

농업유역의 생태환경 모니터링 기법 연구

박승우 * · 윤광식 * · 임상준 * · 강문성 *

* 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과

Monitoring of Agro-Ecological Environments at Small Watershed

Park, Seung-Woo · Yoon, Kwang-Sik · Im, Sang-Jun · Kang, Moon-Seong *

* Department of Agricultural Engineering, Seoul Nat'l Univ.

ABSTRACT

Monitoring techniques for agro-ecological environments were studied. Hydrologic and ecological components in conjunction with water quality were monitored in the Balhan watershed. The hydrologic monitoring program consists of four water level gauging stations along creeks and stream at the watershed having 26.5 km². Stage-storage relationship of reservoir, rainfall amount of the watershed, and rating curve of the stream gauging stations were established. Soil type, land use, hydrologic soil group, population and economic activities within the watershed were surveyed. Water quality data from the streams were sampled weekly and chemical analysis was conducted. Temporal variations of water quality were investigated and water quality map of each reach of stream was made to identify spatial variations. Seasonal and spatial variations of vegetation densities along stream in the watershed were investigated using grid. Density variations of insect species such as arthropod, flying insect, spider species, rice insects were also monitored to determine seasonal surveying density. These monitored data will be used to develop monitoring techniques and agro-ecological environment models.

I. 서론

지구상의 생물학적 생명체 (biological life)를 지속시키는 수단을 제공하는 자연생태계 (ecological system)는 5대 생물학적 시스템으로 구성된다. 5대 생물학적 시스템은 삼림계 (forest system), 농경지와 초지계 (cropland and grassland system), 도시계 (urban system), 대기계 (air system), 그리고 수생계 (water system) 등이다. 이들 생물학적 생명체는 흙의 경우를 포함하는 대기중이나 수중에서 발생되며, 생물학

적 시스템은 균형적으로 상호 관련성을 갖기도 하지만 자원의 과다 이용, 혹은 손실이나 손상 등에 의하여 균형을 잃기도 한다.¹²⁾

농업생태계는 농경지의 자연환경생태로서 자연생태계의 구성원이며, 산림과 수생생태계의 중간에 위치한다. 농업생태계는 농작물을 생산하고 공급하는 기능외에도 수문순환 과정에서 홍수 조절, 대기 및 수질 정화, 기후 완화, 생물학적 다양성의 유지 등 환경보전기능으로서 중요한 역할을 담당하고 있다.

지난 30여년 동안 토지의 농작물 생산성은 품종개량, 농업기반시설의 설치, 농약과 비료의 보급, 농업생산자동화 등을 통하여 괄목할 만한 진전을 가져왔다. 그러나, 농업 내외적 수질오염과 과도한 농업화학물질의 사용에 의한 농경지의 토양오염과 함께 비점오염 등 수질오염 피해의 확산, 작목의 단순화 등으로, 농경지의 지속적인 생산을 보장하는 경지 생태계의 안정성에 위협을 받고 있으며, 과도한 농약, 비료 등의 잔류량과 농산물의 유독성 잔류량의 검출 등, 인간의 건강에 대한 위협을 초래하고 있으며, 농산물의 안정성과 관련하여 저공해 식품 수요가 꾸준히 진행되고, 환경친화적 농업에 대한 인식이 확산되어 결국 농업생산성 향상에 의한 농업발전에 비하여 농업환경보전 분야의 빠른 신장이 기대된다. 따라서, 다양한 농업환경 관리 방안에 대한 수요가 늘게 될 것이며, 농업생태계의 보전방안에 대한 국가적 지역적 수요가 증가하리라 사료된다. 이를 대비하여 농업 생태계의 각종 최적관리 방안을 사전에 평가할 수 있는 종합적 환경관리정보가 구축되어야 하며 이의 기초가 되는 농업생태계의 현장 모니터링과 실시간 자료의 종합관리기법이 제시되어야 할 것이다.

농업유역에서의 수문, 수질 및 생태환경에 관한 국내외 연구는 최 등 (1996)과 서 등 (1994)이 농업용 저수지에 대한 오염현황을 조사한 바 있고, 최 등 (1996)은 수질관리를 위한 자동계측망의 설계에 대한 연구를 수행하였으며, 최 등 (1996)은 하천내 수질오염 조사 자료의 관리를 위하여 GIS를 이용하는 등 수질에 관련된 모니터링이 이루어져 왔으며, Yaksich와 Verhoff (1983)은 하천 오염부하량 이송에 따른 채수기법을 제시하였고, Donald (1990)은 영양물질 추정을 위한 실시간 채수기법에 관해 연구한 바 있으나, 수문 및 수질, 산림, 곤충, 수변 생태 등을 종합적으로 모니터링한 예는 전무한 실정이다.

따라서, 농업유역에서의 수문과 물질순환과정을 정량적으로 분석하고, 이를 통하여 주요 오염원을 파악하며, 이를 효과적으로 조절하기 위한 유역수질관리 기술개발과 함께, 경지와 주변 생태계에 미치는 영향 등을 극소화할 수 있는 종합적인 연구가 필요하다. 특히, 관개시설 등의 농업기반 조성사업에 따른 인위적인 수문환경 변화로 인한 농경지 내에서의 수문·물질순환 기작의 변화 등을 고려한 수질 및 생태환경에 관한 종합적인 모니터링, 모델링 기법이 요구된다.

본 논문에서는 발안유역의 농업생태환경 모니터링을 위

하여, 대상 유역의 수문, 수질, 생태 계측망을 구성하고, 농업유역에서의 수문과 물질순환과정을 정량적으로 분석하여 주요 오염원을 파악하며, 기상·수분인자, 지상·지형인자, 오염원 인자, 산림생태 및 수변생태 인자, 곤충생태 인자, 영농관리 인자 등을 파악하고, 인자들의 상호 관련성 등을 계량적으로 구명하기 위한 종합적이고 체계적인 수질 및 생태환경에 관한 현장 모니터링 기법을 제시하였다.

II. 시험유역의 선정 및 조사방법

2.1 시험유역의 선정

유역의 수문, 수질, 생태환경 등의 현장 모니터링과 자료 구축을 위한 시험유역은 7개소의 후보지역을 선정하여, 교통적 접근성, 선정 기준의 부합성, 또한 지역의 하천 특성 등을 우선 순위로 예비조사를 거쳐 경기도 화성군 발안 및 팔탄면 소재 발안저수지와 기천저수지 유역을 선정하였으며, 그 위치와 유역계계는 <그림 1>에서와 같다.

발안지유역은 산간지, 중산간지, 평탄지, 취락지 등 다양한 토지이용상태를 보이고 있으며, 개발보전지를 포함하고 있음은 물론, 도시화의 진행 등으로 수질 오염 수준이 다양한 특징을 보이고 있다. 또한, 발안지 유역은 식생이 다양하고, 곤충생태환경이 양호하며, 경지정리지구를 포함하고 있는 지역이다.

2.2 조사방법

<그림 2>는 발안지유역의 농업생태환경 모니터링의 개요도를 보여주고 있다. <그림 2>에서와 같이, 유역의 특성, 오염부하량, 물관리 상황 등을 고려하여 6개의 유량측점과 9개의 수질측점을 설치하였으며, 생태환경 모니터링을 위한 정밀유역을 선정하여 산림 및 수변생태, 곤충생태 등에 대한 현장 자료를 수집 분석하였다.

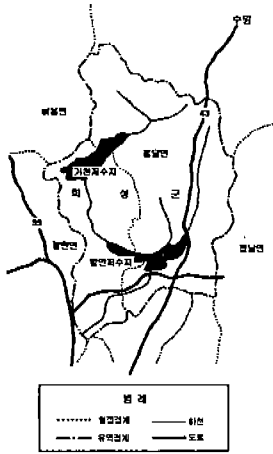
발안지유역과 시험포장 등에서의 현황 모니터링 내용 등은 <표 1>에서와 같다. <표 1>에서와 같이, 수문조사는 시간별 강우량 자료, 시간별 일별 하천 수위자료, 수위-유량관계, 수위-내용적 관계 등을 수집하고, 그 결과를 분석하는 내용을 포함한다. 수질조사는 주기적 (주1회)으로 수질 표본을 샘플링하고, 수질 분석을 실시하며, 오염물질 부하량을 조사하는 것으로 구성하였다.

유역 지상인자의 조사는 1/25,000 지형도, 토양도, 토지이용도 등의 자료를 이용하며, 현지답사를 통해 보완하도록 하였으며, 그밖에도 항공사진 분석, 위성사진의 분석 등을 시행하도록 하였다.

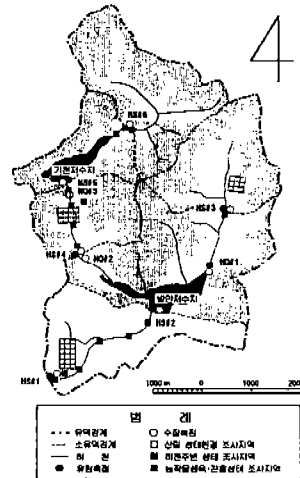
영농상황조사는 유역내의 토지이용 구분별로 주요 품종과 제배상황, 비료 농약 사용량 등을 방문조사를 통해 파악하였으며, 물관리 상황조사는 세부조사구역내의 필지별 물관리 상황을 조사하고, 용배수 상황에 따른 수질환경의 영

향을 위한 자료를 수집분석하였다.

산림생태조사는 유역내 조사구를 설정하고, 조사구내의 식생상황을 연 3회 조사하고, 그 변동상황을 파악하며, 생태변화를 추정하도록 하였고, 수변 식생조사는 유역내 하천구간의 식생분포를 조사하며, 그 계절적 변화와 수질과의 관계 등을 구명하도록 하였으며, 곤충생태조사는 세부조사구내의 곤충분포와 생태를 조사하며, 그 시기적 변화를 밝히도록 하였다.



〈그림 1〉 시험유역의 위치도



〈그림 2〉 시험유역의 모니터링 개요도

〈표 1〉 시험유역의 조사 현황 및 내용

구분	측점	조사항목	조사방법	비고
수문조사	HS#1, HS#3, HS#4, HS#6 (주1회)	-시간별 강수량 자료 -시간별 하천 수위 자료 -수위-유량 관계 -저수지 수위-내용적 관계	- 강우계 - 자기수위계 - 수위표 - 유속 측정	수문계측망
수질조사	HS#1~HS#6 HQ#1~HQ#3 (주1회)	수온, PH, DO, SS, NO ₃ -N NH ₄ -N, T-N, PO ₄ -P, T-P	- 현장 측정 - 실험실 분석	수질계측망
유역지상인자조사	시험유역	- 유역면적 - 기복량 - 형상계수 - 평균경사 - 하천밀도	- 1/25,000 지형도 - 1/25,000 토양도 - 1/25,000 토지이용도 - 항공사진, 원격탐사 - 현장답사	
산림생태조사	시험유역	- 산림식생, 산림생태 환경 - 주요 산림 군락	- 방형구 설치 - 현장답사	
수변식생조사	시험유역 (15개지점)	- 식생지도, 생물량 - 서식처 환경, 토양환경	- 방형구 설치 - 실험실 분석	
곤충생태조사	시험유역 (3개 지점)	- 절지동물 분포, 다양성 - 절지동물 생물량	- 방형구 설치, 채집 - Tullgren Funnel분석	

Ⅲ 수문 · 수질 모니터링

3.1 유역특성인자와 토지이용상태

발안지유역의 강수-유출 특성 분석과 오염원의 정량적 해석을 위한 기초자료로서 시험유역을 6개의 수문단위로 구분하여 물리적 특성, 토양, 토지이용상태 등의 수문특성을 조사하였다.

가. 유역특성인자

본 연구에서는 각 소유역별로 유역면적, 형상계수, 유로장, 최대기복량, 기복량비, 그리고 하천형태 등을 구하였으며, 그 결과는 <표 2>와 같다. <표 2>에서와 같이, 소유역별 유역면적은 HS#3이 최소인 412ha, HS#1이 최대인 2,649ha의 범위였다.

유역 형상계수는 HS#2가 약 47로 가장 크고, HS#1이 0.1정도의 값으로 가장 작았다. 그런데, HS#1, HS#6을 제외한 대부분의 유역에서 형상계수의 값이 1.0이상의 값을 나타내고 있어 유역의 폭이 길이 보다 큰 형상 (보통 우상 유역이라 함)을 보이고 있다.

유역의 최대 기복량은 HS#1에서 316m로 가장 큰 값을 보였으며, 대부분 230~260m 범위의 값을 보여, 표고 차이가 비교적 커서 경사가 심한 것을 알 수 있었다.

유역의 기복량비는 소위 유역평균경사를 나타내는 값으로서, 각 유역별 기복량비가 0.02~0.09의 범위를 보여 비교적 경사가 심한 상태임을 보여주었다. 그런데, 하천의 평균 경사는 0.008~0.02의 범위로서 기복량비보다 경사는 작으나, 대체적으로 급한 상태였다.

시험유역의 하천의 특성은 유로장, 하폭, 유량, 하상경사, 하천밀도, 하상계수 등의 인자를 이용하여 표시한다. 또한, 하천 차수를 구하고, 이에 따른 하천 특성 등 형태를 조사하기도 한다. 본 연구에서는 시험유역의 유로장, 평균경사, 하천밀도 등을 조사하였으며, 그 결과는 <표 2>에서와 같았다.

나. 토양과 토지이용상태

유역의 토양조사는 1/25,000 정밀토양도와 1/50,000 개략 토양도를 이용하여 소유역별 토양분류를 실시하고, 그 배수 특성의 속성에 따라 수문학적 토양군으로 분류하였으며, 그 결과는 <표 3>과 같다. <표 3>에서와 같이 HS#1은 A, B 군이 각각 55%, 22% 등으로 전체의 약 77%에 달하였으며,

<표 2> 시험유역의 수문 특성

구분	면적 (ha)	형상계수	유로장 (Km)	최대 기복량 (m)	기복량비	하천 평균경사 (m/m)	하천빈도 (개/Km ²)
HS#1	2648.80	0.1280	14.40	316	0.022	0.0076	0.8683
HS#2	2162.50	4.6584	11.45	236	0.0240	0.0092	1.5722
HS#3	412.50	1.5620	1.63	246	0.0895	0.0178	0.9697
HS#4	1068.75	2.2724	6.95	246	0.0354	0.0127	2.3392
HS#5	756.25	1.0124	5.375	266	0.0495	0.0127	1.4545
HS#6	506.25	0.5184	3.125	266	0.0832	0.0218	1.9753

<표 3> 시험유역의 수문학적 토양군 분류

구분	수문학적 토양군 (%)				토지이용상태 (%)			
	A	B	C	D	논	밭	산림	기타
HS#1	54.6	21.5	20.8	3.1	23.0	4.5	63.3	9.2
HS#2	35.7	21.3	40.3	2.7	20.2	3.7	66.9	9.3
HS#3	49.7	14.6	31.8	3.9	49.7	14.6	31.8	3.9
HS#4	49.6	18.6	26.5	5.3	14.9	2.2	75.0	8.0
HS#5	51.0	47.1	0.0	2.0	13.7	1.7	75.9	8.6
HS#6	61.0	34.9	0.0	4.0	16.2	1.2	78.7	3.9

최상류 지점인 HS#6에서는 A, B군이 각각 61%, 35%로 대부분 A, B군의 비중이 높은 데, 이는 논 면적이 상대적으로 많은 까닭이다.

유역의 토지이용상태를 토지이용도와 행정조사 결과를 이용하여, 산림, 논, 밭, 대지, 기타 등으로 구분하였으며, 그 결과는 <표 3>에서와 같았다. <표 3>에서 보듯이, 소유역별 토지이용 현황은 HS#1의 경우는 산림이 63%, 논이 23%로 논의 비중이 높아 전체적으로는 평탄지의 특징을 나타내고 있으며, 특히, HS#3의 경우는 논 면적이 전체 면적의 50%정도에 달하는 형태를 나타냈다. 반면에, HS#6의 경우는 유역의 최상류 부분으로 산림지의 구성비가 79%로 이르는 반면, 논은 16%내외에 머물러, 산간지에 가까운 토지 이용 구조를 보였다.

이상과 같이, 대상유역내의 소유역은 토지이용 측면에서는 산간지, 중산간지, 경지, 취락지 등 다양한 분포를 나타내고 있으며, 각각의 소유역별 농업생태환경의 조사는 토지이용형태에 따른 특징을 반영할 수 있도록 구성하였다.

3.2 수문 모니터링

시험유역의 수문특성의 시간적·공간적 변화를 조사하고, 이들 간의 상호관계를 구명하기 위하여 유역의 기상, 강수량, 하천 수위와 유량, 저수위와 저수량, 관개량 등의 수문인자들을 조사 분석하였다.

가. 기상

기상자료는 유역으로부터 약 14km 떨어진 수원측후소의 관측자료를 이용하였으며, 강수량의 경우는 유역내 봉담면사무소의 강수량 자료를 사용하였다. 또한, 장기 강우자료의 보완을 위하여 발안지 유역과 수원측후소의 일강수량 상관성을 분석하였으며, 그 결과는 식(1)과 같은 관계를 보였다.

$$P_w = 0.9617 P_s - 0.2694 \quad (1)$$

여기서, P=일 강수량 (mm), 침자 W, S는 각각 유역과 수원측점을 나타낸다. 식 (1)의 결정계수는 0.965로서 고도의 유의성을 보였다.

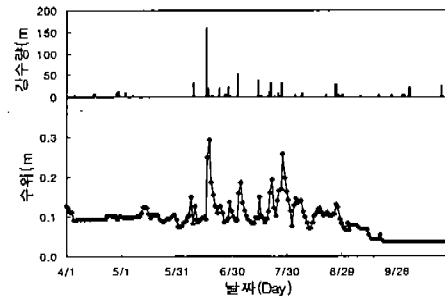
나. 하천수위와 유량

하천수위는 <그림 2>의 HS#1, 3, 4, 6 등 4개의 지점에서 수위표와 자기수위계를 이용하여 측정하였다. 발안지유

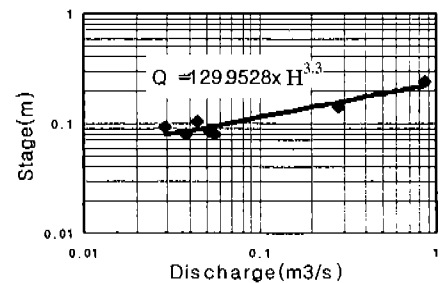
역의 측정별 수위-유량관계는 <표 4>와 같았고, <그림 3>과 <그림 4>는 HS#4의 일별 하천 수위 변화와 수위-유량관계를 보여주고 있다.

<표 4> 측정별 수위-유량 관계식

유역명	수위-유량 관계식	R ²	비 고
HS#1	$Q = 58.0388h^{2.331}$	0.9234	
HS#3	$Q = 54.5081h^{5.362}$	0.8275	
HS#4	$Q = 129.9528h^{3.3}$	0.8805	



<그림 3> HS#4 지점의 강수, 수위 변화



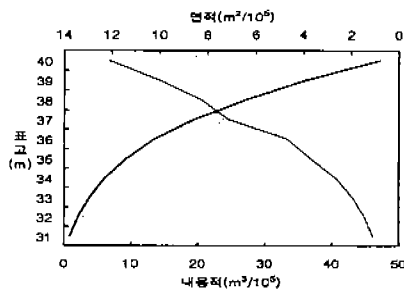
<그림 4> HS#4 지점의 수위-유량 관계

다. 저수위 및 저수량

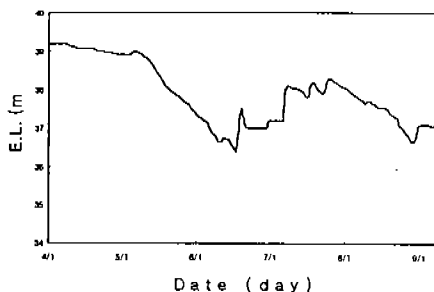
기천지와 발안지의 저수위는 HS#2, HS#5지점의 수위표를 활용하여 측정하였고, 저수량 자료는 저수지별 수위-내용적 관계로 부터 수집하였다. <그림 5>는 발안저수지의 수위-내용적 관계를 나타내고 있으며, <그림 6>은 발안저수지의 일별 저수위 변화를 보여주고 있다.

라. 관개수량과 논 면적

관개량은 기천, 발안저수지의 방류량 자료를 수집하여 분석하였으며, <그림 7>은 발안저수지와 기천저수지의 1996년도 누가 관개급수량을 보여주고 있다.

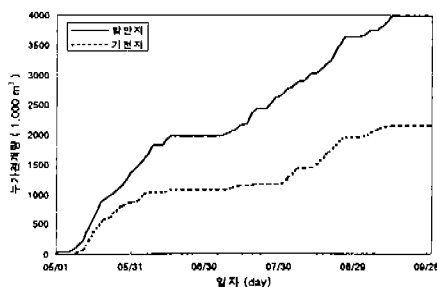


<그림 5> 발안저수지 수위-내용적 곡선

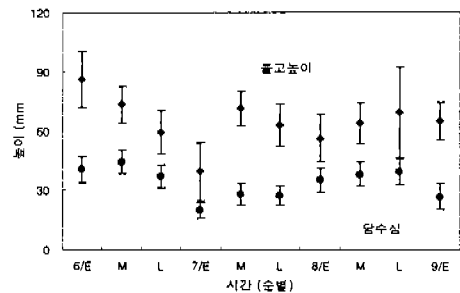


<그림 6> 발안저수지 일별 저수위 변화

시험포장의 관행물관리 현황을 조사하기 위해 발안지 및 기천지의 물리구역에 대하여 논의 담수심 및 물고높이를 측정하였다. <그림 8>은 시험구역의 전체포장에 대한 시기별 물고높이와 담수심의 자료를 평균과 표준편차를 이용하여 도시하고 있다. <그림 8>에서 오차막대의 끝점은 표준편차를 나타내고 있고, 중앙점은 평균값을 표시하는 것으로서 물고높이 및 담수심의 필지별 분산정도를 나타내고 있다.



<그림 7> 발안, 기천저수지 누가 관개량



<그림 8> 시기별 물고높이와 담수심 변화

3.3 수질 모니터링

수질모니터링을 위해서 발안지, 기천지 및 그 인접 유역을 대상으로 수질 계측망을 구성하고, 수질 시료의 채취시기와 방법, 그리고 수질분석방법 등 수질 모니터링 기술 개발에 필요한 기본 요소를 감안한 기초 자료를 구축하였고, 그 결과를 고찰하였다.

가. 수질 계측망 및 수질 분석 방법

수질 조사점은 <그림 2>에서와 같이, 유량-수질 측정인 HS#1, 2, 3, 4, 5, 6 등의 6개 지점과 수질측정인 HQ#1, 2, 3 등의 3개 지점으로 총 9개의 측정점으로 구성하였다. 유량-수질 측정점은 수질분석을 통하여 얻은 정성적인 자료를 바탕으로 해당 유역의 오염 부하량을 결정할 수 있도록 하였으며, 수질 측정점은 토지이용상태 등과 축산, 농가, 취락 등의 분포를 고려하여 설정하였다.

수질 표본의 채수는 주1회 실시하였으며, 수질표본의 분석은 pH, DO, 온도 등은 현장에서 직접 측정하였고, 부유물과 총인 및 총질소 항목은 공정시험법에 의해 실험실 분석을 실시하였다. <표 5>는 채수한 수질 표본의 수질 분석 방법이며, 수질분석 항목은 총 9성분으로 하였다.

<표 5> 수질 분석 방법

구분	성분	분석방법	비고
pH, DO, 온도	부유물	pH, DO, 수온 pH meter, DO meter, 온도계	현장 관측
질소	NO ₃ -N	Ion chromatograph	실험실 분석
	NH ₄ -N	Kjeldahl method	
	T-N	Kjeldahl distillation	
인	PO ₄ -P	Ion chromatograph	실험실 분석
	T-P	Ascorbicacid reduction method	

나. 수질 항목별 분석 결과

측점별 수질 항목별 분석 결과는 <표 6>과 같았다. 발안지 유역의 각 수질측점에 대한 수질분석 결과, pH는 5.21~9.99의 범위를 나타냈으며, 기천저수지 (HS#5)지점에서 최대값을 나타냈고, HQ#3에서 최소값을 보였다. 각 측점별 pH의 평균값은 HS#5 측점이 8.50으로 가장 높은 값을 보였고, 발안지 유역 말단인 HS#1과 기천지 월류수인 HQ#3에서 7.04로 낮은 값을 보였으며, 유역별, 시기별로 차이를 보였으나, 전체적으로 중성의 값을 보였다.

용존산소 (DO)는 HQ#4와 HQ#1에서 약 14mg/l로 최대치를 나타내었고, 최소치는 HS#1, HS#3 등에서 약 4.5mg/l의 값을 보였다. DO 농도의 시기별 변화는 발안저수지 유입수인 HQ#1측점과 발안저수지 (HS#2) 그리고 HS#4 측점으로 표준편차가 각각 3.26mg/l와 2.36mg/l를 나

타냈고, 기타 유역에서는 약 2mg/l의 값을 보였다. HS#1과 HS#3은 취락지와 농경지로 이루어진 평탄지로서 생활오수 및 토지이용에 따른 오염원이 유입되므로 다른 수질측점에 비해 상대적으로 낮은 용존산소량의 값을 나타내었으나, 그다지 커다란 차이는 보이지 않았다.

발안저수지와 기천저수지를 제외한 모든 측점에서의 부유물 농도는 유량이 많을수록 높은 값을 나타내었는데, 평탄지인 HS#1지점의 경우, 갈수기인 9월 초순에는 1.6mg/l인 반면, 39mm의 강수시 (7월 15일)는 부유물 농도가 247.2mg/l로 154배 이상의 증가를 보였다. 그러나, 발안저수지 (HS#2)와 기천저수지 (HS#5)의 부유물 농도의 경우, 계절별 최고치와 최소치가 11배~25배 정도의 범위로서, 다른 측점에 비해 현저하게 작은 편차를 보였다. 이와 같은 결과는 폭우시 토양유실량과 관계가 큰 것에 기인하는 데, 산림

<표 6> 시험유역의 수질분석결과 통계치

유역명	측정기간 (측점수)	구분	pH	DO	SS	T-N	T-P
					mg/l		
HS#1	96/4~96/10 (24)	최대/최소	7.91/6.43	12.06/4.49	247.2/1.6	7.15/0.29	0.73/0.02
		평균	7.04	7.88	26.7	2.48	0.11
		표준편차	0.38	1.79	60.3	1.61	0.16
HS#2	96/4~96/10 (23)	최대/최소	9.70/6.93	12.88/5.24	39.8/1.6	4.98/0.32	0.48/0.05
		평균	8.74	9.25	11.2	2.11	0.11
		표준편차	0.84	2.36	7.9	1.15	0.10
HS#3	96/4~96/10 (24)	최대/최소	9.70/6.93	12.16/4.54	272.0/4.4	14.75/1.16	1.55/0.10
		평균	7.58	7.87	24.48	7.17	0.43
		표준편차	0.71	2.07	54.13	3.18	0.35
HS#4	96/4~96/10 (24)	최대/최소	8.87/6.35	14.10/5.72	125.6/0.40	4.81/0.07	0.66/0.01
		평균	7.56	10.24	10.99	1.66	0.08
		표준편차	0.68	2.36	25.37	1.24	0.13
HS#5	96/4~96/10 (23)	최대/최소	9.99/6.25	11.68/5.49	24.0/2.2	5.03/0.41	0.55/0.01
		평균	8.50	8.59	7.6	1.54	0.07
		표준편차	1.05	1.91	5.3	1.03	0.11
HS#6	96/4~96/10 (15)	최대/최소	8.14/6.01	11.77/5.15	36.7/2.2	5.51/0.72	1.16/0.05
		평균	7.10	9.01	34.3	3.19	0.20
		표준편차	0.55	1.84	90.4	1.52	0.27
HQ#1	96/4~96/10 (19)	최대/최소	9.46/6.74	14.16/4.56	46.8/2.8	6.58/1.11	0.64/0.02
		평균	8.17	9.43	20.6	3.74	0.25
		표준편차	0.88	2.83	11.1	1.58	0.16
HQ#2	96/4~96/10 (2)	최대/최소	9.30/6.25	10.44/5.83	20.40/3.80	7.19/1.31	0.27/0.06
		평균	7.78	8.14	12.10	4.25	0.17
		표준편차	2.16	3.26	11.74	4.16	0.15
HQ#3	96/4~96/10 (21)	최대/최소	9.90/5.21	12.46/5.37	15.00/0.40	3.66/0.11	0.22/0.01
		평균	7.04	8.84	4.60	1.45	0.05
		표준편차	0.92	2.01	3.89	0.91	0.05

과 농경지 비율이 높으면서도 주변에 취락지가 발달된 HS#1측점과 HS#3측점, HS#4측점 등에서 표토유실과 주변 도로를 통한 토립자의 유입에 의한 부유물의 증가가 이와 같은 결과를 초래한 것으로 관찰되었다.

측점별 총질소 (TN) 농도는 HS#1측점에서의 평균값이 2.48mg/l, HS#2의 경우는 2.11mg/l, HS#3은 7.17mg/l, HS#4는 1.66mg/l, HS#5지점은 1.54mg/l, HS#6지점은 3.19mg/l 등의 값을 보였고, 하천수질의 정성적 분석을 위한 수질측점인 HQ#1, 2, 3의 경우는 각각 3.74, 4.25, 1.45 mg/l 등의 값을 나타내었다. 측점별 총질소 농도는 HS#3지점에서 1.16~14.75mg/l의 범위로서 다른 측점에 비해 상당히 높은 값을 나타내었는데, 이는 취락지의 발달로 인한 오염물질을 방류한 데 따른 결과로 보인다. 이와같이 소유역의 수질은 대부분 생활오수나 축산오수 등 직접 하천에 방류하는 경우, 즉각적인 수질오염으로 나타나는 것을 보여주며, 유역의 최적관리를 실시할 경우, 하천수에 폐수가 직접 방류되는 것을 사전에 방지하는 처리시설 및 장치가 고려되어야 함을 알 수 있다.

총인 (TP)의 농도는 각각의 소유역에 대해 전체적으로 0.01~1.55mg/l의 범위를 보였으며, 대체적으로 낮은 값을 나타내었다. HS#3지점의 경우 총인의 농도가 평균 0.43 mg/l로 총질소 농도와 마찬가지로 높게 나타났다. 이와 같이, 총인의 농도도 취락지에서의 생활오수에 의한 총인 배출량이 가장 높은 농도로서 유역의 주요 오염원이 되고 있음을 알 수 있다.

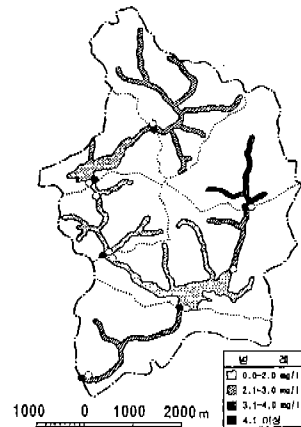
다. 발안지 유역의 수계 오염도

수질 분석 자료를 이용하여 영양물질인 총질소와 총인을 대상으로 발안지 유역의 하천 구간별 수질상황을 추정하였으며, 이를 도식적으로 나타낸 결과는 <그림 9>, <그림 10>과 같았다.

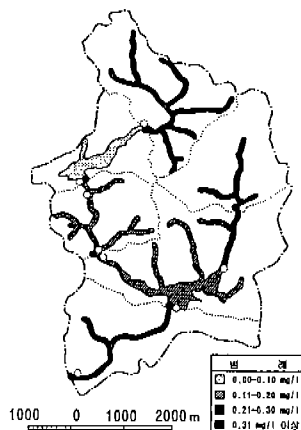
<그림 9>는 각 수질 측점에서 분석된 총질소 농도의 평균값을 기준하여, 각 하천 구간별 수질을 구분한 결과이다. 총질소 농도의 구분을 1~2mg/l 간격으로 구분하여 각 하천별 오염 정도를 나타내었다. <그림 9>에서와 같이, 취락지가 발달한 HS#3지점에서 유입되는 생활계 오수의 영향으로 하천수의 수질이 가장 악화되어 있는 상태로 높은 농도의 총질소 부하를 보이고 있는 반면에, 상류구간인 HS#3지점의 총질소 농도가 높음에도 불구하고 발안저수지의 총질소 농도가 가장 낮게 나타나고 있으며, 기천저수지와 기

천저수지 하류구간이면서 발안저수지의 상류구간에서의 수계가 낮은 총질소 농도를 보이고 있다. 이는 유역내에 있는 기천지와 발안지가 저수지 자정작용의 역할을 하고 있음을 알 수 있다. HQ#1지점의 상류인 HS#3의 총질소 농도가 높게 나타난 이유는, HS#3의 체수 지점에서 약 7m정도 떨어진 상류에서 생활계 하수가 처리되지 않은 상태로 유입되고 있기 때문이며, 이는 강수시에 더욱 심하게 유입되기 때문이다. HQ#1의 총질소 농도는 이러한 생활계 오수가 본류의 유량과 희석되면서 감소함을 보여주고 있다.

<그림 10>의 수계별 총인은 0.1mg/l 간격으로 구분하여 각 지천별 수질 상태를 나타내었다. 총인 농도는 HS#3지점과 HS#1지점, 그리고 HS#6지점 등, 취락지가 발달하고 하천 주변에 농경지가 산재된 곳에서 유입되는 하천수량이 오염정도가 높았으며, 기천저수지 (HS#5)와 발안저수지 (HS#2)에서 낮은 값을 나타내었다.



<그림 9> 총질소 (TN) 수계 오염도



<그림 10> 총인 (TP)의 수계 오염도

〈그림 9〉와 〈그림 10〉을 비교하면, 영양물질인 총질소와 총인은 취락지가 발달한 지역에서 비교적 높은 오염정도를 보였고, 저수지에서는 낮은 정도를 나타내었는데, 이는 발안지 수계 상류에서의 생활계 오수의 유입에 기인하는 것이며, 기천지와 발안지가 비교적 낮은 오염 정도를 보이는 것은 저수지의 자정작용에 의한 것으로 사료되며, 발안지 하류의 총인 농도가 비교적 높은 것은 몽리구역이 넓게 자리잡고 있고, 몽리구역 위쪽에서 도시화가 이루어지고 있기 때문인 것으로 보인다.

IV. 주변 및 곤충생태 모니터링

4.1 산림 생태계 모니터링

가. 조사방법

기천저수지와 발안저수지 주변 산림 군락 구조와 시기별 종조성의 변화를 조사하기 위하여 조사대상지역을 저수지 환경의 영향권에서 벗어난 지역, 저수지 환경의 영향권 내의 지역, 주거지역에서 다소 분리되어 주거 환경의 영향을 벗어난 지역 등 3개 지역으로 구분하였으며, 담수 저수지로부터 2km 이상 격리된 지역에서 농경지 부근에 위치한 2차림으로 15년 이상된 상수리나무림 지역, 리기다소나무림으로서 조림된지 20년생 이상되어 식생이 안정된 지역, 담수 저수지로부터 0.5km 이내에 위치한 농경지 부근 2차림으로 15년 이상된 상수리나무림 지역, 20년 이상된 리기다소나무 조림 지역 등 농경지 생태계의 인접 지역을 산림 생태 환경 조사 지점으로 선정하였다.

산림 식생 조사를 위하여, 고목층 (T1), 아고목층 (T2), 관목층 (S) 등에 30m마다 10m×10m의 방형구를 설치하였으며, 초본층 (H)에는 10m마다 1m×1m 또는 2×2m의 방형구를 각각 1개씩 설치하였다. 식생조사에서 우점도는 Braun-Blanquet (1964)의 방법을 따랐다.

나. 조사 분석 결과

기천저수지와 발안저수지의 주변 자연식생으로는 상수리나무군락 (*Quercus acutissima* Community), 상수리나무-소나무군락 (*Quercus acutissima*-*Pinus densiflora* Community), 상수리나무-팔배나무군락 (*Quercus acutissima*-*Sorbus alnifolia* Community), 소나무군락 (*Pinus densiflora* Community) 등 4개 군락과 인위적인 식재림으로 리기다소나무림 (*Pinus*

rigida Plantation), 잣나무군락 (*Pinus koraiensis* Plantation), 은사시나무군락 (*Populus tomentigladulosa* Plantation), 아카시나무림 (*Robinia pseudo-acacia* Plantation), 리기다소나무-상수리나무림 (*Pinus rigida* - *Quercus acutissima* Plantation), 밤나무식재지 (*Castanea crenata* Plantation) 등 6개 군락이었다. 본 조사 산림지역내 총 군락 수는 10개 군락과 기타 별채지로 구분되었다.

식물 군락의 종조성은 저수지 1km 외측 산림에서 상수리나무군락은 35종이었고, 리기다소나무군락은 31종이었다. 저수지 0.5km 내측 산림에서 상수리나무군락은 40종이었고, 리기다소나무군락은 38종이었다. 식물 군락의 시기별 종변화는 초본층에서 4월에서 5월 사이에 증가하고, 다시 10월에 감소하는 경향을 보였다. 관목층에서는 1~2종 정도밖에 변화하지 않았다.

기천저수지와 발안저수지의 영향권내외에 분포하는 농경지 주변 산림환경은 식물군락구성이 인위적인 조림으로 인해 형성된 리기다소나무군락, 잣나무군락, 아카시나무군락 등과 자연적인 갱신에 의해서 형성된 2차림인 참나무류 (상수리나무, 굴참나무, 졸참나무 등)와 소나무가 혼효된 집단으로 구성되어 있다. 소나무군락은 주변 참나무류가 침입이 진행되어 가는 단계에 있는 곳이 많아 참나무류가 소나무와의 경쟁에서 이김으로서 점차 참나무류의 식생이 우점하여질 것으로 판단된다.

산악의 능선부는 건조하고 토양이 척박하기 때문에 소나무와 경쟁하는 참나무류의 정착에도 부적합하므로 소나무의 유식물의 보충이 용이하여 소나무 군락이 계속 유지될 것으로 보여지며, 남북사면의 중복 이상에서는 소나무는 소멸되고 참나무류 식물로 대체될 것으로 보여진다.^{11, 18)} 이러한 사실을 고려하면 기천저수지와 발안저수지 유역의 식생은 능선부나 척박한 토양 조건인 곳을 제외하면 그 외의 대부분의 유역은 앞으로 참나무속 식물이 우점하는 식생으로 변하게 될 것이고, 참나무류와 같은 활엽수림은 토양수분의 보수력이 높으므로 기천저수지와 발안저수지의 수질이나 수량의 조정에 유리할 것으로 판단된다.

4.2 하천 주변 생태계 모니터링

농경지 주변 하천의 환경요인 및 생태계 변화 평가기법의 개발과 환경관리 시스템의 기초자료 구축을 위하여 농경지 주변 하천변의 식생과 식생분포를 조사하였다.

가. 조사방법

하천 주변 생태환경 모니터링을 위하여, 조사지역의 하류부터 상류까지 400~500m간격의 총 15개 지점의 식생피도 조사지점을 선정하였으며, 식생 조사지점중 저수지 상·하류를 고려하여 5개의 생물량 및 토양환경 조사지점을 선정하였다.

조사방형구내 식생피도 조사를 위하여 방형구내에 식생 조사를 실시하였고, 계절별 식생의 종별 피도 (Coverage)로부터 중요치를 산출하였으며, DCA (Detrended Correspondence Analysis) Ordination을 수행하였다. 또한, 생물량 조사를 위하여, 하천으로부터 수직 방향으로 1m×1m 방형구를 상·중·하 거리에 3개씩 설치하여 생물량을 수확하여 생물량을 측정하였고, 질량비 1/10씩을 80℃에서 48시간 건조한 후 건중량을 측정하였다.

토양채취는 조사대상 지점의 하변에 하천으로부터 수직방향으로 상·중·하 거리에서 A층 토양 약 200g을 비닐백에 채취하였고, 이들 토양은 채취후 바로 수분함량을 측정하였으며, 음건토양으로 pH, 유기물, 전질소, 유효인, 칼륨 등의 함량을 측정함으로써 토양환경을 조사하였다.

나. 분석결과

식생조사 분석 결과, 4월에 갈대의 49종, 6월에 가락지나물의 101종, 8월에 가락지나물의 79종이 서식하고 있었으며, 조사지점중 기천지 유입부 다리 상류인 HS-61과 기천지 하류 농로다리인 HS-52 지점의 종다양성이 높은 것으로 나타났다.

DCA Ordination 분석 결과, 통계적으로 식생분포를 결정하는 주요한 2축의 Eigen Value가 4월에는 0.529, 0.171, 6월에는 0.254, 0.182, 8월에는 0.357, 0.257 이므로 식생분포의 원인을 40%~70%정도를 두 개의 가상 축으로 설명할 수 있었으며, Spices Ordination의 경우 유사한 서식환경을 갖는 군락으로 대별할 수 없었으나 종간의 서식환경의 유사도를 정량화할 수 있었다. 또한, Site Ordination의 경우 4월에는 좌하변과 우하변이 상이한 식생분포를 갖는 군락으로 대별되었으나 6월과 8월에는 대별되는 조사지점이 발생하지 않았다.

한 시점에서 공간적으로는 생물량이 높은 지역과 그렇지 않은 지역이 차이를 보이고 있어 식생생태 변화의 모니터링의 좋은 지수가 될 수 있을 것으로 판단되었으며, 농경지 주변의 하변 식생의 분포는 주변의 토지이용이나 농경 방식에 따라 변이를 나타낸다고 보다는 하천에 미치는 인

위적인 간섭에 더 큰 영향을 받는 것으로 판단되었다.

4.3 곤충 생태계 모니터링

농업생태계의 곤충생태 모니터링 체계 확립 및 응용 기술 개발을 위하여 논 생태계와 그 주변 생태계 서식 절지동물의 발생 패턴 및 동태 모니터링을 수행, 분석하였다.

가. 조사방법

이양전 논 생태계내 토양 절지동물 조사를 위하여 경운된 조사구 3개소와 미경운 조사구 1개소를 선정하였으며, 발안저수지의 유입지역 (발안지 상류), 발안저수지의 유출지역 (발안지 하류), 기천저수지의 유출지역 (기천지 하류) 등의 현장 시험 포장을 이양후 논 생태계내 절지동물 조사 지점으로 선정하였다.

토양 절지동물의 채집은 사각코아 토양시료를 2회 채취하여 한 개의 표본 (1000cm³)으로 하여 조사지당 10개를 취하였고, 채취한 토양시료는 변형된 Tullgren Funnel을 이용하여 72시간 동안 절지동물을 추출하여 목별 대분류를 실시하였다. 벼 줄기부위 서식 절지동물의 채집은 각 조사구내에 임의의 지점 (0.5m×0.5m)을 선정하여 아크릴 케이지 (0.5m×0.5m×0.7m)를 씌운 후 케이지내 들어있는 벼에 서식하는 절지동물들을 채집하여 이것을 한 개의 표본단위로 하였다. 표본채취는 1차로 Modified CDC Backpack Aspirator를 사용하여 절지동물들을 포획한 후, 2차로 유리관으로 만든 흡충관을 사용하여 벼줄기 사이를 직접 헤치면서 나머지 절지동물들을 포획하였다. 한 조사지당 총 표본조사량은 10개로 하였고, 채집시간은 오전 10시에서 오후 5시 사이에 수행하였으며, 같은 날 3지역을 조사하였다.

나. 조사 분석결과

시험포장내의 절지동물군집의 밀도 및 변동 양상을 조사한 결과, 기천지하류, 발안지 상류 및 하류지역의 수도포장내 절지동물들의 밀도는 유의성 있는 차이를 보이지 않았으며, 이양 직후부터 약 30일이 경과할 때까지는 해충류와 천적류의 밀도는 매우 낮고, 비해충류인 깔다구류의 성충의 밀도가 전체밀도의 대부분을 차지하였다. 이양후 30일이 경과한 후부터는 비해충류의 밀도가 상당히 낮아지고, 비래성 멸구류가 정착하면서 해충류의 밀도와 더불어 천적류인 거미류의 밀도가 증가하였으며, 기천지 하류에서 이양

후 약 50일 경과된 시점에 멸구류의 대발생 (120마리/표본 단위)이 있었고, 이후 해충의 밀도는 표본단위당 약 20개체의 밀도를 유지하였으며, 천적류 역시 20개체 정도의 수준을 유지하였다.

주요 해충 발생상을 보면 멸구류, 파리류, 매미충류가 밀도를 형성하였고, 벼물바구미나 나방류의 밀도는 아주 낮게 나타났다. 벼물바구미는 조사가 시작되기 전인 6월초에 이미 낮은 밀도수준으로 방제가 되었고, 나방류의 경우에는 6월 중순과 8월 중순에 관행방제가 실시된 것으로 조사되었다.

천적류는 거미류가 대부분을 차지하였고, 이양후 약 50일이 경과된 시점부터 밀도가 10개체 내의 수준을 유지하였고, 포식성 노린재류의 경우는 본답후기로 갈수록 밀도가 높아지는 것을 볼 수 있었다.

V. 요약 및 결론

본 연구에서는 농업생태환경 모니터링 기술 개발을 위하여 농업생태환경의 구성요소인 기상, 수문 인자, 토지이용과 토양, 환경오염의 원인인 생활계, 토지이용계 등 점원-비점원 오염원 인자, 산림 생태, 수변 식물 생태, 미생물과 곤충 등 동식물 생태 인자, 하천 수질과 토양 오염 등 물질 오염상황 등을 종합적이고 체계적으로 파악하고, 그 결과를 고찰하도록 하였다.

본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 경기지역 4개 지역을 답사와 조사를 통해 발안저수지 유역 (유역면적 26.5km²) 을 대상유역으로 선정하고, 수문계측점 4개 유역, 수질측점 9개 지점, 산림생태조사지점 (4개소), 수변식물조사지역 (4개 구간), 영농, 불관리, 곤충생태 조사지역 (3개소), 현장시험포장 5개지구 60개소, 못자리 정밀시험포장 2개소, 본답기정밀시험포장 3개소 등의 조사지점을 선정하였다.

(2) 유역의 수문계측망의 구성과 수위표자설치, 자기수위계 설치, 수위-저수량 관계자료 분석, 유역 강우량, 수위의 변화를 조사하고, 하천 수위-유량관계를 조사 분석하였다.

(3) 각 소유역별 수문특성, 지상인자, 토양조사, 토지이용조사, 수문학적 토양군의 분류 등 수문과 수질에 영향을 미치는 제 인자를 조사 분석하였다.

(4) 농업유역의 하천 수질자료 수집을 위해 주기적(주1회)으로 수질 샘플링을 실시하고, 수질분석을 실시하며, 그 측정별 시기별 변화를 분석하며, 하천구간별 수질 오염도를 작성하였다.

(5) 유역내 산림 생태 환경을 조사하고, 식생도를 작성하였으며, 식물 군락의 분포 특징을 구명하였다.

(6) 발안천의 식생 피도와 생물량, 토양환경 등을 조사하고, 방형구로 부터 서식처 환경을 구명하였으며, 계절별, 위치별 변화상을 조사하였다.

(7) 유역내 현장 시험포장의 토양 절지동물과 비행 곤충류, 벼 해충과 거미류 등의 시기별 조사 밀도에 따른 생물량과 밀도의 변동상황을 조사 분석하였다.

參 考 文 獻

1. 강상준, 최철수, 1991. 대청호 유역의 식생, 대청호 호서 생태계 조사 연구 보고서.
2. 김진택, 1995. 농업 비점원 오염모형을 위한 지리자원 정보시스템 호환모형의 개발 및 적용, 서울대학교 박사학위논문.
3. 서승덕, 김동훈, 윤학기, 1994. 농업용 저수지의 수질 환경 오염원 조사분석, 한국농공학회지, 36(3), 100-112
4. 서울특별시, 1995. 한강 생태계 조사 연구
5. 최주운, 김기형, 이무욱, 1996. GIS를 이용한 하천내 수질오염 조사 자료의 관리, 한국수자원학회 96학술 발표.
6. 최지용, 박원규, 이상일, 1996. 하천 및 하소수 수질관리를 위한 자동측정망의 설계, 한국수자원학회지, 29(2), 167-178.
7. 최진규, 손재권, 구자웅, 1996. 전북도내 농업용저수지의 수질조사 연구, 한국농공학회지, 38(2), 65-74.
8. 환경처, 1989. 현존식생도(서울, 경기도). 72-75.
9. Braun-Blanquet, J., 1964. Pflanzensoziozoologie. Springer-Verlag. New York.
10. Donald, H. Burn, 1990. Real-time sampling strategies for estimating nutrient loadings, J. of Water Resour. Planning and Management, ASCE, 116(6), 727-741.

11. Heinrichs, E. A., 1994. Biology and management of rice insects, Wiley Eastern Limited, New Delhi. 779.
12. Nilsson, C., and Grelsson, G., 1990. The effects of litter displacement on river bank vegetation, *Can. J. Bot.* (68), 735-741.
13. Samson, F. B., and Fritz, L., 1996. Ecosystem management: selected reading. Springer-Verlag Mew York, Inc. 462.
14. Novotny, V., and Olem, H., 1994. WATER QUALITY Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution, Van Nostrand Reinhold.
15. Yaksich, S. M., and Verhoff, F. H., 1983. Sampling strategy for river pollutant transport, *J. Envir. Engrg., ASCE*, 109(1), 219-231.