

무척추동물 생체지표와 화학잔류량 분석을 통한 경북 안동지역내 하천들의 환경오염 평가

유 건 상·최 종 하·김 용 균*·조 성 환*·이 화 성**
안동대학교 응용화학과·안동대학교 농생물학과·**경상북도 보건환경연구원
(2005년 1월 25일 접수; 2005년 6월 8일 채택)

Assessment of Environmental Pollution for Streams of Andong City in Gyeongbuk Province Using Invertebrate Biomarker and Chemical Residual Analysis

Keon-Sang Ryoo, Jong-Ha Choi, Young-Gyun Kim*,
Sung-Hwan Cho* and Hwa-Sung Lee**

Department of Applied Chemistry, Andong National University, Andong 760-749, Korea

**School of Bioresource Sciences, Andong National University, Andong 760-749, Korea*

***Gyeongbuk Government Public Institute Health & Environment, Andong 760-749, Korea*

(Manuscript received 25 January, 2005; accepted 8 June, 2005)

Samples of water, soil, and sediment were taken from 10 streams of Andong city in Gyeongbuk province in October 2004. To assess the degree of environmental pollution for each stream site, the chemical analyses of pollutants such as T-N, T-P, COD, heavy metal, organophosphorous and organochlorine pesticides, and dioxin-like PCB congeners were implemented using the standard process tests or the U. S. EPA methods. In addition, biological assessment using insect immune biomarkers was conducted on the same environmental samples to complement the chemical assessment. Except Waya stream (T-N; 2.91 mg/L, T-P; 0.16 mg/L, COD; 14.0 mg/L) with above the environmental quality standards, the T-P and COD concentrations of 9 sites are relatively low. The contents of Pb and Cd in samples taken from each stream were much lower than environmental quality standards. However, in comparison with soil samples of other streams, several times higher concentrations of Pb and Cd were found in locations at Mi, Gilan, Yeonha, and Waya stream sites. Dementon-S-methyl, diazinon, parathion, and phenthoate compounds among organophosphorous pesticides were detected as concentrations of ppb levels, respectively, from soil samples collected in the vicinity of Gilan, Mi, Norim, and Waya stream. On the other hand, 16 organochlorine pesticides and 12 dioxin-like PCB congeners selected in this study were not found in all samples. In particular, considering significant disrupting effects of Waya stream's samples on insect immune capacity, this stream seems to be contaminated with investigated and/or uninvestigated pollutants in this study.

Key Words : T-N, T-P, COD, Heavy metal, Organophosphorous pesticide, Organochlorine pesticide, Dioxin-like PCB congener, Insect immune disruption, Spodoptera exigua

1. 서 론

하천을 잘 가꾸기 위해서는 하천에 서식하거나 생

육하는 생물생태의 영향에 관한 조사연구, 하천의 물리적 환경과 생물생태와의 역학적인 관계 정립, 그리고 각 하천 및 하천 주변에 있는 환경오염물질들의 잔류량을 측정 분석하여 폭 넓게 하천을 평가하고 감시할 필요가 있다.

일반적으로 화학 잔류량 분석은 특이적 오염물질

Corresponding Author : Keon-Sang Ryoo, Department of Applied Chemistry, Andong National University, Andong 760-749, Korea
Phone: +82-54-820-5453
E-mail: ksr@andong.ac.kr

의 정량적 노출 자료를 제공하는 방법으로 가장 신뢰할 수 있는 자료로 이용되어 오고 있다. 그러나 이러한 화학오염물질의 잔류량 분석은 일부 중요한 오염물질의 경우 장기간의 분석 기간과 막대한 예산이 지출되어야 하고, 또한 많은 화학오염물질의 경우에는 검출한계 이하의 농도에서도 생태계에 존재하는 생명체에 커다란 영향을 줄 수도 있다. 이러한 문제를 해결하기 위한 생태독성 분석 방법으로 최근 생체지표 (biomarker)의 활용이 제시되고 있다¹⁻⁶⁾. 생체지표를 이용한 몇 가지 방법으로 지표 생물종 (indicator species)을 중심으로 국부적 지역의 생태 건강성 평가법, 생체 분자지표 (molecular marker)를 이용한 환경오염물질 추적법 및 여러 생리지표 (physiological marker)를 이용한 다변량 오염물질 추적법 등이 소개되고 있다. 생체지표는 환경오염물질의 궁극적 피해자인 생물체를 대상으로 한 직접적 생태독성 영향평가라는 점과 비교적 빠른 시간 안에 노출 정보를 제공할 수 있다는 점에서 화학 잔류량 분석법보다도 장점을 가질 수 있으나, 환경노출 오염물질의 복잡성에 기인된 조합 반응으로 나타날 경우에는 환경오염 물질과 생체반응의 직접적 관련성을 연결하기가 어렵다는 단점을 지니고 있다. 그리하여 환경영향 평가를 위한 도구로서 화학물질분석과 생체지표분석을 각각 단독적으로 시행하기 보다는 동시에 함께 분석하는 것이 환경오염의 현황을 보다 정확하게 파악할 수 있으리라 본다.

본 연구는 경북 안동 시 지역 내에 위치해 있는 10개 하천 및 하천 주변에 잔류하고 있는 화학오염물질 분석과 더불어 생체지표 중 생리지표를 이용한 곤충면역 교란분석을 동시에 측정하여 현재 이들 하천이 처해 있는 환경오염현황을 평가하였다. 이를 위하여 하천수, 하천 퇴적물 및 하천 주변의 토양과 같은 환경 시료 중의 총질소, 총인, 화학적 산소요구량, 중금속, 유기인계와 유기염소계 잔류농약, 그리고 다이옥신 유사 PCBs (dioxin-like PCBs)와 같은 화학오염물질들을 우선적으로 분석하였고 이러한 분석 결과를 바탕으로 하여 각각의 지역별과 시료별로 노출된 화학오염물질들의 본체를 파악하였다. 이후 무척추동물인 파밤나방 (*Spodoptera exigua*) 곤충을 이용하여 이 곤충의 혈구세포가 각 하천의 시료별로 인식하는 세포성 면역 (소낭형성기작), 체액성 면역 (페놀옥시다제 활성 반응), 면역신호 체계 (phospholipase A₂: PLA₂ 반응), 그리고 면역세포치사 (apoptosis 반응)와 같은 면역체계에 미치는 영향을 검증하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시료 채취지역

경북 안동 시에 위치해 있는 10개 하천 (Fig. 1)을 선정하여 각 하천의 이름이 명시되어 있는 표지판 주변의 수질, 토양, 퇴적물을 각각 일정량 채취하였다. 채취한 시료 중 수질은 유리섬유 여지 (GF

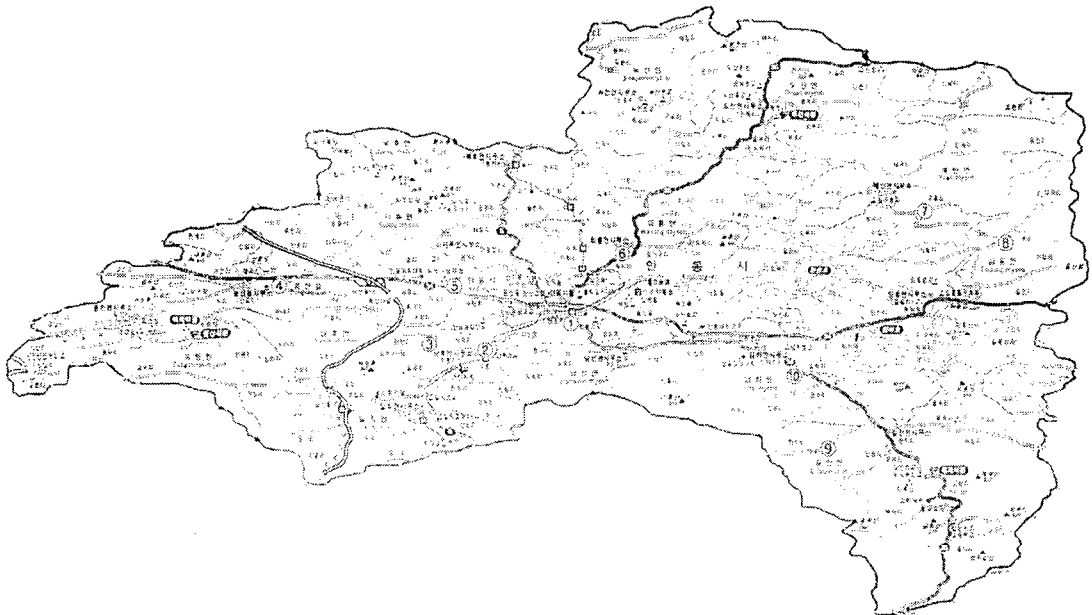


Fig. 1. Map of sampling sites: ① Banbyun-chun; ② Norym-chun; ③ Mi-chun; ④ Poongsan-chun; ⑤ Songya-chun; ⑥ Waya-chun; ⑦ Kooke-chun; ⑧ Daekok-chun; ⑨ Hyunha-chun; ⑩ Kilan-chun.

50)로 여과하고, 토양 및 퇴적물은 실온에서 건조시킨 후 850 μm mesh 체를 통과한 것만을 모아 분석을 마칠 때 까지 공정시험법에서 규정하고 있는 보존방법에 따라 보관하였다.

2.2. 시약

시료의 추출, 정제, 그리고 유기인계 (Supelco, Ltd., USA)와 유기염소계 (AccuStandard, Inc., USA) 잔류농약, dioxin-like PCBs (Cambridge Isotope Laboratory, Inc., USA)의 표준용액 조제를 위하여 사용한 유기용매 (n-hexane, acetone, iso-octane, MTBE, dichloromethane)는 모두 Baker Analyzed HPLC solvent로 Malinkrodt Baker, Inc., USA로부터 구입하였다. 시료 추출 후 정제는 사전에 110°C 오븐에서 활성화시킨 실리카겔 (Silica gel 60, Merck, Germany)을 컬럼에 충전시켜 시행하였다. 총질소, 총인, COD 분석을 위해서 과황산칼륨, 아스코르빈산, 물리브덴산암모늄(4수화물), 주석산안티몬칼륨, 술폰민산암모늄, 인산이수소칼륨, 질산칼륨, 염산, 황산, 수산화나트륨 등의 시약은 모두 Sigma Aldrich Korea로부터 구입하여 사용하였다. 납과 카드뮴의 표준용액은 Kanto Chemical Company, Inc., Japan으로부터 구입하였고 검정선 (calibration curve)을 얻기 위하여 표준용액을 단계적으로 3차 증류수를 이용하여 희석하였다. 또한 납과 카드뮴의 시료 전처리 는 Merck, Germany로부터 구입한 염산과 질산을 사용하였다.

2.3. 실험 방법

2.3.1. 총질소: 시료 중 질소화합물을 알칼리성 과황산칼륨의 존재 하에 120°C의 고압증기멸균기를 이용하여 질산이온으로 산화시킨 다음 산성에서 자외선 흡광도 (220 nm)를 측정하여 질소를 정량하였다⁷⁾. 분석기기로는 UV-vis spectrophotometer (UVmini 1240CE, Shimadzu)를 이용하였다.

2.3.2. 총인: 시료 중의 모든 인화합물을 120°C의 고압증기멸균기를 이용하여 인산염 (PO_4^{3-})형태로 변화시킨 다음 인산염을 아스코르빈산환원 흡광도법으로 정량하여 인을 측정하였다⁷⁾. 총인은 UV-vis spectrophotometer (UVmini 1240CE, Shimadzu)를 사용하여 880 nm의 파장에서 흡광도를 측정하여 농도를 산출하였다.

2.3.3. COD: 시료를 황산산성으로 하여 과망간산칼륨 일정량을 넣고 30분간 수용액상에서 가열 반응시킨 다음 소비된 과망간산칼륨으로부터 이에 상당하는 산소의 양을 측정하여 COD의 농도를 구하였다⁷⁾.

2.3.4. 납과 카드뮴: 하천수 (100 ml)는 질산 (0.7 N) 5 ml를 넣은 다음 서서히 가열하여 액량이 10 ml가 될 때 까지 증발 농축시킨 후 여과지로 거른

다음 3차 증류수로 5배 희석하였다. 토양과 퇴적물은 상온에서 7일 동안 건조시킨 다음 정확히 10 g을 취하여 염산 (0.1 N) 50 ml를 넣은 후 진탕기 (30°C, 1시간)로 진탕시킨 후 여과지에 걸러 염산 (0.1 N)으로 4배 희석하였다. 시료 전처리 한 각각의 시료는 원자흡수분광기 (SpectraAA-220FS, Varian)를 사용하여 납은 283.3 nm, 카드뮴은 228.8 nm의 파장에서 흡광도를 구하여 농도를 계산하였다⁷⁾.

2.3.5. 유기인계 잔류농약: 수질과 토양 시료 중의 이피엔 (EPN), 파라치온 (parathion), 메틸디멘톤 (dementon-S-methyl), 다이아지논 (diazinon), 펜토에이트 (phenthoate)를 분석하기 위해 이 시료들을 공정 시험법에 의거하여 시료 전처리 한 후 불꽃광도형 검출기 (flame photometric detector)가 장착된 가스 크로마토그래프 (Varian CP 3800)로 확인하고 정량하였다⁷⁾.

2.3.6. 유기염소계 잔류농약: 유기염소계 잔류농약 중 aldrin, alpha-BHC, beta-BHC, delta-BHC, dieldrin, endosulfan(alpha), endosulfan(beta), endosulfan sulfate, eldrin, eldrin aldehyde, gamma-BHC, heptachlor, methoxychlor, 4,4'-DDD, 4,4'-DDE, 4,4'-DDT 16 종을 U.S. EPA Method 8080에 따라 시료 전처리 한 후 전자포획검출기 (electron capture detector)가 장착된 가스 크로마토그래프 (GC Trace 2000, Italy)를 사용하여 확인하고 정량하였다⁸⁾.

2.3.7. Dioxin-like PCBs : 209개의 PCBs (polychlorinated biphenyls) 중 다이옥신과 같이 coplanar 구조를 가지고 있는 12개의 PCB 유사체 (congener)를 공정시험법에 의거하여 시료 전처리 한 후, 전자포획검출기 (electron capture detector)가 장착된 가스 크로마토그래프 (GC Trace 2000, Italy)를 사용하여 정성 및 정량 분석하였다⁷⁾.

2.3.8. 곤충면역교란 분석

곤충의 면역기작은 척추동물과 마찬가지로 세포성면역과 체액성면역으로 나뉜다⁹⁾. 이러한 면역기작은 외래물질의 인식으로부터 시작하여 면역의 증개 및 면역 반응으로 이어지게 된다¹⁰⁾. 최근 과밤나방 (*S. exigua*)을 이용한 다양한 면역반응에 환경오염물질이 서로 다르게 교란하는 현상을 밝히게 되었다¹¹⁾. 즉, 중금속과 다이옥신류는 곤충의 면역반응을 모두 억제하는 반면, PCB류는 면역의 증개인 phospholipase A₂ (PLA₂)를 억제하지 못했다. 또한 억제 능력 또한 노출농도에 상관적 관계를 가져서 이러한 오염원들의 노출을 알려주는 조기 경보 생체지표로 사용가능성을 제기하고 있다¹²⁾.

2.3.8.1. 세포성 면역 분석

세포성면역반응은 곤충 혈장에서 혈구의 세균에 대한 소낭형성 능력을 과밤나방을 이용한 방법¹³⁾으

로 평가했다. 파밤나방 5령 유충에 미리 준비된 농도의 환경오염물질들을 미량주사기를 이용하여 곤충의 혈장으로 8 μ l씩 접종하였다. 그리고 실온에서 30분간 처리 후 Luria-Bertani 배지 (10 g bacto-tryptone, 5 g bacto-yeast extract, 10 g NaCl, 1L H₂O, pH 7.0)에서 24시간 배양된 2 μ l (1×10^7 cfu/유충)의 *Escherichia coli* Top 10을 접종하였다. 세균을 접종한 후 실온에서 12시간 처리한 후 유충을 해부하여 혈장에 생긴 혈구소낭수를 해부현미경상에서 40배로 확대하여 관찰하였다.

2.3.8.2. 체액성 면역 분석

체액성면역은 외래 물질 제거에 관여하는 혈장의 효소인 페놀옥시다제 (phenoloxidase, PO) 활성화 반응을 파밤나방에 적용한 방법¹⁴⁾을 이용하였다. PO 활성 측정법은 먼저 500배로 농축된 환경오염 분석용 물 시료를 1 μ l씩 1.5 ml의 micro-tube에 처리한 후 파밤나방 5령에서 수거된 혈액 10 μ l를 처리하였고, 혈액에서 laminarin (Sigma, USA) 1 μ l를 항원으로 이용하여 면역반응을 유도하였다. 그리고 위의 반응물들을 저속으로 원심 분리하여 micro-tube의 하층부에 모이도록 한 후 8분 동안 실온에서 인위적인 체액성 면역반응을 유발하였다. 반응 후 PO와 반응할 수 있는 기질 L-DOPA (Sigma, USA) 1 μ g이 용해되어 있는 PBS (pH 7.0) 988 μ l에 반응물들을 처리하여 PO 활성을 495 nm의 파장에서 5분 간격으로 3번 측정하였다.

2.3.8.3. 면역 신호체계 분석

면역 신호체계분석은 일반적으로 세균과 같은 이물질이 침입하였을 때 곤충의 혈액에서 반응하여 증대하는 아이코사노이드류의 생합성에 증대하는 인지질 분해 효소인 phospholipase A₂ (PLA₂) 활성 측정법을 이용하여 분석하였다¹⁴⁾. PLA₂ 활성 측정법은 PO 활성 측정법에서 인위적인 면역반응을 일으키기 전에 50% 에탄올 1 μ l로 처리하였고, PLA₂ 활성 구제효과 조사 시에는 100 ng의 arachidonic acid (Sigma, USA)가 용해되어 있는 50% 에탄올 1 μ l로 처리하였다. 그리고 인위적으로 면역반응을 PO 활성 측정법과 동일하게 PO 활성을 495 nm의 파장에서 측정하였다.

2.3.8.4. 면역세포 치사 효과 분석

혈구세포에 직접적 치사효과를 일으키는 외래인자를 판별하는 방법이 세포 자연치사 검정법을 이용하여 분석되었다. 이러한 곤충혈구세포를 이용한 생물검정법은 파밤나방 5령의 유충에서 얻어진 혈액 속에 존재하는 혈구세포를 이용하여 세포치사 현상을 조사하였다. 곤충의 혈액을 1.5 ml의 micro-tube에 수거한 후 6,500 rpm에서 3분간 원심 분리하여 혈장을 제거하고 Grace's insect medium (Sigma,

USA)을 이용해서 혈장을 완전히 씻어내고 마지막에는 세포 수를 10 μ l당 약 50개가 존재하도록 Grace's insect medium을 이용하여 세포 수를 조절하였다. 따라서 혈구세포가 포함된 30 μ l의 Grace's insect medium을 커버 글라스 위에 처리한 후 35°C의 과습한 상태의 배양기에서 30분간 보관하였다. 그리고 500배로 농축된 환경오염 분석용 물 시료 10 μ l씩 처리하여 35°C의 과습한 상태의 배양기에서 2시간 동안 반응을 시킨 후 혈구세포의 세포치사형태 (apoptotic body)를 도립현미경 (Olympus, Japan)상에서 관찰하였다.

3. 결 과

3.1. 하천의 총질소, 총인, 화학적 산소요구량

안동 시 지역에 위치해 있는 10개 하천을 선정하여 이들 하천수에 존재하는 총질소, 총인, 화학적 산소요구량의 수질 오염도를 측정된 후 그 결과를 Table 1에 나타내었다. 일반적으로 호소는 환경부에서 규정한 생활환경 구분으로 I-V 등급으로 나뉘는데, 이러한 등급 중에서 최하위 등급인 V급 (이용목적별 : 공업용수 3급, 적용대상 : 생활환경보존) 호소의 경우 총질소, 총인, 화학적 산소요구량의 농도를 각각 1.5 mg/L 이하, 0.150 mg/L 이하, 10 mg/L 이하로 규정해 놓고 있다¹⁵⁾. 반면에 하천의 경우는 주위 환경으로 인한 수질의 변화가 많기 때문에 호소와는 달리 환경부에서 총질소, 총인, 화학적 산소요구량의 환경 허용기준치를 설정해 놓지 않으나, 논문이나 보고서에 의하면 호소의 환경부 기준으로 각 하천의 수질 오염도를 판단하고 있어 본 연구도 환경부에서 규정하고 있는 생활환경 V 등급의 호소 기준치를 근거로 하여 안동 시 지역에 있는 각 하천

Table 1. Concentrations of T-N, T-P, and COD in water from 10 streams

Stream	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)	COD (mg/L)
Banbyun-chun	2.03	0.048	9.0
Daekok-chun	4.25	0.017	7.0
Songya-chun	3.23	0.170	2.8
Kilan-chun	1.30	0.073	7.0
Mi-chun	2.40	0.021	6.0
Norym-chun	1.85	0.021	5.0
Kooke-chun	0.61	0.046	6.0
Poongsan-chun	2.03	0.130	5.0
Hyunha-chun	0.82	0.026	6.0
Waya-chun	2.91	0.160	14.0

들의 수질 오염현황을 파악하였다.

Table 1에 나타난 바와 같이 각 하천의 총질소 농도는 대곡천의 경우 총질소의 농도가 4.25 mg/L로 구계천과 현하천을 제외한 다른 하천들과 비교해서 대략 2-3배정도 높은 수치를 보였고 V 등급 호소 기준치보다는 3배 이상 높게 검출되었다. 총인의 경우, 송야천과 와야천에서 측정된 총인의 농도가 각각 0.170, 0.160 mg/L로 다른 하천들에 비해 비교적 높게 나타났으나 환경부 호소 기준치인 0.15 mg/L 이하보다는 약간 상회하는 수준을 보였다. 또한 각 하천의 화학적 산소요구량을 측정된 결과, 하천의 화학적 산소요구량의 농도는 대략 3-14 mg/L로 와야천을 제외하고는 환경부 호소 기준치인 10 mg/L 이하를 나타내었다. 위의 결과들을 전반적으로 고찰해 볼 때, 안동 시 지역 부근에 있는 하천들은 총인과 화학적 산소요구량보다는 총질소를 유발시킬 수 있는 외부 오염물질의 유입량이 크다는 것을 알 수 있었다. 그리고 특히 와야천이 다른 하천들보다 비교적 총질소, 총인, 화학적 산소요구량의 농도가 높은 수준을 보여 앞으로 이 하천의 수질을 지속적으로 관찰할 필요가 있다고 판단된다.

3.2. 하천의 납, 카드뮴

국내의 환경 기준 (환경정책 기본법 시행령 제 2 조)에 의하면 사람의 건강보호를 위하여 하천, 호소, 연안해역 등을 포함한 전수역에 걸쳐 등급에 관계없이 수질 중의 납은 100 µg/L 이하, 카드뮴은 10 µg/L 이하로 검출되어야 하며, 토양의 경우에는 토양오염보존법상 토양오염 우려기준 가지역 (오염정도가 인간의 건강과 동, 식물의 생육장해를 초래할 우려가 있어 오염의 심화를 막기 위한 예방 수준; 전, 담, 과수원, 하천, 학교용지, 공원 등이 대상)으

로 토양 중의 납은 100 µg/g, 카드뮴은 1.5 µg/g으로 규정되어 있다¹⁵⁾. 그러나 수질 및 토양과는 달리 하천, 호소, 해저 퇴적물 중에 존재하는 납과 카드뮴 등의 중금속에 대해서는 아직 환경부 기준이라든가 관련법규가 미비하여, 2005년 현재 퇴적물 중에 존재하는 중금속의 환경 허용기준치는 아직 설정되어 있지 않고 있다.

Table 2에 나타난 바와 같이, 안동 시 지역 하천 수질 중의 납과 카드뮴의 농도는 사람의 건강보호를 위한 환경 기준치에 비하면 상당히 낮은 수준이었다. 하천 인근 주변에서 채취한 토양 중의 납 함유량을 보면 현하천 10.41 µg/g, 길안천 7.76 µg/g, 와야천 5.25 µg/g, 미천 5.09 µg/g으로 토양오염우려 기준치 보다는 매우 낮았으나, 이외의 다른 하천 지역에 있는 토양보다는 수배 정도 높은 수치를 나타내었다. 토양 중의 카드뮴 농도는 토양오염우려기준인 1.5 µg/g보다도 현저히 낮은 수치를 보였으나, 토양 중의 납의 경우와 마찬가지로 현하천, 길안천, 와야천, 미천 주변의 토양이 납에 많이 노출되어 있었다. 각 하천 바닥에서 수거한 퇴적물 중의 납과 카드뮴을 분석한 결과, 다른 하천의 퇴적물 보다는 특별히 반변천, 길안천 퇴적물이 납과 카드뮴을 비교적 많이 함유하고 있었다. 각각의 하천 및 하천 주변의 수질, 토양, 퇴적물 시료 중의 납과 카드뮴 잔류량을 전체적으로 분석한 결과, 납과 카드뮴 농도는 환경부에서 규정하고 있는 환경기준 허용치보다는 매우 낮아 크게 우려할 수준이 아니었으나, 현하천, 길안천, 와야천, 미천의 주변 토양은 다른 지역들보다 납과 카드뮴이 보다 높게 함유되어 있어 향후 이들 하천 주변에 있는 토양에 대해 지속적 실태 조사와 더불어 사후관리가 요구된다.

Table 2. Concentrations of Pb and Cd in water, soil, and sediment from 10 streams

Stream	Pb			Cd		
	Water (µg/L)	Soil (µg/g)	Sediment (µg/g)	Water (µg/L)	Soil (µg/g)	Sediment (µg/g)
Banbyun-chun	0.11	3.91	5.45	0.016	0.065	0.044
Daekok-chun	0.07	1.86	1.06	0.051	0.155	0.016
Songya-chun	0.02	0.76	0.35	0.010	0.016	0.007
Kilan-chun	0.08	7.76	3.70	0.044	0.110	0.028
Mi-chun	0.06	5.09	1.36	0.052	0.142	0.025
Norym-chun	0.02	1.27	0.70	0.036	0.029	0.014
Kooke-chun	0.04	1.40	2.51	0.030	0.065	0.036
Poongsan-chun	0.06	2.41	0.40	0.005	0.020	0.008
Hyunha-chun	0.03	10.41	1.35	0.035	0.233	0.020
Waya-chun	0.05	5.25	0.27	0.036	0.119	0.004

3.3. 수질, 토양, 퇴적물 중의 유기인계 잔류농약
 각 하천수 및 하천주변에 위치해 있는 토양 중의 유기인계 잔류농약 (메틸디멘톤, 다이아지논, 파라치온, 펜토에이트, 이피엔)의 분석결과를 Table 3과 4에 나타내었다. 환경부에서 제시하고 있는 관련 법규에 의하면 전 수역에 걸쳐 사람의 건강 보호를 위하여 수질 중의 유기인계 잔류농약은 절대 검출되어서는 안 되며, 토양 중의 유기인계 잔류농약의 허용 기준치는 토양오염 우려기준 가지역에서 최대치가 10 $\mu\text{g/g}$ 으로 되어 있다¹⁵⁾.

Table 3에서 나타낸 바와 같이 10개 하천수 에서는 위에서 언급한 유기인계 잔류농약이 전혀 검출

되지 않았다. 그러나 Table 4에서 보듯 반변천과 와야천 주위에 있는 토양에서는 파라치온이, 길안천, 미천, 노립천 인근 지역에 있는 토양에서는 메틸디멘톤, 다이아지논, 파라치온, 펜토에이트 유기인계 잔류농약이 수십 ppb 정도 검출되었다. 그러나 이외의 다른 하천 주변의 토양에서는 위에서 서술한 유기인계 잔류농약이 검출한계 (검정선을 근거로 하여 각각 0.1 $\mu\text{g/g}$) 이상에서 전혀 검출되지 않았다. 이러한 분석 결과를 고찰해 볼 때, 각 하천 주변에 위치해 있는 토양은 토양오염 우려기준 가지역의 수준과 비교해 볼 때 오염 정도가 그다지 심하지는 않으나 몇 개의 하천 주변 토양에서 유기인계 잔류농

Table 3. Concentrations of organophosphorous pesticides in water from 10 streams

Stream	Organophosphorous pesticide				
	Dementon-s-methyl ($\mu\text{g/g}$)	Diazinon ($\mu\text{g/g}$)	Parathion ($\mu\text{g/g}$)	Phenthoate ($\mu\text{g/g}$)	EPN ($\mu\text{g/g}$)
Banbyun-chun	n.d. ^a	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Daekok-chun	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Songya-chun	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Kilan-chun	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Mi-chun	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Norym-chun	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Kooke-chun	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Poongsan-chun	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Hyunha-chun	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Waya-chun	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

^an.d. : not detectable

Table 4. Concentrations of organophosphorous pesticides in soil from 10 streams

Stream	Organophosphorous pesticide				
	Dementon-s-methyl ($\mu\text{g/g}$)	Diazinon ($\mu\text{g/g}$)	Parathion ($\mu\text{g/g}$)	Phenthoate ($\mu\text{g/g}$)	EPN ($\mu\text{g/g}$)
Banbyun-chun	n.d. ^a	n.d.	0.005	n.d.	n.d.
Daekok-chun	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Songya-chun	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Kilan-chun	0.014	0.007	0.022	0.052	n.d.
Mi-chun	0.009	0.005	0.012	0.035	n.d.
Norym-chun	0.038	0.022	0.051	0.159	n.d.
Kooke-chun	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Poongsan-chun	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Hyunha-chun	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Waya-chun	n.d.	n.d.	0.013	n.d.	n.d.

^an.d. : not detectable

약이 검출된 것으로 보아 앞으로 토양의 위해성 평가할 때 이들 지역을 최우선 지역으로 선정하여 관리하는 것이 바람직하다고 본다.

3.4. 수질, 토양, 퇴적물 중의 유기염소계 잔류농약

각 하천 및 하천 주변의 수질, 토양, 퇴적물을 일정한 수거하여 이들 시료 중에 함유되어 있는 유기염소계 잔류농약 (16 종)의 분석 결과를 Table 5에 나타내었다. 국내의 환경관련 법규에 의하면 위 시료들에 대한 유기염소계 잔류농약의 기준치는 언급되어 있지 않으나 농산물 (곡류, 감자류, 콩류, 채소류, 과실류 등) 중의 유기염소계 잔류농약 허용기준치는 제시되어 있다¹⁵⁾. Table 5에서 나타난 바와 같이 수질, 토양, 퇴적물 환경시료에서 표준물질로 선정한 16종의 유기염소계 잔류농약은 검출한계 (각각의 유기염소계 잔류농약에 대하여 5 ppb) 이상에서 전혀 검출되지 않았다. 따라서 유기염소계 잔류농약과는 달리 본 연구결과만을 추정하여 판단건대 유기염소계 잔류농약은 안동 지역의 각 하천 및 하천 주변에 잔류하고 있지 않아 농산물의 이행이 극히 적을 것으로 생각되며 안동지역에서 재배되고 있는 농산물은 유기염소계 잔류농약에 비교적 안심할 수 있을 것으로 판단된다.

3.5. 수질, 토양, 퇴적물 중의 다이옥신 유사 PCBs
PCBs(polychlorinated biphenyls)는 biphenyl frame

에 있는 하나 이상의 수소가 염소로 치환된 화합물들을 총칭하며, 치환된 염소의 수와 위치에 따라 209개의 유사체로 이루어져 있다. PCBs는 화학적으로 안정하고 쉽게 타지 않으며 전기적으로 높은 저항을 가지고 있어 변압기나 축전기의 절연유로, 기타 용도로는 각종 공업의 가열과 냉각의 열매체, 기계의 윤활유, 전선의 피복, 폴리에틸렌 수지 고무 등의 혼화제, 접착제 등 여러 산업체에서 널리 이용되어 왔다. 그러나 PCBs가 생태계를 교란하거나 인간의 생명을 위해를 가할 수 있는 물질로 알려짐에 따라 1970년 후반부터 PCBs의 생산은 완전히 금지되었다. 전 세계 각 국에서 생산된 PCBs 총생산량은 약 120만 톤으로 이 중 65%는 아직 사용 중에 있으며 나머지 대부분은 이들의 넓은 사용범위와 부주의한 취급으로 인하여 주변 환경으로 유출되었다. 환경에 유입된 PCBs는 화학적, 생물학적 저항성이 매우 강하기 때문에 수 백년 동안 지속적으로 존재하며, 물에 대한 용해도는 낮지만 물 표면의 PCBs 극소량은 계속해서 휘발하고 연속적으로 며칠 동안 대기 중에 존재하여 땅이나 수면 위에 다시 쌓이게 된다. 이러한 메커니즘에 의해서 PCBs는 전 세계로 이동되어 왔으며, 심지어 극 지역이나 바다 속에서조차 PCBs의 상당량이 확인되었다. 또한 지방질 세포에서의 PCBs 용해성 때문에 이 물질은 먹이사슬

Table 5. Concentrations of organochlorine pesticides in water, soil, and sediment from 10 streams

Organochlorine pesticide	Banbyunchun	Daekokchun	Songyachun	Kilanchun	Mi-chun	Norymchun	Kookechun	Poongsanchun	Hyunhachun	Wayachun
ALPHA-BHC	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
GAMMA-BHC	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
BETA-BHC	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
DELTA-BHC	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
HEPTACHLOR	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
ALDRIN	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
METHOXYCHLOR	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
α-ENDOSULFAN	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
4,4'-DDE	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
DIELDRIN	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
ENDRIN	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
4,4'-DDD	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
β-ENDOSULFAN	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
4,4'-DDT	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
ENDRIN ALDEHYDE	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
ENDOSULFAN SULFATE	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

을 통해서 생체 내에서도 고농도로 검출되고 있다¹⁶⁾.

PCBs는 독성실험 결과 다양한 종류의 동물에서 암을 유발시켜 현재 발암물질로 분류되어 있으며, 특히 209개의 PCB 유사체 중에서 다이옥신 유사 PCBs로 명명된 non- 및 mono-ortho PCB 유사체는 2,3,7,8-tetra chlorinated dibenzo-p-dioxin (TCDD) 과 유사한 coplanar 구조로 구성되어 있어 이외의 다른 PCB 유사체들 보다도 독성등가인자 (toxicity equivalence factor) 값이 상대적으로 높은 편이다^{17,18)}.

PCBs에 관한 환경 허용기준치는 수질의 경우 하천의 전 수역에 걸쳐 사람의 건강보호를 위해서 전혀 검출되지 않아야 하며, 토양의 경우는 토양오염 우려기준 나지역 (공장용지, 도로, 철도용지 및 잡종지 등)에서 12 µg/g 이하로 검출되어야 된다고 환경부 법령에 고시되어 있다¹⁵⁾. 국내의 공정시험법에 의거하여 수질, 토양, 퇴적물 중에 잔류하고 있는 12종의 다이옥신 유사 PCB 유사체의 분석결과를 각 하천별로 Table 6에 나열하였다. Table 6에 나타낸 바와 같이, 다이옥신 유사 PCB congeners는 하천 및 하천 주변에서 채취한 어떠한 환경시료에서도 검출한계 이상 (5 ng/g)에서는 전혀 검출되지 않았다. 이를 평가해 볼 때 안동지역 하천 및 하천 주변은 5 ppb 이상의 다이옥신 유사 PCB 유사체에 의해 오염되어 있지 않다는 것을 추정할 수 있었다.

3.6. 곤충면역 교란분석

3.6.1. 세포성 면역반응

안동 지역 근교 하천에서 수집한 수질, 퇴적물, 토양 시료들이 곤충의 생체지표의 일종인 세포성 면역교란 효과의 분석하였다 (Figs. 2, 3, 4). 와야천 및 그 주변에서 수집한 물, 퇴적물, 토양 시료들 각각은 다른 지역의 시료들과 비교해서 수서곤충의 혈강에 있는 소낭의 수를 확연히 줄어둘게 함으로써 이 하천이 세포성 면역반응에 커다란 영향을 끼친다는 것을 알 수 있었다. 그러나 와야천을 제외한 다른 하천들의 각 시료들은 대조시료 (탈이온화된 증류수)와 상호비교해 볼 때 통계적으로 유의차가 그다지 크지 않아 세포성 면역반응에 전혀 영향을 끼치지 않거나 혹시 영향을 끼친다 하더라도 매우 미비한 수준으로 판단된다.

곤충의 세포성 소낭형성은 일반적으로 과립혈구의 외래인자 인식과 증개, 이후 부정형혈구의 유인 등으로 이어지는 과정이다¹⁹⁾. 이러한 과정으로 미뤄 볼 때 외래물질의 소낭 형성 교란은 직·간접적으로 나타날 수 있다. 즉, 과립혈구의 인식 및 증개 억제, 부정형혈구의 활착행동 억제 그리고 폐놀옥시다제의 활성화 억제 등 직접적 교란 작용과 혈구의 정상적 생리 환경을 변동시킬 수 있는 간접적 영향을 원인으로 제기할 수 있다. 그러나 본 실험과 기존의

Table 6. Concentrations of dioxin-like PCB congeners in water, soil, and sediment from 10 streams

Dioxin-like PCB congeners (IUPAC Number)	Banbyun-chun	Daekok-chun	Songya-chun	Kilan-chun	Mi-chun	Norym-chun	Kooke-chun	Poongsan-chun	Hyunha-chun	Wayachun
3,3',4,4'-PCB (81)	n.d. ^a	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
3,4,4',5-PCB (77)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
2,3,3',4,4'-PCB (123)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
2,3,4,4',5-PCB (118)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
2,3',4,4',5-PCB (114)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
2',3,4,4',5-PCB (105)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
3,3',4,4',5-PCB (126)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
2,3,3',4,4',5-PCB (167)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
2,3,3',4,4',5-PCB (156)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
2,3',4,4',5,5'-PCB (157)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
3,3',4,4',5,5'-PCB (169)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
2,3,3',4,4',5,5'-PCB (189)	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

^an.d. : not detectable

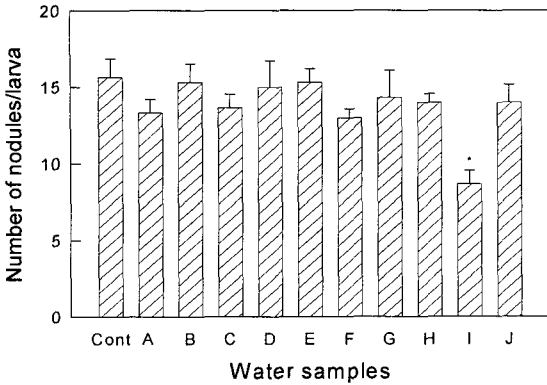


Fig. 2. Effect of field water samples on cellular immune response of *Spodoptera exigua*, where, hemocyte nodulation was assessed in response to bacterial injection with *Escherichia coli*. The error bars indicate standard deviations of three measurements. The asterisk above the error bar indicate significant difference of the mean at Type I error=0.05 (LSD test). 'Cont' represents deionized distilled water. (A : Daekok-chun, B : Hyunha-chun, C : Kilan-chun, D : Michun, E : Norym-chun, F : Poongsan-chun, G : Songya-chun, H : Banbyun-chun, I : Waya-chun, J : Kooke-chun).

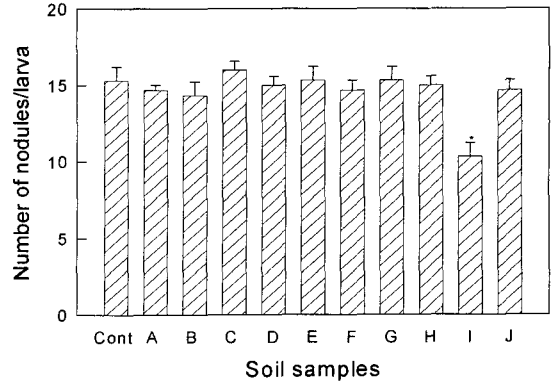


Fig. 4. The effect of field soil samples on cellular immune response of *Spodoptera exigua*, where, hemocyte nodulation was assessed in response to bacterial injection with *Escherichia coli*. The error bars indicate standard deviations of three measurements. The asterisk above the error bar indicate significant difference of the mean at Type I error = 0.05 (LSD test). 'Cont' represents deionized distilled water.

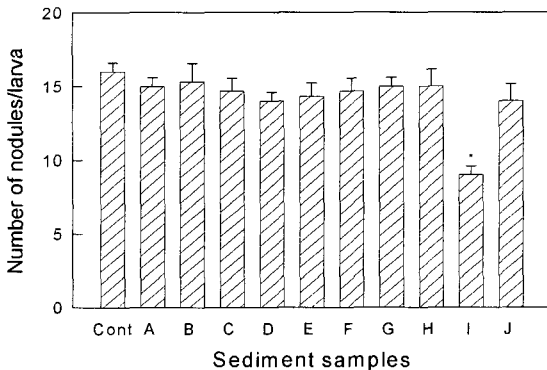


Fig. 3. Effect of field sediment samples on cellular immune response of *Spodoptera exigua*, where, hemocyte nodulation was assessed in response to bacterial injection with *Escherichia coli*. The error bars indicate standard deviations of three measurements. The asterisk above the error bar indicate significant difference of the mean at Type I error = 0.05 (LSD test). 'Cont' represents deionized distilled water.

연구결과를 토대로 정확한 원인 규명은 아직 어렵다. 다만, 본 연구에서 진행된 폐놀옥시다제 연구결과와는 이러한 소낭형성 억제능력이 부분적으로 폐놀

옥시다제 활성화 억제에 기인할 수 있을 나타내고 있다. 기존의 연구^{20,21)}는 소낭형성을 억제하는 원인 물질로서 중금속, 다이옥신류 및 PCB류가 해당된다. 이들 중 PCB류와 다이옥신, Hg, Pb이 매우 낮은 농도에서도 억제능력이 높은 것으로 판명되었다. 그러나 본 연구의 PCB류 잔류분석결과 생물적 검출한계에서 나타나지 않은 것과 또한 납과 카드뮴이 매우 낮은 농도로 존재하여, 이 이외의 중금속이나 다이옥신 노출을 의심해볼 수 있다. 따라서 향후 이들 후보 환경오염물질에 대한 잔류량 분석이 필요하다고 본다.

3.6.2. 체액성 면역반응

각 하천 및 하천 주변에서 수집된 여러 환경시료를 가지고 파밤나방의 혈액을 이용한 폐놀옥시다제 활성을 측정하여 체액성면역반응에 미치는 환경시료의 영향을 분석하였다 (Figs. 5, 6, 7). 분석한 결과들을 추정해 볼 때, 와야천의 물과 퇴적물 시료들은 다른 하천에서 수집한 시료들과 비교해서 대조시료 (탈이온화된 증류수)보다 곤충의 폐놀옥시다제 활성을 확연히 억제시켜 곤충의 체액성 면역교란 효과에 미치는 영향이 매우 크다는 것을 알 수 있었다. 그러나 와야천 주변의 토양과 와야천을 제외한 다른 하천들의 시료들은 대조 시료와 비교해서 각각 통계적으로 그다지 차이가 나지 않아 곤충의 세포성 면역반응에 영향을 끼치지 않는 것으로 조사되었다.

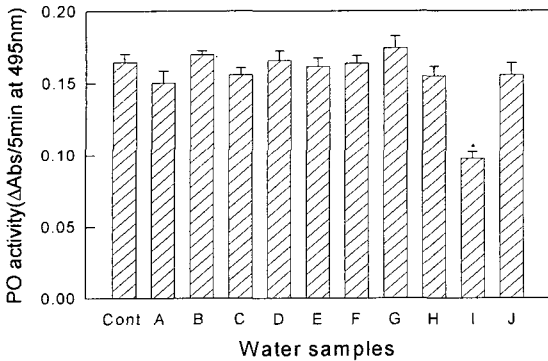


Fig. 5. Effect of field water samples on phenoloxidase (PO) activation in the hemolymph of *Spodoptera exigua* larvae. The error bars indicate standard deviations of three measurements. The asterisk above the error bar indicate significant difference of the mean at Type I error = 0.05 (LSD test). 'Cont' represents deionized distilled water. (A : Daekok-chun, B : Hyunha-chun, C : Kilan-chun, D : Mi-chun, E : Norym-chun, F : Poongsan-chun, G : Songya-chun, H : Banbyun-chun, I : Waya-chun, J : Kooke-chun).

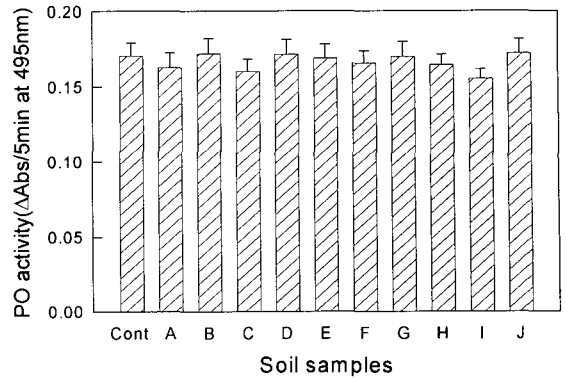


Fig. 7. The effect of field soil samples on phenoloxidase (PO) activation in the hemolymph of *Spodoptera exigua* larvae. The error bars indicate standard deviations of three measurements. The asterisk above the error bar indicate significant difference of the mean at Type I error = 0.05 (LSD test). 'Cont' represents deionized distilled water.

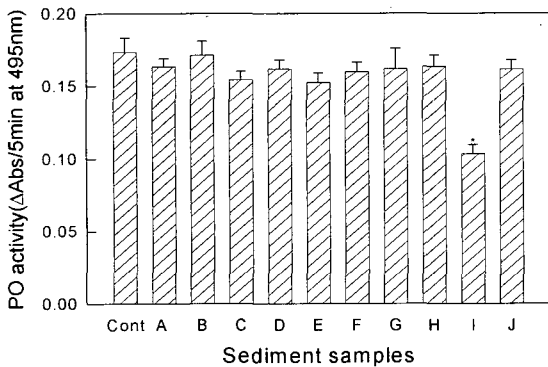


Fig. 6. Effect of field sediment samples on phenoloxidase (PO) activation in the hemolymph of *Spodoptera exigua* larvae. The error bars indicate standard deviations of three measurements. The asterisk above the error bar indicate significant difference of the mean at Type I error = 0.05 (LSD test). 'Cont' represents deionized distilled water.

페놀옥시다제 활성화는 곤충의 체액성 면역 뿐만 아니라 세포성면역을 연계하는 데 중요하다²²⁾. 사람의 혈액응고반응과 마찬가지로 이 효소의 활성화에는 다양한 단백질분해 효소의 활성화가 필요하다²³⁾. 즉, 이 효소활성화의 억제인자는 이러한 신호전달체계의 교란인자로 나타났을 가능성이 높다. 이 페놀

옥시다제에 억제요인으로 작용하는 환경오염물질은 중금속, 다이옥신 및 PCB류이며, 특별히 다이옥신과 수은 및 납이 주요 억제 요인이다²¹⁾. 화학잔류량 분석 결과는 이 하천에 낮은 중금속 및 검출한계이하의 PCB류 존재 가능성을 제시하였다. 즉, 이 하천의 생체지표 결과와 화학잔류량 분석 결과를 종합하여 보면, 와야천은 일부 중금속 또는 다이옥신류에 노출되었을 가능성이 있다.

3.6.3. 면역 신호체계 교란반응

각 하천 및 하천 주위에서 수집된 시료들 가운데 페놀옥시다제 활성화에 영향을 준 와야천의 수층과 퇴적물 시료들에 대한 면역 신호체계 교란효과를 조사하여 Figs. 8과 9에 나타내었다. 이들 그림에서 나타낸 바와 같이, 와야천의 퇴적물 시료와는 달리 수층시료는 50 % 에탄올에 용해되어 있는 100 ng의 아라키도닉산에 의해서 페놀옥시다제 활성화가 상당히 증가되었고, 이를 근거로 와야천 수질에 존재하는 어떤 오염성분들이 PLA₂ 활성을 억제시킨다는 것을 알 수 있었다.

PLA₂는 세균과 같은 외래 인자에 대해서 곤충의 혈구가 반응하는 데 중요한 아이코사노이드류 생합성의 첫 반응을 촉매한다⁹⁾. 즉, 생체막의 인지질의 sn-2 위치에 존재하는 알키도닉산을 해리시키고, 해리된 아라키도닉산은 일련의 산화효소 (예, cyclooxygenase, cytochrome P₄₅₀ epoxigenase, lipoxygenase) 작용에 의해 활성형 아이코사노이드류로 전환된다. 이들 아이코사노이드류는 곤충 혈구세포

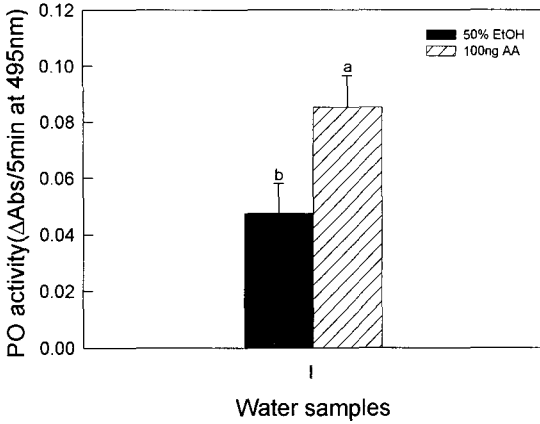


Fig. 8. Effect of 'Waya' water sample on PLA₂ activity in the hemolymph of *Spodoptera exigua* larvae. PLA₂ activity was measured indirectly by monitoring phenoloxidase (PO) activity in the presence or absence of arachidonic acid (AA). The error bars indicate standard deviations of three measurements. Different letters above the error indicate significant difference between at Type I error = 0.05 (LSD tests).

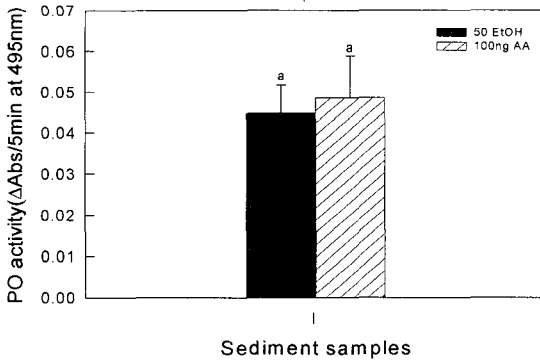


Fig. 9. Effect of 'Waya' sediment sample on PLA₂ activity in the hemolymph of *Spodoptera exigua* larvae. PLA₂ activity was measured indirectly by monitoring phenoloxidase (PO) activity in the presence or absence of arachidonic acid (AA). The error bars indicate standard deviations of three measurements. Different letters above the error indicate significant difference between at Type I error = 0.05 (LSD tests).

의 소낭형성 또는 피막형성 등의 세포성 면역을 증대하게 된다. PLA₂ 억제제는 중금속 또는 다이옥신류에서는 일어나지만, PCB류는 억제하지 않는 것으로 나타나서¹¹⁾, 이 와야천의 화학잔류량 분석과 일치하

게 PCB류의 노출은 없는 것으로 판명된다. 그러나 수층시료의 PLA₂ 억제 반응은 앞에서 분석된 다이옥신 또는 일부 중금속류에 이 하천이 노출되어 있다는 사실을 반증하게 된다.

3.6.4. 면역세포 치사효과

안동지역 하천 및 하천 주변에서 수거한 수질, 퇴적물, 토양 시료를 사용하여 수서곤충인 파밤나방 혈액속에 존재하는 혈구세포의 치사효과를 분석하였다 (Figs. 10, 11, 12). 조사된 모든 시료는 대조시료 (탈이온화된 증류수)와 비교해서 치사효율의 차이가 거의 없었다.

혈구세포의 치사효과는 중금속, 다이옥신 및 PCB류를 대상으로 분석되었다¹¹⁾. 이들 환경오염물질은 곤충혈구세포에 대해서 세포피낭형성, 아포토시스 소낭형성 등 전형적 세포자연치사과정²³⁾을 유발하였다. 그러나 화학 환경오염물질이 혈구세포에 미치는 치사효과는 앞에서 조사한 면역치사효과는 달리 비교적 높은 억제 농도를 요구하게 된다¹¹⁾. 즉, 다이옥신 또는 일부 중금속에 노출되었을 것으로 추정되는 와야천의 경우도 이들의 노출농도가 높지 않다는 것을 면역세포 치사효과 결과로서 제시할 수 있다.

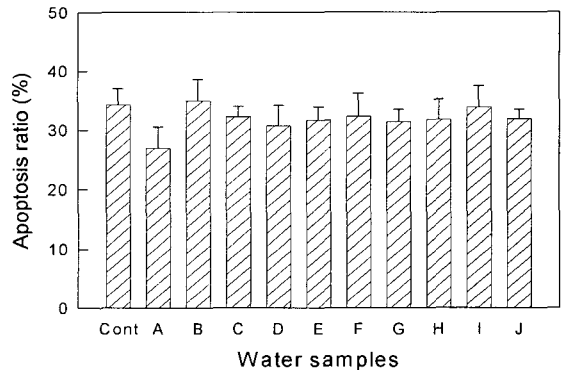


Fig. 10. Effect of field water samples on hemocyte apoptosis in the hemolymph of *Spodoptera exigua* larvae. The error bars indicate standard deviations of three measurements. The asterisk above the error bar indicate significant difference of the mean at Type I error = 0.05 (LSD test). 'Cont' represents deionized distilled water. (A : Daekok-chun, B : Hyunha-chun, C : Kilan-chun, D : Mi-chun, E : Norym-chun, F : Poongsan-chun, G : Songya-chun, H : Banbyun-chun, I : Waya-chun, J : Kooke-chun).

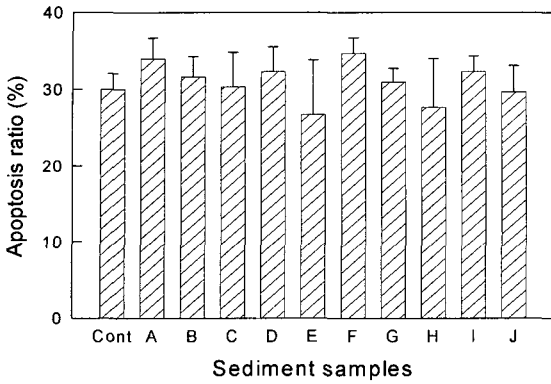


Fig. 11. Effect of field sediment samples on hemocyte apoptosis in the hemolymph of *Spodoptera exigua* larvae. The error bars indicate standard deviations of three measurements. The asterisk above the error bar indicate significant difference of the mean at Type I error = 0.05 (LSD test). 'Cont' represents deionized distilled water.

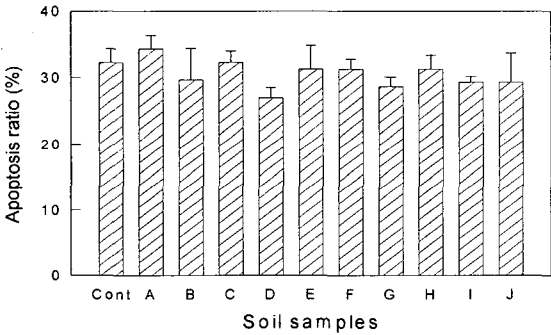


Fig. 12. Effect of field soil samples on hemocyte apoptosis in the hemolymph of *Spodoptera exigua* larvae. The error bars indicate standard deviations of three measurements. The asterisk above the error bar indicate significant difference of the mean at Type I error = 0.05 (LSD test). 'Cont' represents deionized distilled water.

4. 결론

본 연구는 경북 안동지역에 있는 10개 하천을 대상으로 환경오염물질과 생체지표 분석을 통하여 이들 하천에 대한 환경오염 평가를 수행하였다. 화학 분석을 위하여 하천수, 하천퇴적물, 하천 주변의 토양을 일정량 채취하여 이들 시료 중에 존재하고 있는 총질소, 총인, 화학적 산소요구량, 중금속, 유기인계와 유기염소계 잔류농약, 그리고 다이옥신 유사

PCBs 잔류량들을 분석하였다. 생체분석은 이들 시료를 이용하여 소낭형성억제 능력, 페놀옥시다제 활성 억제, PLA2 억제 능력 및 세포자연치사 효과와 같은 면역생리지표가 검정되었다.

- 1) 조사된 10개 하천의 총질소 함유량은 생활환경 수질 기준치로 판단하여 볼 때 구계천과 현하천을 제외하고는 대부분 V등급인 1.5 mg/L 이하보다 더 높은 수치를 보였다. 하천별로 총질소 농도는 대곡천 > 송야천 > 와야천 > 미천 > 풍산천 = 반변천 > 노림천 > 길안천 > 현하천 > 구계천 순이었다.
- 2) 조사된 전체 하천수를 총인 함유량으로 등급을 정하면, 송야천과 와야천은 생활환경 수질 기준치인 V등급 이하의 수질로 판명되었으나, 이외의 다른 하천들은 II-V 등급의 판정을 받았다. 하천별로 송야천 > 와야천 > 풍산천 > 길안천 > 반변천 > 구계천 > 현하천 > 노림천 = 미천 > 대곡천으로 낮은 수치를 보였다.
- 3) 화학적 산소요구량으로 조사 하천수를 판별하여 보면, 와야천을 제외하고는 모두 생활환경 수질 기준에 맞는(II-V) 하천수로 판명되었다. 하천별로 와야천 > 반변천 > 대곡천 = 길안천 > 미천 = 구계천 = 현하천 > 노림천 = 풍산천 > 송야천으로 낮은 농도를 보였다.
- 4) 납과 카드뮴은 조사지역 하천수나 토양 모두 사람의 건강 보호를 위하여나 토양의 오염 우려기준 허용기준치보다 매우 낮은 수준으로 존재하여 안동지역에 위치해 있는 하천 및 하천 주변의 환경은 대체적으로 납이나 카드뮴의 오염에 대해 크게 우려할 사항은 아니었다. 그러나 현하천, 길안천, 와야천, 그리고 미천 주변의 토양은 이외의 다른 하천 주위의 토양보다는 납과 카드뮴의 농도가 높은 수준으로 이들 하천에 대해서 지속적인 중금속 환경잔류 실태 조사가 필요하다.
- 5) 환경에 비교적 잔류성이 높은 유기인계와 유기염소계 잔류농약의 하천 시료별 노출량이 분석되었다. 조사된 총 5종의 유기인계 농약 (메틸디멘톤, 다이아지논, 파라치온, 펜토에이트, 이피엔) 모두 하천 수질에서는 검출한계 이상에서 전혀 확인할 수 없었다. 그러나 반변천과 와야천에서는 파라치온이 길안천, 미천, 노림천 주변의 토양에서는 메틸디멘톤, 다이아지논, 파라치온, 펜토에이트 유기인계 잔류농약이 수십 ppb 정도로 검출되었다. 총 16종 (Alpha-BHC, heptachlor, endosulfan I, 4,4'-DDT 등)의 유기염소계 잔류농약의 잔류량을 조사 하천 시료별로 분석하였다. 그러나 어느 하천의 환경시료도 검출한계 이상에서 이들 유기염소계 잔류농약을 함유하고

있지 않았다.

- 6) 209개의 PCBs 중 비교적 독성등가인자 값이 상대적으로 높은 12종의 다이옥신 유사 PCBs 잔류량이 조사지역 하천 시료별로 분석되었다. 조사 하천의 수질과 퇴적물 그리고 주변 토양의 어느 시료도 이들 PCBs를 검출한계 이상에서 확인할 수 없었다.
- 7) 생체지표로 분석한 10개 하천 중 유독 와야천 시료에서 보여 주는 다양한 면역교란 반응은 이 하천에 잔류되어 있는 어떤 화학물질이 곤충면역 반응의 초기 단계를 억제시키는 것이 아닌 가 판단된다. 왜냐 하면 면역반응을 불러일으키는 외래인자 인식반응이 결여된다면 이후의 면역 중개 또는 실질적 면역반응이 역시 저하하게 되기 때문이다. 본 연구결과는 와야천의 시료만이 PLA2 효소 활성을 억제 시킨다는 것을 보여주고 있는데, PLA2 활성 물질은 곤충은 물론이고 척추동물의 세포성 면역 중개에 중요한 신호전달 체계로서 이 효소에 대한 억제는 이후의 면역반응저하 현상을 야기 시키기 때문이다.

5. 고 찰

안동지역 환경 시료별 화학잔류량과 생체지표 분석의 결과를 종합해 볼 때, 이러한 결과들은 생체지표만으로는 오염물질의 노출을 정확히 판명할 수 없다는 것을 나타냈고, 화학 잔류량 분석만으로는 주어진 대상 화학오염물질 이외의 다른 오염물질에 대해서 감지가 불가능하다는 상호간의 단점을 극명하게 나타내고 있다. 그러나 비교적 주요 환경오염물질 노출에 대해서 생체지표는 경보 체계로서 역할을 담당할 수 있다는 큰 의미를 가지며, 화학 잔류량 분석은 이러한 경보에 대한 정확한 대상오염물질 추적을 가능하게 한다. 이상의 두 지표를 가지고 안동 인근 하천들의 환경오염 수준을 평가해 보면, 와야천이 본 연구에서 분석하거나 분석하지 못한 이외의 화학오염물질에 상당히 노출되어 있을 가능성을 제시하고 있어 앞으로도 이 하천에 대한 후속 화학 잔류량 분석이 요구된다.

감사의 글

본 연구는 2004년도 경북지역환경기술개발센터와 한국환경기술진흥원에서 지원하는 차세대핵심 환경기술개발사업의 일환으로 수행되어 이루어졌으며, 이에 대한 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1) Craig, D. A., 1990, Behavioural hydrodynamics

of *Cloeon dipterum* larvae (Ephemeroptera: Baetidae), J. NABS. 9, 346-357.

- 2) Kawai, K. and K. Konishi, 1986, Fundamental studies on chironomid allergy I. Culture methods of some Japanese chironomids (Chironomidae, Diptera), Jpn. J. Sanit. Zool., 37, 47-57.
- 3) Lee, S. J., Y. J. Bae, I. B. Yoon and N. C. Watanabe, 1999, Comparisons of temperature-related life histories in two ephemerid mayflies (*Ephemera separigata* and *E. s. trigata*: Ephemerae, Ephemeroptera, Insecta) from a mountain stream in Korea, Korean J. Limnol., 32, 253-260.
- 4) Ward, J. V., 1992, Aquatic Insect Ecology. 1. Biology and habitat, John Wiley & Sons, Inc., N. Y., 438pp.
- 5) Wiederholm, T., 1983, The larvae of Chironomidae of the holarctic region keys and diagnoses, Ent. Scand. Suppl., 19, 1-457.
- 6) 김용균, 신진섭, 조기중, 2004, 무척추동물 내분비계 교란-내분비론, 실내분석 및 현장평가, 정행사, 5pp.
- 7) 동화기술 편집부, 2003, 수질오염·폐기물·토양오염 공정시험방법, 동화기술, 14-691.
- 8) Keith, L. H., 1996, Compilation of EPA's, U.S. EPA Method 8080, CRC Press: New York, U.S.A., 97pp.
- 9) Stanley, D. W., 2000, Eicosanoids in invertebrate signal transduction systems, Princeton University Press, Princeton, 277pp.
- 10) Gillespie, J. P. and M. R. Kanost, 1997, Biological mediators of insect immunity, Annu. Rev. Entomol. 42, 611-643.
- 11) 김용균, 유건상, 배연재, 이성규, 이시혁, 이준호, 조기중, 2005, 환경오염물질과 무척추동물 생체지표, 정행사, (출판중).
- 12) Ryoo, K. S., S. O. Ko, Y. P. Hong, J. H. Choi, S. Cho, Y. Kim and Y. J. Bae, 2005, Levels of PCDDs and PCDFs in Korean river sediments and their detection by biomarkers, Chemosphere 60, (In press).
- 13) Park, Y. and Y. Kim, 2000, Eicosanoids rescue *Spodoptera exigua* infected with *Xenorhabdus nematophila*, the symbiotic bacteria to the entomopathogenic nematode *Steinernema carpocapsae*, J. Insect Physiol, 46, 1469-1476.
- 14) Park, Y. and Y. Kim, 2003, *Xenorhabdus ne-*

- matophilus* inhibits *p*-bromophenacyl bromide (BPB)-sensitive PLA₂ of *Spodopetra exigua*, Arch. Insect Biochem. Physiol. 54, 134-142.
- 15) 정 용, 1997, 최신 환경과학, 지구문화사, 419pp.
 - 16) Erickson, M. D., 1997, Analytical Chemistry of PCBs: CRC Press-Lewis Publishers, New York, U. S. A, 34-45.
 - 17) Safe, S. and C. Harris, 1989, Validation of the AHH Induction Bioassay for the Determination of 2, 3, 7, 8-TCDD Toxic Equivalents, Chemosphere, 18(1-6), 942-946.
 - 18) Safe, S., 1998, Limitations of the toxic equivalency factor approach for risk assessment of TCDD and related compounds, Terat. Carcin. Mut., 17, 285-304.
 - 19) Lavine, M. D. and M. R. Strand, 2002, Insect hemocytes and their role in cellular immunity responses, Insect Biochem, Mol. Biol. 32, 1295-1309.
 - 20) Cho, S. and Y. Kim, 2004, Hemocyte apoptosis induced by entomopathogenic bacteria, *Xenorhabdus* and *Photorhabdus*, in *Bombyx mori*, J. Asia-Pacific Entomol. 7, 195-200.
 - 21) Söderhäll, K. and L. Cerenius, 1998, Role of the prephenoloxidase-activating system in invertebrate immunity, Curr. Opin. Immunol. 10, 23-28.
 - 22) Söderhäll, K. and V. J. Smith, 1986, Prophenoloxidase-activating cascade as a recognition and defence system in arthropods. In Hemocytic and humoral immunity in arthropods (Ed. A. P. Gupta), John Wiley and Sons, New York, 251-286pp.
 - 23) Arends, M. J. and A. H. Wyllie, 1991, Apoptosis: mechanisms and roles in pathology, Int. Rev. Exp. Pathol. 32, 223-354.