

소규모 축산 유역의 수문/수질 모니터링

Hydrologic and Water Quality Monitoring from a Small-Scale Livestock Watershed

이 남 호* · 윤 광 식** · 김 성 준*** · 홍 성 구*

* 환경대학교 농촌공학과(농촌환경과학연구소) ·
 ** 전남대학교 생물산업공학과(농업과학기술연구소) ·
 *** 건국대학교 농공학과

Lee, Nam Ho* · Yoon, Kwang Sik** · Kim, Seong Joon*** · Hong, Seong Gu*

* Dept. of Rural Engineering, Hankyong National University
 **Dept. of Bio-systems & Agri. Eng. (Institute of Agri. Science & Tech.), Chonnam National University
 *** Dept. of Agricultural Engineering, Konkuk University

ABSTRACT

Runoff and water quality was monitored from a watershed with small-scale livestock production farms. To evaluate pollution potential, land use, population, the size of livestock production of each farm, and livestock management method were surveyed. Climate and stream flow data were measured. Water samples were taken periodically for base flow conditions and some storm events. Pollutant loading was estimated by flow volume and concentrations of constituents. Delivery ratio of pollutant load was determined using estimated pollutant load.

I. 서론

농촌에서 주된 오염원으로는 생활오폐수 및 하수, 농공단지
 의 공장폐수, 축산시설에서 무단 방류 되는 가축분뇨수
 등이며, 이중 가축분뇨수는 다른 폐수보다 오염부하량이 훨
 씩 높다. 특히 규제미만인 소규모 축산폐수의 배출특징을
 살펴보면 대부분이 강우기에 빗물과 함께 축산농가로부터
 하천까지 짧은 도달거리를 가지고 그대로 유입되고 있다.
 '98. 9월부터 규제미만 축산농가의 간이 축산폐수정화조 설
 치지역을 전국으로 확대할 계획을 하고는 있지만, 이들 축
 산농가는 유역내에 산재해 있어 폐수의 처리효율을 높이기

위해서는 소규모 축산농가의 기본적인 통계자료에 의한 관
 리가 필요하다. 문제의 심각성에도 불구하고 우리나라 농촌
 지역에서의 가축분뇨수의 수질환경에 대한 영향과 기작에
 관한 체계적인 연구는 그리 흔치않다.

국립환경연구원(1988)에서 가축분뇨의 원단위결정, 오염
 실태 조사 등의 관련 연구를 실시하였다. 이후 원단위를 이
 용한 축산분뇨 오염부하에 대한 연구가 이루어졌다. 이봉규
 (1992)는 대청호 유입 지역의 축산분뇨 오염부하량을 원단
 위를 이용 산정하여 전체 부하량 중 축산 폐수오염 부하량
 이 BOD 12.9%, COD 44.8%, T-N 13.6%, T-P 37.1%
 를 차지하는 것으로 추정하였다. 이길후(1997)는 경안천을

대상으로 오염부하량 원단위로 추정된 결과 축산에 의한 오염 부하량이 전체오염 발생부하량 중 BOD 64.8%, T-N 78%, T-P 90%를 차지하였으며, 특히 비규제 대상 축산폐수 발생량이 전체 축산폐수 발생 부하량의 BOD 72%, T-N 74%, T-P 74%를 차지하며, 이는 유역 전체오염 부하량의 BOD 47%, T-N 58%, T-P 63%로서 경안천의 주 오염원은 비규제 대상 축산폐수임을 밝혔다.

축산폐수에 의한 수질오염 현장조사 사례를 살펴보면 류재근 등(1986)은 경기도 양주군에서 가축분뇨수가 수질오염에 미치는 영향을 규명하고자 하였다. 가축분뇨수 유입지점의 6개월간 평균 BOD 는 약 2000 mg/l 이었고 2000m 하류지점에서는 오염물질의 분해, 침전, 희석 등으로 약 11 mg/l 로 감소되었으나, BOD 기준으로볼 때 생활용수 V등급에도 미치지 못하였다. 오염의 정도는 계절별 편차도 심하여 여름의 BOD는 봄의 경우의 2-3배나 높았다고 보고하였다. 이는 수온 상승으로 인한 유기물의 생분해를 증가가 주 원인 듯하다. 이동원 등(1992)은 가축분뇨수의 부숙과정 중 미생물상의 변화와 이의 토양환원 때 부숙정도와 시용량에 따른 지표수 및 토양내 세균의 오염정도를 규명하고자 하였다. 하지만, 이연구에서는 처리방법, 시용량, 토양수분에 대한 유의성을 관찰하지 못하였다. 김한태 등(1993)은 경기도 북하천의 상류유역을 시험유역으로 선정 오염원 및 하천수질, 유달을 등을 조사한바 있다. 하천수질 오염부하는 가축분뇨수의 기여가 가장 큰 것으로 보고 하였다. 최홍립 과 한수연 (1997) 은 경기도 군포시 갈치 저수지와 저수지로 유입되는 소하천을 대상으로 가축 분뇨 오수의 무단 방류가 하천 및 저수지 수질에 미치는 영향을 평가하기 위해 조사한 결과 축산 폐수가 합류된 지점의 하류 BOD 농도는 하류로 갈수록 95.1mg/l , 37.1mg/l , 26.7mg/l 로 낮아 졌으나, 하수처리장 방류기준인 20mg/l 보다 높았다. 축산 폐수 합류지점의 T-N 및 T-P는 29.41mg/l , 3.91mg/l 로 생활하수에 가까운 농도였다. 최홍립 등(1996)은 가축분뇨수의 무단방류가 셋강오염에 미치는 영향을 분석하기 위해 경기도 이천군 대죽리의 셋강오염지도를 작성한바 있다.

효과적인 축산유역 수질관리를 위해서는 현장 모니터링을 통해서 축산활동이 유역의 수질에 미치는 영향 평가가 선행되어야하며, 기존의 수질농도 분석의 정성적인 접근 방법에서 오염부하량 총량을 추정할 수 있는 정량적인 분석기법이

도입되어야 한다.

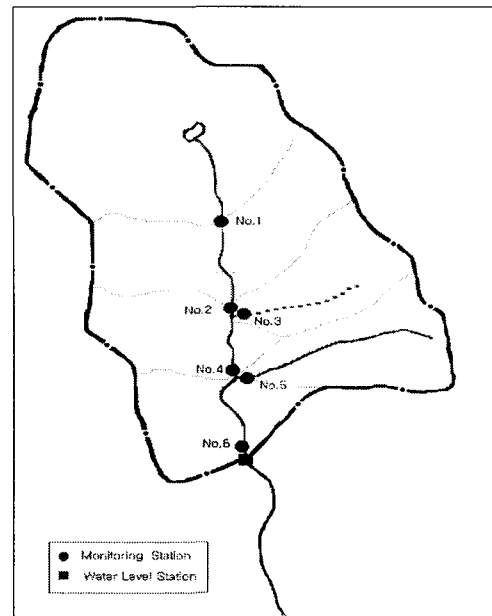
따라서 본 연구의 목적은 대표적인 축산유역을 선정한 후, 유역내 축산시설의 조사, 축산분뇨 관리현황 및 해당 유역의 수문특성 조사를 실시하고, 수문/수질 계측망을 구성하고 대상 하천의 유량측정, 수질조사 및 분석을 통하여 축산활동이 유역의 수질에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고 오염부하량을 산정하는 것이다.

II. 연구방법

1. 시험유역의 개요

유역의 수문, 수질, 축산 관리 등의 현장 모니터링과 자료 구축을 위한 시험유역은 축산 시설이 밀집해 있고 인근 하천의 수질오염이 문제가 되는 여러 후보지역중 접근성 등을 고려하여 지도상에서 예비 선정 후 현지 답사를 통해 대상 유역 선정하였다.

본 연구의 대상유역으로는 경기도 안성군 고삼면(정동리, 야동리, 쌍령리)에 위치하고, 유역면적이 403.9ha 내에 20



<그림 1> 시험유역의 소유역 구분과 수문/수질 계측망

개의 소규모 축산농가가 산재해 있는 지역이다. <그림 1>은 시험유역의 모습을 나타내며 총 6개의 소유역으로 구분하였다. 3번유역은 축산이 없는 소유역이며 사람이 살지 않고 있다. 유역내 상주하는 인구수는 221명이었다.

2. 수문/수질 계측망

시험유역의 수문특성의 시간적·공간적 변화를 조사하고, 이들간의 상호관계를 규명하기 위하여 유역의 기상, 강수량, 하천 수위와 유량 등의 수문인자를 조사·분석하였다. <그림 1>은 수문/수질 계측망의 구성을 보여주고 있다.

수문조사는 일별 강우량 자료, 시간별 및 일별 하천 수위 자료, 수위-유량 관계 등을 수집하고 그 결과를 분석하였다. 하천의 수위는 유역출구인 No 6. 지점에 수위표와 자기수위계를 설치하여 측정하였다. 자기수위계는 압력식 수위계인 Global Water Inc. 제품인 WL-14 Water Level Logger를 이용하였으며, 10분 간격으로 측정하였다. 수위 측정은 1999년 3월 24일 ~ 1999년 10월 31일 사이에 이루어졌다.

3. 수질모니터링 및 수질분석방법

수질 모니터링을 위해서 수질 계측망을 구성하고, 수질 시료의 채취 시기와 방법 등 수질 모니터링 기술 개발에 필요한 기본요소를 감안한 기초 자료를 구축하였고 그 결과를 고찰하였다. 수질조사는 주기적 (2주 간격) 또는 강우시 시간별로 수질 표본을 샘플링하고, 수질 분석을 실시하였으며 그 특성을 고찰하였다.

수질 조사지점은 토지이용상태와 축산 농가 분포를 고려하여 선정하였다. No. 1 에서 No. 5 지점에서는 수질을, 유역 출구인 No. 6 지점에서는 유량-수질을 측정하여 해당유역의 오염부하량을 결정할 수 있도록 하였다. 측정시기는 1999년 3월부터 10월까지 이며 수질인자인 온도, pH, DO 등은 현장에서 측정하였다. 여타 수질인자 분석을 위해 채취된 수질시료는 저온상태로 운반하여 실험실에서 SS, COD, nitrate-N, TKN, total-N, total-P 등에 관한 수질 분석을 실시하였다. 수질 분석 방법과 항목은 <표 1> 과 같다.

4. 유역 특성인자와 토지이용상태

시험유역의 강수-유출 특성 분석과 오염원의 정량적 해석을 위한 기초 자료로서 시험유역의 유역 특성인자인 고도, 경사방향, 하천분포, 토양 및 토지이용상태 등의 수문특성을 조사하였다. 유역 지상인자의 조사는 1/5,000 지형도, 토양도, 토지 이용도, 위성사진 자료 등을 이용하였으며, 현지답사를 통해 보완하였다.

가. 고도 및 경사

유역의 고도 및 경사를 파악하기 위해 수치고도모델 (DEM)을 이용하였다. 이는 대상지역을 격자로 나누고, 각 격자의 평균 고도값과 각 격자간의 위상(topology) 관계를 포함하고 있어, 대상지역의 지형을 나타낼 수 있는 수치자료이다. 본 연구에서의 수치고도모델은 1: 50,000 축적의 등고 원판을 사용하여 스캐닝, 백터라이징, 속성입력의 과정을 통하여 수치지도를 작성한 후, ARC/INFO를 이용하

<표 1> 수질 조사 항목 및 분석방법

| 수질항목 | | 분석방법 |
|------|--------------------|---------------------------|
| pH | | pH meter |
| DO | | DO meter |
| COD | | Standard method |
| SS | | Method of weight analysis |
| T-P | | Stannous Chloride method |
| T-N | NO ₃ -N | Standard method |
| | TKN | Kjeldahl method |

여 TIN, LATTICE로 DEM을 구축하였다.

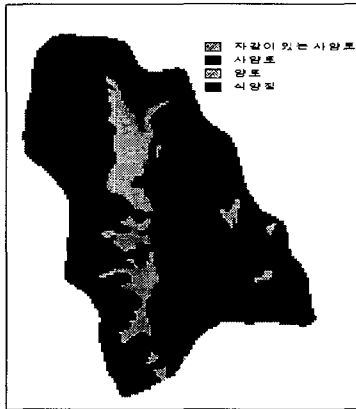
나. 토양

유역의 주요 수문인자인 토양분포를 파악하기 위해 기존의 토양자료를 지리정보시스템에 입력하였다. 토양도는 농촌진흥청 토양물리과에서 제작된 정밀토양도 (1:25,000)로부터 구축하였으며 ARC/INFO 자료를 DLG 파일형태로 변환시킨 후, 이를 IDRISI로 불러들여 원래 토양부호별로 입력된 자료를 토양종류별, 배수분포별로 재분류(RECLASS)하였다. 식양질이 유역 전체 74.5%를 차지하였으며 다음으로 사양토와 자갈사양토가 14.5%와 7.2%를

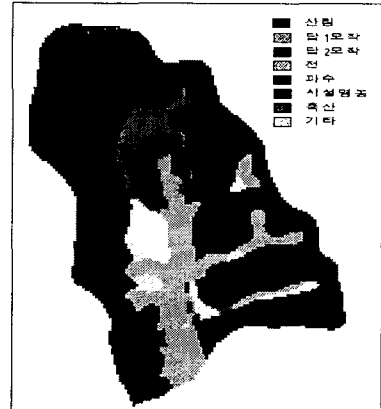
차지하고 있다. 대상유역의 토양 배수특성은 대부분 양호한 것으로 나타나 유출율이 적은 것으로 추정되었다.

다. 토지이용

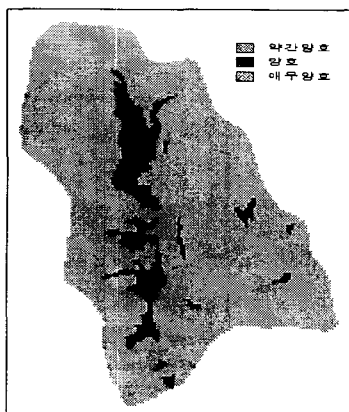
시험유역의 토지이용을 살피기 위하여 1 : 50,000 축척의 인공위성 사진 원판을 사용하여 스캐닝, 벡터라이징, 속성입력의 과정을 통하여 수치지도를 작성하였으며, ARC/INFO 자료를 DLG 파일형태로 변환시킨 후, 이를 IDRISI로 불러들였다(그림 4). 시험유역의 토지이용을 살펴보면 산림이 전체유역의 73 %를 차지하며 답이 10%, 축산이 8%, 전이 3%이며 나머지가 기타 이용이었다.



<그림 2> 대상유역의 토양분포



<그림 4> 대상유역 토지 이용도



<그림 3> 대상유역 토양 배수 분포도

5. 축산 현황

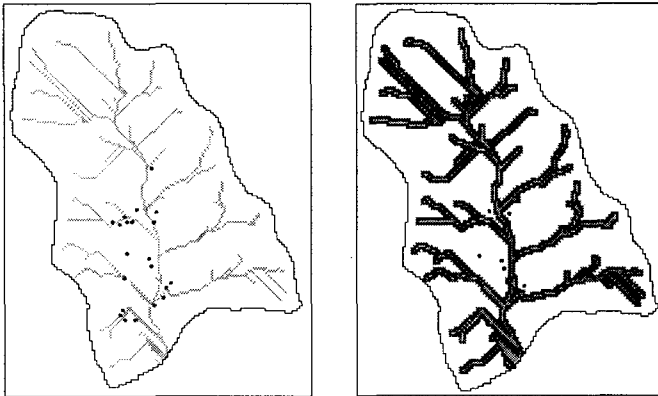
가. 축산농가현황

유역내의 축산농가 위치를 파악하기 위하여 현장답사와 Garmin GPS(Global Positioning System)를 이용하여 축산농가의 위치를 파악하였으며, 축산농가의 축종 및 사육두수, 축사 및 분뇨처리시설, 지붕의 유무등을 조사하였다. 유역내에 총 1,416가축이 사육되고 있으며 이중 한우가 62두, 젖소 284두, 돼지가 1070두였다.

나. 축산농가와 하천과의 거리

한편 GIS Buffer 기능을 사용하여 축산농가가 하천에서

얼마나 떨어져 있는지를 파악하였는데, 분석결과 유역내 20개의 축산농가 중 19개 농가가 하천에서 100m 이내에 위치하고 있었으며, 10m~30m 거리에 분포한 축산농가의 비율이 가장 높게 나타났다.



(a) 하천에서 10m 이내 (b) 하천에서 30m 이내

<그림 5> 축산 농가와 하천과의 거리별 분포

III. 결과 및 고찰

1. 시험유역의 수문특성

가. 강수량과 유출량

기상 및 강수량 자료는 시험유역에 인접한 한경대 농촌공학과 구내 기상 관측 시설의 관측자료를 이용하였다. <그림

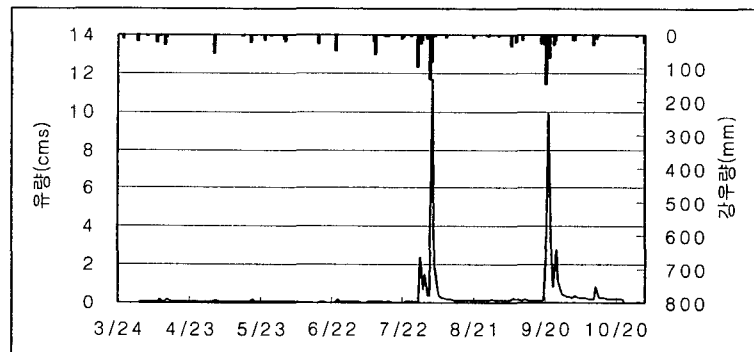
6>은 관측된 일별 강수량과 유출량 자료를 보여주고 있다. 조사기간인 99년 3월 24일부터 10월 24 까지 총 강수량은 1281.5 mm 이었다. 이중 9월 강수량이 396.5mm 이었고, 8월 강수량이 253mm, 10월 강수량이 99 mm 이었다.

유출량 측정 지점의 유속과 하천 단면 자료로부터 수위-유량 관계식 유도하였으며 이로부터 산정된 결과는 <그림 6>과 같다.

2. 수질

가. 수질 항목별 분석 결과

측정별 수질 항목별 분석결과는 <표 2> 와 같다. 시험유역의 각 수질 측정에 대한 수질 분석결과 DO는 4.93~9.79mg/l 범위를 나타냈으며 No. 3에서 최대값을 나타냈고, No. 5에서 최소값을 보였다. pH는 5.66~7.88의 범위를 나타냈으며, No. 6에서 최대값, No. 5에서 최소값을 나타내고 있다. SS는 0.12~599 mg/l로 No. 1에서 최대값을 No. 2에서 최소값을 나타내고 있다. COD는 1.5~259.5 mg/l 범위를 나타내고 있으며 No. 5에서 최대값을 No. 4에서 최소값을 나타내며, T-P는 0.01~0.58 mg/l 범위를 나타내며, No. 5에서 최대값을 No. 2에서 최소값을 나타내고 있다. T-N은 0.69~19.42 mg/l 범위를 나타내며, No. 5에서 최대값을 No. 2에서 최소값을 나타내고 있다. 출구지점인 No. 6의 DO의 평균치는 6.82mg/l, pH는 7.10, SS는 20.30mg/l, COD는 51.64 mg/l, T-P는 0.30mg/l, T-N은 4.69mg/l를 나타내고 있다.



<그림 6> 유역 출구의 강수-유출량 변화

<표 2> 시험유역의 수질 분석 결과 통계치

| 지점 | 구분 | 수질측정 항목 | | | | | | | | |
|----|----|---------|------|-------|--------|--------|------|------|-------|-------|
| | | DO | PH | Temp | SS | COD | T-P | T-N | | |
| | | | | | | | | NO3 | TKN | T-N |
| 1 | 최대 | 9.00 | 7.45 | 21.90 | 599.00 | 54.25 | 0.38 | 3.58 | 3.92 | 6.22 |
| | 최소 | 6.29 | 6.25 | 12.80 | - | 10.00 | 0.06 | 1.31 | 0.36 | 1.67 |
| | 평균 | 7.45 | 7.10 | 17.39 | 140.24 | 29.39 | 0.18 | 2.42 | 1.24 | 3.66 |
| 2 | 최대 | 8.93 | 7.79 | 25.00 | 474.70 | 133.75 | 0.50 | 5.10 | 6.27 | 10.97 |
| | 최소 | 5.75 | 6.51 | 14.50 | 0.12 | 16.75 | 0.01 | 0.48 | 0.21 | 0.69 |
| | 평균 | 7.31 | 7.24 | 19.29 | 122.25 | 47.93 | 0.24 | 2.70 | 1.97 | 4.67 |
| 3 | 최대 | 9.79 | 7.72 | 24.00 | 521.40 | 175.00 | 0.30 | 6.07 | 4.43 | 7.55 |
| | 최소 | 6.45 | 6.21 | 12.80 | 0.00 | 11.75 | 0.02 | 0.36 | 0.00 | 0.85 |
| | 평균 | 7.73 | 7.13 | 18.51 | 153.56 | 55.14 | 0.19 | 2.06 | 1.91 | 3.97 |
| 4 | 최대 | 8.82 | 7.49 | 25.80 | 513.50 | 68.25 | 0.52 | 7.18 | 5.57 | 8.50 |
| | 최소 | 5.94 | 6.08 | 14.50 | - | 1.50 | 0.02 | 1.39 | 0.22 | 1.73 |
| | 평균 | 7.32 | 7.05 | 19.73 | 126.62 | 41.92 | 0.24 | 3.14 | 1.91 | 5.05 |
| 5 | 최대 | 8.22 | 7.62 | 23.80 | 487.00 | 259.50 | 0.54 | 3.20 | 16.22 | 19.42 |
| | 최소 | 4.93 | 5.66 | 13.80 | 0.28 | 13.50 | 0.12 | 0.98 | 0.42 | 1.63 |
| | 평균 | 6.52 | 6.93 | 18.56 | 120.04 | 65.93 | 0.28 | 1.85 | 3.33 | 5.18 |
| 6 | 최대 | 8.58 | 7.88 | 26.80 | 555.90 | 160.25 | 0.58 | 4.64 | 7.39 | 12.03 |
| | 최소 | 5.55 | 6.09 | 14.50 | 0.18 | 8.00 | 0.14 | 0.22 | 0.81 | 2.11 |
| | 평균 | 6.82 | 7.10 | 20.30 | 124.47 | 51.64 | 0.30 | 2.32 | 2.37 | 4.69 |

측정시기는 1999년 3월31일부터 1999년 9월3일까지의 통계치임

나. 강우기와 비강우기 수질

비강우기의 수질은 DO는 4.93~9.79mg/l, pH 5.66~7.88mg/l, SS는 0.12~599mg/l, COD 1.5~52.25mg/l, T-P는 0.01~0.58mg/l, T-N 0.69~8.5mg/l 이었으며, 강우기의 수질은 DO 5.42~7.83mg/l, pH 7.01~7.62mg/l, SS는 9.00~335.1 mg/l, COD 1.75~259.50 mg/l, T-P 0.12~1.01mg/l, T-N 2.67~19.42mg/l 이었다. 일반적으로 수질항목이 강우기에 농도가 높음을 알 수 있다.

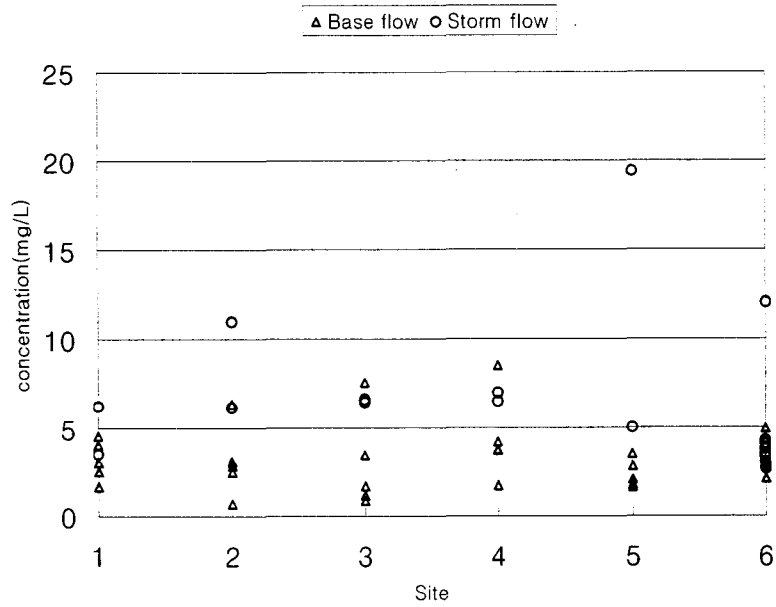
<그림 7> 과 <그림 8> 은 비강우기와 강우기의 측정별 T-N 과 T-P의 농도를 비교한 것이다. No 1부터 No 5 까지는 5월 18일의 2번의 강우시 수질 자료가 포함되어 있으며 No 6의 경우는 9월 20일과 10월 1일 연속 측정 자료가 추가되어 있다. 유역출구인 No 6 측정의 경우 T-P는 강우시 농도가 비 강우시 값을 상회하는 경우가 여러번 발견 되었지만 T-N의 경우 대부분 강우시 농도가 비강우시 측정된 수질 범위 안에 드는 것으로 나타났다.

다. 비축산 소유역과 축산소유역 수질비교

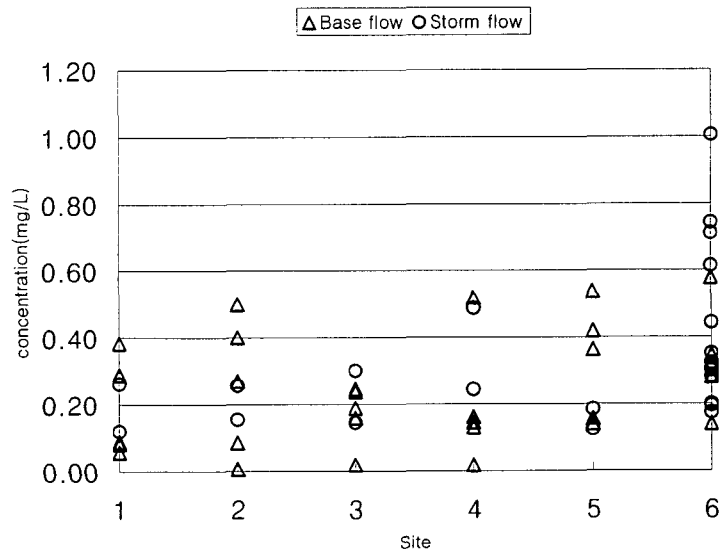
<그림9>는 비축산유역(No.3) 과 축산유역(No.5)의 수질을 비교한 것이다. 결과를 고찰하면 뚜렷하게 축산 소유역의 수질이 비축산 소유역보다 나쁘다는 결론을 얻을수 없었다. 이는 축산유역의 축산 강도가 크지 않고, 비축산 소유역에 축산은 없지만 일부 논농사를 실시하였기에 이러한 결과가 나온 것으로 판단되었다.

라. 측정별 수질변화

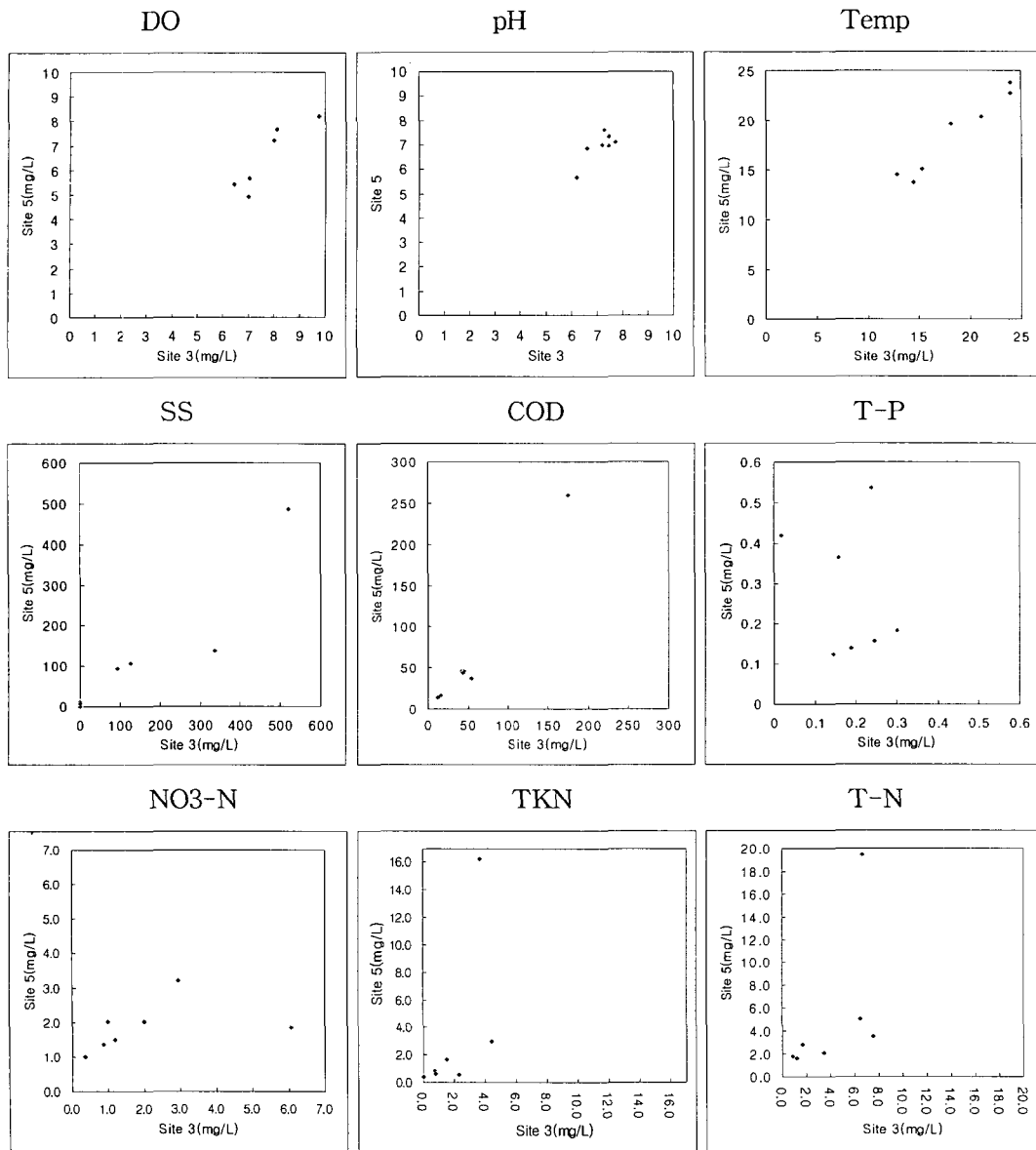
<그림 10> 과 <그림 11>은 각 측정시기에 각 측정별 T-N 과 T-P 농도가 어떻게 변화하는가 살펴 본 것이다. 비교 결과 특정 지점의 T-N 또는 T-P 농도는 뚜렷한 경향성을 찾을 수 없었다. T-N의 경우 일부 자료가 경향을 보이기는 했지만 T-P의 경우는 무관하였다. 이는 축산분뇨유출수가 각 소유역 하천에 미치는 영향이 시기적으로 다르기에 나타난 현상으로 사료된다.



<그림 7> 강우기와 비강우기 T-N 농도 비교



<그림 8> 강우기와 비강우기 T-N 농도 비교

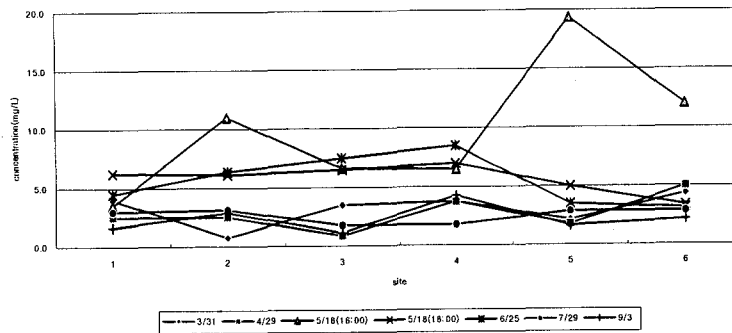


<그림 9> 비축산유역 (No.3)과 축산유역 (No.5) 수질 비교

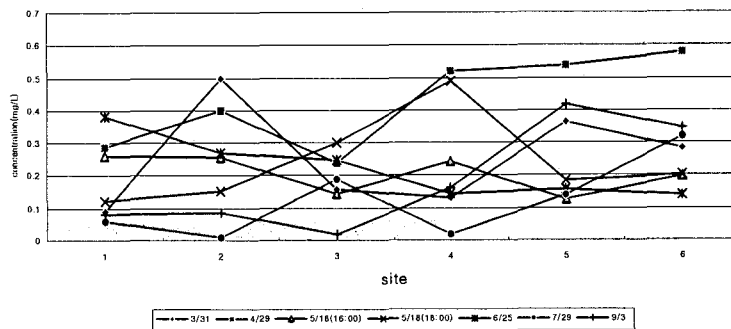
마. 강우시 시간별 수질변화

<그림 12> 와 <그림 13>은 유역 출구인 No 6 지점에서 99년 9월 20일과 10월 1일 강우 시 연속 측정된 수질 자료를 보여주고 있다. 9월 20일 의 경우 DO와 T-P는 농도 변화가 나타나지 않았으나 T-N 의 경우 초기치에 비해 감소

후 다시 상승 평형을 이루다 종기치는 초기치 보다 작은 값을 보여주었다. 10월 1일에 측정된 자료를 보면 DO 값은 변화를 보이지 않았고, T-P는 상승후 다시 떨어져 초기치와 비슷한 값을 보였다. T-N의 값은 초기치에 비해 많이 감소하는 양상을 보였는데, 이는 TKN의 농도가 NO3-N 농도 보다 작았고 변화가 없었기에 주로 NO3-N 농도 변화의 경



<그림 10> 측정별 T-N 농도 변화



<그림 11> 측정별 T-N 농도 변화

향을 그대로 따랐다. 축산 분뇨는 유기형태의 질소 성분이 많아서 TKN의 농도가 높은 값을 보일것으로 판단 되는데, TKN의 농도가 NO₃-N 농도보다 작은 것으로 보아 조사된 시기에 축산분뇨 유출수 유입이 있었다면 상당히 부속된 후 유입된 것으로 판단되었다. NO₃-N 농도가 초기보다 낮아지는 것으로 보아 용해성이 강한 NO₃-N 이 유역으로부터 초기에 많이 용출되고 시간이 지남에 따라 감소하는 것으로 추정되었다.

3. 유역 오염 부하량

가. 원단위를 이용한 오염부하량

유역내의 토지이용상태에 따른 오염발생원 구분을 위해 생활계, 축산, 산림, 농업지역으로 구분하여 유역내 토지이용 현황을 조사하였고, 유역 내 축산시설의 가축의 종류, 사육규모, 시설의 위치, 하천의 거리, 축산폐기물 처리여부 및 축산 분뇨 관리관행 조사분석 하였으며, 문헌의 가축 종류

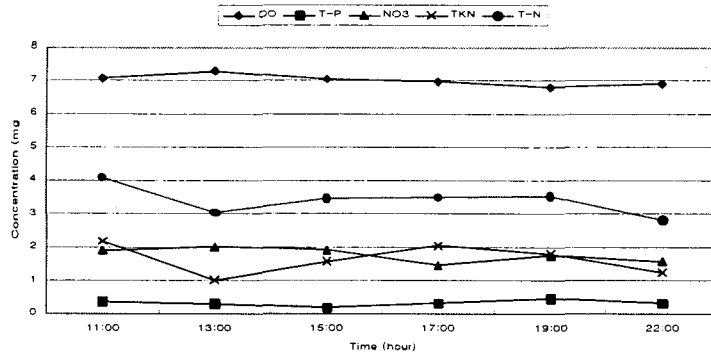
별 오염발생 부하량과 유역내 가축 자료로부터 환경부 원단위 (1999)에 근거하여 발생 및 배출 부하량을 산정하였다 (<표 3> 과 <표 4>).

토지이용, 축산, 인구에 의한 오염부하량을 합하여 유역의 총 발생 및 배출부하량을 구하였다. <그림 14>와 <그림 15>는 오염원 종류에 따른 오염부하량 기여율을 나타낸 것이다. 발생부하량을 보면 축산이 BOD, T-N, T-P 모두 가장 큰 기여를 하는 것으로 나타났으며, 배출부하량은 BOD와 T-P는 토지이용의 기여율이 더 큰 것으로, T-N은 축산이 더 큰 것으로 나타났다.

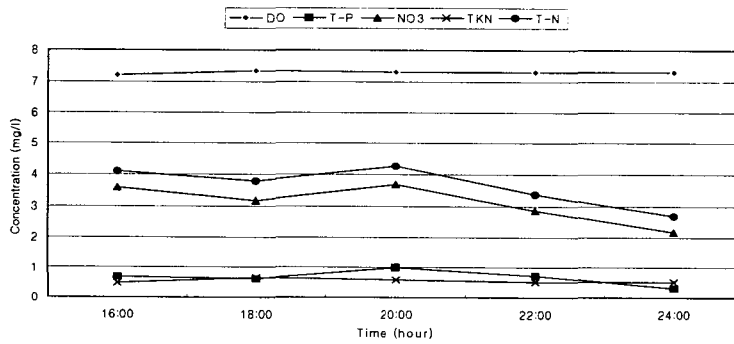
4. 실측된 유역의 오염부하량 과 유달을

실측된 유량과 수질자료로부터 실측된 하천유입 부하량을 산정하였다 (<표 5>).

비강우기 단위면적당 하루 오염부하량은 SS는 0.001~0.483 kg/ha/day, T-N은 0.025~0.055 kg/ha/day, T-P



<그림 12> 강우시 출구지점 시간별 수질 변화 (99. 9. 20)



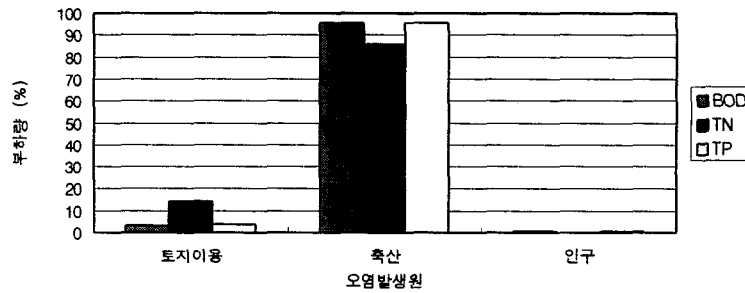
<그림 13> 강우시 출구지점 시간별 수질 변화 (99. 10. 1)

| 소유역 | BOD (g/day) | | | T-N(g/day) | | | T-P(g/day) | | |
|-----|-------------|--------|------|------------|--------|-----|------------|-------|------|
| | 토지이용 | 축산 | 인구 | 토지이용 | 축산 | 인구 | 토지이용 | 축산 | 인구 |
| 1 | 1708.3 | 11040 | 770 | 7472.2 | 7750 | 70 | 73.6 | 395 | 28 |
| 2 | 4482.3 | 95430 | | 3926.1 | 44770 | | 197.9 | 4408 | |
| 3 | 822.8 | - | - | 1351.3 | - | - | 124.9 | - | - |
| 4 | 1921.4 | 149940 | 968 | 3628.4 | 29520 | 88 | 168.1 | 10784 | 35.2 |
| 5 | 1483 | 31670 | 693 | 2456.6 | 20710 | 63 | 39 | 1108 | 25.2 |
| 6 | 1334.4 | 48140 | - | 2112.2 | 24770 | - | 146.93 | 2416 | - |
| 소계 | 11752.2 | 336220 | 2431 | 20946.8 | 127520 | 221 | 750.43 | 19111 | 88.4 |
| 합계 | 350403.2 | | | 148687.8 | | | 19949.83 | | |

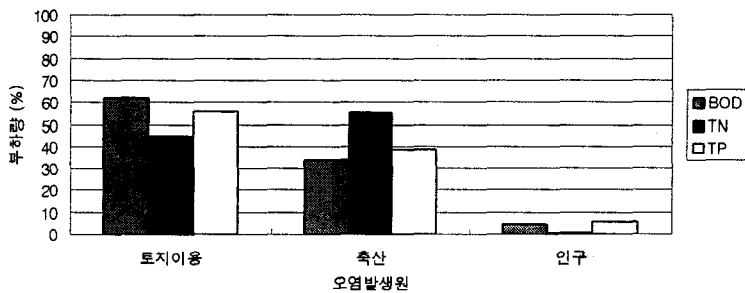
<표 3> 소유역별 오염 발생부하량

| 소유역 | BOD (g/day) | | | T-N(g/day) | | | T-P(g/day) | | |
|-----|-------------|--------|--------|------------|---------|--------|------------|--------|-------|
| | 토지이용 | 축산 | 인구 | 토지이용 | 축산 | 인구 | 토지이용 | 축산 | 인구 |
| 1 | 1708.3 | 2790 | 269.5 | 7472.2 | 1162.5 | 65.1 | 73.6 | 26 | 23.8 |
| 2 | 4482.3 | 1819.6 | | 3926.1 | 8375.3 | | 197.9 | 171.68 | |
| 3 | 822.8 | - | - | 1351.3 | - | - | 124.9 | - | - |
| 4 | 1921.4 | 545.7 | 338.8 | 3628.4 | 8914.4 | 81.84 | 168.1 | 122.24 | 29.92 |
| 5 | 1483 | 1011.2 | 242.55 | 2456.6 | 3282.4 | 58.59 | 39 | 73.6 | 21.42 |
| 6 | 1334.4 | 236.1 | - | 2112.2 | 4195 | - | 146.93 | 126.3 | - |
| 소계 | 11752.2 | 6402.6 | 850.85 | 20946.8 | 25929.6 | 205.53 | 750.43 | 519.82 | 75.14 |
| 합계 | 19005.65 | | | 47081.93 | | | 1345.39 | | |

<표 4> 소유역별 오염 발생부하량



<그림 14> 오염원 종류에 따른 오염발생부하량 기여율



<그림 14> 오염원 종류에 따른 오염발생부하량 기여율

는 0.0012~0.0091 kg/ha/day의 범위를 나타내었다. 강우기 단위면적당 하루 오염부하량은 SS가 0.107~284.123 kg/ha/day, T-N은 0.028~8.984 kg/ha/day, T-P는 0.0013~0.6660 kg/ha/day, 범위를 보였다. 비강우기 평균 T-N 오염부하량은 0.038 kg/ha/day이고 강우기는 0.88 kg/ha/day, 비강우기 평균 T-P 오염부하량은 0.004

kg/ha/day이고 강우기는 0.08 kg/ha/day 이었다.

상기의 결과로부터 시험유역은 오염부하량은 강우기에 큰 값을 보임을 알 수 있고, 토지이용에 따른 비점원오염원과 축산분뇨유출수가 오염부하량에 크게 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 또한 배출부하량과 실측된 결과와 비교하면 훨씬 작은 양이 실하천으로 유입됨을 알 수 있다.

<표 5> 실측된 유달 부하량

| 시기 | 날짜 | SS | | T-N | | T-P | |
|------|-------|----------|-----------|--------|-----------|--------|-----------|
| | | kg/day | kg/ha/day | kg/day | kg/ha/day | kg/day | kg/ha/day |
| 비강우기 | 3/31 | 0.4 | 0.001 | 10.0 | 0.025 | 0.65 | 0.0016 |
| | 4/29 | 0.7 | 0.002 | 18.0 | 0.045 | 2.11 | 0.0052 |
| | 6/25 | 41.9 | 0.104 | 11.0 | 0.027 | 0.49 | 0.0012 |
| | 9/3 | 195.2 | 0.483 | 22.0 | 0.055 | 3.67 | 0.0091 |
| 강우기 | 5/18 | 785.0 | 1.943 | 286.0 | 0.708 | 4.0 | 0.0088 |
| | 5/19 | 217.3 | 0.538 | 39.0 | 0.096 | 4.0 | 0.0103 |
| | 7/27 | 43.4 | 0.107 | 12.0 | 0.028 | 1.0 | 0.0013 |
| | 7/28 | 23596.0 | 58.418 | 250.0 | 0.619 | 19.0 | 0.0475 |
| | 7/29 | 114763.0 | 284.123 | 59.0 | 0.146 | 66.0 | 0.1641 |
| | 7/30 | 3609.0 | 8.935 | 38.0 | 0.095 | 3.0 | 0.0073 |
| | 9/5 | 2023.0 | 5.008 | 63.0 | 0.157 | 9.0 | 0.0234 |
| | 9/6 | 361.0 | 0.894 | 40.0 | 0.099 | 7.0 | 0.0164 |
| | 9/19 | 985.0 | 2.439 | 112.0 | 0.278 | 19.0 | 0.0458 |
| | 9/20 | 76873.0 | 190.317 | 3629.0 | 8.984 | 269.0 | 0.6660 |
| | 9/21 | 2741.0 | 6.786 | 131.0 | 0.324 | 17.0 | 0.0431 |
| | 9/22 | 985.0 | 2.439 | 112.0 | 0.278 | 19.0 | 0.0458 |
| 10/1 | 478.0 | 1.183 | 62.0 | 0.153 | 12.0 | 0.0289 | |
| 10/2 | 533.0 | 1.320 | 124.6 | 0.308 | 9.87 | 0.0244 | |

<표 6> 추정된 유달을 변화

| 시기 | 날짜 | 유달을 | |
|------|-------|--------|---------|
| | | T - N | T - P |
| 비강우기 | 3/31 | 0.215 | 0.484 |
| | 4/29 | 0.384 | 1.566 |
| | 6/25 | 0.235 | 0.365 |
| | 9/3 | 0.473 | 2.726 |
| 강우기 | 5/18 | 6.075 | 2.631 |
| | 5/19 | 0.826 | 3.085 |
| | 7/27 | 0.244 | 0.379 |
| | 7/28 | 5.310 | 14.271 |
| | 7/29 | 1.253 | 49.279 |
| | 7/30 | 0.813 | 2.185 |
| | 9/5 | 1.347 | 7.024 |
| | 9/6 | 0.850 | 4.921 |
| | 9/19 | 2.388 | 13.751 |
| | 9/20 | 77.078 | 199.942 |
| | 9/21 | 2.780 | 12.933 |
| | 9/22 | 2.388 | 13.751 |
| 10/1 | 1.311 | 8.689 | |
| 10/2 | 2.646 | 7.336 | |

〈표 6〉은 배출부하량과 유달부하의 비율인 유달율을 정리한 것이다. 일별 부하량 자료로부터 추정된 유달율을 살펴보면 T-N의 경우 비강우기 평균 유달율은 0.33, 강우기는 7.52 이었으며 전체기간은 0.8 이었다. T-P는 비강우기 평균 유달율은 1.28, 강우기는 24.3 이었으며 전체기간은 2.71 이었다. T-P의 경우 조사기간 중 추정된 배출부하량 보다 많은 양이 하천으로 유달되었음을 알 수 있다.

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 축산유역 모니터링 기술 개발을 위하여 기상, 수문인자, 토지이용, 축산농가 현황 과 축산 분뇨 관리 형태, 하천 수질 등을 종합적이고 체계적으로 파악하고, 그 결과를 고찰 하였다.

본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 도상 및 현지 답사 작업을 통해 경기도 안성지역의 전형적인 축산 유역을 선정하고, 수문 계측 지점 1개 지점, 수질 계측 지점 6개 지점을 선정하였다.
2. 유역내 축산 농가의 위치를 파악하였으며, 축종 및 사유두수, 축사 및 분뇨처리시설등을 조사하였다.
3. 유역의 수문계측망을 구성하였으며 수위표와 자기수위계를 설치 하였다. 유역 강우량, 수위변화를 조사하고, 하천의 수위-유량관계를 조사 분석하였다.
4. 유역의 수문특성, 지상인자, 토지이용조사, 수문학적 토양군의 분류 등 수문과 수질에 영향을 미치는 제 인자를 조사하였다.
5. 축산유역의 하천 수질자료 수집을 위해 주기적 (주 2회)으로 수질 샘플링을 실시하였으며, 강우기 연속 수질 샘플링도 병행하였다. 수집된 수질 샘플을 대상으로 수질 분석을 실시하였으며, 측정별 시기별 변화를 분석하였다.
6. 원단위를 이용 생활계, 축산, 토지이용에 따른 발생 및 배출 부하량을 산정하였으며, 유역의 총 오염발생 및 배출 부하량을 산정하였다.
7. 측정된 유량과 수질자료로부터 유역의 실하천 유입 부하량을 산정하였다.

參考文獻

1. 김한태, 권순국, 1993, 농촌유역에서의 수질오염 특성에 관한 연구, 한국환경농학회지 12(2) : 129-143.
2. 국립환경연구원, 1988, 축산폐기물의 적정관리.
3. 류재근외, 1986, 축산폐수가 하천오염에 미치는 영향에 관한연구 : 세균학적 조사를중심으로, 대한수의학회지 22(3) : 169-175.
4. 이봉규, 1992, 대청호 유입 지역의 축산 폐수오염 부하량 산정, 석사학위 논문, 충북대 대학원.
5. 이길후, 1997, 비규제 대상 축산폐수가 경안천 수질에 미치는 영향, 보건학 석사학위 논문 서울대 보건대학원.
6. 최홍립, 손재호, 류순호, 1996, 가축분뇨수의 무단방류가 셋강오염에 미치는영향, 한국농촌계획지 2(1): 69-78.
7. 최홍립, 한수연. 1997, 구릉지에 밀집한 소규모 낙농가의 축산폐수가 지천의 수질 환경에 미치는 영향. 한국 축산 학회지 39(4) : 457~466.
8. 홍성구, 김진태. 2000. 축분퇴비의 침출수 수질특성, 한국 농공 학회 학술발표회 발표논문집 pp. 584-589. 환경부, 1999, 오염총량관리계획수립지침(안)
9. Eastman, J.R, 1997, IDRISI for Windows-User's Guide Ver 2.0, Clark University, Worcester, MA.
10. ESRI, 1992, PC ARC/INFO Ver. 3.4.2, Redlands, CA.
11. U.S. Army CERL, 1993. GRASS 4.1 Users Manual, Construction Engineering Research Laboratory, Champaign, IL.

본 연구는 1998년 학술진흥재단 학술연구비 지원에 의해 수행되었음.