatus* > *C. vulgaris*순이었고 *P. subcapitata*의 ErC₅₀ 값은 *D. subspicatus*와 *C. vulgaris* 보다 각각 9.5배와 5,245배 높았다. 특히 *C. vulgaris*가 *P. subcapitata*와 *D. subspicatus*에 비해

감수성이 낮은 것은 Kassi와 Hatakeyama(1993)의 simetryn 등의 3종 제초제를 이용한 녹조류 감수성 시험결과 *C. vulgaris*는 세포벽이 두껍고 높은 효소 활성으로 *P. subcapitata* 보다 감수성이 낮다는 보고와 일치하였다. 또한 Sabater 등(2002)과 Ferraz 등(2004)의 농약에 대한 녹조류의 급성독성 시험결과 *Desmodesmus* 속(屬)이 *Chlorella* 속(屬)보다 감수성이 높았다고 한 것과 유사하였다.

생태계내 1차 생산자인 조류의 높은 번식력을 감안하면 butachlor의 영향으로 감수성이 높은 *P. subcapitata*, *D. subspicatus*등이 영향을 받으면 개체군의 밀도가 일시적으로 낮아지지만 발생학적으로 내성 유전자로 바뀌어 개체군 밀도

Table 7. Average specific growth rates and percent inhibition in average specific growth rate of *D. subspicatus* treated with butachlor

Conc. (mg L ⁻¹)	24 h		48 h		72 h	
	μ ^{a)}	Ir (%) ^{b)}	μ	Ir (%)	μ	Ir (%)
0.0256	0.021	66.84	0.029	53.98	0.020	65.52
0.0128	0.046	28.68	0.046	27.06	0.043	27.33
0.0064	0.050	21.84	0.046	27.06	0.050	15.75
0.0032	0.083	-29.34	0.058	7.96	0.055	7.71
0.0016	0.061	4.81	0.089	5.94	0.061	-3.03
Control	0.064	0	0.063	0	0.059	0

^{a)} Average specific growth rate, ^{b)} Percent inhibition in average specific growth rate

Table 8. Yield and percent inhibition in yield of *D. subspicatus* treated with butachlor

Conc. (mg L ⁻¹)	24 h		48 h		72 h	
	Y ^{a)}	Iy (%) ^{b)}	Y	Iy (%)	Y	Iy (%)
0.0256	0.7	81.82	3.0	84.48	3.3	95.19
0.0128	2.0	45.45	8.0	58.62	21.0	69.71
0.0064	2.3	36.36	8.0	58.62	35.0	49.52
0.0032	6.3	-72.03	15.0	22.41	49.7	28.37
0.0016	3.3	9.09	16.0	17.24	79.0	-13.94
Control	3.7	0	19.3	0	69.3	0

^{a)} Yield, ^{b)} Percent inhibition of yield

Table 9. Cell density for each replicate of *C. vulgaris* treated with butachlor

Conc. (mg L ⁻¹)	Cell density (10 ⁴ cells mL ⁻¹)	24 h				48 h				72 h			
		1	2	3	M ^{a)}	1	2	3	M	1	2	3	M
18.02	1	1.3	1.0	1.3	1.3	0.6	2.0	0.6	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0
12.02	1	3.0	1.7	2.0	2.2	2.0	3.0	4.0	3.0	2.0	3.0	3.0	2.7
8.01	1	3.0	2.0	1.0	2.0	7.0	4.0	6.0	5.7	88.0	76.0	88.0	84.0
5.34	1	4.0	3.0	2.0	3.0	12.0	12.0	14.0	12.7	106.0	95.0	125.0	108.7
3.56	1	4.0	3.0	3.0	3.3	24.0	43.0	26.0	31.0	128.0	105.0	112.0	115.0
Control	1	4.0	3.0	2.0	3.0	37.0	30.0	26.0	31.0	104.0	108.0	112.0	108.0

a) Mean

Table 10. Average specific growth rates and percent inhibition in average specific growth rate of *C. vulgaris* treated with butachlor

Conc. (mg L ⁻¹)	24 h		48 h		72 h	
	μ ^{a)}	Ir (%) ^{b)}	μ	Ir (%)	μ	Ir (%)
18.02	0.011	76.12	0.001	98.12	0.0	100.0
12.02	0.033	26.86	0.023	68.01	0.014	79.05
8.01	0.029	36.91	0.036	49.49	0.062	5.37
5.34	0.046	0.0	0.053	26.06	0.065	-0.13
3.56	0.050	-9.59	0.072	0.0	0.066	-1.34
Control	0.046	0	0.072	0	0.065	0

^{a)} Average specific growth rate, ^{b)} Percent inhibition in average specific growth rate

Table 11. Yield and percent inhibition in yield of *C. vulgaris* treated with butachlor

Conc. (mg L ⁻¹)	24 h		48 h		72 h	
	Y ^{a)}	Iy (%) ^{b)}	Y	Iy (%)	Y	Iy (%)
18.02	0.3	85.00	0.1	99.78	0.0	100
12.02	1.2	38.33	2.0	93.33	1.7	98.44
8.01	1.0	50.00	4.7	84.44	83.0	22.43
5.34	2.0	0.0	11.7	61.11	107.7	-0.62
3.56	2.3	-16.67	26.7	11.11	114.0	-6.54
Control	2.0	0	30.0	0	107.0	0

^{a)} Yield, ^{b)} Percent inhibition of yield

Table 12. EC₅₀ and NOEC values of butachlor to freshwater alga species

Test species	Butachlor (mg L ⁻¹)			
	ErC ₅₀	NOErC	EyC ₅₀	NOEyC
<i>P. subcapitata</i>	0.002 (0.001~0.004) ^{a)}	0.0008	0.0015 (0.0014~0.0016) ^{a)}	0.0008
<i>D. subspicatus</i>	0.019 (0.016~0.024)	0.0016	0.0066 (0.0056~0.0076)	0.0016
<i>C. vulgaris</i>	10.49 (10.01~10.90)	5.34	8.87 (8.68~9.05)	5.34

^{a)} 95% confidence interval.

가 다시 높아지거나 내성이 강한 *C. vulgaris*와 *N. palea* 등 새로운 종들이 나타나 그 자리를 대신할 것이다(Kasai, 1999). 그러나 농약으로 인한 직접적인 조류의 성장저해영향은 2차적으로 물벼룩과 어류의 먹이 섭취량의 감소로 일시적인 수서생태계의 먹이사슬 파괴로 이어질 가능성도 있을 것으로 판단된다.

Butachlor의 물벼룩에 대한 영향

급성유영저해

48시간 급성유영저해시험 기간 동안의 평균 수온은 20.2±0.8°C, pH는 6.8~8.6, DO는 8.8~11.2 mg L⁻¹이었고, 경도

는 163.2 mg L⁻¹(CaCO₃ 기준), 알칼리도는 110.8 mg L⁻¹(CaCO₃ 기준)이었다. 대조군과 용매대조군에서는 유영저해 및 치사개체는 없었다. 0.6 mg L⁻¹ 처리군에서는 시험시작 후 24시간까지는 유영저해 및 치사개체가 나타나지 않았지만 48시간 후에는 4마리의 유영저해 개체가 관찰되었고 그중 2마리는 치사하였다. 1.2 mg L⁻¹ 처리군은 24시간 후에 1마리가 치사하였고 48시간 후에는 10마리의 유영저해 개체가 나타났지만 치사한 개체는 없었다. 2.4 mg L⁻¹ 처리군에서는 24시간 후에 12마리의 유영저해 개체가 나타나 그중 1마리가 치사하였으며, 48시간 후에는 22마리가 유영저해를 보이다가 11마리는 치사하였다. 4.8 mg L⁻¹ 처리군은 24시간 후

29마리가 유영저해를 보였으며 그중에서 21마리가 치사하였고 48시간 후에는 6마리가 치사하였다. 9.6 mg L⁻¹ 처리군의 경우는 24시간 후에 20마리가 치사하였고 48시간 후에는 10마리가 치사하여 시험 중인 물벼룩 30 마리 모두 치사하였다 (Table 13).

처리군에서 노출 48시간에 유영이 과민한 개체, 자발성 운동이 저하되어 가끔 바닥에 내려 앉는 개체가 관찰되었으나 시험기간동안 시험기간 동안 치사하지는 않았다(Table 14).

Table 15는 butachlor의 *D. magna*에 대한 48시간 급성유

영저해시험 결과를 보여주고 있다. 시험물질의 24시간과 48시간의 EC₅₀값과 95% 신뢰구간은 각각 2.55(2.21~2.95), 1.50(1.24~1.82) mg L⁻¹이었고, 48시간 NOEC와 LOEC는 각각 0.3과 9.6 mg L⁻¹이었다.

Butachlor의 어류에 대한 영향

급성독성

잉어의 경우, 시험기간 동안 용매대조군과 대조군에서는 치사어 및 이상증상개체가 관찰되지 않았으나, 처리구별 이상

Table 13. Mortalities and observed effects of *D. magna* exposed to butachlor in the acute immobilisation test

Conc. (mg L ⁻¹)	No.	Number of immobilize ^{a)} /dead						Total
		24 h			48 h			
		1	2	3	1	2	3	
9.6	30	0/0	10/10	10/10	10/10	10/10	10/10	30/30
4.8	30	10/6	10/7	9/8	10/9	10/9	9/9	29/27
2.4	30	5/0	4/1	3/0	7/2	9/5	6/5	22/12
1.2	30	0/0	0/0	1/0	3/0	4/0	3/0	11/0
0.6	30	0/0	0/0	0/0	2/1	1/0	1/1	4/2
0.3	30	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
Solvent	30	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0
Control	30	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0

^{a)} They were unable to swim within approximately 15 seconds following gentle agitation of the vessel.

Table 14. Toxicological symptoms of *D. magna* exposed to butachlor in the acute immobilisation test

Conc. (mg L ⁻¹)	Symptom		
	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3
9.6	Dead(10)	Dead(10)	Dead(10)
4.8	Dead(10)	NOR(1), Dead(9)	Dead(10)
2.4	NOR(1), LET(9)	Dead(8), LET(2)	NOR(2), Dead(5), LET(3)
1.2	ERR(3), LET(7)	NOR(2), LET(8)	NOR(2), LET(8)
0.6	NOR(5), Dead(1), LET(4)	NOR(4), LET(6)	NOR(3), Dead(1), ERR(5), LET(1)
0.3	NOR(10)	NOR(10)	NOR(10)
Solvent	NOR(10)	NOR(10)	NOR(10)
Control	NOR(10)	NOR(10)	NOR(10)

NOR: Normal, LET: Lethargic, ERR: Erratic swimming, Dead, (): Number of *D. magna*.

Table 15. Acute toxicity values of butachlor to *D. magna*

Species	Period (h)	EC ₅₀ (mg L ⁻¹)	NOEC ^{a)} (mg L ⁻¹)	LOEC ^{b)} (mg L ⁻¹)
<i>D. magna</i>	24	2.55(2.21~2.95) ^{c)}	0.6	9.6
	48	1.50(1.24~1.82)	0.3	9.6

^{a)} The highest concentration tested producing no immobile *D. magna*.

^{b)} The lowest concentration tested producing 100% immobile *D. magna*.

^{c)} 95% confidence interval.

증상으로는 평형상실, 출혈, 수조바닥에서 유영, 수면위로 올라와 유영하는 개체가 관찰되었다(Table 16). pH, DO, 그리고 수온은 각각 7.12~7.61, 5.6~8.1 mg L⁻¹, 그리고 23.4~23.5°C이었다. 시험시작전 시험용수의 경도와 알칼리도는 CaCO₃기준으로 각각 46.4와 41.4 mg L⁻¹이었다.

송사리는 시험기간 동안 대조군 및 용매대조군에서는 치

사어 및 이상증상 개체가 관찰되지 않았으나, 처리군에서는 평형상실, 출혈, 수조바닥에서 유영, 수면위로 올라와 유영하는 개체 등이 관찰되었다(Table 17). pH, DO, 그리고 수온은 각각 7.27~7.80, 5.7~8.4 mg L⁻¹, 그리고 23.8~24.4°C이었다. 시험시작전 시험용수의 경도와 알칼리도는 CaCO₃기준으로 각각 80과 34.1 mg L⁻¹이었다.

Table 16. Abnormal symptoms of *C. carpio* exposed to several concentrations of butachlor in the acute toxicity study

Conc. (mg L ⁻¹)	Abnormal symptom after days of exposure			
	24 h	48 h	72 h	96 h
2.5	-	-	-	-
1.6	-	-	-	-
1.0	VED(1) SUR(1), NOR(6)	NOR(2)	NOR(1)	NOR(1)
0.6	SUR(2), NOR(8)	NOR(4)	SUR(1), NOR(3)	NOR(4)
0.4	NOR(10)	NOR(10)	NOR(10)	NOR(10)
Solvent	NOR(10)	NOR(10)	NOR(10)	NOR(10)
Control	NOR(10)	NOR(10)	NOR(10)	NOR(10)

NOR: Normal, SUR: Fish mainly at the surface, VED: Vertebral deformation, (): Number of fish.

Table 17. Abnormal symptoms of *O. latipes* exposed to several concentrations of butachlor in the acute toxicity study

Conc. (mg L ⁻¹)	Abnormal symptom after days of exposure			
	24 h	48 h	72 h	96 h
0.51	SUR(6). NOR(1)	SUR(1)	SUR(1)	-
0.42	SUR(7). NOR(1)	SUR(5). NOR(2)	SUR(5). NOR(2)	SUR(5). NOR(1)
0.35	SUR(2). NOR(7)	SUR(2). NOR(7)	SUR(2). NOR(7)	SUR(2). NOR(6)
0.29	NOR(10)	NOR(10)	NOR(10)	NOR(10)
0.24	NOR(10)	NOR(10)	NOR(10)	NOR(10)
0.20	NOR(10)	NOR(10)	NOR(10)	NOR(10)
Solvent	NOR(10)	NOR(10)	NOR(10)	NOR(10)
Control	NOR(10)	NOR(10)	NOR(10)	NOR(10)

NOR: Normal, SUR: Fish mainly at the surface
(): Number of fish.

Table 18. Abnormal symptom of *M. anguillicaudatus* exposed to several concentrations of butachlor in the acute toxicity study

Conc. (mg L ⁻¹)	Abnormal symptoms after days of exposure			
	24 h	48 h	72 h	96 h
0.41	LOE(2), NOR(7)	LOE(1)	-	-
0.35	NOR(10)	LOE(1), NOR(7)	LOE(2), NOR(2)	LOE(1), NOR(1)
0.29	NOR(10)	NOR(8)	LOE(1), NOR(4)	NOR(2)
0.24	NOR(10)	NOR(10)	LOE(1), NOR(9)	NOR(2)
0.20	NOR(10)	NOR(10)	NOR(10)	LOE(2), NOR(8)
Solvent	NOR(10)	NOR(10)	NOR(10)	NOR(10)
Control	NOR(10)	NOR(10)	NOR(10)	NOR(10)

NOR: Normal, LOE: Loss of equilibrium
(): Number of fish.

미꾸리는 시험기간 동안 대조군과 용매대조군에서는 치사어 및 이상증상 개체가 관찰되지 않았으나, 처리군에서는 평형상실, 출혈, 수조바닥에서 유영, 수면위로 올라와 유영하는 개체 등이 관찰되었다(Table 18). 시험용수의 경도와 알칼리도는 CaCO_3 기준으로 각각 142.2와 52.6 mg L^{-1} 이었고, pH, DO, 그리고 수온은 각각 7.16~7.55, 5.2~8.1 mg L^{-1} , 그리고 23.1~23.5°C이었다. 시험시작전 시험용수의 경도와 알칼리도는 CaCO_3 기준으로 각각 142.2와 52.6 mg L^{-1} 이었다.

시험결과 Table 19에서 보는 바와 같이 급성독성시험결과 잉어, 송사리, 그리고 미꾸리의 48시간 LC_{50} 은 0.65, 0.44 그리고 0.36 mg L^{-1} , 96시간 LC_{50} 은 각각 0.62, 0.41, 그리고 0.24 mg L^{-1} 이었다. 이것은 신 등(1998)의 보고처럼 시간경과에 따른 독성증가를 보였으나 1.0~1.5배로 크지 않았다.

Butachlor의 수서생물에 대한 위해성평가

Butachlor의 수서생물에 대한 위해성 평가(risk assessment)는 독성값(LC_{50} 및 EC_{50})과 환경중 잔류농도(이론적으로 계산한 환경추정농도 또는 잔류 모니터링 자료)를 비교하여 TER로 하였다.

수서생물별 급성독성 값은 독성이 가장 높은 *P. subcapitata*,

D. magna 그리고 *M. anguillicaudatus*의 성적을 사용하였다(Table 20).

논물 중 butachlor의 잔류농도는 수심 5 cm의 깊이로 벼가 재배 되고 있는 논에 butachlor 5% 입제를 3 kg 10a^{-1} 살포한 다음 7일간 잔류농도를 조사한 결과에서 최고잔류농도 0.41 mg L^{-1} 를 이용하였고(박 등, 2003), 배수로의 경우는 butachlor 5% 입제를 3 kg 10a^{-1} 를 살포하여 수심 5 cm 논물에 전량 용해된 후 방류될 때를 가정하여 계산한 환경추정농도 0.03 mg L^{-1} 를 사용하였다(농약사용지침서, 2007). 강의 경우는 전국 6대 강에서 butachlor 사용시기인 5~6월 사이에 모니터링한 결과(농업과학기술원, 1997-1998)중 최고잔류농도인 0.0042 mg L^{-1} 을 이용하였다(Table 21).

Table 22는 butachlor의 수서생물에 대한 독성과 환경중 잔류농도를 이용하여 지점별 각각의 환경생물에 대한 독성노출비(TER)를 나타내었다. 논에서의 조류, 물벼룩 그리고 어류에 대한 TER은 각각 0.004, 3.6 그리고 0.58으로 산출되어 논에서 서식하는 조류와 어류는 우리나라 기준인 TER이 2이하로 위해가능성이 있는 것으로 나타났으나 물벼룩은 TER이 2이상으로 위해가능성은 거의 없는 것으로 나타났다.

배수로에서 조류, 물벼룩 그리고 어류에 대한 TER은 각각

Table 19. Acute toxicity values of butachlor to *C. carpio*, *O. latipes*, and *M. anguillicaudatus*

Species	LC_{50} (mg L^{-1})		Ratio (48 h/96 h- LC_{50})
	48 h	96 h	
<i>C. carpio</i>	0.65(0.52~0.81)	0.62(0.51~0.77)	1.0
<i>O. latipes</i>	0.44(0.40~0.48)	0.41(0.38~0.45)	1.1
<i>M. anguillicaudatus</i>	0.36(0.33~0.40)	0.24(0.23~0.25)	1.5

^{a)} 95% confidence interval

Table 20. Acute toxicity of butachlor to algae, invertebrate and fish

Species	Period (h)	EC_{50} or LC_{50} (mg L^{-1})
<i>P. subcapitata</i>	72	0.0022(0.002~0.0025) ^{a)}
<i>D. magna</i>	48	1.50(1.24~1.82)
<i>M. anguillicaudatus</i>	96	0.24(0.23~0.25)

^{a)} 95% confidence interval

Table 21. Butachlor residue levels from monitoring data or PEC calculation used for ecological risk assessment in surface water

Surface water	Residue concentration (mg L^{-1})	Reference
Rice paddy	0.41	Park (2003)
Drain	0.03	PEC calculation ^{a)}
River	0.0042	NIAST (1997)

^{a)} PEC was calculated on the basis of assumptions with one application of 150 g a.i./10a ÷ 100 and 5 cm water depth.

Table 22. Toxicity exposure ratio (TER) of butachlor for ecological risk assessment in aquatic environment

Species	Toxicity (mg L ⁻¹ , A)	Residued concentration (mg L ⁻¹ , B)			TER (A/B)		
		Paddy	Drain	River	Paddy	Drain	River
<i>P. subcapitata</i>	0.0015	0.41	0.03	0.0042	0.004	0.05	0.36
<i>D. magna</i>	1.5	0.41	0.03	0.0042	3.6	50	357
<i>M. auillicaudatus</i>	0.24	0.41	0.03	0.0042	0.58	8	57

0.05, 50 그리고 8로 조류는 TER이 2이하로 여전히 위해 가능성이 있는 것으로 나타났으나 물벼룩 및 어류는 TER이 2 이상으로 위해가능성은 거의 없는 것으로 나타났다.

강에서의 조류, 물벼룩 그리고 어류에 대한 TER은 각각 0.36, 357, 그리고 57로 조류는 TER이 2이하로 위해가능성이 있는 것으로 나타났으나 물벼룩과 어류에는 TER이 2이상으로 위해가능성은 거의 없는 것으로 판단된다.

종합해보면 butachlor의 담수조류에 대한 위해가능성이 있을 것으로 판단되며, 물벼룩과 어류에 대한 위해 가능성은 없는 것으로 판단된다.

일반적으로 논에 농약 사용은 당연하고 농작물이나 물 관리에 따라 변화하는 인위적인 생태계이기 때문에 논에 서식하는 생물(조류, 물벼룩, 어류 등)을 보전해야 할 대상에 포함시키는 일은 곤란하지만 논에 서식하거나 논을 이용하고 있는 조류(鳥類)나 그들의 먹이가 되는 생물이 농약에 오염되는 경우에는 예외적으로 보호대상에 포함해야 한다. 예를 들면 논 및 농수로 등에 서식하는 미꾸리는 보호대상으로 삼아야 할 것이다(농림부, 1999).

따라서 butachlor의 사용시기가 논에 서식하는 미꾸리의 산란시기(5~6월)와 비슷하여(김과 박, 2002) 미꾸리 수정란과 치어에 대한 영향, 개체수 감소 및 회복 등에 대한 추가적인 연구는 필요할 것으로 생각된다.

>> 인 / 용 / 문 / 헌

Chiang H. C., J. H. Yen and Y. S. Wang (1997) Sorption of herbicides butachlor, thiobencarb and chlomethoxyfen in soils. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 58:758-763.

Debnath A., A. C. Das and D. Mukherjee (2002) Persistence and effect of butachlor and basalim on the activities of phosphate solubilizing microorganisms in wetland rice soil. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 68:766-770.

EPA (1996) Ecological effects test guidelines.

Ferraz, D. G. B., C. Sabater and J. M. Carrasco (2004) Effects

of propanil, tebufenozide and mefenacet on growth of four freshwater species of phytoplankton: a microplate bioassay. *Chemosphere* 56:315-320.

Kasai, F. and S. Hatakeyama (1993) Herbicide susceptibility in two green algae, *Chlorella vulgaris* and *Selenastrum capricornutum*. *Chemosphere* 27(5):899-904.

Kasai, F. (1999) Shifts in herbicide tolerance in paddy field periphyton following herbicide application. *Chemosphere* 38(4):919-931.

Ma, J., L. Xu, S. Wang, R. Zheng, S. Jin, S. Huang and Y. Huang (2002). Toxicity of 40 herbicides to the green alga *Chlorella vulgaris*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 51:128-132.

OECD (2006) OECD Guidelines for testing of chemicals.

Sabater, C., A. Cuesta and R. Carrasco (2002) Effects of bensulfuron-methyl and cinosulfuron growth of four freshwater species of phytoplankton. *Chemosphere* 46:953-960.

Yu Y. L., Y. X. Chen, Y. M. Luo, X. D. Pan, Y. F. He and M. H. Wong (2003) Rapid degradation of butachlor in wheat rhizosphere soil. *Chemosphere* 50:771-774.

Zheng H. and C. Ye (2001) Photodegradation of acetochlor and butachlor in waters containing humic acid and inorganic ion. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 67:601-608.

Zheng H. and C. Ye (2002) Adsorption and mobility of acetochlor and butachlor on soil. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 68:509-516.

김균, 김용화 (1990) 제초제 butachlor의 토양흡착. *한국환경농화학지* 9(2):105-111.

김익수, 박종영 (2002) 한국의 민물고기. 교학사.

김찬섭, 이병무, 임양빈, 최주현 (2002) Butachlor, ethoprophos, isoprothiolane 및 procymidone의 토양흡착에 따른 용탈잠재성평가. *한국농약과학회* 6(4):309-319.

김찬섭, 박경훈, 김진배, 최주현 (2002) Butachlor, ethoprophos, isoprothiolane 및 procymidone의 토양중 용탈과 이동성예측. *한국농약과학회* 6(4):300-9-308.

농림부 (1999) 농업환경 보전을 위한 농약의 표준생태독성시험법 연구.

농업과학기술원 (1997) 시험연구사업보고서.

농업과학기술원 (1998) 시험연구사업보고서.

농촌진흥청 (2007) 농약관리법령 고시 훈령집.

문영희 (1986) 담수토양중에 있어서의 제초제 butachlor의 분해속도에 미치는 각종 토양 환경조건의 영향. *한국 잡초학회지* 10(1):41-48.

- 문영희 (1990) 담수토양중에 있어서 fenitrothion, IBP, butachlor의 분해에 미치는 중금속의 영향. 한국농화학회지 33(2):138-142.
- 문영희 (1990) 실외조건의 담수조건중 fenitrothion, IBP, butachlor의 소실. 한국환경농학회지 9(1):9-13.
- 문영희, 이왕후, 양환승 (1990) 담수토양중에 있어서 제초제 butachlor의 분해속도에 미치는 각종 토양환경조건의 영향. 한국잡초학회지 10(1):41-48.
- 문영희, 김영석 (2000) Butachlor, oxadiazon, pretilachlor, thiobencarb의 토양흡착 및 지표수중 소실. 한국잡초학회지 20(1):32-38.
- 박연기, 박경훈, 주진복, 경기성, 김병석, 신진섭, 류갑희, 배철한, 이규승 (2003) 벼 재배 논 서식 미꾸리에 대한 농약의 영향. 한국농약과학회지 7(2):131-138.
- 신천철, 이성규, 노정구 (1988) 농약의 노출시간에 따른 급성어독성의 변화. 한국환경농학회지 7(2):124-129.
- 양환승, 이석영 (1976) 토양조성의 차이가 butachlor 흡착에 미치는 영향. 전북대학교 농대 논문집 7:67-73.
- 오병렬, 정영호, 이병무 (1981) 토양중 butachlor와 nitrofen의 분해에 관한 연구. 한국농화학회지 24(2):112-119.
- 이석영 (1980) 토양중 제초제 butachlor의 잔류량에 관한 연구. 전북대학교 농대논문집 11:73-80.
- 이재구 (1983) Degradation of the herbicide, butachlor, in soil. 한국농화학회지 26(1):53-57.
- 정영호, 박영선 (1990) 농약학. 전국농업기술자협회.
- 한국작물보호협회(2007) 농약사용지침서.
- 한국작물보호협회 (2007) 농약연보.

Butachlor의 수서생물에 대한 위해성평가

박연기* · 배철한¹ · 김병석 · 이제봉 · 유아선 · 홍순성 · 박경훈 · 신진섭 · 홍무기 · 이규승² · 이정호³

국립농업과학원 농산물안전성부, ¹한국삼공(주) 농업연구소, ²충남대학교, ³대구대학교

요약 우리 나라에서 벼재배용 제초제로 가장 많이 사용되고 있는 butachlor는 농약 사용 성수기(5~6월)에 하천수 중 검출빈도가 높게 나타나고 있어 수서생물에 대한 위해가능성이 있다. 이에 본 연구는 butachlor의 담수조류와 담수무척추동물, 담수어류에 대한 급성독성시험을 수행하여 독성영향을 구명하였고 위해성을 평가하여 다음과 같은 결과를 얻었다. Butachlor의 담수조류에 대한 성장영향을 알아보고자 녹조류 3종(*P. subcapitata*, *D. subspicatus*, *C. vulgaris*)에 대해 성장저해시험을 수행한 결과, butachlor에 대한 *P. subcapitata*, *D. subspicatus*, 그리고 *C. vulgaris*의 72시간 ErC_{50} 은 각각 0.002, 0.019, 그리고 10.49 mg L⁻¹이었고, $NOErC$ 는 0.0008, 0.0016, 그리고 5.34 mg L⁻¹로 나타났다. Butachlor의 담수 무척추 동물인 물벼룩(*Daphnia magna*)에 대한 24시간 및 48시간 EC_{50} 값은 각각 2.55와 1.50 mg L⁻¹이었고, $NOEC$ 는 0.6 mg L⁻¹이었다. Butachlor의 어류에 대한 급성독성시험 결과, 잉어(*C. carpio*), 송사리(*O. latipes*) 그리고 미꾸리(*M. anguillicaudatus*)에 대한 96시간 LC_{50} 값은 각각 0.62, 0.41 그리고 0.24 mg L⁻¹으로 나타났다. Butachlor의 수서생물에 대한 위해성을 평가하기 위하여 지점별 수서생물에 대한 TER을 산출한 결과, 논에서 조류, 물벼룩 그리고 어류에 대한 TER은 각각 0.004, 3.6 그리고 0.58로서, 조류와 어류는 우리나라 기준인 2보다 낮아 위해 가능성이 있는 것으로 나타났다. 배수로에서 조류, 물벼룩 그리고 어류에 대한 TER은 각각 0.05, 50 그리고 8로 조류는 2이하로 위해가능성은 있었다. 강에서 조류, 물벼룩 그리고 어류에 대한 각각의 TER은 0.36, 357 그리고 57로 산출되어 조류는 2이하로 여전히 위해가능성이 있었다. Butachlor의 수서생물에 대한 위해성을 평가하기 위하여 지점별 수서생물에 대한 TER을 산출한 결과, 논에서 조류, 물벼룩 그리고 어류에 대한 TER은 각각 0.004, 3.6 그리고 0.58으로서, 조류와 어류는 우리나라 기준인 2보다 낮아 위해 가능성이 있는 것으로 나타났다. 배수로에서 조류, 물벼룩 그리고 어류에 대한 TER은 각각 0.05, 50 그리고 8으로 조류는 2이하로 위해가능성은 있었다. 강에서 조류, 물벼룩 그리고 어류에 대한 각각의 TER은 0.36, 357 그리고 57로 산출되어 조류는 2이하로 여전히 위해가능성이 있었다. 결론적으로 butachlor는 녹조류 중 감수성이 높은 *P. subcapitata*, *D. subspicatus* 등에 일시적인 개체수 감소 등 생육에 영향을 줄 것으로 예상되나 감수성이 낮은 *C. vulgaris*는 영향이 적을 것으로 판단된다. Butachlor의 물벼룩과 어류에 대한 위해 가능성은 배수로 및 강에서 낮을 것으로 판단된다. 그러나 butachlor의 논에 살포시 논에 서식하는 미꾸리의 산란시기(6~7월)가 butachlor의 사용시기와 비슷하여 논에 butachlor 사용으로 인한 미꾸리 수정란과 치어에 대한 영향, 개체수 감소 및 회복 등에 대한 추가적인 연구는 필요할 것으로 생각된다.

색인어 뷰타클로르, 조류, 물벼룩, 어류, 위해성평가