

최 종
연구보고서

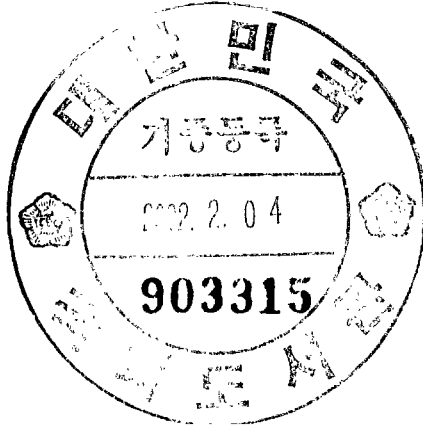
간척지 담수호의 수질관리시스템 개발

Development of Water Quality Management System
for Freshwater Lake in Reclaimed Land

연 구 기 관

건 국 대 학 교

농 립 부



제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “간척지 담수호의 수질관리시스템 개발에 관한 연구” 과제의 최종
보고서로 제출합니다.

2001년 12월 일

주관연구기관명 : 건국대학교

총괄연구책임자 : 김 선 주

세부연구책임자 : 김 성 준

연구보조원 :

김 필 식 이 석 호

이 준 우 장 철 희

권 형 중 허 배 영

이 창 형 홍 성 민

협동연구기관명 : 전북대학교

협동연구책임자 : 최 진 규

연 구 원 : 한 강 완

구 자 용

손 재 권

조 재 영

연구보조원 :

김 지 구 한 상 록

김 용 선 김 지 성

요 약 문

I. 제 목

간척지 담수호의 수질관리 시스템 개발

II. 연구개발의 목적 및 중요성

「간척지 담수호의 수질관리시스템 개발」 연구의 목적은 크게 기술적 측면, 경제적 측면, 그리고 사회·문화적 측면의 3가지로 나눌 수 있다. 각 연구개발의 목적은 다음과 같다.

1. 기술적 측면

- 가. 담수호 내를 포함한 담수호 외의 유역에 대한 관리체계를 연계 운영함으로써 오염원관리의 예방적 대책과 담수호내의 사후대책을 모두 갖출 수 있도록 담수호 종합관리 체계의 확립
- 나. 현재 광범위한 지역의 관리 및 분석도구로서 그 활용도가 높은 원격탐사기법과 지리정보시스템을 도입하여 정보화시대에 부응하는 관리기법의 개발
- 다. 담수호의 수질을 호소수질모델로 입체적으로 접근함으로써 담수호의 부영양화를 비롯한 오염물질의 예측을 통한 적정수질기준의 유지 및 관리대책 수립

2. 경제적 측면

우리 나라의 수자원개발에서 큰 비중을 차지하고 있는 담수호의 역할 즉, 농업용수, 생활용수 등의 용수공급원, 국민의 정서를 고양시키는 친수 또는 위락공간, 내수면 어업 등의 기능을 발휘할 수 있도록 담수호 내·외의 수질상황을 경제적으로 모니터링하고 예측하는 관리기법의 개발과 데이터의 정보화

3. 사회·문화적 측면

- 가. 간척지 담수호는 초창기에는 지역의 경제개발 차원에서 주민들의 기대와 더불어 1971년 남양, 아산담수호를 시작으로 현재 새만금, 시화, 화옹지구 등의 사업이 진행 중에 있으나, 개발과정에서 발생되고 있는 다양한 환경문제, 특히 수질오염으로 인하여 이제는 국민의 관심사로 떠올라 이에대한 근본적인 해결책을 제시
- 나. 시화호의 예를 들면 수질오염의 주요원인으로 안산시와 반월공단에서의 오염물질 유입증가와 방조제의 완공에 따른 호수내 조건의 변화 즉, 온도에 의한 성층현상과 염분도에 따른 성층현상으로 호수 저층은 심각한 혐기성 조건을 나타내고 있고, 담수호별 유입오염부하의 현황과 호수내의 물질수지 평가가 제대로 이루어져야 호수 내·외부에 대한 장·단기대책의 수립이 가능하다고 판단됨

III. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구의 내용은 크게 담수호 부분(주관연구기관: 건국대학교)과 유역 부분(협동연구기관: 전북대학교)으로 나눌 수 있다 담수호 부분은 담수호 유역의 지리, 인문, 사회 등등의 각종 정보의 구축과 유역, 호소를 연계하는 종합적인 수질관리시스템을 개발하는 것이고, 유역부분은 농업유역과 하천에 대한 점원 및 비점오염원에 대한 연구가 주된 내용이다. 연구의 세부 내용은 다음과 같다.

1. 담수호 정보화 및 수질관리시스템 개발

- 가. 보령호 수심분포도와 현장조사를 통하여 담수호 내 5군데의 적정한 모니터링 지점 및 유역의 수질 모니터링지점을 GPS(Global Positioning System)로 UTM 좌표위치를 파악
- 나. 3년간의 월 평균1회(동절기 제외)의 담수호내 수질관측을 실시하여 이에 대한 수질분석(온도, pH, DO, BOD, COD, SS, TP, NO₃, NO₂, NH₃, Chl-a 등) 실시
- 다. SWMM 모형을 이용하여 대상 담수호의 유역으로부터 강우시 유출에 의해 담수호로 유입되는 유출량 및 유입부하량을 산정

- 라. SWMM 모형으로부터 산정된 유출량 및 오염부하량을 이용하여 호소 수질예측모형인 CE-QUAL-W2와 WASP5를 운용
- 마. GIS 소프트웨어인 ArcView, Arc/Info 그리고 GIS 프로그래밍 언어인 Avenue를 사용하여, 하천수질모형과 연결하여 GIS 프로그램 상에서 입력자료의 추출, 모델의 운용, 그리고 출력까지 가능한 시스템을 구성
- 바. Visual Basic을 이용하여 SWMM과 WASP5 모형의 연계적용을 통하여 종합적인 수질관리방안을 제시하고 수질예측모델을 이용한 사용자 편의 시스템을 구축

2. 농업유역 및 하천관리에 관한 연구

- 가. 관개용수 수질조사와 논에서 농업비점오염원의 하천부하량 조사를 통하여 농경지 비점오염 유출부하량을 조사
- 나. 하천유역의 수문관측과 수질조사를 위하여 보령 담수호 유역내 WS-5, WS-6 및 WS-8 소유역 하천 교량지점인 신진교, 소룡교 및 논향교 등 3개 주요 하천지점에 수위계를 설치·운영하여 시간별 수위자료를 수집하고 유속을 측정하고 보령담수호 유역의 19개 주요 하천지점과 담수호로 유입되는 제수문 지점에 대한 하천 시료를 채취하여 수질분석을 실시
- 다. 오염원 분포 및 처리실태를 조사하고 이를 기본 자료로 하여 소유역별 하천유역의 유출분석과 실측자료와의 비교를 위하여 TANK 유출모형을 적용하고, 유출 및 수질분석에 GWLF 모형을 적용
- 라. 농업유역 및 하천관리 방안제시를 위한 하천 유역의 오염취약지수 분포도 작성으로 수질관리 대책 수립

IV. 연구개발의 결과 및 활용에 대한 건의

1. 연구결과

가. 담수호 정보화 및 수질관리시스템 개발

- 1) 담수호 내 수질 채취 시, GPS를 사용하여 기존의 수질 관측지점과 일치시켜 담수호 내 5개의 모니터링 지점에서 채수기를 이용하여 수위에 맞추어 샘플을 채취하였음.

- 2) 선박을 이용하여 1개월에 평균 1회씩 지속적으로 담수호 내에 5지점에 대한 수질샘플링을 실시하였음. 채취된 수질샘플은 건국대학교의 실험실에서 분석하였지만, 수질항목 중 DO는 실험실로 이송 중에 발생하는 오차를 줄이기 위해 현장에서 시약으로 고정시킨 후 분석하였음.
- 3) SWMM모형의 입력자료 중 강우자료는 보령관측소에서 1시간 간격으로 측정된 자료를 사용하였고, 유역경사, 토지피복상태 및 유역형상 등은 GIS자료를 가지고 GIS 프로그램인 Arc/info를 이용하여 산정 하였음.
- 4) 모델매개변수의 보정은 1991년도에 담수호의 지류에 위치한 덕정교에서 측정 한 수문자료 및 본 연구기간 중 홍수발생 시에 소룡교 및 신진교에서 측정한 유출량 및 오염부하량자료를 이용하여 실시하였음.
- 5) 호소수질예측모형인 WAS5의 입력자료 중 유역으로부터 유출되는 유출량 및 오염부하량은 SWMM을 이용하여 산정하였고, 담수호로 유입되는 하천의 위치와 상시흐름 또는 강우시 흐름 등의 구분을 현장조사와 GIS 프로그램을 이용하여 산정하였음.
- 6) GIS와 수질모델을 연결하기 위하여 WASP5 모형을 사용하였고, GIS소프트웨어인 ArcView와 Arc/Info를 이용하여 모델에 필요한 입력자료인 유출량 및 오염부하량 등을 추출하고 WASP5 입력자료 형식에 맞도록 ArcView에서 지원하는 언어인 Avenue를 사용하여 모델을 운용하는데 필요한 입력자료를 만들어내어 모델을 운용하고, 표 또는 그래프와 Coverage 형식 등으로 출력할 수 있도록 구성하였음.
- 7) Visual Basic을 이용하여 SWMM과 WASP5 모형의 연계 적용을 통하여 종합적인 수질관리방안을 제시하고 수질예측모델을 이용한 사용자 편의 시스템을 구축하였음

나. 농업유역 및 하천관리에 관한 연구

- 1) 진안군 마령면 평지리에 논 1개 필지(50m×100m)를 시험포장으로 설정하고, 자기우량계 1조, 수위계 및 물꼬웨어 1조를 설치하여 영농기간 동안 운영하였음.
- 2) 관개기간 중에는 시기별로 비료시비와 농약살포 등의 영농상황과 벼 길이를 조사하였고, 강우량, 관개수량, 논수심, 유출량을 측정하였음.
- 3) 관개기간 동안의 오염부하량을 산정하기 위하여 부영양화 유발물질, 중금속,

양이온 및 음이온을 중심으로 빗물, 관개수, 논물, 유출수 등의 수질분석과
논토양을 채취하여 화학적 성분 분석을 실시하였음.

- 4) 강우, 관개수, 유출수, 침투수는 채취한 다음 4℃ 이하의 온도로 보관하면서
분석시료로 사용하였고 토양시료는 표토 1cm 정도를 제거한 다음 채취하여 풍
건 후 2mm체를 통과시켜 분석시료로 사용하였음.
- 5) 하천유역의 수문 및 수질조사를 위하여 보령 담수호 유역내 주요 하천지점인
논향교, 소룡교 및 신진교 지점에 자기수위계를 설치하여 수위관측 및 기록
자료를 수집하고, 유속을 측정하였음.
- 6) 보령담수호 유역의 19개 주요 하천지점에 대한 수질시료를 매월 1~2회, 그리
고 담수호로 유입되는 제수문 지점에 대한 하천 수질시료를 채취하여 수질분
석을 실시하였음.
- 7) 관개기동안 월 1회 정도 하천수질시료 채취지점에 인접한 논을 대상으로 담수
심과 벼 길이를 조사하였고, 논물 및 논 토양에 대한 화학 분석을 실시하였
음.

2. 연구결과의 활용방안

본 연구과제인 「간척지 담수호의 수질관리시스템 개발」은 유역모델과 호소모델
을 연계 적용함으로써 담수호의 효과적인 수질 개선 대책을 제시하고 또한 이 모형
들을 사용자가 좀 더 쉽게 이용할 수 있도록 프로그램화하였다.

수질관리시스템 구축을 통해 얻어진 결과들은 담수호 수질 모니터링의 설계, 측정
기법, 타 담수호의 수질예측 및 관리에 개발한 모델기법, 담수호상류 유역관리시
GIS 구축자료의 다목적 활용이 가능하며 농업비점오염원의 부하량 산정으로 환경용
량을 파악하여 담수호 관리 기관의 담수호 수질관리 운영 및 대책수립에 활용할 수
있고, 이를 통하여 담수호 수질정보에 관련된 사용자지원 서비스가 가능할 것으로
생각된다.

또한 농경지에서 농업용수와 토양오염현황 및 오염경감대책 자료, 유역의 오염취
약지수 분포도 제시로 유역관리 체계화 자료, 유역 중·장기 수질모형 적용으로 환
경기초자료, 그리고 농업환경 기초자료 제공하는 등 오염방지에측을 위한 종합적 자
료를 제공한다.

본 연구를 통하여 개발된 간척지 담수호의 수질관리시스템은 이상과 같은 전반적
인 분야에 걸쳐 폭넓게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

SUMMARY

I. TITLE

Development of Water Quality Management System for Freshwater Lake
in Tide Reclaimed Area

II. OBJECTIVES AND SIGNIFICANCE

The purpose of this study can be divided into three parts, Technical aspect, Economic aspect, Social and Cultural aspects. Each Purpose of the study is as follows:

1. Technical aspect

- a. Integrated freshwater lake management and operation system with proper watershed management is required to establish prevention counterplan of pollutants and maintenance counterplan of lake.
- b. Introduction of GIS and Remote Sensing techniques are required to improve the efficiency of lake and watershed management.
- c. Lake water quality model should be developed to suggest practical alternatives by predicting lake water quality and eutrophication with various senarios.

2. Economic aspect

Development and information-oriented of management of freshwater lake water quality are required to play a satisfactory role, that is, providing water resources, recreations, inland fisheries etc.

3. Social and cultural aspect

- a. Tideland reclaimed freshwater lake have been constructed with the expectation of economic development of the areas and welfare of the residents. But these days various environmental problems, especially water quality became a hot issue to solve in the process of construction.
- b. Assessment of ecological dynamics within lake and pollutant loads from the watersheds should be estimated correctly to settle down long and short term management of freshwater lake.

III CONTENTS AND SCOPE

The contents of this study can be divided into two parts, one is the part of freshwater lake(Main Study Org.:Konkuk University) the other is the part of Watershed(Co-Study Org.:Junbuk National University). The former is for development of integrated water quality management system through the connection of geographic, cultural, social ect, information's construction and watershed, lakes and marshes. The later is the main contents of watershed and stream's point and non-point pollutant sources. The details of this study is as follows;

1. Development of freshwater lake water quality management system
 - a. Monitoring sites were designed both within lake and in watershed, and their precise locations were determined using GPS (Global Positioning System). Also water depth distribution of Boryoung lake was mapped.
 - b. In-situ sampling was conducted for water quality analysis once in every month for 3 years. Items are temperature, pH, DO, BOD, COD, SS, TP, NO₃, NO₂, NH₃, Chl-a etc.
 - c. Runoff and discharged pollutant load to lake were simulated by using SWMM.

- d. CE-QUAL-W2 and WASP5 were selected and operated by using the result of SWMM as input data.
 - e. Design and construction of integrated system by using Arc/View, Arc/Info, and programming language Avenue through GIS data.
 - f. Development of user friend system using Visual Basic.
2. Study of agricultural watershed and stream management
- a. Investigation of non-point source outflow and pollutant load from paddy fields.
 - b. Collect water level and measure velocity in 3 selected sites of stream: Sinjin bridge, Soryong bridge and Nonhyang bridge of WS-5, WS-6 and WS-8 outlets, respectively.
 - c. Water quality analysis was carried out by collecting water sample in 19 sites of the main stream.

IV. RESULTS AND ITS APPLICABILITY

1. Results

- a. Development of water quality management system for freshwater lake
 - 1) Sampling was conducted by using water sampler in 5 monitoring spots of freshwater lake.
 - 2) Sample was collected at 5 spots in freshwater lake once per month for 3 years. Sample was carried and analysed in laboratory. But DO was tested in the field to reduce errors that comes from the movement.
 - 3) One hour interval of rainfall data observed in Boryoung meteorological station were used as SWMM model input. Other input data related to watershed characteristics such as slope, soil, land coverage were obtained using Arc/Info.
 - 4) SWMM was calibrated with data of Duckjung bridge in 1991 storm, and

measured discharge and pollutant load data at Soryong bridge and Sinjin bridge during research periods.

- 5) SWMM output was used as an input data, and stream locations were investigated and prepared by GIS program.
- 6) Model input data such as outflow and pollutant load were abstracted by using GIS software, Arc/View and Arc/Info. A system that produce chart, graph and coverage was developed using Avenue.
- 7) SWMM and WASP5 were interfaced by using Visual Basic, and GUI (graphic user interface) system was developed for the users.

b. Study of agricultural watershed and stream management

- 1) Test field, one paddy field(50m×100m) was established and ombrograph, water gauge and ware were operated during the term of farming.
- 2) Farming situation, fertilization and crop dusting, and paddy's length was measured during the term of irrigation. The amount of rainfall, irrigation, paddy field's depth and outflow was measured.
- 3) Water quality analysis of rain, irrigation water, paddy field's water, outflow etc. and chemical analysis of paddy field's soil for calculating pollutant load in the term of irrigation were done.
- 4) Rain, irrigation water, outflow, infiltration water were collected, charged under 4 degreeed and used. Soil sample was collected after cut off 1cm top soil and wind dry it. Then soil sample was used as analysis sample.
- 5) Water level observation and record dat were collected velocity was estimated after ombrograph's installation at main spots in Boryoung freshwater lake's watershed, Nonhyang bridge, Soryong bridge and Sinjin bridge for gate and water quality measurement of stream watershed.
- 6) Water sample was collected once or twice a month at 19 main spots in Boryoung freshwater lake and water quality analysis was done after collecting stream water sample that inflows to freshwater lake.
- 7) Depth of flooding water and paddy's length was measured conduct paddy

land near the collecting spot during the term of irrigation. Paddy land's water and soil's chemical analysis was done.

2. Applicability

This study's subjects, Development of water quality management system for freshwater lake in tide reclaimed area, are presentation of effective water quality improvement measures and programing that users can use this model more easily. The Applicability of this study is as follows:

- a. Techniques of freshwater lake water quality monitoring and measurement method.
- b. Application for water quality prediction and management for other freshwater lake
- c. Development techniques of GIS data for integrated watershed management
- d. Supply integrated data for pollution prevention
- e. Water quality information service of freshwater lake for public
- f. Provision of water quality management countermeasure to administrative agency
- g. Provision of interrelated data for agricultural water and soil pollution form paddy fields
- h. Grasp environmental capacity through the estimation of agricultural non-point pollutant source load
- i. Systematic watershed management by providing index map of weak pollution area
- j. Provision of basic environmental data through mid-long term watershed's water quality model
- k. Supply as a basic agricultural environmental data

CONTENTS

Chapter 1. Introduction

Section 1. Backgrounds

Section 2. Necessity of study

Section 3. Objectives and scopes of research

Section 4. Implementation strategies and methods

Section 5. Expected effects and applicability of results

Section 6. Participated researchers

Section 7. Summary and conclusions

Chapter 2. Overview of Investigation Items in Objective Area

Section 1. Investigation of farm land non-point pollutant load

Section 2. Investigation of watershed and freshwater lake

Chapter 3. Plans and Investigation of Boryoung Freshwater Lake and Watershed

Section 1. Hong-bo tideland reclamation project

Section 2. Related projects and future plan of environmental management

Section 3. Characteristics of Boryoung watershed

Section 4. Measuring facilities and examination method

Chapter 4. GIS Data Development and Database Construction of Watershed

Section 1. GIS data development

Section 2. GIS/DB construction

Chapter 5. Agricultural Non-point Pollutant Load from Paddy Field

Section 1. Nutrient circulation mechanism in nature and farm land

Section 2. Outline of testing district

- Section 3. Testing field and observation facilities
- Section 4. Operation of testing field
- Section 5. Analysis of physiochemical characteristics of paddy soil
- Section 6. Temporal variation of chemical elements from inflow and outflow in paddy field
- Section 7. Daily water balance analysis
- Section 8. Mass balance and pollutant load of nutrients in paddy field

Chapter 6. Hydrology, Water Quality, and Soil Analysis of Boryoung Watershed

- Section 1. Watershed hydrological analysis
- Section 2. Stream water quality analysis and characteristics
- Section 3. Lake water quality measurement
- Section 4. Summary and conclusions

Chapter 7. Unit Pollutant Load

- Section 1. Pollution sources in watershed
- Section 2. Pollutant load produced
- Section 3. Pollutant load discharged
- Section 4. Design of watershed pollutant a distribution chart
- Section 5. Summary and conclusions

Chapter 8. Development of Hydrology and Water Quality Model for Watershed and Freshwater Lake

- Section 1. Watershed hydrology and water quality model (SWMM)
- Section 2. Interfacing WSAP5 with GIS
- Section 3. Lake water quality model (CE-QUAL-W2)
- Section 4. Lake water quality model (WASP5)
- Section 5. Comparison of water quality models
- Section 6. Discussion

Chapter 9. Development of User-friendly Lake Water Quality Management System

Section 1. Necessity of development

Section 2. System design

Section 3. System development and user guide

Section 4. Application of water quality management using FLAQUM

Section 5. Summary and conclusions

Chapter 10. Strategies for Lake Water Quality Improvement

Section 1. Agricultural water quality improvement

Section 2. Pollutant load control in watershed and lakes

Section 3. Summary and conclusions

Chapter 11. Conclusions

References

Appendices

목 차

| | |
|-----------------------------|----|
| 요 약 문 | 2 |
| 목 차 | 15 |
| 제1장 서론 | 21 |
| 제1절 연구의 배경 | 21 |
| 제2절 연구개발의 필요성 | 23 |
| 제3절 연구개발 목표와 내용 | 25 |
| 제4절 추진전략 및 방법 | 31 |
| 제5절 기대효과 및 활용방안 | 33 |
| 제6절 연구진의 구성 | 35 |
| 제7절 요약 및 결론 | 42 |
| 제2장 조사 대상지구 | 45 |
| 제1절 농경지 농업 비점오염부하량 조사 | 45 |
| 1. 진안 마령 논구획지구 | 45 |
| 2. 조사 내용 | 45 |
| 제2절 유역 및 담수호 조사 | 45 |
| 1. 보령담수호 유역 | 45 |
| 2. 조사 내용 | 46 |
| 3. 기본자료 수집 | 46 |
| 제3장 보령담수호 유역조사 | 47 |
| 제1절 홍보간척지구 | 47 |
| 1. 홍보지구 농업종합개발사업 | 47 |
| 2. 사업추진 경위 | 48 |
| 3. 주요 사업내용 | 49 |
| 4. 지구 개황 | 51 |
| 5. 농업 현황 | 53 |

| | |
|--|------------|
| 제2절 주요 관련사업 및 환경관리계획 | 56 |
| 1. 주요 관련사업 | 56 |
| 2. 환경영향평가 | 57 |
| 제3절 보령담수호 유역의 특성 | 58 |
| 1. 유역 특성 | 58 |
| 2. 유역내 행정구역 | 60 |
| 3. 보령유역의 소유역 분할 | 66 |
| 4. 유역의 지형적 특성 | 66 |
| 5. 유역의 토지이용 현황 | 67 |
| 6. 유역내 수리시설 현황 | 71 |
| 제4절 측정시설 및 조사방법 | 72 |
| 1. 수문 관측지점 | 72 |
| 2. 수문관측 시설 | 74 |
| 3. 수문조사 | 74 |
| 4. 토양조사 | 77 |
| 5. 수질조사 | 78 |
| | |
| 제4장 담수호 유역의 GIS 자료구축 및 D/B 정보화 | 81 |
| 제1절 GIS 자료 구축 | 81 |
| 1. 수치고도모델 (Digital Elevation Model; DEM) | 81 |
| 2. 토지피복도 | 88 |
| 3. 토양도 | 94 |
| 4. 지하수위 분포도 | 96 |
| 5. 강우관측망도 | 98 |
| 제2절 담수호 유역의 GIS/DB 정보화 | 99 |
| 1. 수문관련 자료의 수집 | 99 |
| 2. 인문·사회 통계자료 수집 | 113 |
| | |
| 제5장 논에서 농업비점원의 유출부하량 | 119 |
| 제1절 자연계와 농경지에서 영양물질 순환기작 | 120 |
| 1. 자연계에 있어서 물질순환 | 120 |
| 2. 농지에 있어서 물질순환 | 122 |

| | |
|---|------------|
| 제2절 시험지구 개요 | 125 |
| 제3절 시험포장 및 측정시설 | 128 |
| 1. 시험포장 | 128 |
| 2. 측정시설 | 128 |
| 제4절 시험포장의 운영 | 129 |
| 1. 영농현황 | 129 |
| 2. 논바다 측량 | 130 |
| 3. 담수심 측정 | 131 |
| 4. 수도의 초장 측정 | 131 |
| 5. 수문조사 | 133 |
| 제5절 논토양의 이화학적 특성 분석 | 134 |
| 1. 시료채취 | 134 |
| 2. 분석방법 | 134 |
| 3. 논토양의 이화학적 특성 | 135 |
| 제6절 논에서 유·출입되는 수질중 화학성분의 시기별 함량변화 | 138 |
| 1. 시료채취 | 138 |
| 2. 분석방법 | 138 |
| 3. 논에서 유·출입되는 수질중 영양물질의 함량 변화 | 138 |
| 제7절 일별 물수지 분석 | 151 |
| 1. 강우량 | 151 |
| 2. 관개수량 | 152 |
| 3. 유출량 | 153 |
| 4. 증발산량 | 153 |
| 5. 침투수량 | 153 |
| 6. 손실량 | 154 |
| 제8절 논에서 영양물질의 물질수지와 유출부하량 | 155 |
| 1. 유입계 | 156 |
| 2. 유출계 | 157 |
| 3. 논에서 질소와 인의 원단위 오염부하량 산정 | 159 |
| 제6장 보령유역의 수문·수질·토양 분석 | 161 |
| 제1절 유역 수문 분석 | 161 |
| 1. 수문 조사 지점 | 161 |
| 2. 수문 계측시설 및 운영 | 162 |

| | |
|------------------------------------|------------|
| 3. 강수량 자료 | 162 |
| 4. 수위 및 유량측정 | 164 |
| 5. 유출 분석 | 169 |
| 6. 미계측 지점의 수위변화 | 174 |
| 제2절 하천수질의 분석 및 특성 | 181 |
| 1. 수질조사 지점 | 181 |
| 2. 시료채취 및 분석 방법 | 182 |
| 3. 하천수질의 물리·화학적 특성 | 182 |
| 제3절 담수호내 수질측정 | 194 |
| 1. 담수호내 수질관측지점 | 194 |
| 2. 담수호내 수질측정항목 및 시기 | 194 |
| 3. 담수호의 수질분석 결과 | 194 |
| 제4절 요약 및 결론 | 202 |
| 1. 축산폐수 밀집지역 | 202 |
| 2. 농업유역 | 203 |
| 3. 담수호내 수질 분석 | 203 |
| 제7장 유역 오염 분포도 작성 | 205 |
| 제1절 유역 오염원 | 205 |
| 1. 행정구역별(읍면) | 205 |
| 2. 소유역별 | 208 |
| 제2절 원단위법에 의한 발생오염부하량 | 214 |
| 1. 오염원별 원단위 | 214 |
| 2. 행정구역별 원단위법에 의한 발생오염부하량 산정 | 215 |
| 3. 소유역별 원단위법에 의한 발생오염부하량 산정 | 228 |
| 제3절 하천 유출 오염부하량 | 235 |
| 1. 측정지점별 유출 오염부하량 | 235 |
| 2. 소유역별 유출오염부하량 | 239 |
| 3. 유역전체 | 241 |
| 제4절 유역 오염분포도 작성 | 241 |
| 1. 행정구역별 원단위 오염 발생부하량 분포도 | 241 |
| 2. 소유역별 오염 발생부하량 분포도 | 253 |
| 제5절 요약 및 결론 | 258 |

| | |
|---|------------|
| 제8장 유역 및 담수호의 수문·수질모델 개발 | 261 |
| 제1절 유역 수문·수질 모델 (SWMM 적용) | 261 |
| 1. 모델의 개요 | 261 |
| 2. 모델의 입력자료 | 261 |
| 3. 모델의 적용 | 265 |
| 제2절 GIS 와 WASP5 연결 | 268 |
| 1. 대상유역 | 268 |
| 2. 모델의 입력자료 | 268 |
| 3. 모델의 적용 | 270 |
| 제3절 담수호 수질모델(CE-QUAL-W2) | 273 |
| 1. 모델의 선정 및 이론 | 273 |
| 2. 모델의 기본식 | 273 |
| 3. 모델의 입력자료 | 283 |
| 4. 모델의 적용 | 287 |
| 제4절 담수호 수질모델(WASP5) | 288 |
| 1. 모델의 선정 및 이론 | 288 |
| 2. 기본 수질모형 | 289 |
| 3. 부영양화모형(Eutrophication Model, EUTRO5 Model) | 292 |
| 4. 모형의 적용 | 297 |
| 제5절 호소수질 모델의 비교 | 304 |
| 1. 모의 결과 | 304 |
| 제6절 요약 및 결론 | 307 |
| 1. 유역모델 | 307 |
| 2. 호소수질모델 | 307 |
| | |
| 제9장 담수호 수질관리 프로그램 | 309 |
| 제1절 담수호 수질관리 프로그램의 필요성 | 309 |
| 제2절 담수호 수질관리 프로그램의 설계 | 310 |
| 1. 사용 프로그래밍 언어 | 310 |
| 2. 담수호 수질 관리 프로그램 설계 | 312 |
| 제3절 시스템 사용자 지침서 | 322 |
| 1. 담수호 수질관리 프로그램(FLAQUM)의 시작 및 종료 | 322 |
| 2. 담수호 수질관리 프로그램(FLAQUM)의 적용 및 기능 | 323 |

| | |
|-------------------------------------|------------|
| 제4절 FLAQUM의 수질관리 적용 | 330 |
| 1. 발생오염원 관리 | 330 |
| 2. 배수갑문 조작 관리 | 339 |
| 제5절 요약 및 결론 | 342 |
| 제10장 담수호 수질개선방안 제시 | 345 |
| 제1절 농업용수 수질개선 | 345 |
| 1. 수질개선 대책 | 345 |
| 제2절 유역 및 호소내의 오염부하제어 | 351 |
| 1. 각 지류별 부하량 제어에 따른 담수호의 수질변화 | 351 |
| 2. 배수문 조작에 의한 수질변화 | 356 |
| 제3절 요약 및 결론 | 358 |
| 제11장 종합 | |
| 결론 | 359 |
| 참 고 문 헌 | 363 |

제 1 장
서 론

제1장 서론

제1절 연구의 배경

전 세계적으로 환경문제에 대한 관심이 높아지고 있는 가운데 우리 나라에서도 환경을 보전해야 한다는 국민적인 공감대가 형성되었으나, 경제논리 우선 정책에 따른 환경정책의 부재, 일관성 없는 환경정책, 전통적인 식문화와 축산폐수 문제 등이 개선되지 않아 환경문제가 점점 악화되고 있다.

도시에서는 녹지 공간이 사라지고, 하천이나 호소의 수질오염은 점점 더 심각해지고 있으며, 자동차나 공장에서 내뿜는 매연은 도시생활에 지친 사람들의 가슴을 조여오고 있다. 또한 자연환경이 넓게 분포하고 있는 농촌지역도 개발논리에 의해 환경이 파괴되고 있으며, 수질오염 문제도 점점 심각해지고 있는 실정이다.

1970년대 이후 경제성장위주의 정책에 따른 산업화, 공업화의 영향으로 전반적인 환경오염이 시작되었으며 일부 특정지역에서만 오염되기 시작한 농업용수가 최근에는 농업생산 과정에서조차도 비료와 농약의 과다사용과 축산폐수 등에 의하여 오염이 가속화 되어가고 있는 실정이므로 이에 대한 정책적인 관심과 수질관리 및 방지대책기술개발에 집중적인 투자가 요구되고 있다.

물 맑고 신선한 공기가 충만한 푸른 자연을 보전하여 농촌주민들의 생활을 윤택하게 하고, 도시민들에게 휴식처를 제공해줄 수 있도록 인류의 생존이라는 차원에서 농어촌 환경문제에 접근해야 할 것이다.

따라서 현재 추진되고 있는 농어촌 환경정비사업은 풍부한 자연을 최대한 보전할 수 있으며, 주위의 자연환경과 조화를 이루도록 하는 것이 바람직할 것이다. 또한 지속적인 수질관리를 위해서는 관리자가 쉽게 운용할 수 있는 시스템이 필요하다.

하천이나 호소의 수질관리를 위해서는 유역 내에서 발생하는 오염물질량과, 수계에 유입된 오염물질의 물리, 생물, 화학적인 거동을 적절히 파악하는 것이 필요하다. 유역 내에서 발생하는 오염물질량의 파악은 오염원의 배출과정에 따라서 점원과 비점원으로 나누어 수행할 수 있다. 점원과는 달리 비점원의 경우 배출경로가 복잡하고 강우와 같은 수문현상과 밀접한 관계를 가지고 있기 때문에 발생량의 추정이 쉽지 않다. 오염물질이 하천이나 호소 내

에 유입된 이후의 변화과정, 즉 수질변화는 수질예측 모형을 이용하여 추정한다.

하천이나 호소 수질모형의 경우 수계 내에서 일어나는 물질의 거동을 중심으로 모형이 구성되어 있기 때문에 유역으로부터 유입되는 오염물질량은 입력자료로 처리하거나 비교적 단순한 방법으로 추정하게 된다. 따라서 수질모형을 적용하는데 있어서 최근에는 유역으로부터 발생하는 오염물질량을 추정하기 위하여 비점원오염 모형을 수질예측모형과 연계하는 시도가 있어 왔다.

수자원의 효율적인 수질관리를 위해서는 첫째, 오염원을 조사하여 오염부하량을 평가하고 둘째, 하도구간에서의 수리·수문 특성을 조사·분석하여 하도내에서의 흐름을 해석하여야 하며, 셋째, 오염물질 배출이 하천수질에 미치는 영향을 수학적 방법으로 해석하고 넷째, 대상유역에서 수자원의 용도에 따른 적절한 수질목표 기준을 수립하며 다섯째, 목표하는 수질기준을 달성하기 위하여 주요 오염원 및 유입지천으로부터의 오염농도를 효과적으로 규제하기 위한 최적의 수질관리 방안이 수립되어야 한다.

유역에서 발생하는 오염부하량의 추정을 위해 개발, 적용되고 있는 비점원오염모형은 유출량 추정과 관련된 수문계산, 오염물질의 변환이나 거동을 설명하는 오염물질관련 계산 등으로 구성된다.

예를들어 SWAT(Soil and Water Assessment Tool)과 같은 모형은 수문현상을 포함하여 토지이용에 따른 오염물질의 배출량을 추정하는데 주로 이용된다. AGNPS(Agricultural Nonpoint Source Pollution Model)는 다른 모형에 비해 비교적 간단한 형태로서 폭우 사상에 대하여 총인, 총질소, COD, 유출 등을 추정할 수 있다. 1969년에서 1971년에 걸쳐 U.S EPA에서 개발된 SWMM(Storm Water Management Model)은 단일 강우 사상을 묘사하여 합류식관로의 유량을 분석하기 위해 개발되었다. SWMM 4.0 Version에서부터는 연속모의가 가능해졌으며 Extran Block에서 backwater, surcharging, pressure flow와 looped connection에 대한 묘사가 가능해졌다. 1994년에 SWMM 4.3 Version으로 개량되어 유역내의 우수관로, 합류식관로, 자연배수로 등에서의 유동, 수위, 오염물 농도 등이 해석가능하며 현재 SWMM 4.4 Version까지 발전되었다.

호소수질예측모형으로는 WQRRS, CE-QUAL-W2, WASP5 등이 비교적 잘 알려져 있다. WQRRS 모형은 댐에 의해 생성된 인공호수내의 수생태계 변화를 수심방향에 대하여 해석할 수 있는 모형으로써 비교적 많이 보급되어 있고 정확도도 인정을 받고 있다. CE-QUAL-W2 모델은 2차원이며 호수의 장축에 직각방향으로 균일하다고 가정하기 때문에 수평 및 수직적 수질변화가

있는 길고 좁은 수체에 적당한 모델이다. 각 수질 항목간의 어떠한 결합도 모의 가능하며 segment 길이와 layer의 두께를 다양하게 줄 수 있는 장점이 있어 나뭇가지모양의 복잡한 수체에도 적용이 가능하다. WASP5는 최초로 Di Toro 등(1983)에 의해서 개발되었고, 다양한 적용을 통해서 수정·보완되어 1993년에 WASP5 모형으로 발전된 모형으로 지금까지 개발되어온 수질예측모형들을 종합, 보완한 것으로써 시간에 따른 입력치의 변화를 고려할 수 있어서, 연중변화는 물론 짧은 시간간격 사이의 수질성분변화를 분석하는 데에도 대단히 유용해 현재 우리나라에서도 많이 사용되고 있다.

본 연구에서는 간척사업으로 조성된 홍보간척지구를 대상으로 하구담수호의 수질보전 및 관리를 위하여 유역의 GIS자료를 구축하여 D/B정보화를 하였고, 유역에서 발생하는 유량 및 부하량 예측은 SWMM모형으로 그리고 호소의 수질예측은 CE-QUAL-W2와 WASP5모형을 이용하여 수질을 예측하였다. 그리하여 수질의 변화특성을 파악하고 수질관리 방법을 모색함과 동시에 관리자가 편하게 사용할 수 있도록 사용자 편의 시스템을 개발하였다.

제2절 연구개발의 필요성

1. 기술적 측면

담수호내를 포함한 담수호 유역에 대한 관리체계를 연계 운영함으로써 오염원관리의 예방적 대책과 담수호내의 사후대책을 모두 갖출 수 있도록 담수호 종합관리 체계의 확립이 요구되고 있다. 현재 광범위한 지역의 관리 및 분석도구로서 그 활용도가 높은 원격탐사기법과 지리정보시스템을 도입하여 정보화시대에 부응하는 관리기법의 개발이 필요하고 그로 인해 담수호의 수질을 호소수질모델로 입체적으로 접근함으로써 담수호의 부영양화를 비롯한 오염물질의 예측을 통한 적정수질기준의 유지 및 관리대책 수립이 절실한 상황이다.

2. 경제·산업적 측면

최근 담수호로 유입되는 하천을 비롯한 우리나라 대부분 하천의 수질오염 상태가 날로 심화되고 있는 것으로 보고되고 있다. 이처럼 하천의 오염도가 높은 이유는 하천 인근 유역에서 발생하는 오폐수의 정화처리가 제대로 이루어지지 않은 것이 큰 요인으로 지적되고 있으

나 대단위 수도작 농업지대에서 발생하는 농업비점오염원에 대한 정확한 평가가 제대로 이루어지지 않은 점도 오염부하량에 크게 영향을 미치는 것으로 보고되고 있다. 또한 우리나라의 수자원개발에서 큰 비중을 차지하고 있는 담수호의 역할 즉, 농업용수, 생활용수 등의 용수 공급원, 국민의 정서를 고양시키는 친수 또는 위락공간, 내수면어업 등의 기능을 발휘할 수 있도록 담수호내·외의 수질상황을 경제적으로 모니터링하고 예측하는 관리기법의 개발과 정보화가 요구되고 있다.

3. 사회·문화적 측면

간척지 담수호는 초창기에는 지역의 경제개발 차원에서 주민들의 기대와 더불어 1971년 남양, 아산담수호를 시작으로 현재 새만금, 시화, 화옹지구 등의 사업이 진행 중에 있으나, 개발과정에서 발생되고 있는 다양한 환경문제, 특히 수질오염으로 인하여 이제는 국민의 관심사로 떠올라 근본적인 해결책 또는 사전대비가 필요하다. 시화호의 예를 들면 수질 오염의 주요원인으로 안산시와 반월공단에서의 오염물질 유입증가와 방조제의 완공에 따른 호수내 조건의 변화 즉, 온도에 의한 성층현상과 염분도에 따른 성층현상으로 호수 저층은 심각한 혐기성 조건을 나타내어, 담수호별 유입오염부하의 현황과 호수내의 물질수지 평가가 제대로 이루어져야 호수내·외부에 대한 장·단기대책의 수립이 가능하다고 판단된다.

4. 국내·외 관련기술의 현황과 문제점

가. 국내·외 연구동향

국내의 하구 및 간척지 담수호관련 연구로는 권(1987~1988)이 아산호·해남호를 대상으로 USDAHL 74/SNUA 수문모델과 Multi Box 수질모델을 이용하여 담수호의 환경오염 및 부영양화 방지대책을 수립한 바 있으며, 정·박(1989)의 해남호를 대상으로 하는 집중물관리 연구, 박(1993)의 영산호를 대상으로 하는 홍수예경보 시스템 프로그램 개발 등 이수 및 치수관련 연구가 있었으며, 최근에는 새만금지구와 시화호의 수질환경 대책을 수립하기 위한 일련의 연구들이 농업기반공사와 한국수자원공사에서 각각 진행되고 있다.

국외에서는 담수호를 대상으로 하는 호소수질 관리 및 예측모형이 꾸준히 개발 및 적용

되고 있는데, 현재 알려진 대표적인 호소수질모델로는 WQRRS(Orlob, 1983), WASP5(EPA, 1993), CE-QUAL-W2(COE, 1995), 상업용인 MIKE21(DHI, 1998) 등이 있으며, 이들 모델들은 여러 호소에 적용하여 그 적용성이 입증된 모델들이다.

나. 문제점

호소 수질모델이 요구하는 모든 입력자료를 추정 또는 산정하는 것은 불가능하므로, 우리 나라 실정에 맞는 필수 입력자료의 항목을 설정하고 이에 대한 정보를 축적해 나가는 연구가 필요하고 담수호의 수질은 호소 상류의 지역성을 반영하는 수문·수질거동을 파악하는 것이 중요하므로 GIS 등을 이용한 유역의 수자원 및 오염원관리를 위한 정보화가 필요하다. 호소 수질모델과 관련된 주요 부모모델로는 흐름모델, 비점원오염원 모델, 지하수 모델, 유사이동모델, 강우-유출모델 등이 있는데, 흐름모델을 제외하고는 이들 부모모델과의 연계 모의사례 즉 담수호 외부의 입력자료를 확보하여 모델의 활용도 및 신뢰성을 높이는 연구는 거의 없는 실정이다.

5. 앞으로 전망

우리 나라 간척지 담수호의 체계적인 수질관리는 간척사업의 기본취지인 각종 용수확보, 친수환경 조성, 관광자원 개발 등의 목적을 달성하기 위해서는 필수적인 과제이다. 따라서 향후 GIS/RS기술의 지속적인 발전은 수문·수질모델링, 더 나아가 유역관리에 혁신적인 역할을 할 것으로 기대된다.

제3절 연구개발 목표와 내용

1. 연구개발 목표와 내용

본 연구의 목적은 간척사업으로 조성된 홍보간척지구를 대상으로 하구담수호의 수질보전 및 관리를 위하여 농경지의 농업비점 오염부하량을 조사하고, 하천의 수질 및 부영양화 유발 물질 모니터링을 실시하여 자료를 수집·분석하는데 있다. 또한 수집된 유역의 GIS자료를 구축하여 D/B정보화를 하고, 유역에서 발생하는 유량 및 부하량 예측은 SWMM모형으로 그리

고 호소의 수질예측은 CE-QUAL-W2와 WASP5모형을 이용하여 수질을 예측하여 수질의 변화특성을 파악하고 수질관리 방법을 모색함과 동시에 관리자가 편하게 사용할 수 있도록 사용자 편의 시스템을 개발하는 것이다.

본 연구의 세부 내용은 다음과 같다.

가. 담수호 정보화 및 수질관리시스템 개발

- 1) 담수호 유역의 GIS 자료 구축 및 GIS/DB 정보화
- 2) 담수호 수질측정
- 3) 호소수질모델의 개발 및 운용
- 4) 사용자 편의시스템 개발
- 5) 담수호의 수질개선방안 제시

나. 농업유역 및 하천관리에 관한 연구

- 1) 대상유역의 농경지 농업 비점오염 부하량 조사
- 2) 하천의 수질 및 부영양화 유발물질의 모니터링
- 3) 수질예측모형의 적용
- 4) 대상유역의 오염취약지수 분포도 작성

2. 연차별 연구개발 목표와 내용

가. 담수호 정보화 및 수질관리시스템 개발

| 구 분 | 연구개발 목표 | 연구개발 내용 및 범위 |
|----------------|---|---|
| 1차년도 (1998) | <ul style="list-style-type: none"> ○ 선정된 담수호 유역의 GIS자료 구축 ○ 선정된 담수호 유역의 GIS/DB 정보화 ○ 담수호내 수질측정 ○ 호소수질모델의 선정 | <ul style="list-style-type: none"> - GIS 자료의 구축 <ul style="list-style-type: none"> · 수치고도모델(Digital Elevation Model): 미국 DMA에서 제공하는 자료 이용 · 토양도: 1: 25,000 및 1: 250,000 토양도 입력, 토양종류별 분류 · 유역경계도: 1:25,000 지도상에서 구분, 입력 · 강우관측망도: 위·경도 점자료 입력 · 지하수위관측망도: 위·경도 점자료 입력 · 하천도 및 흐름경로도: DEM에서 자동추출 · 토지이용도: SPOT 영상자료 구입→ ER Mapper 소프트웨어 이용 → 최대우도법(maximum likelihood) 적용·분류 / 알베도 추출 - 수문·기상자료의 수집 및 입력 <ul style="list-style-type: none"> · 기상자료: 지배관측소별 기상자료 · 하천 유출량자료: 수위관측소 수위-유량자료 · 지하수위자료 - 인문·사회자료의 수집 및 입력 <ul style="list-style-type: none"> · 토지이용 통계자료 · 유역내 오염부하 원단위 조사 - 담수호 수질의 효율적인 파악을 위한 대표 모니터링 지점의 설계 - 담수호내 수질측정 및 분석 <ul style="list-style-type: none"> · 측정횟수는 강우기와 비강우기로 구분하여 대표성 있게 조절 · 측정항목: DO, COD, SS, T-P, T-N, Chl-a, Secchi disk depth 등 - WASP, CE-QUAL-W2의 이론을 검토하고 대상 담수호에 맞는 모델 선정 - 모델간의 이론 검토 및 선정한 모델의 입력자료의 준비 |

| 구 분 | 연구개발 목표 | 연구개발 내용 및 범위 |
|----------------|---|---|
| 2차년도 (1999) | ○ 담수호내 수질측정 ○ 호소수질모델 개발· 적용 | - 통계적으로 신뢰성있는 수질관측망의 설계기준 및 모니터링 시기, 횟수, 방법 등의 기준 제시 - 담수호내 수질측정 및 분석 <ul style="list-style-type: none"> · 측정횟수는 강우기와 비강우기로 구분하여 대표성 있게 조절 · 측정항목: DO, COD, SS, T-P, T-N, Chl-a, Secchi disk depth 등 - 모델의 개발 및 적용 <ul style="list-style-type: none"> · 모델 보정과정을 통한 모델의 개선: 모델 매개변수들의 범위 또는 최적치 추정 · 호소내 수평분포 및 수직분포별 실측 수질자료와 모의발생치와의 비교를 통한 모델의 적용성 검토 · 모델의 예비운영: 모델의 수질항목별 모의운명을 통한 호소수질예측 |

| 구 분 | 연구개발 목표 | 연구개발 내용 및 범위 |
|----------------|---|---|
| 3차년도 (2000) | <ul style="list-style-type: none"> ○ 담수호내 수질측정 ○ 호소수질모델의 모의 운영 및 실용화 ○ 담수호 수질 개선 방안 제시 ○ 담수호 유지가 불가능 할 경우에 대한 방안 제시 | <ul style="list-style-type: none"> - 담수호의 수질측정 및 분석 <ul style="list-style-type: none"> · 측정횟수는 강우기와 비강우기로 구분하여 대표성있게 조절 · 측정항목: DO, COD, SS, T-P, T-N, Chl-a, Secchi disk depth 등 - 모델의 검정 <ul style="list-style-type: none"> · 검정과정을 통한 모델의 적응성 확인 - 모델의 후처리과정 개발 <ul style="list-style-type: none"> · 모델결과(수평·수직분포)의 그래픽 처리기법 개발 - 사용자 편의시스템 개발 <ul style="list-style-type: none"> · Visual Basic을 이용한 GUI(Graphic User Interface) 시스템 개발 - 시스템의 모의운영 <ul style="list-style-type: none"> · 호소수질의 변화추이를 보고, 수질악화시 오염물질 발생지역을 추정하여 신속조치를 취할 수 있도록 운영 - 부영양화의 원인 평가 - 유역 오염부하량 저감방안 제시 - 담수호내 수질개선 방안제시 - 제도적 검토 - 환경측면에서의 검토 - 수자원 측면에서의 검토 |

나. 농업유역 및 하천관리에 관한 연구

| 구 분 | 연구개발목표 | 연구개발내용 및 범위 |
|----------------|--|---|
| 1차년도 (1998) | <ul style="list-style-type: none"> ○ 유역 지상인자 조사 ○ 농경지 농업비점 오염부하량 조사 | <ul style="list-style-type: none"> - 토지이용상태, 지형, 형상, 작부체계, 토지피복도, 인구, 경지면적 - 논에서 영양물질의 물질수지 - 토양관리 형태에 따른 영양물질의 물질수지 |
| 2차년도 (1999) | <ul style="list-style-type: none"> ○ 농경지 농업비점 오염부하량 조사 ○ 하천수질 및 토양의 질 평가 ○ 하천의 수질 및 부영양화 유발물질의 모니터링 | <ul style="list-style-type: none"> - 논에서 영양물질의 물질수지 - 농업비점오염원 원단위 산정 - 관개수질의 변화 조사 - 하천으로 유입되는 부영양화 유발물질의 추적 및 토양오염도 조사 - 하천의 수질 및 부영양화 유발물질의 모니터링 |
| 3차년도 (2000) | <ul style="list-style-type: none"> ○ 수질예측모형의 적용 ○ 유역의 오염취약지수 분포도작성 | <ul style="list-style-type: none"> - 수질모형의 적용 - 오염취약지수 분포도 작성 - 농업유역 및 하천관리 방안 |

제4절 추진전략 및 방법

1. 담수호 정보화 및 수질관리시스템 개발

충청남도 홍성군과 보령군에 위치하는 홍보 간척지구를 연구지역으로 선정하여, 담수호의 수질관리시스템 구축을 위한 지형정보(GIS)자료인 수치고도모델(Digital Elevation Model, 3초간격), 토양도(1: 25,000 및 1: 250,000), 유역경계도, 강우관측망도, 지하수위관측망도, 하천도 및 흐름경로도, 토지이용도(Landsat TM + SPOT Panchromatic)의 구축을 완료하였다. 수문자료는 홍보지구 수문조사보고서(농어촌진흥공사, 1991), 홍보지구 농업종합개발사업계획서(농어촌진흥공사, 1998)내의 자료를 수집·활용하였으며, 기상자료는 보령('73~'98), 서산('68~'98), 군산('68~'98) 기상관측소의 자료를 수집·분석하였으며, 인문·통계자료는 해당 읍·면사무소(광천읍, 은하면, 천북면, 청소면, 구항면, 장곡면, 오천면)의 각종 통계자료와 리경계 행정지도를 이용한 유역내 오염부하 분포도를 작성하여, 담수호유역의 수질관리시스템의 구축에 적합하게 GIS/DB 정보화를 완료하였다. 담수호 유역의 GIS자료 구축을 위하여 담수호 내 수질 채취 시, GPS 기기를 사용하여 기존의 수질 관측지점과 일치하게 하여 담수호 내 5군데의 모니터링 지점에서 채수기를 이용하여 수위에 맞추어 샘플을 채취하였다.

담수호의 수질측정은 선박을 이용하여 1개월에 평균 1회씩 지속적으로 담수호내 5지점에 대한 수질샘플링을 실시하였으며, 샘플링 자료는 실험실로 가지고 와서 분석하였지만, 수질 항목 중 DO는 실험실로 이송 중에 발생하는 오차를 줄이기 위해 현장에서 시약으로 고정시킨 후 분석하였다.

수질 예측모형으로는 SWMM(유역모형), WASP5(호소모형)을 이용하였다. SWMM모형의 입력자료 중 강우자료는 보령관측소에서 1시간 간격으로 측정된 자료를 사용하였고, 유역경사, 토지피복상태 및 유역형상 등은 GIS자료를 가지고 GIS 프로그램인 Arc/info를 이용하여 산정하였다. 모델매개변수의 보정은 1991년도에 담수호의 지류에 위치한 덕정교에서 측정한 수문자료 및 본 연구기간 중 홍수발생시에 소룡교 및 신진교에서 측정된 유출량 및 오염부하량자료를 이용하여 실시하였다. 호소수질예측모형인 WASP5모형의 입력자료 중 유역으로부터 유출되는 유출량 및 오염부하량은 SWMM을 이용하여 산정하였고, 담수호로 유입되는 하천의 위치와 흐름 등의 구분을 현장조사와 GIS 프로그램을 이용하여 산정하였다.

이런 수질예측모형의 결과를 토대로 Visual Basic을 이용하여 SWMM과 WASP5 모형의 연계적용을 통하여 종합적인 수질관리방안을 제시하고 수질예측모형을 이용한 사용자 편의 시스템을 구축하여 사용자에게 편의성을 제공하고자 하였다. 수질관리는 유역의 오염원 제어와 배수갑문의 모의 조작이 가능하게 하므로 앞으로 담수호 수질관리 계획을 효율적으로 수립하도록 하였다. Visual Basic을 이용한 GUI(Graphic User Interface) 시스템 개발하여 유역과 호소를 연계하여 모의할 수 있도록 하였고, 사용자가 쉽게 운용할 수 있는 종합적인 수질관리시스템을 개발하였다.

개발된 수질관리시스템의 모의운명을 통하여 유역에서는 지류의 오염부하량을 제어하고, 담수호내에서는 배수갑문을 조작함으로써 수질거동특성을 분석하였으며, 수질악화시 수질오염의 원인을 평가하고 오염부하량의 저감방안을 제시함으로써 담수호 수질 개선방안 제시하였다.

2. 농업유역 및 하천관리에 관한 연구

농경지 농업비점오염 부하량 조사를 위해 진안군 마령면 평지리에 논 1개 필지(50m×100m)를 시험포장으로 설정하고, 자기우량계 1조, 수위계 및 물꼬웨어 1조를 설치하여 영농기간 동안 운영하였다. 관개기중에는 시기별로 비료시비와 농약살포 등의 영농상황과 벼 길이를 조사하였고, 강우량, 관개수량, 논수심, 유출량을 측정하였다. 관개기간 동안의 오염부하량을 산정하기 위하여 부영양화 유발물질, 중금속, 양이온 및 음이온을 중심으로 빗물, 관개수, 논물, 유출수 등의 수질분석과 논토양을 채취하여 화학적 성분 분석을 실시하였고, 채취한 시료는 4℃ 이하의 온도로 보관하면서 분석시료로 사용하였다. 토양시료는 표토 1cm 정도를 제거한 다음 채취하여 풍건후 2mm체를 통과시켜 분석시료로 사용하였다.

하천 수질 및 부영양화 유발물질의 모니터링을 위해 하천유역의 수문 및 수질조사를 위하여 보령 담수호 유역내 주요 하천지점인 논향교, 소룡교 및 신진교 지점에 자기수위계를 설치하여 수위관측 및 기록자료를 수집하고, 유속을 측정하였다.

하천 수질 및 토양 분석을 하기위해서 보령담수호 유역의 19개 주요 하천지점에 대한 물시료를 매월 1~2회, 그리고 담수호로 유입되는 제수문 지점에 대한 하천 수질시료를 채취하여 수질분석을 실시하였다. 관개기 동안 월 1회정도 하천수질시료 채취지점에 인접한 논을 대상으로 담수심과 벼길이를 조사하였고, 논물 및 논토양에 대한 화학 분석을 실시하였고 보

령담수호 유역내 4개 저수지에 대한 물시료를 채취하여 수질분석을 실시하였다. 수질분석은 수질공정시험법(환경처, 1993), 토양분석은 토양화학분석법(농촌진흥청, 1983)에 기준하였다.

보령 담수호 유역의 수질 오염원을 행정구역 및 소유역별로 구분하고, 오염원에 대한 조사 내용으로는 인구, 가축 사육수, 그리고 토지이용 현황 등을 중심으로 조사하였다. 그리고 행정구역별 및 소유역별 오염부하량을 산정하기 위하여 점오염원으로는 인구에 의한 생활오염원과 가축사육에 의해 발생하는 축산오염원을, 비점오염원으로는 유역별 토지이용에 따라 발생하는 오염원을 대상으로 부하량을 산정하였다. 여기서, 유역 내 오염물질의 부하량을 산정하는데 있어 인구, 가축사육, 토지이용 현황에 대한 자료는 1996~2000년도의 보령시와 홍성군의 통계연보를 이용하였으며, 읍·면 단위의 세부자료에 대해서는 각 읍·면 사무소를 현지 방문하여 자료를 보완 하였다.

보령담수호 유역에 대한 소유역별 하천유역의 유출분석과 실측자료와의 비교를 위하여 유출모형으로 TANK 유출모형을 적용하였으며, 유출 및 수질분석은 GWLF 모형을 적용하여 그 특성을 분석하였다.

제5절 기대효과 및 활용방안

1. 기대효과

본 연구의 결과를 통해 담수호내·외의 정보를 연계융합함으로써 유역 오염원관리 및 담수호 수질관리를 모두 갖춘 담수호 종합관리 체계를 확립하고 호소 수질모델링으로 담수호내의 오염물질의 예측을 통한 적정수질기준의 유지 및 관리대책 수립하는데 기여할 수 있을것이라 판단된다. 또 담수호 수질관리체계의 표준화 및 정량화, 정보화시대에 부응하는 유역관리기법 개발, 유역에서의 오염물질 이동경로 파악, 의사결정 및 정책수립의 지원, 농업활동과정 중에서 배출되는 농업비점오염원 부하량 산정으로 환경용량평가 기초자료 제공, 유역의 오염취약지수 분포도 및 농업지대 유역오염원 데이터베이스 구축 등의 다양한 부분에 기술적 지원이 가능한 것으로 판단된다.

경제·산업적 측면으로 볼 때 담수호내·외 수질상황의 경제적 모니터링 기법 제시로 비용을 절감할 수 있고, 자체개발을 통한 담수호 수질문제의 해결능력을 향상시키고 담수호 수

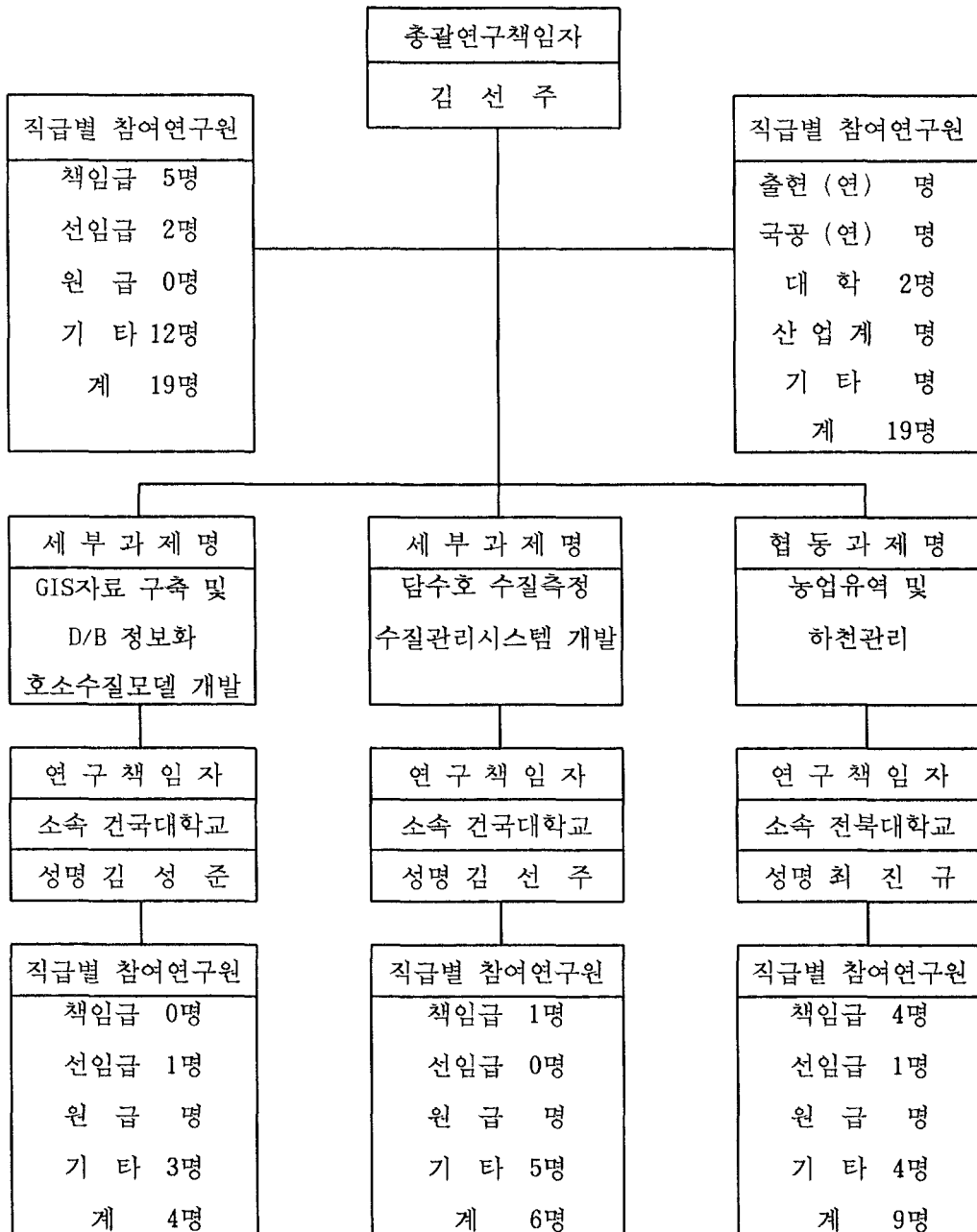
질오염의 원인파악으로 수질오염방지대책을 효과적 계획·실천할 수 있다. 또한 농업용 자재의 과다투입 감소로 인하여 비료, 농약의 자원낭비 방지 및 수질정화시설 설치비 감소 등의 비용절감 효과를 기대할 수 있다.

2. 활용방안

수질관리시스템의 목적은 농촌유역을 대상으로 하는 담수호 수질관리를 위하여 유역의 유출, 오염부하량 모델과 담수호내 수질예측모델의 연계 운영이 가능하도록 하는데 있다. 그리고, 모델들의 자료와 결과를 DataBase로 구축하고, 편리한 사용자 인터페이스를 개발함으로써 모델에 대한 전반적인 지식이 부족하여도 모델을 운영할 수 있으며 결과의 확인이 용이하도록 하는 것이다. 수질관리시스템 구축을 통해 얻어진 결과들은 담수호 수질 모니터링의 설계, 측정기법, 타·담수호의 수질예측 및 관리에 개발한 모델기법, 담수호상류 유역관리시 GIS 구축자료의 다목적 활용이 가능하며 농업비점오염원의 부하량 산정으로 환경용량을 파악하여 행정기관의 담수호 수질관리 대책수립에 활용할 수 있고, 이를 통하여 담수호 수질정보의 대민지원 서비스가 가능할 것으로 생각된다. 또한 농경지에서 농업용수와 토양오염현황 및 오염경감대책 자료, 유역의 오염취약지수 분포도 제시로 유역관리 체계화 자료, 유역 중·장기 수질모형 적용으로 환경기초자료, 그리고 농업환경 기초자료 제공하는 등 오염방지에측을 위한 종합적 자료를 제공한다. 개발된 수질관리시스템은 이상과 같은 전반적인 분야에 걸쳐 폭넓게 사용될 것으로 판단된다.

제6절 연구진의 구성

1. 연구원 편성표



2. 총괄연구책임자

가. 인적사항

| | | | | |
|--------|-----------------------|---|-------|----|
| 성명 | 국문 | 김 선 주 (한문) 金 善 柱 | 직위(급) | 교수 |
| | 영문 | Kim, Sun Joo | | |
| 주소 | 주택 | 서울특별시 송파구 송파2동 166 삼익아파트 216-907 (전화: 02-412-8478) | | |
| | 직장 | 서울특별시 광진구 화양동 1번지 건국대학교 농축산생명과학대학 농공학과 (전화: 02-450-3753) (FAX: 02-444-0223) | | |
| 주민등록번호 | 540818-1025916 (만47세) | | | |

나. 학력

| 연도(부터~까지) | 학 력 | 전 공 | 학 위 |
|-----------|-----------------------------|-------|------|
| 1975~1980 | 건국대학교 농과대학 농공학과 | 농 공 학 | 농학사 |
| 1980~1982 | 건국대학교 대학원 농공학과 | 농업토목 | 농학석사 |
| 1984~1988 | 건국대학교 대학원 농공학과 | 농업수리 | 농학박사 |
| 최종학위논문제목 | 증발산량 실측에 의한 발용수량의 추정에 관한 연구 | | |

다. 경력

| 연도(부터~까지) | 기 관 | 직위(직명) | 비 고 |
|--------------|--------------------|--------------|-----|
| 1982~1983 | 이스라엘 국립농업연구소 | 연구원 | |
| 1989~1990 | 일본 농업공학연구소 | Post Doc. | |
| 1990~1990 | 일본 북륙농업시험장 | 특별연구원 | |
| 1990~2001 현재 | 건국대학교 농공학과 | 조교수, 부교수, 교수 | |
| 1991~2001 현재 | (사)한국농공학회 | 편찬위원, 이사 등 | |
| 1993~2001 현재 | 국제관개배수위원회 | 분과위원 | |
| 1993~2001 현재 | 한국관개배수위원회 | 분과위원장 | |
| 1994~2001 현재 | 농어촌진흥공사, 농업기반공사 | 기술심의위원 | |
| 1998~2000 | 농어촌진흥공사 | 경영고문 | |
| 2000~2001 | 농업기반공사 | 경영자문위원 | |

라. 주요연구업적(최근 5년간)

| 연구 제목 | 주요 내용 | 연구 기간 | 발표지 | 연구당시 소속기관 | 역할 | 연구비 지급기관 |
|--|---|-----------|----------------|-----------|--------|-------------|
| 수리시설물 최적관리 시스템 개발 | 농조관할 농업수리 시설물의 효과적인 관리를 위한 프로그램 개발 | 1996-1997 | 한국 농공학회지 39(2) | 건국대학교 | 연구 책임자 | 농지개량 조합 연합회 |
| 부속처리된 축산분뇨 슬러리 살포지역의 강우에 의한 영양물질 유출에 관한 연구 | 축산분뇨를 살포한 지역으로 부터의 영양물질 유출량을 실측에 의하여 구명 | 1996-1997 | 한국 농공학회지 39(3) | 건국대학교 | 연구 책임자 | 건국대학교 |

| 연구 제목 | 주요 내용 | 연구 기간 | 발표지 | 연구당시 소속기관 | 역할 | 연구비 지급기관 |
|---|--|-----------|-------------------|-----------|-----------|----------|
| 슬러지를 이용한 인공토양 생산 및 농자재화 가능성 연구 | 도시에서 발생하는 상하수 슬러지를 소성가공처리과정을 통하여 생산 | 1996-1997 | 한국 농공학회지 39(5) | 건국대학교 | 연구 책임자 | 학술진흥재단 |
| 소하천 경관정비 모의시스템에 관한 연구 | 소하천 경관정비를 위한 기본 항목들과 경관 모의발생프로그램의 개발 | 1995-1997 | 한국 농공학회지 39(5) | 건국대학교 | 협동 연구 책임자 | 농림부 |
| 오염부하량 및 유하거리가 인공습지에 의한 폐수처리 효율에 미치는 영향 | 인공습지를 조성하여 폐수의 부하량 및 인공습지의 길이 에 따른 처리효율을 분석 | 1996-1997 | 한국농공학회지 39(5) | 건국대학교 | 연구원 | 농림부 |
| 농업용 수리시설의 관리실태 조사연구 | 농업수리시설의 관리 운영 실태를 조사 | 1996-1997 | 건국대 농자원 개발논집 제19집 | 건국대학교 | 연구 책임자 | |
| 저수지구도 및 지역별 용수공급지수(WSI) 조사분석 | 농업용 저수지의 내한능력을 조사하기 위해 용수공급지수를 추정하여 저수지별로 검토 | 1996-1997 | 한국 관개배수 4(2) | 건국대학교 | 연구 책임자 | |
| 수리시설물의 특성조사 연구 | 저수지, 양배수장, 보 등의 각종 수리시설물에 대한 특성을 통계처리 | 1996-1997 | 한국농공학회지 39(6) | 건국대학교 | 연구 책임자 | |
| Constructed Wetland System for Wastewater Treatment in Korean Rural Community | 농촌지역에서 발생하는 하수를 자연정화에 의하여 처리하는 시스템의 개발 | 1995-1997 | 한국농공학회지 영문판 39권 | 건국대학교 | 연구원 | 농림부 |

| 연구 제목 | 주요 내용 | 연구 기간 | 발표지 | 연구당시 소속기관 | 역할 | 연구비 지급기관 |
|---|---|-----------|------------------|-----------|-----------|-------------|
| Resident Participation to Small Streams Conservation in Agricultural Villages | 농촌지역의 수변환경 정비사업에 있어서 지역주민들의 참여에 관한 연구 | 1994-1997 | 한국농공학 회지 영문판 39권 | 건국 대학교 | 연구원 | |
| 도시발생 슬러지를 이용한 환경친화적 인공배지 생산 | 도시발생 슬러지를 2차 오염이 없는 재 활용품으로 생산하여 환경친화형 저공해 인공배지 기술 개발 | 1997-1998 | 한국 농공학회지 40(2) | 건국 대학교 | 연구 책임자 | 학술진흥 재단 |
| 수리시설물 통합관리시스템 실용화 연구 | 농조관할 농업수리 시설물의 효과적인 관리와 수문자료관리를 위한 DB구축 | 1997-1998 | 한국 농공학회지 40(3) | 건국 대학교 | 연구 책임자 | 농지개량 조합 연합회 |
| 관개용저수지 용수공급지수 (IRWSI)의 확률 통계 분석 | 신뢰도가 높은 관개 용수공급지 수(IRWSI)를산정, 한 발대책과 수치정량화 | 1997-1998 | 한국 농공학회지 40(4) | 건국 대학교 | 연구 책임자 | |
| 슬러지를 이용하여 생산한 인공토양의 흡착 및 용출 특성 | 소성처리된 슬러지로 인공토양을 만든 뒤 TCLP와batch실험, 친 자연적 환원연구 | 1997-1998 | 한국 농공학회지 40(4) | 건국 대학교 | 연구원 | |
| 인공토양을 이용한 옥수수와의 생육연구 | 슬러지 인공토양생산 작물재배실험 효과의 구명 인공토양 물 리·화학적 성분분석 | 1997-1999 | 한국 농공학회지 42(5) | 건국 대학교 | 연구 책임자 | 학술진흥 재단 |
| 물관리자동화시스템을 위한 개방형 운용 프로그램 개발 | 개방형제어시스템과 함께 효율적인 운영 이 되도록 하여 사용자의 수리구조물 조 작 결정을 지원 | 1999-2001 | 한국 농공학회지 43(5) | 건국 대학교 | 협동 연구 책임자 | 농림부 |

다. 연구참여현황

1) 타 연구과제내용

| 구분 | 과제명 | 지원기간 | 연구비 (천원) | 연구기간 | 역할 | 참여율 (%) |
|-----|--|------|-------------|-----------------------|-----------------|------------|
| 수행중 | 물관리 생력화 기술의 실용화 -물관리 운용 프로그램 개발 및 생육영향 시험- | 3개년 | 101,000 | 1999.6 - 2002.5 | 협동 연구 책임자 | 25 |

3. 협동·세부·위탁연구책임자

| 구분 | 세부과제명 | 성명 | 소속기관 (부서) | 직위 | 연구 참여 직급 | 전공 및 학위 | | | 참여 율 (%) | |
|----|---|-----|-----------------|-----|----------------|----------|----|----------------------------|------------------|----|
| | | | | | | 학위 | 년도 | 전공 학 교 | | |
| 세부 | - 담수호 수질측정 - 수질관리시스템 개발 | 김선주 | 건국대학교 (농공학과) | 교수 | 책임 | 농학 박사 | 88 | 관 개 배 수 지 역 | 국 대 정 보 | 30 |
| 세부 | - GIS 자료구축 및 D/B 정보화 - 호소수질모델 개발 | 김성준 | 건국대학교 (농공학과) | 조교수 | 선임 | 농학 박사 | 91 | 지 역 정 보 | 서 울 대 | 30 |
| 협동 | - 농업유역 및 하 천관리에 관한 연구 | 최진규 | 전북대학교 (농공학과) | 교수 | 책임 | 농학 박사 | 90 | 농 업 토 목 | 서 울 대 | 40 |

4. 연구원

| 세부과제명 (담당연구내용) | 성명 | 소속기관 및 부서 | 직위 | 연구 참여 직급 | 전공 및 학위 | | | | 참여율 (%) |
|-------------------------|-----|--------------|-----|----------------|---------|------|------|-----|------------|
| | | | | | 학위 | 년도 | 전공 | 학교 | |
| 담수호 정보화 및 수질관리시스템 개발 | 김필식 | 건국대 | 석사 | 보조원 | 공학석사 | 2001 | 농공 | 건국대 | 40 |
| 담수호 정보화 및 수질관리시스템 개발 | 이석호 | 건국대 | 학사 | 보조원 | 농학사 | 1999 | 농공 | 건국대 | 40 |
| 담수호 정보화 및 수질관리시스템 개발 | 허배영 | 건국대 | 학사 | 보조원 | 농학사 | 2000 | 농공 | 건국대 | 40 |
| 담수호 정보화 및 수질관리시스템 개발 | 이창형 | 건국대 | 학사 | 보조원 | 농학사 | 2000 | 농공 | 건국대 | 35 |
| 담수호 정보화 및 수질관리시스템 개발 | 장철희 | 건국대 | 학사 | 보조원 | 농학사 | 2000 | 농공 | 건국대 | 40 |
| 담수호 정보화 및 수질관리시스템 개발 | 이준우 | 건국대 | 학사 | 보조원 | 농학사 | 2000 | 농공 | 건국대 | 40 |
| 담수호 정보화 및 수질관리시스템 개발 | 권형중 | 건국대 | 학사 | 보조원 | 농학사 | 2000 | 농공 | 건국대 | 40 |
| 담수호 정보화 및 수질관리시스템 개발 | 홍성민 | 건국대 | - | 보조원 | - | - | 농공 | 건국대 | 35 |
| 농업유역 및 하천 관리에 관한 연구 | 한강완 | 전북대 농화학과 | 교수 | 책임급 | 농학박사 | 83 | 분석화학 | 경희대 | 10 |
| 농업유역 및 하천 관리에 관한 연구 | 구자용 | 전북대 농공학과 | 교수 | 책임급 | 농학박사 | 80 | 농업수리 | 서울대 | 10 |
| 농업유역 및 하천 관리에 관한 연구 | 손재권 | 전북대 농공학과 | 부교수 | 책임급 | 농학박사 | 93 | 농업토목 | 전북대 | 10 |
| 농업유역 및 하천 관리에 관한 연구 | 조재영 | 전북대 농화학과 | 연구원 | 선임급 | 농학박사 | 99 | 농화학 | 전북대 | 40 |
| 농업유역 및 하천 관리에 관한 연구 | 김지구 | 전북대 농공학과 | - | 보조원 | - | - | 농공 | 전북대 | 41 |
| 농업유역 및 하천 관리에 관한 연구 | 한상륙 | 전북대 농공학과 | - | 보조원 | - | - | 농공 | 전북대 | 41 |
| 농업유역 및 하천 관리에 관한 연구 | 김용선 | 전북대 농화학과 | - | 보조원 | - | - | 농화학 | 전북대 | 41 |
| 농업유역 및 하천 관리에 관한 연구 | 김지성 | 전북대 농화학과 | - | 보조원 | - | - | 농화학 | 전북대 | 41 |

제7절 요약 및 결론

본 연구에서는 간척사업으로 조성된 홍보간척지구를 대상으로 하구담수호의 수질보전 및 관리를 위하여 유역의 GIS자료를 구축하여 D/B정보화를 하였고, 유역에서 발생하는 유량 및 부하량 예측은 SWMM모형으로, 하구담수호의 수질예측은 CE-QUAL-W2와 WASP5모형을 이용하였다. 그리하여 수질의 변화특성을 파악하고 수질관리 방법을 모색함과 동시에 관리자가 편하게 사용할 수 있도록 사용자 편의 시스템을 개발하는 것을 주요 내용으로 한다.

본 연구의 내용을 요약하면 다음과 같다.

1. 담수호 선정을 위하여 협동연구기관과 협의과정을 거쳐 홍보간척지구로 선정하고, 대상 담수호유역에 대한 GIS자료는 ARC/INFO, IDRISI S/W를 이용하여 구축하였으며, ER-Mapper 영상분석S/W와 SPOT Panchromatic 인공위성영상을 구입하여 토지피복도를 작성하였고, 기존의 관련 보고서 및 자료, 대상유역에 대한 현지답사, 현지 기상관측소, 군청 및 면사무소 등을 비롯한 관련기관 등을 방문하여 수문·기상자료 및 인문·통계자료를 수집하였으며, 수집된 자료들을 담수호유역의 수질관리시스템 구축에 적합하게 GIS/DB 정보화하였다.

2. 유역에서의 하천수질 측정결과 담수호 오염의 주원인은 천북면에서 발생하는 축산폐수이고, 이를 전량 처리한다는 것은 처리에 많은 제반여건 등을 고려할 때 어려운 실정이며, 또한 점오염원의 한정적인 처리로는 담수호의 수질을 크게 향상시킬 수도 없다. 따라서 축산폐수 공동시설의 설치도 시급하지만, 기존 축산단지의 개량 및 가축분뇨의 퇴비화로 담수호로 유입되는 총오염물질의 부하량을 원천적으로 제거하여 하천의 수질을 개선시키고 부산물로서 유용한 유기질비료를 생산하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

3. 담수호의 수질측정결과는 호소수질기준에서 농업용수 4단계를 기준으로 했을 때 대부분 수질 기준을 만족하고 있으나 TP, TN, SS등이 호소수질기준을 초과하고 있다.

총인은 0.198mg/L로 기준치 0.1mg/L의 약 1.5배를, 총질소는 2.122mg/L로 기준치

1mg/L의 약 2배를 나타내므로 이로 인해 심한 부영양화가 이루어지고 있음을 알 수 있다. 또한 SS도 37.5mg/L로 기준치인 15mg/L을 초과하고 있다. 이러한 부영양화의 결과로 호수에서 일어나는 생물학적 변화는 유입되는 영양물질의 증가로 인한 조류성장의 촉진처럼 직접적인 영향을 나타내게 되고 침수식물의 경우 부유성 조류와의 빛에 대한 경쟁으로 인해 영양물질의 증가 상태에서도 성장이 억제 될 수 있다. 이로 인해 수생 식물의 사체가 쌓이고 부패됨에 따라 수계의 산소 농도가 낮아져 어패류에 치명적인 영향을 미칠 것으로 판단된다.

아직까지 DO, BOD, COD의 값이 기준치에 합당하여서 TP, TN의 증가→부영양화→조류의 과다성장→DO증가→BOD감소→생태계파괴의 연쇄적인 피해는 없다 할 수 있다. 하지만 이 상태로 호소를 방치할 경우에는 수질도, 수생생물도 큰 피해를 줄 수 있다고 판단된다. 그러므로 이 지역의 주된 오염원을 효과적으로 처리하여 호소로 유출시킬 수 있는 방법이 모색되어야 할 것으로 본다.

4. SWMM모형의 입력자료 중 강우자료는 보령관측소에서 1시간 간격으로 측정된 자료를 사용하였고, 유역경사, 토지피복상태 및 유역형상 등은 GIS자료를 이용하여 Arc/info로 산정하였다. 모델 매개변수의 보정은 1991년도에 담수호의 지류에 위치한 덕정교에서 측정한 수문자료 및 본 연구기간 중 홍수 발생 시에 소릉교 및 신진교에서 측정한 유출량 및 오염부하량 자료를 이용하여 실시하였다.

또한 각 매개변수의 민감도를 분석하여 매개변수 보정 검증의 기초자료로 사용하였다. 분석결과는 저류깊이가 가장 민감한 것으로 나타났으며, 수로조도계수, 투수조도계수, 불투수 조도계수 순으로 나타났다. SWMM모형에서 월 평균 부하량은 강우에 따른 유출량에 비례하는 것으로 나타났다. 이는 농촌지역의 오염 부하량 대부분이 비점원 형태로 강우발생시의 유출에 의한 때문이라고 판단된다. 이러한 계절별 특성은 우리 나라의 강우 특성을 잘 반영하고 있다.

5. 호소내의 수질을 예측하기 위하여 CE-QUAL-W2 모형과 WASP5 모형을 이용하여 수질모의를 실시하였다. CE-QUAL-W2 모형은 길이방향과 수심방향의 2차원 모델이기 때문에 횡방향적 모의는 불가능하다. 보령담수호는 호소 내에 빙도 라는 섬이 있어 CE-QUAL-W2 모델에서는 그 빙도의 모의가 어렵게되어 빙도를 무시하고 모의를 하여 결과치의 오류가 있을 것으로 판단된다. 이에 반하여 WASP5 모형은 빙도에서 두 갈래도 갈라졌다가 다시 합쳐지는 모

의가 가능하다.

또한 CE-QUAL-W2 모형은 수심방향 모의를 주목적으로 한다. 하지만 보령담수호는 수심이 그다지 깊지 않기 때문에 수심별 오염도도 그다지 차이가 나지 않는다. 두 모델의 모의된 값을 보면 WASP5모형이 CE-QUAL-W2모형보다 우리나라의 계절적 수질 변동 특성을 잘 나타내 주는 것으로 판단된다. 따라서 수질관리시스템의 기본 모델을 SWMM과 WASP5모형으로 하였다.

6. 질소와 인을 제어한 모의결과 호소내의 수질변화는 branch 1(본류)의 제어시 가장 크게 나타났으며, 이는 본류가 차지하는 유역면적이 타 지류에 비해 월등히 크고, 또한 유역내에 도심이 형성되어 있기 때문인 것으로 판단된다. 유역면적이 크기때문에 강우 유출량 또한 타 유역의 유출량보다 월등히 많다. 그러므로 기타 지류에서의 오염부하량 제어보다 본류의 오염부하량 제어가 효과적인 것으로 나타났다.

7. T-N, T-P를 수질기준치 이하로 낮추기 위해서는 이론상 본류의 부하농도를 90%이상 제어해야 한다는 결론이 나온다. 현재 건설계획중인 종말처리장의 규모와 운용시간 등을 최대한으로 늘린다 하더라도 이 하수종말처리장만으로는 오염부하량을 제어하기는 매우 어려운 실정이다. 배수갑문의 수문조작관리로는 지류제어만큼의 수질 저하효과는 기대할 수 없지만 지류제어와 배수갑문 조절, 이 두 가지를 병행함으로써 좀 더 효과적인 담수호의 수질관리를 할 수 있을 것으로 기대된다.

8. 수질관리시스템의 목적은 농촌유역을 대상으로 하는 담수호 수질관리를 위하여 유역의 유출, 오염부하량 모델과 담수호내 수질예측모델의 연계 운영이 가능하도록 하는데 있다. 그리고, 모델들의 자료와 결과를 Data Base로 구축하고, 편리한 사용자 인터페이스를 개발함으로써 모델에 대한 전반적인 지식이 부족하여도 무리 없이 시스템을 운영하고 결과의 확인이 용이하도록 하는데 그 목표를 두고 있다. 본 연구에서는 Visual Basic을 이용하여 SWMM과 WASP5 모형의 연계적용을 통하여 종합적인 수질관리방안을 제시하고 수질예측모델을 이용한 사용자 편의 시스템을 구축하여 사용자에게 편의성을 제공하고자 하였다. 수질관리는 유역의 오염원 제어와 배수갑문의 모의 조작이 가능하게 하므로 앞으로 담수호 수질관리 계획을 효율적으로 수립하도록 하였다.

제 2 장

조사 대상지구

제2장 조사 대상지구

제1절 농경지 농업 비점오염부하량 조사

1. 진안 마령 논구획지구

논유역 농업비점 오염부하량 조사를 위한 시험포장으로 전북 진안군 마령면 평지리 수도작을 주로 하는 농경지 1개 필지(100m×50m)를 선정하였다.

2. 조사 내용

본 시험지구에 측정시설로서 우량계, 논웨어 수위계, 증발계, 침투량계 등을 설치하여 강수량, 토양, 수질 등을 측정하고 이를 분석하였다.

제2절 유역 및 담수호 조사

1. 보령담수호 유역

유역 및 하천 관리 조사를 위한 시험유역은 충남 홍성군 및 보령시에 걸쳐있는 보령 담수호 유역을 선정하였다.

본 사업지구는 충남 홍성군 보령시에 위치하며, 동남쪽에 조서산을 중심으로 북동쪽에서 남서방향으로 진당산, 봉황산으로 이어지는 차령산맥이 있으며 서쪽으로는 완만한 구배로 저구릉 평야지대를 이루며 천수만과 서산만에 접하여 있다. 지구내 유역면적이 28,600 ha 로서 배후지 유역의 농경지는 한해상습지이고 유역현황의 제약을 받는다. 다만, 소하천이 운집되어 홍성, 보령담수호 유역을 형성하여 전체유역의 약 77%인 22,000 ha 를 이룬다. 이러한 2개 담수자원을 최대한 활용하고자 본 농업종합계획을 수립하였다.

2. 조사 내용

본 시험지구에 측정시설로서 하천수위계 등을 설치하여 하천수위, 토양, 수질 등을 측정하고 이를 분석하였다.

3. 기본자료 수집

가. 기상자료

- 기상관측소: 홍성(건교부, 금강), 보령(기상청), 서산(기상청)
- 읍면관측자료 : 일강우량(광천읍)
- 현장관측자료 : 농업기반공사 운영(보령시 천북면 하만리)
- 기상항목 : 강수량, 증발량, 안개, 기온, 습도 등

나. 토지이용

- 통계자료 : 시군별, 읍면별 통계연보 등

다. 토양, 지질

- 토양도 : 1/25,000, 침투특성
- 지질도 : 1/25,000

라. 지형

- 등고선도 작성 : 1/25,000

마. 기타자료

- 행정구역
- 행정구역별 교통, 인구, 산업, 면적 등 통계자료

제 3 장

보령담수호 유역조사

제3장 보령담수호 유역조사

제1절 홍보간척지구

1. 홍보지구 농업종합개발사업

본 사업은 충남 보령시 오천면, 천북면, 주포면, 주교면, 청소면과 홍성군 홍성읍, 광천읍, 은하면, 서부면, 결성면, 구항면, 장곡면, 홍동면, 갈산면의 1도 1시 1군 14개 읍·면에 걸쳐있는 개발면적 8,100 ha의 관개개선을 목적으로 충남 서남쪽 천수만과 서산만 입구에 홍성방조제와 보령방조제를 축조하여 용수원을 확보하기 위한 농업기반조성 사업이다.

가. 사업구역 : 1도 1시 1군 14개 읍·면

- 충남 홍성군 : 홍성읍, 광천읍, 서부면, 결성면, 구항면, 장곡면, 은하면, 홍동면, 갈산면(9개 읍·면)
- 충남 보령시 : 오천면, 천북면, 청소면, 주포면, 주교면 (5개면)

나. 사업목적

- 수자원 확보 및 농어촌 소득 증대
- 관개 및 배수개선
- 편리한 영농기반 조성
- 쾌적한 농어촌 생활환경 조성
- 육운 개선

다. 개발면적 : 8,100 ha (홍성군 5,041 ha, 보령시 3,059 ha)

- 배후지 개발 : 6,860 ha
- 간척지 개발 : 420 ha
- 도시개발예정지 및 기타면적 : 820 ha

라. 주요시설

(표 3-1) 외곽시설

| 구 분 | 계 | 홍성 공구 | 보령 공구 |
|---------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 방 조 제 | 3조 2,938 m | 2조 1,856 m | 1조 1,082 m |
| 배수갑문 | 2 개소 | 10×11.8m×4련 | 10×11.8m×5련 |
| 어도(갑문식) | 2 개소 | 5×15m (5톤급) | 5×15m (5톤급) |
| 진입도로 | 4조 14,012 m | 2조 10,212 m | 2조 3,800 m |
| 담 수 호 | 2 개소 | 홍성 담수호 | 보령 담수호 |
| 수자원활용량 | 5,524만 m ³ /년 | 2,019만 m ³ /년 | 3,505만 m ³ /년 |

(표 3-2) 평야부

| 구 분 | 계 | 홍성 공구 | 보령 공구 |
|-------|-------------|------------|-------------|
| 양 수 장 | 6 개소 | 2 개소 | 4 개소 |
| 용 수 로 | 138조 365 km | 36조 109 km | 102조 256 km |
| 경지정리 | 1,060 ha | 350 ha | 710 ha |
| 배수개선 | 28개 725 ha | 10개 212 ha | 18개 513 ha |

(자료) 1) 농어촌진흥공사 홍보사업단(1998) 사업현황, 1998.10.

2) 농어촌진흥공사 홍보사업단(1998) 보령호 관리현황분석, 1998.10.

3) 농어촌진흥공사(1998) 홍보 지구 농업 종합 개발 사업계획서 (변경), 1998.12.

2. 사업추진 경위

- 1977 ~ 1980 : 기본조사 및 기본계획 수립
- 1990. 3. 7 : 외곽시설 실시계획 시행계획 승인
- 1991. 3. 25 : 사업시행계획 고시 (농림수산부 고시 제91-9호)
- 1991. 6. 5 : 외곽시설 실시계획 확정 승인
- 1991. 8. 21 : 사업시행 인가 고시 (농진공 고시 제11호)

- 1991. 10. 28 : 보령공구 외곽공사 착공
- 1991. 11. 1 : 홍성공구 외곽공사 착공
- 1991. 11. 8 : 공유수면매립면허
- 1991. 11. 13 : 공유수면매립면허 고시 (농림수산부 고시 제91-35호)
- 1992. 10. 1 : 홍보사업단 설치
- 1993. 10. : 진입도로 공사 완료
- 1995. 5. 24 : 보령배수갑문 구조물공사 착수
- 1996. 11. 13 : 홍성배수갑문 구조물공사 착수
- 1997. 10. 24 : 보령방조제 끝막이 완료
- 1997. 11. 27 : 보령 1공구 배수개선공사 착공
- 1998. : 홍보지구 평야부 계획(변경) 조사 및 확정승인

3. 주요 사업내용

홍보지구 사업에서의 담수호는 가장 주된 공종이다. 담수호는 관개면적과 홍수시의 침수 피해 등을 고려하여 내용적을 결정하였으며, 담수호, 방조제, 배수갑문 등에 대한 주요 제원은 다음과 같다.

(표 3-3) 담수호 제원

| 시설별 | 구분 | 단위 | 홍성호 | 보령호 | 계 | 비고 |
|------|---------|--------------------|----------|----------|--------|---------|
| 담수호 | 유역면적 | ha | 7,860 | 14,020 | 21,880 | |
| | 관개면적 | " | 2,468 | 4,722 | 7,190 | |
| | 유역배율 | | 2.7 | 2.7 | 2.7 | |
| | 홍수위 | m | (+)3.51 | (+)2.97 | | 200년빈도 |
| | 만수위 | " | (+)1.00 | (+)1.00 | | |
| | 사수위 | " | (-)4.50 | (-)5.00 | | |
| | 총저수량 | ha-m | 944 | 1,933 | 2,877 | |
| | 필요저수량 | ha-m | 834 | 1,551 | 2,385 | |
| | 유효저수량 | " | 927 | 1,730 | 2,657 | |
| | 침전량 | " | 110 | 382 | 492 | |
| | 수자원활용량 | 만m ³ /년 | 2,019 | 3,505 | 5,524 | |
| 방조제 | 연장 | m | 2조 1,856 | 1조 1,082 | | |
| | 평균제고 | " | 12.6 | 12.1 | | |
| | 최대제고 | " | 16.1 | 20.7 | | |
| | 제정표고 | " | (+)8.30 | (+)7.80 | | |
| | 제정폭 | " | 12.0 | 12.0 | | |
| 배수갑문 | 홍수량 | m ³ /s | 920 | 1,805 | | |
| | 규격(B×H) | m | 10×11.8 | 10×11.8 | | |
| | 연수 | 련 | 4 | 5 | | |
| | Sill 표고 | m | (-)4.50 | (-)5.00 | | |
| 기타 | 만수면적 | ha | 313 | 582 | 895 | |
| | 매립면적 | " | 512 | 1,134 | 1,646 | |
| | 담수화기간 | 년 | 7 | 5 | | Minami식 |

4. 지구 개황

가. 위치

본 지구는 우리 나라 중서부 북위 $36^{\circ} 21'$ ~ $36^{\circ} 24'$, 동경 $126^{\circ} 28'$ ~ $126^{\circ} 42'$ 사이에 위치하고 있으며, 표고는 평균해수면상 $\pm 0 \sim 60$ m 의 분포를 보이고 있다. 행정구역상으로는 충남 홍성군과 보령시에 걸쳐 있다.

나. 기상

본 지구는 우리 나라 중서부 해안에 위치하고 있어 기상형태는 Monsoon권내에 속해 있고 춘하추동이 뚜렷하게 구분되는 계절적 특성을 지니고 있으므로 하절기인 6월부터 9월까지의 해양성 고기압의 영향으로 고온 다습하며 동절기에는 대륙성 기압의 영향을 받아 한랭 건조하다. 보령관측소에서 1973~1997년까지 관측된 25개년 동안의 자료를 중심으로 살펴보면 다음과 같다.

1) 년강수량

년강수량은 1988년 최소 725.0 mm에서 1987년 최대치인 1,897.5 mm 까지의 범위이며, 평균강수량은 1,217.8 mm 로서 전국 평균 1,274 mm 보다 약간 적다. 강우분포는 대부분이 고온 다습한 6~9월의 우기에 년강수량의 65%가 집중되어 있다.

2) 기온

기온은 년평균기온이 12.0°C 이고 동절과 하절의 차가 평균 약 23°C 로서 심한 변화를 이루고 있지만 수도생육기인 6~9월의 기온차는 약 5°C 로서 큰 변화가 없으며 이 기간의 평균기온은 약 23°C 이다.

3) 습도

습도는 상대습도가 76.1%를 나타내고 있어 비교적 높은 분포를 보이고 있으며 최저치는 49% 로서 4월에 나타났고, 최고치는 92% 로서 8월에 나타나고 있다.

4) 증발량

증발량은 년평균 1,122.7 mm 로서 년평균 강우량보다 8% 낮은 분포를 보이고 있으며 월 최대증발량은 145.9 mm 로서 5월에 발생하였다.

5) 풍속 및 일조시간

보령관측소에서 측정된 자료의 평균 풍속은 2.0 m/s, 년간 평균일조시간은 2,559.6 시간이다.

다. 해상

해상에 있어서는 천수만내에 위치하여 천수만입구 조차는 약 6.0 m 이나 점차로 만내로 들어오면서 조랑(潮浪)은 발달되어 본 지구 부근에서는 약 6.4 m 에 달한다. 인근 고정조위 관측소인 군산항과 비교하면 조시차는 약 20분이며 조고비는 1.11배이다. 조류속은 천수만 입구부근 최대유속은 평균대조기에 표층에 있어서는 약 2~3 m/s 정도로 강열하나 본 지구 방조제 지점에서는 1.0 m/s 이내의 유속을 나타낸다.

라. 지형과 지세

우리 나라 중서부에 위치한 본 지구는 동남쪽에 조서산을 중심으로 북동쪽에서 남서방향으로 진당산, 봉황산으로 이어지는 차령산맥이 있으며 남쪽으로 완만한 구배로 저구릉 평야 지대를 이루며, 천수만과 접하여 지구 서쪽으로 저구릉 지대를 형성하고 평야지대는 하해혼성 평탄지 및 곡간충적지로 0~15% 정도의 경사를 이루고 있다. 배후지 유역현황이 극히 협소하여 총 유역면적 28,600 ha 중 2개 담수호유역이 77%인 22,000 ha 를 차지하고 있는 정도로 관개시설이 미비한 상태이다.

마. 토질 및 지질

본 지구의 토질은 대체로 적갈색의 점질토로 이루어져 있으며, 보령방조제의 간석지 구간의 기초지반은 0~20 m 깊이에 실트와 소량의 모래가 섞여있는 해상퇴적토이다.

보령호 지역의 지질은 시대미상의 백운모-장석편암, 견운모-흑운모, 장석편암, 안구상 편마암, 장석-흑운모, 호상 편마암등으로 구성되어 있고 이들을 제4기(ouaterhary)의 충적층이 부정합으로 피복되어있다. 해안에서는 시추조사에서 확인된 암심(Core)에 의하면 거의 대부분이 백운모-장석편암으로 세립질이며 잘 발달된 엽리(foliation)를 보여주고 있다.

바. 토양

농업기반공사의 조사 분석자료에 의하면 토양의 특성으로는 36개 토양층으로 분류되며 대부분 하해혼성평탄지, 하성평탄지, 곡간지, 구상지 및 홍적대지, 구릉지로 분포되어 있다. 그리고 본 지구의 가중평균 침투량은 3.9 mm/day 이다.

사. 행정구역

본 지구는 행정구역상으로는 충남 홍성군 홍성읍, 광천읍, 서부면, 결성면, 구항면, 장곡면, 은하면, 홍동면, 갈산면과 보령시 오천면, 천북면, 청소면, 주포면, 주교면의 1도 1시 1군 14개 읍·면에 속하여 있다.

아. 인구 및 노동력

1996년 현재 홍보지구내(홍성군, 보령시 14개 읍면) 총인구는 115,408명이며, 그중 남자 57,973명, 여자 57,435명으로 구성되어 있다. 농가호수는 14,280호이며, 농가인구는 48,432명(남자 24,364명, 여자 24,068명)으로 총 인구의 42%이다.

자. 교통

철도는 천안-광천-장항을 연결하는 장항선이 본 지구를 남북으로 관통하고, 육로교통은 서울~천안까지는 경부고속도로와 연결되며 천안부터는 홍성-광천-대천-장항을 연결하는 21번 국도가 2차선 포장도로이나 현재 4차선으로 확장공사 중이며, 홍보지구 중앙으로 계획된 서해안 고속도로가 2001년 9월 말에 완공되었다.

5. 농업 현황

가. 개황

본 사업지구는 우리 나라의 중서부에 위치하고 있으며 충청남도청 소재지인 대전에서 서쪽으로 70 km 떨어진 곳에서 위치하고 있고 서울까지의 직선거리는 약 130km 내외에 있다. 행정구역은 1도 1시 1군 14개 읍면으로 홍성군과 보령시의 일부가 포함되어 있다. 또한 본 사업지구는 답울과 경지울 및 작물도에 따른 지대구분은 중간지대로서 기후 및 풍토가 영농에 적합하여 답에서는 주로 미맥을 재배하고 있고 전에는 맥류, 두류, 서류, 고추, 마늘 및

연초 등을 재배하고 있으며 특히 연초 및 맥류후작으로 무우, 배추 등을 많이 재배하고 있다.

나. 농가호수 및 인구

본 사업지구에는 약 34,342호가 거주하고 있으며 이중 농가는 14,280호, 비농가는 20,062호로 농가가 전체가구의 42%를 차지하고 있다. 특히 본 사업지구에 있어 비농가가 비교적 많은 이유는 사업지구내 상업중심의 광천읍이 있으며 해안지역의 어업가구가 포함되어 있기 때문이다. 또한 총인구는 115,408명이 살고 있고 그 중에 농가인구는 48,432명, 비농가는 66,976명으로 호당 3.36인이다.

(표 3-4) 사업지구의 농가호수 및 인구(1996)

| 구 분 | 농가호수 (%) | | | 총인구(명) (호당평균) | | |
|-----|----------------|---------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|
| | 홍성군 | 보령시 | 소 계 | 홍성군 | 보령시 | 소 계 |
| 농가 | 9,875 (38) | 4,405 (52) | 14,280 (42) | 33,492 | 14,940 | 48,432 |
| 비농가 | 15,915 (62) | 4,147 (48) | 20,062 (58) | 54,113 | 12,863 | 66,976 |
| 계 | 25,790 (75) | 8,552 (25) | 34,342 (100) | 87,605 (3.40) | 27,803 (3.25) | 115,408 (3.36) |

다. 농경지

본 사업지구내 농가가 소유하고 있는 농경지면적은 전답을 합하여 19,756 ha 이며, 농가 호당 평균경지면적은 1.38 ha(답 0.86 ha, 전 0.52 ha)로 1996년말 현재 전국농가 호당평균 1.31 ha에 비하여 약간 높은 편이다.

(표 3-5) 경지규모별 농가호수 및 면적(1996)

(단위 : ha)

| 구 분 | 농경지 | | | 임야 | 기타 | 합계 |
|------|------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| | 답 | 전 | 소계 | | | |
| 홍성군 | | | | | | 36,484 |
| 보령시 | | | | | | 19,240 |
| 계(%) | 12,314 (22.1) | 7,442 (13.4) | 19,756 (35.5) | 28,534 (51.2) | 7,434 (13.3) | 55,724 (100) |

(표 3-6) 경지규모별 농가호수 및 면적(1999)

(단위 : ha)

| 구 분 | 농경지 | | | 임야 | 기타 | 합계 |
|------|------------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|
| | 답 | 전 | 소계 | | | |
| 홍성군 | 8,258 | 5,079 | 13,337 | 17,614 | 5,525 | 36,476 |
| 보령시 | 3,860 | 2,193 | 6,053 | 10,811 | 2,378 | 19,242 |
| 계(%) | 12,118 (21.7) | 7,272 (13.1) | 19,390 (34.8) | 28,425 (51.0) | 7,903 (14.2) | 55,718 (100) |

라. 가축사육 현황

본 사업지구 농가에서 사육되고 있는 가축으로는 한우, 젓소, 돼지 등이 있다. 가축사육 상황을 보면 1996년말 현재 한우 35,930두, 젓소 7,718두, 돼지 222,173두 등을 사육하고 있다.

(표 3-7) 가축 사육 두수(1996)

(단위 : 두)

| 행정 구역 | | | 한우 | 젓소 | 돼지 | 소계 |
|---------|----|-----|--------|-------|---------|---------|
| 시군 | 읍면 | 리 | | | | |
| 홍성군 | 9 | 68 | 22,872 | 3,600 | 130,387 | 156,859 |
| 보령시 | 5 | 73 | 13,058 | 4,118 | 91,786 | 108,962 |
| 계 | 14 | 141 | 35,930 | 7,718 | 222,173 | 265,821 |
| 호당 사육두수 | | | 6.2 | 24.0 | 170.0 | |

마. 농기계 보유현황

본 사업지구내 농가가 보유하고 있는 농기계를 보면 1996년말 현재 동력경운기 10,643대, 이앙기 3,378대, 바인더 1,416대, 트랙터 1,060대, 콤바인 756대, 동력방제기 7,959대, 탈곡기 1,137대, 양수기 3,689대 등으로 전체 30,038대이다.

바. 염전 및 양식업

본 사업지구내에 위치한 염전은 보령시 관내에 7개소, 면적 45.8 ha, 홍성군에 4개소, 면적 60.8 ha 로 전체 11개소에 106.6 ha 이다.

제2절 주요 관련사업 및 환경관리계획

1. 주요 관련사업

가. 서해안 고속도로 사업

본 지구내 중앙부를 북쪽에서 남쪽방향으로 서해안 고속도로가 계획되어 공사중이던 안산~군산구간중 마지막으로 당진~서천구간이 2001년 9월 말에 준공되었다.

나. 관창지방 공업단지 사업

홍보지구 개발구역인 보령시 주교면과 주포면 일대에 위치한 관창지방공업단지는 총 조성면적이 74만평(244 ha)으로서 주교면 관창리의 관창지구(50만평)와 주포면 관산리의 관산지구(24만평)로 되어 있으며, 관산지구와 접하여 주포농공단지가 조성되어 있다.

다. 보령댐 용수공급 계획

당초 보령담수호에서 공급하기로 계획되어 있던 오천항 주변의 생활용수와 공업용수 8,100톤/일은 보령댐에서 보령~서산간 광역상수도를 통해 공급될 계획으로 관로공사가 시공중에 있다.

마. 광천읍 하수종말 처리장 사업

본 지구 상류부인 홍성군 광천읍 상정리에 설치 계획중인 광천읍하수종말처리장은 부지면

적 6ha에 시설용량 13천톤/일 처리규모로 사업기간이 2001년부터 2003년까지로 되어 있으나, 홍성군에서 예산(지방비) 부족으로 조기 설치에 어려움이 있어 담수호 수질에 영향이 있을 것으로 판단된다.

바. 홍성군 축산물 종합 처리장 설치사업

홍보지구 개발구역 내인 홍성군 광천읍 상정리에 군에서 축산물 종합처리장 설치사업이 추진중이다.

사. 기타

- 홍성개발 촉진지구 개발계획
- 광천, 판교, 오천항과의 관계
- 조력발전 사업

2. 환경영향평가

홍보지구 농업종합개발사업은 홍성군 서부면, 보령시 천북면 및 오천면 일대에 발달한 간석지와 배후지 8,100 ha 를 효율적으로 개발하기 위해 홍성 방조제 2조 1,856 m 와 보령방조제 1조 1,082 m 를 막아 수자원을 확보하고 농경지 확대에 의한 식량증산, 농가소득증대 등 농업기반조성사업을 포함하는 지역종합개발사업이다. 방조제 외곽공사는 91년 10월에 착공하여 97년 10월에 보령 방조제의 최종 물막이가 완료되었다.

농업기반공사는 간척사업 시행으로 인해 발생할 수 있는 환경영향을 최소화하기 위하여 1991년 10월에 환경부의 환경영향평가협의회를 완료하였으며, 착공이후 매년 사후환경영향 조사를 실시해 오고 있다. 조사내용은 자연환경인 기상, 지형, 지질, 동·식물상, 해양환경과 생활환경에 속하는 대기질, 수질, 폐기물, 소음 등으로써 현장조사, 실내분석 및 평가를 실시하여 공사로 인한 영향을 최소화할 수 있도록 문제점을 파악하고 대책을 제시하는데 역점을 두었다.

사후환경영향조사는 사업시행으로 인한 지역기상의 변화 파악과 진입도로 및 토석채취장 개발로 인한 지형지질의 변화, 지구내 어류, 조류, 식물 등 생태계의 변화와 그 영향에 대하여 검토하고 저감대책을 수립하였다. 또한 공사시행으로 발생할 수 있는 대기질 영향, 담

수호로 유입되는 유역내 수질오염원 자료의 수집, 담수호 및 유입하천의 수질현황 파악과 그 처리대책의 강구 등 사업장 인근 주민의 생활환경 보호와 담수호의 수질보전을 위하여 노력해왔다. 이와 같이 사후환경영향조사를 통하여 환경변화에 신속하게 대처하고 저감대책을 수립 시행함으로써 본 사업 시행으로 인한 환경영향을 최소화 할 수 있도록 유도하고 있다.

제3절 보령담수호 유역의 특성

1. 유역 특성

홍보지구는 보령호와 홍성호 유역으로 구분되며, 이들 유역의 동남쪽은 차령산맥이 위치하고, 서쪽은 천수만과 접한다. (표 3-8)은 이들 유역의 특성을 지상인자로 나타내었다. 유역별로 살펴보면 보령호의 유역면적은 약 140.20 km² 이며, 주 하천의 유로장은 약 25.3 km 에 달한다. 홍성호의 경우 유역면적은 약 78.60 km² 이며, 주 하천의 유로장은 약 18.5 km 이다.

(표 3-8) 유역 지상인자 (농어촌진흥공사, 1998)

| 구 분 | 단위 | 보령호 | 홍성호 | 비 고 |
|--------|--------------------|----------|----------|----------------------|
| 유역면적 | km ² | 140.20 | 78.60 | |
| 남북길이 | km | 15.0 | 9.0 | |
| 동서길이 | | 15.0 | 12.0 | |
| 유역평균폭 | | 5.54 | 4.25 | B = A/L |
| 유역형상계수 | - | 0.219 | 0.229 | F = A/L ² |
| 유역평균고도 | m | 76 | 40 | |
| 기복량비 | - | 3.853×10 | 3.879×10 | △ = H/L |
| 유역평균경사 | - | 1/298 | 1/463 | 하천구간장 경사자중법 |
| 유로장 | km | 25.3 | 18.5 | |
| 하천밀도 | km/km ² | 0.332 | 0.485 | |
| 하천평균경사 | - | 1/298 | 1/463 | |
| 하천평균폭 | m | 61 | 44 | |
| 유달시간 | hr | 3.7 | 2.6 | |
| 유역주장 | km | 62 | 42 | |

유역의 형상은 보령호 유역이 장방형인데 비해 홍성호 유역은 수도형이다. (표 3-8)에서 보는 바와 같이 보령호 유역은 주 하천의 유로장이 25.3 km 에 유역 평균폭이 5.54 km 이며, 홍성호 유역은 주 하천장이 18.5 km 에 유역 평균폭이 4.25 km 이다.

유역의 고도는 보령호 유역이 평균 76.0 m, 홍성호 유역이 40.0 m 로서 보령호측이 높다. 홍성호측 유역은 북동측의 해발 320.7 m 의 지기산정을 분수령으로 하여 서남측으로 갈수록 낮아지며, 보령호측 유역도 북동측의 해발 790.7 m 의 조루산정을 분수령으로 하여 역시 서남측으로 갈수록 낮아진다.

유역경사는 보령호측 유역경사가 1/298이고, 홍성호측이 1/463으로 보령호측이 홍성호측보다 급한 편이다. 유역내 하천 조직망은 양측 유역이 모두 수지상(Dendritic branching system)의 형상이고, 유역면적당 약 0.332~0.485 km의 하천이 발달되어 있다. 하천 경사는 양측 유역이 모두 상류는 급경사이고, 하류는 완경사로서, 상하류가 뚜렷이 구별된다. 홍성호측의 경우 상류부는 1/7의 경사이며 하류부는 1/623의 완경사이다. 보령호측은 상·하류부가 각각 1/6, 1/535의 경사를 이루고 있다.

하천의 상태도 양측이 모두 상류부에서 잘 정비되어 양호한 상태를 유지하나 하류부는 부분적으로 간척경지를 보호하기 위해 제방이 축조되어 있을 뿐 대부분이 자연 그대로 형성되어 조석의 영향을 받고 있으며, 그 상태는 보통 정도이다. 하천단면은 양측이 모두 상류부는 수로와 제방으로 구성되어 있으며, 하류부도 수로와 제방으로 구성되는데 수로부는 다시 저수로와 고수로로 구성된다. 고수로는 상류로부터 흘러온 유사가 조석의 영향을 받아 퇴적된 부분이다. 하천의 폭은 보령호측의 경우 상류부 구간은 50~100 m 이고 하류부는 100~1,000 m 에 이른다. 홍성호측의 경우도 상류부에서는 40~100 m 이며, 하류부는 10~800 m 에 이른다.

또한 유역내 토지이용 분포는 양측이 모두 산지와 경지가 대부분이며, 기타 저수지와 수로, 대지, 도로 등으로 구성되어 있다. (표 3-9)는 방조제 지점을 기준으로 양측 유역의 토지이용 현황을 보여 주고 있다. 보령호측의 경우 전체 유역면적 14,020 ha 중 산지 비율이 46.2 % 이며, 경지가 38.0 %, 기타 15.8 % 이다. 경지중에는 약 62 % 가 답작이고 약 38 % 는 전작으로 이용되고 있다. 홍성호측의 경우는 전체 유역면적 7,860 ha 중 47.1 % 가 산지이고, 경지가 40.6 %로 기타 12.3 %로 이용되고 있다. 경지 중에는 답작이 55.0 %이며, 45.0 %는 전작으로 이용되고 있다.

(표 3-9) 토지이용현황

(단위 : ha)

| 유역 | 지점별 | 논 | 밭 | 산지 | 대지, 도로 | 호, 수로 | 계 |
|-----|------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|
| 보령호 | 광천교 | (25.1) 892 | (17.1) 608 | (47.5) 1,687 | (8.2) 290 | (2.1) 75 | (100) 3,552 |
| | 덕정교 | (23.2) 511 | (18.2) 400 | (51.4) 1,130 | (3.1) 68 | (4.1) 91 | (100) 2,220 |
| | 배수갑문 | (23.4) 3,289 | (14.6) 2,044 | (46.2) 6,479 | (7.6) 1,064 | (8.2) 1,144 | (100) 14,020 |
| 홍성호 | 내남교 | (25.1) 408 | (24.3) 395 | (44.5) 723 | (5.0) 82 | (1.1) 18 | (100) 1,626 |
| | 배수갑문 | (22.3) 1,752 | (18.3) 1,436 | (47.1) 3,708 | (5.6) 441 | (6.7) 523 | (100) 7,860 |

(주) ()는 %

한편 지구내 유역의 토양조사는 유역내의 유출율, 침투능, 배수상태 등에 대한 영향을 분석함으로써 작물의 선정, 용수량의 산정, 유역내의 유출량 산정 등에 필요한 기본 자료를 얻기위해 실시한다. 유역조사결과 대부분의 단지는 일부산악지역 및 간사지 유역의 염분함유 토양을 제외하고는 얇은사질의 사양토, 점질양토로 구성되어 있어 중간정도의 침투율 및 유출율을 나타낼 것으로 추정된다.

유역내 산림 상태는 양측 모두 침엽수가 대부분이며, 식생은 보통인 편이다. 또한 토양은 적갈색의 점질토와 마사질토이며 토심이 얇다. 경지의 대부분은 곡간층적지대에 조성되었고, 일부가 간척지에 조성된 경지이다. 호 및 수로는 앞으로 조성될 담수호 면적이 대부분 차지한다. 양측 유역내에는 큰 저수지는 없고, 소규모의 소류지가 있다. 보령호측 유역내에는 유역면적 1,064 ha 의 장곡지를 비롯하여 13개의 소류지가 있고, 홍성호측 유역의 경우는 2개의 소류지가 있다.

2. 유역내 행정구역

보령유역내 행정구역 현황 및 행정구역별 면적은 (표 3-10)과 같다.

(표 3-10) 보령지구내 행정구역별 일반 현황

| 시군 | 읍면 | 리동 (유역내) | 부락명 | | |
|-----|-----|---------------|-----------------------------------|------------|--|
| | | | 유역내 | 유역외 | |
| 홍성군 | 광천읍 | 신진리 | 신진1, 신진2, 용두, 장현, 송우, 다진, 신촌 | | |
| | | 광천리 | 신랑1동, 신랑2동, 원동, 신동, 신대, 원촌, 삼봉 | | |
| | | 답산리 | 상담, 중담, 하담 | | |
| | | 가정리 | 가정, 시곡 | | |
| | | 내죽리 | 내죽, 죽전 | | |
| | | 운용리 | 운용 | | |
| | | 대평리 | 대평 | | |
| | | 월림리 | 월곡, 공수, 죽림, 빙질 | | |
| | | 소암리 | 소용, 소암 | | |
| | | 매현리 | 매현, 하리 | | |
| | | 벽계리 | 선암, 벽계, 둔전, 백동 | | |
| | | 상정리 | 덕정, 상정 | | |
| | | 옹암리 | 양촌, 상옹, 하옹, 석포, 노동 | | |
| | | 구항면 | 지정리 | 지석, 묵동 | |
| | | | 대정리 | 대정 | |
| | | | 신곡리 | 신곡, 척괴 | |
| | | | 청광리 | 청광, 소반 | |
| | | | 마은리 | 마은, 은요 | |
| | | 은하면 | 장척리 | 장척, 중리, 포항 | |
| | 홍동면 | 원천리 | 중원(제외) | 세천, 중원 | |
| 장곡면 | 화계리 | 화계1, 화계2 | | | |
| | 광성리 | 광성1, 광성2, 광성3 | | | |
| | 오성리 | 오성 | | | |
| | 죽전리 | 죽전 | | | |
| | 가송리 | 가송1, 가송2 | | | |

(표 3-10) 보령지구내 행정구역별 일반 현황(계속)

| 시군 | 읍면 | 리동 (구역내) | 부락명 | |
|-----|-----|-------------|---------------------------------------|------------------|
| | | | 구역내 | 구역외 |
| 보령시 | 천북면 | 하만리 | 하만3 | 하만1, 하만2, 하만4 |
| | | 낙동리 | 낙동1, 낙동2, 낙동3, 낙동4(빙도) | 낙동5 |
| | | 신덕리 | 신덕1, 신덕2, 신덕3 | |
| | | 신죽리 | 신죽1, 신죽2, 신죽3 | |
| | 오천면 | 소성리 | 소성2 | 소성1 |
| | | 교성리 | 교성2, 교성3 | 교성1 |
| | 청소면 | 진죽리 | 진죽1(평촌), 진죽2(죽하), 진죽3(송덕), 진죽4(사동) | |
| | | 신송리 | 신송1(원안), 신송2(고잠), 신송3(송동) | |
| | | 재정리 | 재정1(농동), 재정2(풍정) | |
| | | 죽림리 | 죽림1(원죽), 죽림2(석포), 죽림3(의식), 죽림4(마동) | |
| | | 성연리 | 성연1(청연), 성연2(음지) | |
| | | 정전리 | 정전1(평전), 정전2(논향) | |
| | | 야현리 | 야현1(평야), 야현2(통남) | |
| | | 장곡리 | 장곡1(장좌), 장곡2(신동) | |

(표 3-11) 보령지구 유역내 행정구역 현황

| 시군 | 읍면 | 리동 (유역 내) | 리동 (유역외) |
|-----|-----|---|---|
| 홍성군 | 광천읍 | 신진리, 광천리, 담산리, 가정리, 내죽리, 운용리, 대평리, 월림리, 소암리, 매현리, 벽계리, 상정리, 웅암리 | |
| | 구항면 | 지정리, 대정리, 신곡리, 청광리, 마온리 | 황곡리, 오봉리, 공리, 남산리, 장양리, 태봉리, 내현리 |
| | 은하면 | 장척리 | 대천리, 유송리, 장곡리, 대율리, 금곡리, 학산리, 목현리, 대판리, 덕실리, 화봉리 |
| | 홍동면 | 원천리 일부(제외) | 팔괘리, 신기리, 구정리, 금당리, 월현리, 음월리, 호학리, 금평리, 대영리, 홍원리, 문당리, 수란리, 화신리 |
| | 장곡면 | 화계리, 광성리, 오성리, 죽전리, 가송리 | 도산리, 신흥리, 신동리, 지정리, 상송리, 월계리, 행정리, 천태리, 산성리, 옥계리, 대현리 |
| 보령시 | 천북면 | 하만리, 낙동리, 신덕리, 신죽리 | 학성리, 사호리, 장은리, 궁포리 |
| | 오천면 | 소성리, 교성리 | 영보리, 갈현리, 오포리, 효자도리, 원산도리, 삽시도리, 늑도리, 외연도리 |
| | 청소면 | 진죽리, 신송리, 재정리, 죽림리, 성연리, 정전리, 야현리, 장곡리 | |

(참고) 유역내외로 걸쳐있는 행정구역도 있음. (운용리, 하만리 등)

(표 3-12) 보령호 유역내 행정구역별 면적 현황 (1:25,000 지형도 이용)

| 시·군 | 읍·면 | 면적 (ha) | | | | 비 고 |
|-----|-----|---------|----------|-------|----------|--|
| | | 담수호 | 토지 | 저수지 | 계 | |
| 홍성군 | 광천읍 | 1.3 | 3,511.7 | 1.5 | 3,514.5 | 공수곡제, 서당골제 |
| | 구항면 | - | 1,536.6 | 7.4 | 1,544.0 | 마온제, 신곡제 |
| | 은하면 | 21.2 | 384.4 | 7.1 | 412.7 | 장신제 |
| | 홍동면 | - | 20.9 | - | 20.9 | |
| | 장곡면 | - | 1,509.1 | 22.0 | 1,531.1 | 광천제 |
| | 소 계 | 22.5 | 6,962.7 | 37.9 | 7,023.2 | |
| 보령시 | 천북면 | 780.1 | 1,400.5 | 4.4 | 2,185.0 | 동음제, 동음3제 |
| | 오천면 | 154.9 | 505.9 | 10.5 | 671.3 | 신촌제, 참샘제 |
| | 청소면 | 202.4 | 3,741.0 | 102.4 | 4,045.8 | 죽림제, 성연제, 진죽제, 웅교제, 원죽제, 성당제, 야현제, 신송제 |
| | 소 계 | 1,137.5 | 5,647.3 | 117.4 | 6,902.2 | |
| 계 | | 1,160.0 | 12,610.1 | 155.3 | 13,925.4 | |

(주) 1) 농어촌진흥공사(1998) 홍보지구계획서상의 유역면적은 A = 14,020 ha

2) 1:50,000 지도에서 측정한 유역면적은 $A = 138,527,570 \text{ m}^2 = 13,853 \text{ ha}$

(표 3-13) 보령지구 행정구역별 토지이용(편입을 적용전)

| 시군 | 읍면 | 소 계 | 토지이용 (ha) | | | |
|-----|-----|----------|-----------|---------|----------|---------|
| | | | 전 | 답 | 임야 | 기타 |
| 홍성군 | 광천읍 | 3,515.2 | 619.2 | 784.0 | 1,567.2 | 544.8 |
| | 구항면 | 3,680.7 | 515.4 | 696.1 | 2,104.5 | 364.7 |
| | 은하면 | 3,089.9 | 575.8 | 674.2 | 1,493.1 | 346.8 |
| | 홍동면 | 3,803.9 | 728.0 | 932.2 | 1,717.3 | 426.4 |
| | 장곡면 | 5,489.6 | 585.5 | 1,080.2 | 3,237.5 | 586.4 |
| | 소 계 | 19,579.3 | 3,023.9 | 4,166.7 | 10,119.6 | 2,269.1 |
| 보령시 | 천북면 | 5,512 | 698 | 1,103 | 3,096 | 615 |
| | 오천면 | 5,021 | 478 | 599 | 3,323 | 621 |
| | 청소면 | 3,852 | 376 | 817 | 2,151 | 508 |
| | 주포면 | 1,335 | 224 | 337 | 604 | 170 |
| | 소 계 | 15,720 | 1,776 | 2,856 | 9,174 | 1,914 |
| 합 계 | | 35,299.3 | 4,799.9 | 7,022.7 | 19,293.6 | 4,183.1 |

(주) 1) 홍성군(1996) 홍성통계연보, 1996. 12.

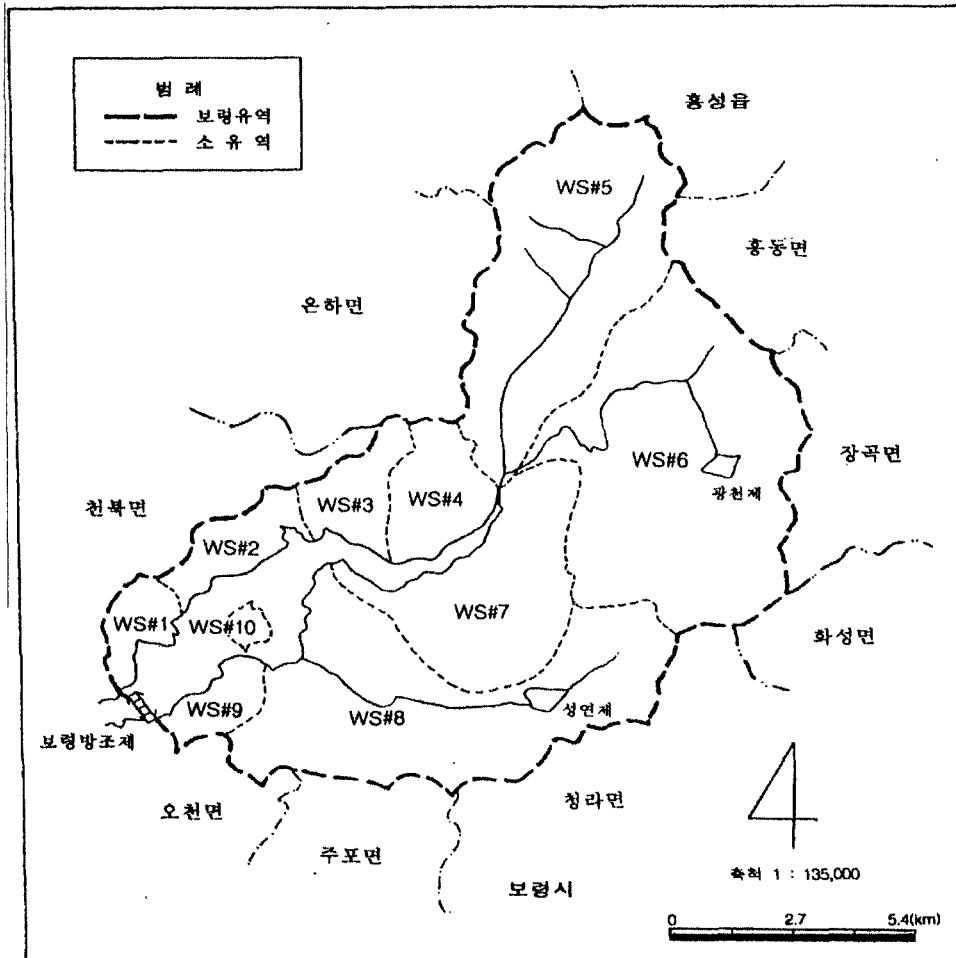
2) 보령시(1997) 보령시 행정지도, 1998. 9.

(표 3-14) 보령 담수호 유역내 행정구역 편입을 산정

| 시군 | 읍면 | 행정구역 면적(ha) | 편입율 | 편입면적 (ha) | 비 고 (담수호) |
|-----|-----|----------------|--------|--------------|--------------|
| 홍성군 | 광천읍 | 3,515.2 | 0.9994 | 3,513.2 | 1.3 |
| | 구항면 | 3,680.7 | 0.4195 | 1,544.0 | - |
| | 은하면 | 3,089.9 | 0.1267 | 391.5 | 21.2 |
| | 홍동면 | 3,803.9 | 0.0055 | 20.9 | - |
| | 장곡면 | 5,489.6 | 0.2789 | 1,531.1 | - |
| | 소 계 | 19,579.3 | | 7,000.7 | 22.5 |
| 보령시 | 천북면 | 5,512.0 | 0.2549 | 1404.9 | 780.1 |
| | 오천면 | 5,021.0 | 0.1028 | 516.4 | 154.9 |
| | 청소면 | 3,852.0 | 0.9978 | 3843.4 | 202.4 |
| | 소 계 | 14,385.0 | | 5764.7 | 1137.5 |
| 합 계 | | 33,964.3 | | 12,765.4 | 1160.0 |

3. 보령유역의 소유역 분할

보령담수호 유역내 하천의 유출 및 수질분석을 위하여 전체 담수호 유역을 지형적인 조건을 고려하여 <그림 3-1>과 같이 9개의 소유역으로 분할하였다.



<그림 3-1> 보령지구 소유역 구분

4. 유역의 지형적 특성

보령담수호 유역의 물리적 특성을 1:25,000 지형도에서 계산한 지상인자로 나타내면 (표 3-15)과 같다.

5. 구역의 토지이용 현황

1:25,000의 지형도를 이용하여 산정한 보령담수호 구역의 소유역별 토지이용 현황은 (표 3-16)과 같다.

(표 3-15) 보령담수호 구역의 물리적 특성

| 소유역 | 지점별 | 구역 면적 A(ha) | 하천 연장 L(km) | 최고점 (m) | 최저점 (m) | 기복 량비 (m/km) | 형상 계수 $F=A/L^2$ | 하천 경사 (m/km) | 비고 |
|------|-------|-------------------|-------------------|------------|------------|--------------------|-----------------------|--------------------|------|
| WS#1 | 두만제방 | 238.0 | 1.75 | 70.0 | 10.0 | 34.29 | 0.7770 | | |
| | (소계) | 284.4 | 1.75 | 70.0 | 10.0 | 34.29 | - | - | |
| WS#2 | 화동제방 | 89.2 | 1.25 | 78.1 | 10.0 | 54.48 | 0.5709 | | |
| | 송헌제방 | 153.2 | 1.75 | 50.0 | 10.0 | 22.86 | 0.5004 | | |
| | 낙동제방 | 78.3 | 1.0 | 50.0 | 10.0 | 40.00 | 0.7832 | | |
| | (소계) | 414.3 | 1.95 | 60.0 | 10.0 | 25.64 | - | - | |
| WS#3 | 신덕교 | 130.3 | 2.0 | 110.0 | 20.0 | 45.00 | 0.3257 | | |
| | 신덕제방 | 325.1 | 4.0 | 110.0 | 10.0 | 25.00 | 0.2032 | | |
| | (소계) | 455.2 | 4.0 | 110.0 | 10.0 | 25.00 | - | - | |
| WS#4 | 장척교 | 114.2 | 1.5 | 130.0 | 10.0 | 80.00 | 0.5077 | | |
| | 장신제 | 228.8 | 2.5 | 130.0 | 8.0 | 48.80 | 0.3661 | | |
| | 신현들제방 | 562.9 | 4.75 | 130.0 | 8.0 | 3.42 | 0.2495 | | |
| | (소계) | 623.4 | 4.5 | 130.0 | 5.0 | 27.78 | - | - | |
| WS#5 | 청광교 | 551.7 | 3.75 | 260 | 35.0 | 60.00 | 0.3923 | | |
| | 지정교 | 942.5 | 5.25 | 260 | 25.0 | 44.76 | 0.3419 | | |
| | 신곡교 | 1,344.9 | 6.25 | 260 | 15.0 | 39.2 | 0.3442 | | |
| | 신진교 | 1,978.5 | 8.2 | 260 | 10.0 | 30.49 | 0.2942 | | |
| | 상정교 | 2,487.3 | 10.45 | 260 | 8.0 | 24.11 | 0.2277 | | |
| | (소계) | 2,658.9 | 11.70 | 260 | 5.0 | 2.18 | - | - | 포항교5 |
| WS#6 | 광천제 | 1073.6 | 4.625 | 770 | 40.0 | 157.84 | 0.5019 | | |
| | 소암교 | 2454.4 | 8.625 | 770 | 20.0 | 86.96 | 0.3299 | | |
| | 가시곡교 | 519.6 | 4.4 | 770 | 15.0 | 171.6 | 0.2684 | | |
| | 소룡교 | 3257.0 | 10.125 | 770 | 14.0 | 74.67 | 0.3177 | | |
| | 용암교 | 3586.7 | 11.925 | 770 | 10.0 | 63.73 | 0.2522 | | |
| | (소계) | 3699.6 | 12.30 | 770 | 9.0 | 61.87 | 0.2445 | - | 포항교6 |

(표 3-15) 보령담수호 유역의 물리적 특성(계속)

| 소유역 | 지점별 | 유역 면적 A(ha) | 하천 연장 L(km) | 최고점 (m) | 최저점 (m) | 기복 량비 (m/km) | 형상 계수 $F=A/L^2$ | 하천 경사 (m/km) | 비고 |
|--------|------|-------------------|-------------------|------------|------------|--------------------|-----------------------|--------------------|------|
| WS#5,6 | 포항교 | 6358.5 | 12.825 | 770 | 5.0 | 59.65 | 0.3866 | | 2개유역 |
| WS#7 | 죽림제 | 105.2 | 1.75 | 270 | 15.0 | 145.71 | 0.3433 | | |
| | 죽림교 | 283.7 | 3.25 | 424 | 10.0 | 127.38 | 0.2685 | | |
| | 죽림제방 | 498.1 | 3.75 | 424 | 8.0 | 110.93 | 0.3542 | | |
| | 신송교 | 370.8 | 3.25 | 270 | 10.0 | 80.00 | 0.3510 | | |
| | 신송제방 | 516.9 | 4.625 | 270 | 8.0 | 56.65 | 0.2416 | | |
| | (소계) | 1,334.4 | 4.625 | 270 | 8.0 | 56.65 | - | - | |
| WS#8 | 고잠교 | 172.6 | 2.125 | 50.0 | 10.0 | 10.82 | 0.3822 | | |
| | 고잠제방 | 208.6 | 2.50 | 50.0 | 8.0 | 16.80 | 0.3338 | | |
| | 성연제 | 761.1 | 4.0 | 790 | 80.0 | 177.5 | 0.4756 | | |
| | 논향교 | 1,160.8 | 6.0 | 790 | 30.0 | 126.67 | 0.3224 | | |
| | 진죽교 | 1,638.9 | 7.625 | 790 | 20.0 | 100.98 | 0.2818 | | |
| | 송덕교 | 1,935.7 | 9.125 | 790 | 10.0 | 85.48 | 0.2324 | | |
| | 금오교 | 439.1 | 2.75 | 70.0 | 10.0 | 21.82 | 0.5806 | | |
| | 금오방제 | 2,547.9 | 10.125 | 790 | 5.0 | 77.53 | 0.2485 | | |
| | (소계) | 2,843.3 | 10.125 | 790 | 5.0 | 77.53 | - | - | |
| WS#9 | 웅포교 | 117.7 | 1.875 | 210.0 | 10.0 | 106.67 | 0.3349 | | |
| | 웅포제방 | 137.4 | 2.25 | 210.0 | 8.0 | 89.78 | 0.2714 | | |
| | (소계) | 276.7 | 2.25 | 210.0 | 8.0 | 89.78 | - | - | |
| WS#10 | 빙도 | 69.7 | 0.5 | 89.3 | 10.0 | 158.6 | - | - | |

(주) WS#10 빙도는 백정도를 제외한 면적이다.

(표 3-16) 보령담수호 유역의 소유역별 토지이용 현황 (1:25,000)

| 소유역 | 지점별 | 토지이용 면적 (ha) | | | | | 계 (ha) | 비고 |
|------|-------|--------------|-------|---------|-------|------|-----------|------------|
| | | 논 | 밭 | 임야 | 주거지 | 저수지 | | |
| WS#1 | 두만제방 | 84.3 | 26.4 | 108.4 | 13.7 | 5.2 | 238.0 | |
| | (소계) | 86.0 | 29.1 | 150.1 | 14.0 | 5.2 | 284.4 | |
| WS#2 | 화동제방 | 28.8 | 8.7 | 47.2 | 4.5 | - | 89.2 | |
| | 송현제방 | 70.3 | 28.1 | 38.1 | 16.7 | - | 153.2 | |
| | 낙동제방 | 28.0 | 29.0 | 14.8 | 6.5 | - | 78.3 | |
| | (소계) | 159.0 | 89.1 | 135.6 | 30.6 | - | 414.3 | |
| WS#3 | 신덕교 | 28.2 | 32.2 | 58.2 | 11.7 | - | 130.3 | |
| | 신덕제방 | 99.5 | 73.0 | 130.3 | 22.3 | - | 325.1 | |
| | (소계) | 146.6 | 84.9 | 195.6 | 28.1 | - | 455.2 | |
| WS#4 | 장척교 | 30.5 | 20.2 | 48.2 | 15.3 | - | 114.2 | |
| | 장신제 | 56.8 | 76.0 | 67.2 | 20.8 | 8.0 | 228.8 | |
| | 신현들제방 | 219.0 | 154.3 | 135.6 | 46.0 | 8.0 | 562.9 | |
| | (소계) | 245.6 | 165.8 | 150.4 | 53.6 | 8.0 | 623.4 | |
| WS#5 | 청광교 | 121.6 | 124.8 | 263.4 | 41.9 | - | 551.7 | |
| | 지정교 | 203.0 | 191.1 | 483.7 | 64.7 | - | 942.5 | |
| | 신곡교 | 315.0 | 267.1 | 675.0 | 80.7 | 7.1 | 1,344.9 | |
| | 신진교 | 481.9 | 374.0 | 983.7 | 124.9 | 14.0 | 1,978.5 | |
| | 상정교 | 640.1 | 434.3 | 1,198.1 | 200.8 | 14.0 | 2,487.3 | |
| | (소계) | 711.7 | 452.0 | 1,224.1 | 257.1 | 14.0 | 2,658.9 | 포항교 (1) |
| WS#6 | 광천제 | 213.9 | 113.0 | 676.4 | 48.3 | 22.0 | 1,073.6 | |
| | 소암교 | 739.6 | 463.4 | 1099.4 | 130.0 | 22.0 | 2,454.4 | |
| | 가시곡교 | 38.5 | 83.1 | 388.4 | 9.6 | - | 519.6 | |
| | 소룡교 | 852.7 | 617.8 | 1610.6 | 153.9 | 22.0 | 3,257.0 | |
| | 용암교 | 913.3 | 687.6 | 1713.8 | 250.0 | 22.0 | 3,586.7 | |
| | (소계) | 951.8 | 711.3 | 1752.8 | 261.2 | 22.5 | 3,699.6 | 포항교 (2) |

(표 3-16) 보령담수호 유역의 소유역별 토지이용 현황 (1:25,000)(계속)

| 소유역 | 지점별 | 토지이용 면적 (ha) | | | | | 계 (ha) | 비고 |
|--------|------|--------------|---------|---------|-------|-------|-----------|----------|
| | | 논 | 밭 | 임야 | 주거지 | 저수지 | | |
| WS#5,6 | 포항교 | 1663.5 | 1163.3 | 2976.9 | 518.3 | 36.5 | 6,358.5 | 2개 유역 |
| WS#7 | 죽림제 | 16.4 | 20.0 | 63.5 | 1.5 | 3.8 | 105.2 | |
| | 죽림교 | 42.9 | 30.3 | 199.2 | 10.4 | 0.9 | 283.7 | |
| | 죽림제방 | 121.3 | 73.0 | 280.2 | 23.6 | - | 498.1 | |
| | 신송교 | 90.8 | 58.0 | 205.3 | 16.7 | - | 370.8 | |
| | 신송제방 | 158.5 | 89.4 | 244.3 | 24.7 | - | 516.9 | |
| | (소계) | 358.3 | 246.4 | 648.3 | 76.7 | 4.7 | 1,334.4 | |
| WS#8 | 고잠교 | 66.0 | 58.8 | 30.4 | 11.0 | 6.4 | 172.6 | |
| | 고잠제방 | 81.9 | 66.8 | 40.6 | 12.8 | 6.5 | 208.6 | |
| | 성연제 | 26.1 | 128.3 | 570.6 | 17.7 | 18.4 | 761.1 | |
| | 논향교 | 121.1 | 178.9 | 807.6 | 34.8 | 18.4 | 1,160.8 | |
| | 진죽교 | 251.9 | 266.2 | 1,031.0 | 69.6 | 20.2 | 1,638.9 | |
| | 송덕교 | 377.3 | 341.7 | 1,054.4 | 110.9 | 51.4 | 1,935.7 | |
| | 금오교 | 158.4 | 76.4 | 183.4 | 19.7 | 1.2 | 439.1 | |
| | 금오방제 | 643.4 | 439.6 | 1,262.0 | 149.7 | 53.2 | 2,547.9 | |
| | (소계) | 749.8 | 528.4 | 1,338.9 | 166.4 | 59.7 | 2,843.2 | |
| WS#9 | 웅포교 | 31.9 | 13.0 | 65.1 | 7.7 | - | 117.7 | |
| | 웅포제방 | 46.9 | 14.0 | 67.3 | 8.6 | 0.6 | 137.4 | |
| | (소계) | 49.8 | 26.8 | 188.8 | 10.7 | 0.6 | 276.7 | |
| WS#10 | 빙도 | 13.5 | 11.7 | 41.7 | 2.8 | - | 69.7 | |
| 합계 | | 3,472.1 | 2,345.5 | 5,826.3 | 901.2 | 114.7 | 12,659.8 | |

6. 유역내 수리시설 현황

본 사업구역에는 소류지 72개소 2,2923 ha, 양수장 37개소 118 ha, 취입보 79개소 264 ha로 총 188개소의 수리시설물(2,675 ha)이 있으나, 대부분 노후화 되었을 뿐만 아니라 용수량이 부족한 편이다. 보령시와 홍성군에 소재한 수리시설 현황과 주요 저수지의 제원은 다음과 같다.

(표 3-17) 보령시, 홍성군 수리시설현황

| 시군 | 시설별 | 수원공수 | | | 수리답면적 (ha) | | | 답면적 (ha) | 수리답 비율 (%) |
|-----|------|------|-----|-----|------------|---------|---------|----------|------------|
| | | 계 | 시군 | 농조 | 계 | 시군 | 농조 | | |
| 보령시 | 저수지 | 104 | 79 | 25 | 5,181.5 | 999.4 | 4,182.1 | | |
| | 양수장 | 38 | 8 | 30 | 136.8 | 90.8 | 46.0 | | |
| | 양배수장 | - | - | - | - | - | - | | |
| | 배수장 | 1 | - | 1 | - | - | - | | |
| | 보 | 89 | 38 | 51 | 724.1 | 672.1 | 52.0 | | |
| | 집수암거 | 15 | 15 | - | 113.7 | 113.7 | - | | |
| | 관정 | 55 | 52 | 3 | 136.8 | 136.8 | - | | |
| | 기타시설 | - | - | - | 1,838.1 | 1,838.1 | - | | |
| | 소계 | 302 | 192 | 110 | 8,131.0 | 3,850.9 | 4,280.1 | 10,435.0 | 77.9 |
| 홍성군 | 저수지 | 44 | 36 | 8 | 3,166.6 | 422.6 | 2,744.0 | | |
| | 양수장 | 41 | 29 | 12 | 371.6 | 323.5 | 48.1 | | |
| | 양배수장 | - | - | - | - | - | - | | |
| | 배수장 | - | - | - | - | - | - | | |
| | 보 | 59 | 51 | 8 | 169.7 | 169.7 | - | | |
| | 집수암거 | 34 | 34 | - | 61.3 | 61.3 | - | | |
| | 관정 | 119 | 119 | - | 333.9 | 333.9 | - | | |
| | 기타시설 | - | - | - | 2,527.0 | 2,527.0 | - | | |
| | 소계 | 297 | 269 | 28 | 6,630.1 | 3,838.0 | 2,792.1 | 11,366.0 | 58.3 |

(자료) 농림부, 농어촌진흥공사(1997) 농업생산기반정비사업통계연보,
1997.10 : 152~155, 160~163.

(표 3-18) 보령호 유역내 주요 저수지 제원 (보령시, 홍성군)

| 저수지명 | 위 치 | | | 관개면적 (ha) | 유역면적 (ha) | 유효저수량 (ha-m) | 만수면적 (ha) | 제당높이 (m) | 제당길이 (m) | 준공년도 | 비고 |
|------|-----|----|----|-----------|-----------|--------------|-----------|----------|----------|------|------|
| | 시군 | 읍면 | 리 | | | | | | | | |
| 마은 | 홍성 | 구항 | 마은 | 30 | 156 | 27.7 | 4.2 | 14.8 | 110 | 1984 | |
| 신곡 | | 광천 | 벽계 | 57.8 | 210 | 19.8 | 9.6 | 10.8 | 106 | 1945 | 벽정 |
| 공수곡 | | 광천 | 월림 | 10 | 159 | 3.7 | 1.8 | 3.7 | 128 | 1949 | |
| 장신 | | 은하 | 장척 | 10.5 | 226 | 13.6 | 3.1 | 5.7 | 210 | 1951 | |
| 광천 | | 장곡 | 죽전 | 248.9 | 1064 | 128.4 | 36.0 | 12.2 | 521 | 1978 | (장곡) |
| 성연 | 보령 | 청소 | 성연 | 293.7 | 744 | 177.4 | 26.7 | 19.7 | 260 | 1997 | |
| 죽림 | | 청소 | 죽림 | 43 | 162 | 17.9 | 4.3 | 8.3 | 214 | 1945 | |
| 신송 | | 청소 | 신송 | 40.6 | 36 | 11.0 | 11.4 | 8 | 350 | 1945 | |
| 진죽 | | 청소 | 진죽 | 105.4 | 557 | 48.5 | 45.0 | 5.5 | 750 | 1945 | |
| 야현 | | 청소 | 야현 | 3 | 52 | 4.6 | 1.5 | 8.5 | 54 | 1945 | |
| 동음3제 | | 천북 | 하만 | 30 | 77 | 2.8 | 2.7 | 3 | 270 | 1972 | 하만1제 |

(주) 농업기반공사 홍성지부(신곡, 광천), 보령지부(성연, 죽림, 신송, 진죽, 야현)
 홍성군(마은, 공수곡, 장신), 보령시(동음3제)

제4절 측정시설 및 조사방법

1. 수문 관측지점

보령담수호 유역내 소유역별 유출특성을 고려하여 교량, 취입보 등의 하천 지점을 관측지점으로 선정하였다. 본 조사에서는 수위관측과 유량측정을 위하여 주요 하천지점의 교량에

대한 제원을 조사하였으며, (표 3-19)는 주요 교량의 제원과 조사내용을 정리한 것이다.

(표 3-19) 보령유역내 주요 수문관측지점의 교량 제원

| 유역구분 | 교량명 | 위 치 | 제 원 | | 공사기간 | | 측정지점 | 비 고 |
|------|------|----------|--------------|--------------|--------------------|---------------------|--------|------------------------|
| | | | 길이 L(m) | 폭 B(m) | 시작일 | 준공일 | | |
| WS#3 | 신덕교 | 홍성 천북 신덕 | 10.0 | 10.0 | - | - | ○ | 신덕리입구, 2련Box |
| WS#4 | 장척교 | 홍성 은하 장척 | | | - | - | △ | 2련 Box형 |
| WS#5 | 공단교 | 홍성 구항 마은 | 15.0 | 12.0 | 89.6.29 | 90.8.12 | × | 공단입구 |
| | 청광교 | 홍성 구항 청광 | 14.0 | 5.0 | 96.1.9 | 96.8.25 | ○ | 보-상류 40m |
| | 지정교 | 홍성 구항 지정 | 9.0 13.0 | 10.9 18.5 | 81.2.21 94.3.15 | 81.5.29 95.12.31 | ○ × | (구교량) 지정천 (신교량) |
| | 대신교 | 홍성 구항 신곡 | 13.0 | 18.5 | 94.10.1 | 95.12.31 | × | 신곡저수지 |
| | 신곡교 | 홍성 구항 신곡 | 34.0 | 4.6 | - | - | ○ | 대신교옆 (신곡리) |
| | 신진교 | 홍성 광천 신진 | 54.0 | 8.5 | 72.6.12 | 72.12.8 | ○ | 보-하류 20m |
| | 상정교 | 홍성 광천 상정 | 60.0 | 11.5 | 96.2.1 | 96.11.2 | ○ | 제수문 -상류 100m |
| | 포항교 | 홍성 광천 용암 | 55.0 | 4.5 | 81.11.10 | 82.5.- | ○ | |
| WS#6 | 소암교 | 홍성 광천 소암 | 60.0 | 4.0 | - | - | ○ | 광천저수지 |
| | 가시곡교 | 홍성 광천 가정 | 18.0 22.0 | 6.0 8.0 | 95.6.13 01.1.11 | 96.6.22 01.6.17 | ○ ○ | (구교량) (신교량) |
| | 소룡교 | 홍성 광천 소암 | 28.0 | 5.0 | 96.1.12 | 96.9.25 | ○ | 보-상류 100m |
| | 광천교 | 홍성 광천 광천 | 60.0 | 7.0 | 80.7.14 | 80.12.10 | × | |
| | 용암교 | 홍성 광천 용암 | 73.0 | 13.0 | 95.12.28 | 96.12.30 | ○ | 보-상류 150m |
| WS#7 | 죽림교 | 보령 청소 죽림 | 11.7 10.0 | 10.0 18.5 | 81.2.21 99.5 | 81.5.29 00.7 | ○ ○ | (구)죽림저수지 (신) 3련 Box |
| | 신송교 | 보령 청소 신송 | 18.0 26.0 | 6.0 18.5 | 63.3.2 99.5 | 63.6.29 00.4 | ○ ○ | (구교량) (신교량) |
| WS#8 | 논향교 | 보령 청소 정전 | 33.4 | 5.5 | - | - | ○ | 보-하류 52.4m |
| | 야현교 | 보령 청소 야현 | 70.0 | 6.0 | 92.4.6 | 92.12.31 | × | 성연저수지 |
| | 진죽교 | 보령 청소 진죽 | 40.0 | 8.0 | 91.8.29 | 92.9.15 | ○ | |
| | 송덕교 | 보령 청소 진죽 | 60.0 | 7.0 | 97.11.27 | 01.6.26 | △ | 진죽저수지 |
| | 금오교 | 보령 청소 장곡 | 22.0 | 9.0 | 91.8.29 | 92.9.15 | ○ | |
| WS#9 | 용포교 | 보령 청소 소성 | 14.0 | 9.0 | 91.8.29 | 92.9.15 | ○ | |
| 합계 | 24 | | | | | | 19 | |

2. 수문관측 시설

보령유역내 하천지점의 수위와 유량을 측정하기 위하여 자기수위계를 논향교, 소룡교 및 신진교 등의 3개 지점에 설치하였다. 또한, 간이표척을 3개 수위계 지점과 기타 11개 지점에 설치하였다.

(표 3-20) 수위계 설치 및 운영

| 소유역 | 설치지점 | 측정 시설 |
|------|------|-------------------------|
| WS#5 | 신진교 | 수위표 1조 수위계 1조(WL-14) |
| WS#6 | 소룡교 | 수위표 1조 수위계 1조(WL-14) |
| WS#8 | 논향교 | 수위표 1조 수위계 1조(WL-14) |

3. 수문조사

가. 기상자료

본 유역에 대한 기상자료는 충남 보령관측소의 일별 기상자료를 이용하였다.

나. 수문관측시설

본 유역의 수위관측을 위하여 논향교, 소룡교, 신진교 등의 3개 하천 지점에 수위계를 설치 하였고, 자료의 회수와 수위계의 관리를 위하여 1개월에 1회 이상 출장하였다. 수위계는 압력식 수위계(WL-14 Data Logger, Global Water)로 교량에 설치하였고, Staff 수위표는 자기수위계 옆에 부착하여 관측이 용이하도록 하였으며 자기수위계의 기록치와 비교하였다.

다. 수위 및 유량 측정

주요 관측지점으로는 주요 하천, 저수지, 논물, 담수호 유입부(내외측) 등이다. 유량측정은 평수시와 홍수시 측정으로 구분하여 측정하였다. 평수시에는 유속계(BMF002, Valeport)를 이용하여 측정하였으며, 유속측점은 수심에 따라 1점법, 2점법 등으로 구분하여 측정하였다. 홍수시에는 유속이 빠르고 측정시 안전을 위하여 부지에 의한 방법을 채택하여 표면유

속을 측정하고 그 단면의 평균유속으로 환산하여 이용하였다. 부자에 의한 측정방법은 부자를 투하한 구간을 유하하는 시간을 측정하고, 그 구간의 평균유속을 구하는 방법으로 측정구간은 부자가 유수에 의해 적절히 유하하기 위한 직선구간을 택해서 보조구간과 측정구간으로 구분하여 측정하였다. 취입보(Weir)지점에서는 월류수심을 측정하고 유량공식을 이용하여 유량으로 환산하였으며, 유속계로 측정한 자료와 비교하였다. 또한, Manning 공식을 이용하여 계산하였으며, 수위 관측자료와 유량 자료를 이용하여 하천수위-유량곡선 관계곡선을 작성하였다.

(표 3-21) 보령유역 주요 하천지점의 하천경사 측량자료

| 유역 번호 | 교량 지점 | 조사 일자 | 상류측 | | | | 교량지점 | | 하류측 | | | | 하천 바닥 경사 (So) |
|----------|----------|----------|-----------|-----------------|-----------|------------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------|-----------|------------------|------------------------|
| | | | 하천 | | 보, 제수문 | | 하천 바닥 (m) | 교량 상단 (m) | 하천 | | 보, 제수문 | | |
| | | | 거리 (m) | 바닥 표고 (m) | 거리 (m) | 상단 (m) | | | 거리 (m) | 바닥 표고 (m) | 거리 (m) | 상단 (m) | |
| WS#3 | 신덕교 | 99.1.19 | 29.55 | 97.882 | - | - | 97.774 | 100 | 45.42 | 97.451 | - | - | 0.0057 |
| WS#4 | 장척교 | 99.1.19 | 31.19 | 94.829 | - | - | 94.659 | 100 | - | - | - | - | 0.0055 |
| WS#5 | 청광교 | 99.1.19 | 32.20 | 96.429 | 41.16 | 97.003 96.720 | 96.080 | 100 | 45.23 | 95.972 | - | - | 0.0059 |
| | 지정교 | 99.1.19 | 26.31 | 95.053 | - | - | 94.811 | 100 | 17.39 | 94.675 | - | - | 0.0087 |
| | 신곡교 | 99.1.19 | 55.28 | 96.372 | - | - | 96.369 | 100 | 18.92 | 96.349 | 28.74 | 96.950 96.216 | 0.0019 |
| | 신진교 | 99.1.19 | 42.83 | 93.401 | - | - | 93.361 | 100 | 34.28 | 93.284 | 38.40 | 94.217 93.289 | 0.0015 |
| | 상정교 | 99.1.19 | 46.72 | 90.245 | 180.43 | 91.908 91.178 | 90.216 | 100 | 33.43 | 89.960 | - | - | 0.0036 |
| WS#6 | 소암교 | 99.1.19 | 54.14 | 96.391 | - | - | 96.391 | 100 | 53.97 | 96.382 | - | - | 0.0001 |
| | 가시곡 교 | 99.1.19 | 57.73 | 97.957 | - | - | 97.062 | 100 | 24.41 | 96.466 | - | - | 0.0155 |
| | 소룡교 | 99.1.19 | 63.88 | 97.760 | - | - | 97.752 | 100 | 71.96 | 96.897 | 175.28 | 97.862 96.506 | 0.0052 |
| | 용암교 | 99.1.19 | 30.28 | 91.687 | 60.53 | 92.503 91.717 | 91.652 | 100 | 45.02 | 91.267 | - | - | 0.0043 |
| | 포항교 | 99.1.19 | 58.57 | 95.678 | - | - | 95.648 | 100 | 58.55 | 95.578 | - | - | 0.0009 |
| WS#7 | 죽림교 | 99.1.19 | - | - | - | - | 95.866 | 100 | 47.55 82.89 | 95.580 95.071 | - | - | 0.0096 |
| | 신송교 | 99.1.19 | - | - | - | - | - | 100 | - | - | - | - | - |
| WS#8 | 논향교 | 99.1.19 | 36.47 | 97.262 | - | - | 97.065 | 100 | 46.12 | 96.582 | 59.27 | 96.873 96.581 | 0.0082 |
| | 진죽교 | 99.1.19 | 24.12 | 95.001 | - | - | 94.731 | 100 | 48.62 | 94.500 | - | - | 0.0069 |
| | 송덕교 | 99.1.19 | - | - | - | - | - | 100 | - | - | - | - | - |
| | 금오교 | 99.1.19 | 51.10 | 96.617 | - | - | 96.625 | 100 | 51.38 | 96.539 | 36.16 | 97.395 96.565 | 0.0008 |
| WS#9 | 용포교 | 99.1.19 | 54.39 | 96.910 | - | - | 96.838 | 100 | 40.52 | 96.811 | - | - | 0.0010 |

(주) 1) 모든 지점의 교량상단표고는 EL. 100 m 로 가정하였음.

2) 하천바닥경사는 기본적으로 상하류측 하천바닥의 표고차를 구간거리로 나눈 값임.

(표 3-22) 보령유역 주요 하천지점의 상·하류측 취입보 조사

| 소유역 | 교량지점 | 행정구역 | 보 길이 L(m) | 보 높이 H(m) | 보 마루폭 b(m) | 보 밑나비 B(m) | 가 동보폭 W(m) | 비 고 |
|------|------|----------|--------------|--------------|------------------|------------------|------------------|---------|
| WS#3 | 신덕교 | 홍성 천북 신덕 | 10.0 | 1.5 | 1.0 | 1.5 | - | 하류 10m |
| WS#5 | 청광교 | 홍성 구정 청광 | 8.9 | 0.7 | 0.5 | 0.8 | - | 상류 41m |
| | 신곡교 | 홍성 광천 신곡 | 28.1 | 0.9 | 1.0 | 1.6 | 1.0 | 하류 29m |
| | 신진교 | 홍성 광천 신진 | 30.1 | 1.0 | 1.1 | 2.1 | 1.0 | 하류 38m |
| | 상정교 | 홍성 광천 상정 | 34.7 | 1.1 | 4.0 | 6.0 | - | 상류 180m |
| WS#6 | 가시곡교 | 홍성 광천 가정 | 28.5 | 0.8 | 0.9 | 1.4 | 1.0 | 상류 47m |
| | 소룡교 | 홍성 광천 소암 | 36.9 | 1.0 | 1.2 | 2.4 | 0.7 | 하류 175m |
| | 용암교 | 홍성 광천 용암 | 57.4 | 1.0 | 2.0 | 3.0 | 0.8 | 상류 60m |
| WS#8 | 논향교 | 보령 청소 정전 | 37.5 | 0.8 | 1.0 | 1.5 | 1.0 | 하류 59m |
| | 금오교 | 보령 청소 장곡 | 16.8 | 0.9 | 1.0 | 1.5 | 1.0 | 하류 36m |

4. 토양조사

가. 조사지점 및 시료채취

하천토사와 논토양의 채취지점은 교량지점, 논(농경지), 담수호 유입부(내외측) 등의 하천과 논을 대상으로 하였다. 하천토사는 소유역별로 수위계가 설치된 논향교, 소룡교, 신진교 지점을 포함한 20개의 교량지점과 담수호 유입부(내외측) 6개 지점에서 매월 1~2회 채취하였다. 하천 교량지점의 하천토사 조사지점은 수질시료 채취지점에 인접한 지점에서 채취하였으며, 소유역별 최소 1개 지점이상으로 하고, 조사시기는 매월 1회 이상으로 하였다. 논토양은 하천토사 조사지점에 인접한 논에서 표토 1 cm 정도를 제거한 다음 채취하여 풍건 후 2 mm 체를 통과시켜 분석시료로 사용하였다.

나. 조사항목 및 분석방법

조사항목은 pH, EC, T-N, T-P 등을 주요 항목으로 하였다. 토양시료의 분석은 토양화학 분석법(농업기술연구소, 1983)에 기준하였다. 토양의 pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 희석한 현탁액에서 pH meter(TOA HM-20S)로 측정하였으며, 질인산은 Vanado-molybdate법,

유효인산은 Bray No. 2법, 질산태질소는 Brucine법, 암모니아태질소와 전질소는 Kjeldahl 법으로 측정하였다.

5. 수질조사

가. 조사지점 및 시료채취

수질시료 채수지점은 소유역별로 지천들이 담수호에 유입되는 주요 하천, 저수지, 논물, 담수호 유입부(내외측) 및 담수호내 5지점 등을 대상으로 하였으며, 평수위, 홍수위, 갈수 위 및 매월 평균 1, 2회로 구분하여 시료를 채취하였다.

수질시료는 폴리에틸렌용기(2L)에 채수하여 4℃ 이하의 온도로 보관하면서 분석시료로 사용하였으며, 수질시료중 암모니아태질소, 전질소 및 화학적산소요구량을 측정하기 위해서 H₂SO₄ 로 pH 2 이하로 조정한 다음 4℃ 이하에서 보관하였다. 조사지점은 하천수는 수위계를 설치한 논향교, 소릉교, 신진교를 포함하여 20개 지점에서 채수하였으며, 논물은 하천수 질 채취지점에 인접한 논을 대상으로 하천수 채취지점의 인접한 논에서 영농기간동안 매월 1~2회 채취하였다. 저수지 수질시료는 진죽제, 성연제, 죽림제, 신곡제 등 4개 지점에서 매월 1~2회 채취하였다.

나. 측정항목 및 분석방법

수질시료의 분석은 수질공정시험법(환경처, 1993)에 기준하였다. pH는 현장에서 기기(Orion Model 840)를 이용하여 직접 측정하였으며, 화학적산소요구량은 시료 100 mL 를 취하여 과망간산칼륨에 준하여 분석하였다. 전질소와 암모니아태질소는 수질시료 500 mL 를 취하여 각각 환원증류-킬달법과 중화적정법으로 분석하였다. 전인은 수질시료 500 mL 를 취하여 50 mL 로 농축한 다음 ascorbic acid reduction법에 기준하여 분석하였다. 음이온(NO₃⁻, PO₄³⁻)은 0.45 μm 이하의 유리 섬유여지(CF/C)를 사용하여 여과한 다음 이온크로마토그래피(Sykam 4260, Germany)를 이용하여 분석하였다.

(표 3-23) 보령유역 토양 및 수질 조사 지점

| 소유역 | 행정구역 (위치) | 토양 | | 수질 | | 수위 측정 |
|------|------------------|--------------|------------------|--------------------|----------------|-----------|
| | | 논토양 | 하천토사 | 하천 | 저수지 | |
| WS#1 | 홍성 천북 하만 | 두만동 방제부근 | 교량지점 방제 | 교량지점 방제 | 동음3제 | |
| WS#2 | 홍성 천북 하만 | 송현동 당현동 | 방제(송현) 방제(당현) | 방제(송현동) 방제(당현동) | | |
| WS#3 | 홍성 북천 신덕 " 낙동 | 교량부근 방제부근 | 신덕 교량 방제 | 신덕 교량 방제 | | 간이표척 - |
| WS#4 | 홍성 은하 장척 | 교량부근 구남창 | 교량지점 구남창 | 교량지점 구남창 | 장신저수지 | 간이표척 - |
| WS#5 | 홍성 구정 청광 | 청광교 | 청광교 | 청광교 | 벽계저수지 (신곡) | 간이표척 |
| | " 지정 | 지정교 | 지정교 | 지정교 | | " |
| | 홍성 광천 신곡 | 대신교 | 대신교 | 대신교 | | " |
| | 홍성 광천 신진 | 신진교 | 신진교 | 신진교 | | 수위계 |
| | " 상정 | 상정교 | 상정교 | 상정교 | | 간이표척 |
| | " 포항 | 포항교 | 포항교 | 포항교 | | |
| WS#6 | 홍성 광천 가정 | 가시곡교 | 가시곡교 | 가시곡교 | 광천저수지 | 간이표척 |
| | " 소암 | 소룡교 | 소룡교 | 소룡교 | | 수위계 |
| | " 웅암 | 웅암교 | 웅암교 | 웅암교 | | 간이표척 |
| WS#7 | 보령 청소 죽림 | 죽림교 | 죽림교 | 죽림(청림)교 | 죽림저수지 (의실) | 간이표척 |
| | " 신송 | 신송교 | 신송교 | 신송교 | | " |
| WS#8 | 보령 청소 정진 | 논향교 | 논향교 | 논향교 | 성연저수지 진죽저수지 | 간이표척 |
| | " 진죽 | 진죽교 | 진죽교 | 진죽교 | | 수위계 |
| | " 진죽 | 편평교 | 편평교 | 편평교 | | 간이표척 |
| | " 진죽 | 금오방제 | 금오방제 | 금오방제 | | - |
| WS#9 | 보령 청소 소성 | 웅포교 | 웅포교 | 웅포교 | | 간이표척 |
| 계 | 9 | 13 | | 13 | 7 | 14 |

제 4 장

담수호 유역의 GIS 자료구축 및 D/B 정보화

제4장 담수호 유역의 GIS 자료구축 및 D/B 정보화

제1절 GIS 자료 구축

1. 수치고도모델 (Digital Elevation Model: DEM)

수치고도모델(DEM)은 대상지역을 격자로 나누고, 각 격자의 평균 고도값과 각 격자간의 위상(topology) 관계를 포함하고 있어, 대상지역의 지형을 표현할 수 있는 수치자료이다.

본 연구에서 필요로 하는 지세관련정보(표고, 경사, 방향, 흐름방향 등)를 작성하는 방법은 ① 국립지리원에서 발행하는 종이지도(paper map) 또는 등고원도(Mylar)를 이용하여 일련의 GIS처리과정을 거쳐 벡터커버리지 형태(등고선도)로 작성한 후, 이를 격자화하여 레스터 형태의 DEM으로 생성시키는 방법과 ② 동일지역에 대한 한 쌍의 항공사진 또는 인공위성영상을 이용하여 DEM을 제작하는 방법이 있다.

지형도로부터 DEM을 생성하기 위해서는 우선 NGIS(국가 GIS)에서 구축한 벡터형태의 등고선도(1/1000: 14.349도엽, 1/5000: 11.985도엽, 1/25000: 159도엽)를 국립지리원을 통하여 직접 획득하거나, 지정 판매대행업체를 통하여 구입하여야 한다. 이 자료는 DXF(Data Exchange Format) 형태로 되어 있으며, GIS 소프트웨어를 이용하여 일련의 과정(속성추출, 벡터편집, 맵결합, Topology생성)을 거쳐야 사용 가능한 벡터형태의 커버리지가 완성된다. 다음 과정으로서, 수자원·수질분야에서 바로 활용 가능한 레스터 형태의 표고자료를 만들기 위해서는 TIN, LATTICE과정을 거쳐 원하는 해상도의 DEM을 제작할 수 있다.

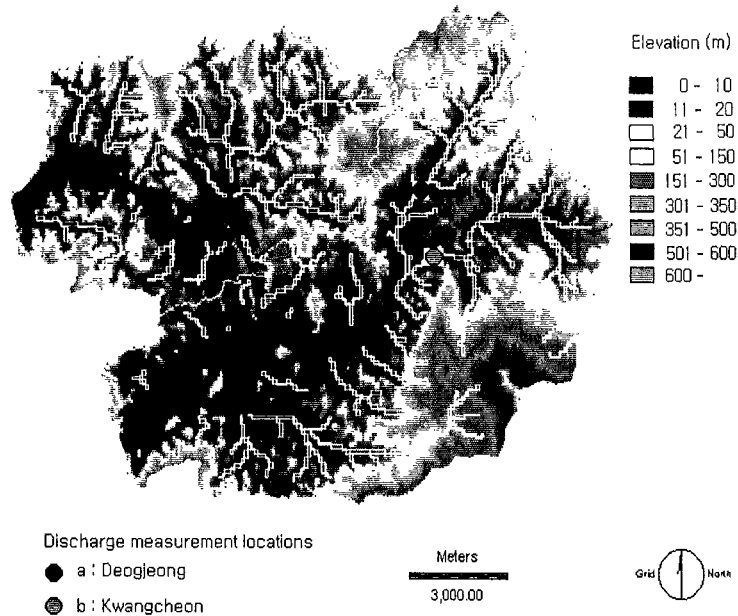
그러나 NGIS의 등고선도 외에 ① 미국의 DMA(Defence of Mapping Agency)에서 인공위성영상자료를 이용하여 제작한 3초간격(해상도: 75m×95.5m)의 한반도 DEM (1:250,000 축척수준), ② 환경부에서 제작한 1초간격의 남한 DEM (1:50,000 축척수준), ③ 농업기반공사(서울대 농업개발연구소 구축)가 1:50,000 축척의 벡터 커버리지로부터 작성한 25m해상도의 남한 DEM 등 다양한 자료원이 있다.

본 연구에서는 미국의 DMA에서 제작·보급한 것으로서, 경위도 3초 크기의 격자에 대한 평균지반 고도값이 ASCII 형태로 저장되어 있는 정수자료의 DEM을 MS-Windows 98용 IDRISI에서 UTM (Universal Transverse Mercator)-52N 좌표계로 변환하여 사용하였다(Min. X:

273163.6, Max. X: 295786.4, Min. Y: 4030983.0, Max. Y: 4052429.0).

그림 4.1은 IDRISI에서 홍보 간척지구를 유역경계로 clipping한 DEM을 보여주고 있다. 격자의 크기는 226행 × 296열이며, 한 셀의 크기는 가로 76.4m이다. 유역내의 고도분포는 0~787m이다.

● 고도분포 분석



<그림 4-1> 홍보간척유역의 DEM

수문순환과정에서 유출이란 결국 하천수로 나타나는 강수부분이 주가 되며 유출수의 집합 통로인 하천은 보통 본류와 그에 따른 많은 지류로 이루어진다. 이와 같은 본류와 지류들을 합친 한 계열의 하천군은 하천수계 또는 수계라 한다.

각 하천은 지표의 정해진 범위를 분담하여 그 범위 내의 강수를 모아서 하도를 통하여 흘러보내게 된다. 이 정해진 범위 즉, 강수가 집합되는 범위를 배수역(drainage basin)이라 하며, 하천수계의 크기를 결정하는 기준이 된다. 이 배수역을 집수역(catchment basin)이라고도 부르며, 또한 하나의 하천수계에 대한 전 집수면적을 유역면적이라 한다.

유역의 경계는 일반적으로 산의 능선 즉, 지형적 분수령이 분수계가 된다. 엄밀한 의미에

서 유역의 경계는 지하수 분수계를 고려하여야 하나 지하수분수계를 정확히 결정한다는 것은 어려우며, 하천유량의 경우 인접유역으로의 지하수 침입량은 큰 문제가 되지 않으므로 보통 지표면 분수계를 유역의 경계로 한다. 강수의 하천 유출과정은 유역의 성질에 지배되고 이러한 유역의 성질을 지배하는 요소는 유역면적, 유로연장, 유역형상, 지세, 피복상황, 지질, 하도배열상태 등이다.

강수는 중력에 의하여 지표의 자연경사에 따라 높은 곳에서 낮은 곳으로 흘러가며 장기적으로 볼 때 하곡을 형성하는 원인이 되며, 단기적으로는 지표의 형태가 이와 같은 유출수의 흐름에 큰 영향을 주는 상호작용을 하고 있는 것이다. 이와 같은 관점에서 수문량과 유역의 지형특성은 밀접한 관계가 있다.

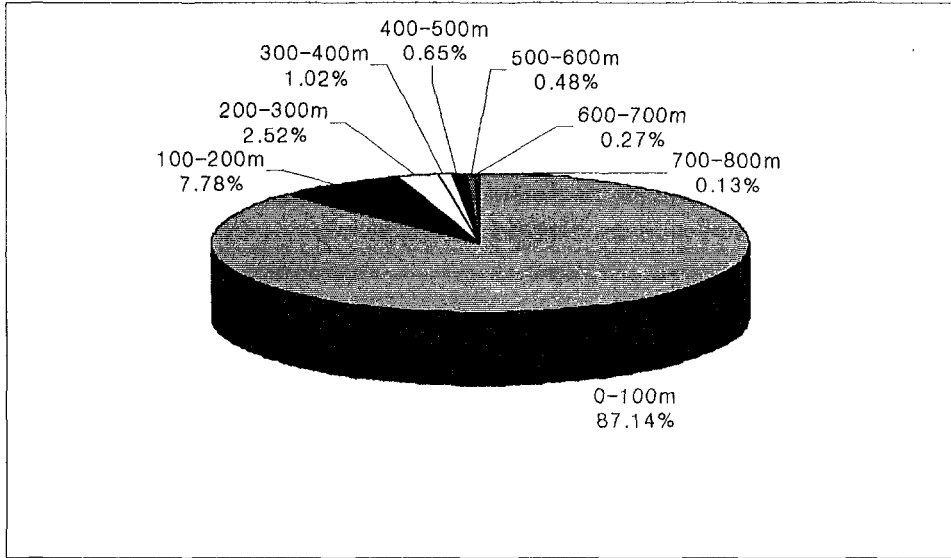
지형의 고도는 곧 지형의 경사도를 결정하며, 지형의 경사도는 유출 및 증발산 등의 특성을 결정하게 된다. 한 유역의 고도는 그 유역의 수문특성을 다르게 하며, 모든 지형적 요소를 결정짓는 기본량이다. 제작된 DEM을 이용하여 홍성·보령 간척지구의 고도분포를 작성하였다.

(표 4-1) 홍성·보령 간척지구 고도별 면적(km²)

| 홍성·보령 간척지구 | 표 고 범 위 (m) | | | | | | | |
|----------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0~ 100 | 100~ 200 | 200~ 300 | 300~ 400 | 400~ 500 | 500~ 600 | 600~ 700 | 700~ 800 |
| 면적(km ²) | 190.16 | 17.01 | 5.52 | 2.22 | 1.42 | 1.05 | 0.59 | 0.29 |

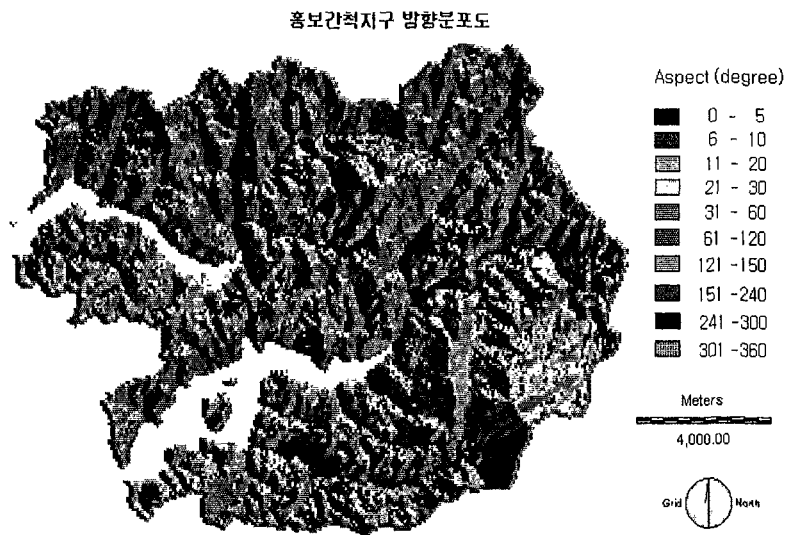
(표 4-2) 홍성·보령 간척지구 고도 분포 비율(%)

| 홍성·보령 간척지구 | 표 고 범 위 (m) | | | | | | | |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | 0~ 100 | 100~ 200 | 200~ 300 | 300~ 400 | 400~ 500 | 500~ 600 | 600~ 700 | 700~ 800 |
| 분포비율(%) | 87.14 | 7.78 | 2.52 | 1.02 | 0.65 | 0.48 | 0.27 | 0.13 |



<그림 4-2> 고도 분포비

● 주향 분석



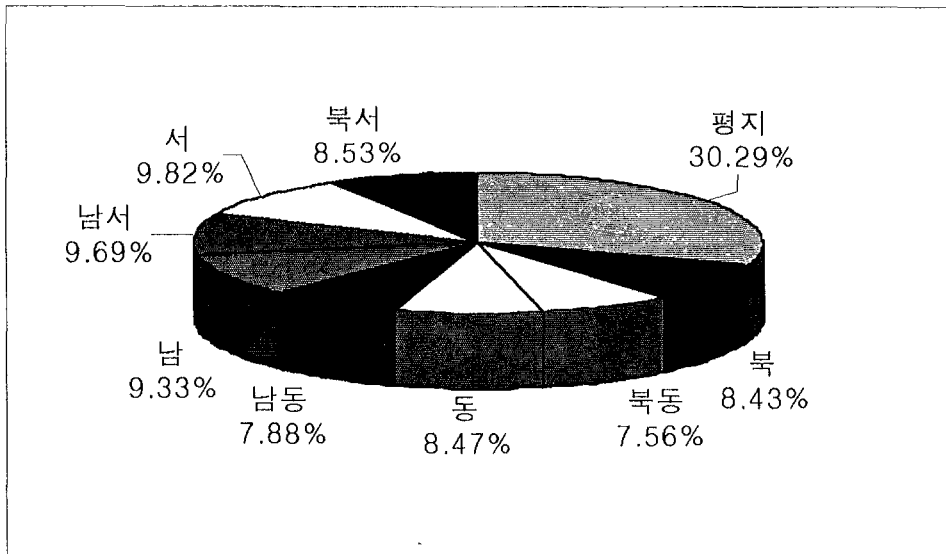
<그림 4-3> 홍보간척유역의 방향분포도

(표 4-3) 홍성·보령 간척지구 주향별 면적 (km²)

| 홍성·보령 간척지구 | 주향 | | | | | | | | |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 평지 | 북 | 북동 | 동 | 남동 | 남 | 남서 | 서 | 북서 |
| 면적 (km ²) | 66.1 | 18.4 | 16.5 | 18.5 | 17.2 | 20.4 | 21.1 | 21.4 | 18.6 |

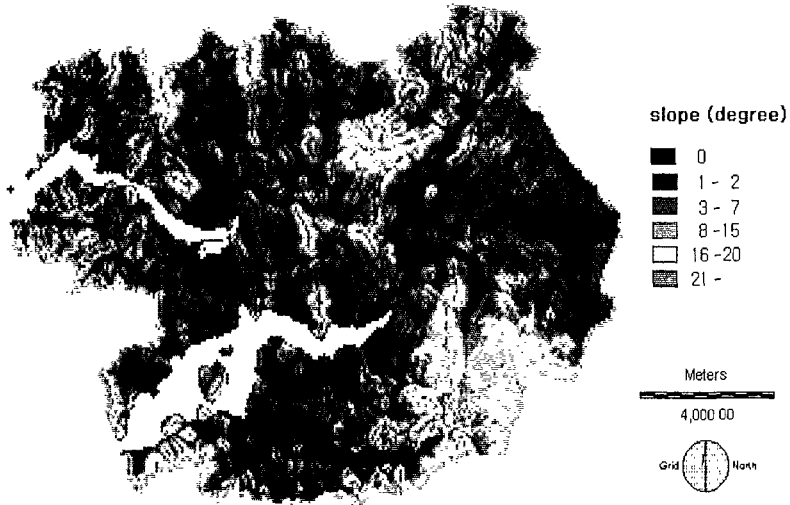
(표 4-4) 홍성·보령 간척지구 주향 분포 비율(%)

| 홍성·보령 간척지구 | 주향 | | | | | | | | |
|---------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 평지 | 북 | 북동 | 동 | 남동 | 남 | 남서 | 서 | 북서 |
| 비율 (%) | 30.3 | 8.4 | 7.6 | 8.5 | 7.9 | 9.3 | 9.7 | 9.8 | 8.5 |



<그림 4-4> 주향 분포비

● 경사 분석



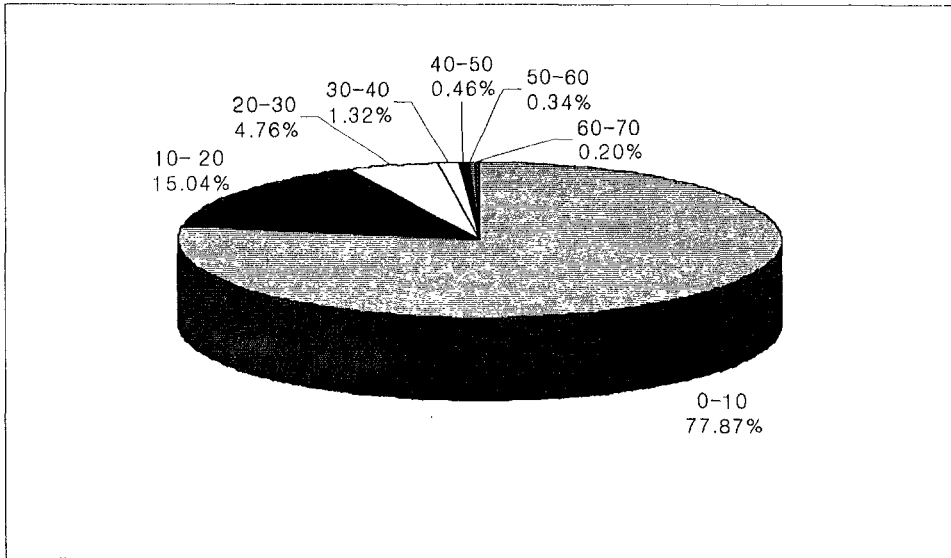
<그림 4-5> 홍보간척유역의 경사분포도

(표 4-5) 홍성·보령 간척지구 경사별 면적(km²)

| 홍성·보령 간척지구 | 경사 | | | | | |
|-----------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 10- 20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 |
| 면적 (km ²) | 169.92 | 32.82 | 10.39 | 2.89 | 1.01 | 0.74 |

(표 4-6) 홍성·보령 간척지구 경사 분포 비율(%)

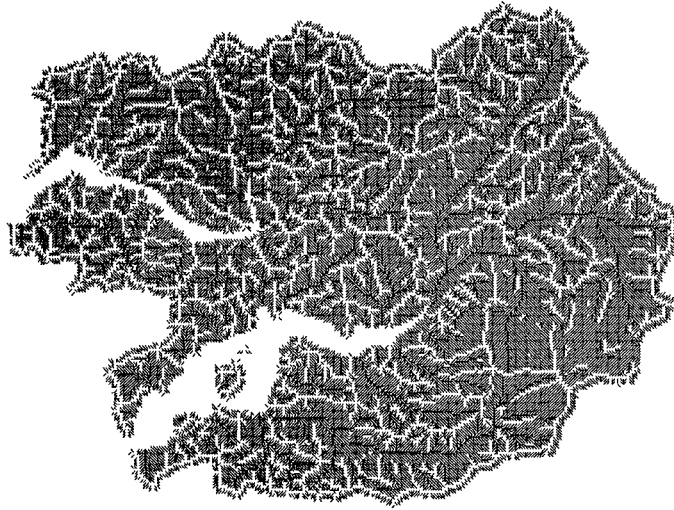
| 홍성·보령 간척지구 | 경사 | | | | | |
|---------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 10- 20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 |
| 비율 (%) | 77.87 | 15.04 | 4.76 | 1.32 | 0.46 | 0.34 |



<그림 4-6> 경사 분포비

● 흐름경로도

흐름경로도는 GRASS의 r.watershed를 사용하여 배수망도(drainage map)을 생성시키면 되며, 각 격자는 1 ~ 8까지의 방향값을 가지게 된다. 만약 격자값이 -1의 값을 가지면 그 격자는 와지(pits)를 나타내는데 이를 방지하기 위하여 3×3 적응박스필터(adaptive box filter) 과정을 거치게 된다. 이 필터는 해당되는 중심격자가 주변의 8격자와의 평균과 표준편차가 크게 차이가 나면 중심격자를 주변격자들의 평균치로 치환하는 방법이다. 한편 흐름경로도가 제대로 생성되었는지 확인하기 위하여 간단한 Fortran 프로그램을 작성하여 홍성·보령 간척지구 유역의 흐름경로도를 출력하였고, 하천 중의 일부가 연결되지 않은 것을 확인할 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 유역에서 흐름방향이 불안전하게 생성된 격자를 보완하기 위하여 r.watershed의 흐름누적도(accumulation map)을 이용하였다. 흐름누적도는 각 격자를 통하여 배수되는 격자의 수를 누가시켜 나타낸 것이다. 이미 생성시켜 놓은 배수망도를 흐름누적도로 보완하는 프로그램을 작성하였는데, 누가격자수가 많은 격자의 방향으로 흐름경로를 수정하도록 하였다. <그림 4-7>은 이를 이용하여 하천이 모두 연결된 흐름경로도를 보여주고 있다.



<그림 4-7> 홍보간척유역의 흐름경로도

2. 토지피복도

본 연구에서 토지피복도의 작성은 원격탐사기법을 활용하였다. 인공위성영상을 이용한 토지피복 분류과정은 크게 무감독분류(unsupervised classification)와 감독분류(supervised classification)로 나누어진다. 일반적으로 무감독분류를 먼저 실시하여 분류하고자 하는 항목의 수 및 각 항목의 군집중심, 밴드간 공분산 등 통계학적인 인자를 구한 후, 감독분류를 실시하여 최종적인 주제도를 작성하게 된다. 최근에는 원격탐사자료를 처리할 수 있는 소프트웨어의 발달로 인하여 사용자가 직접 교사자료(training data)를 선택하면 각종 통계적인 인자가 계산되어 분류과정에서 기준 자료로 이용된다.

무감독분류는 군집화과정(clustering)이라고 하며, 영상자료의 분포특성을 이용하여 분광 특성이 다른 여러 개의 군집을 형성하는 순차적인 군집화(sequential clustering), 통계적 군집화 ISODATA 및 RGB 군집화 등이 있다. 이 분류기법은 분석자가 간단한 몇 가지의 인자만을 입력하면 분류가 행해지고, 군집의 중심 및 밴드간 공분산 등으로써 분광적 분포특성이 표현된다.

감독분류는 분석자가 영상 내에서 알고 있는 화소를 지정하면, 각 군집의 중심, 밴드간

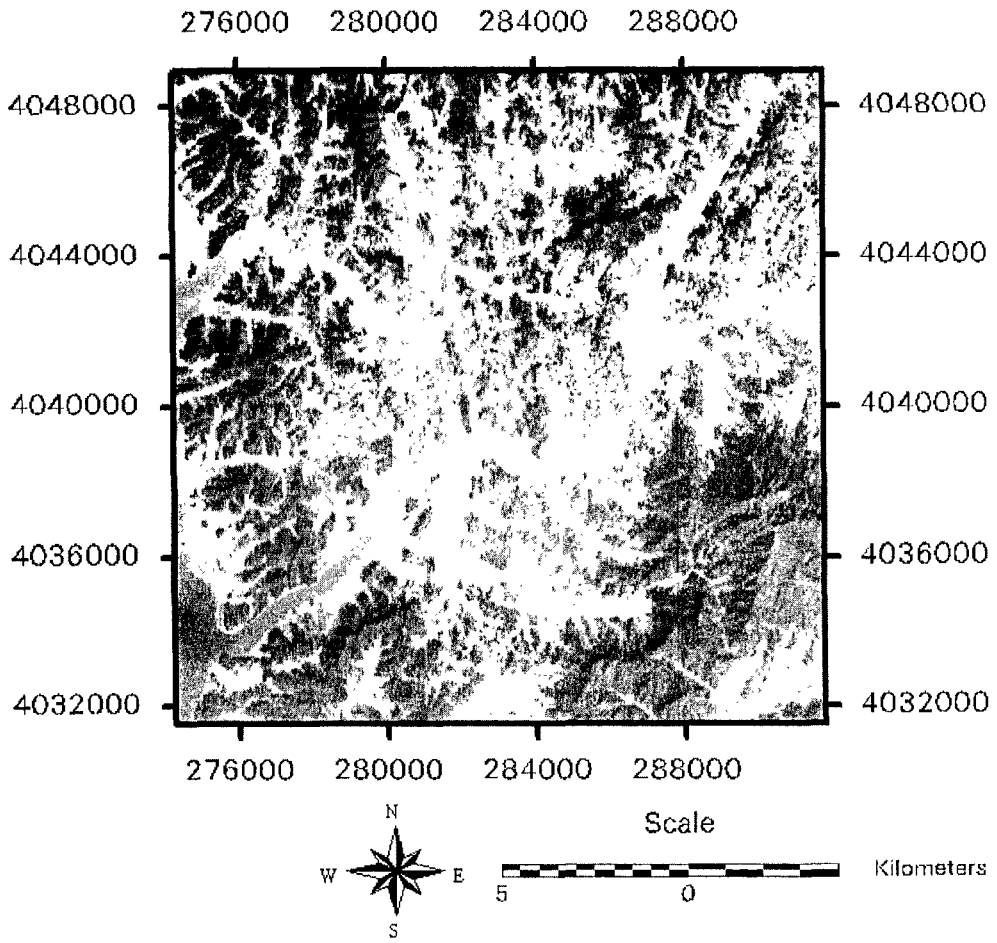
공분산 등을 이용하여 자료내의 모든 화소를 분석하여 가장 유사한 분포특성을 가지는 군집에 할당시키는 과정이다. 이 분류기법에는 각 군집의 유사성을 결정하는 기준에 따라 최소거리법, 평형사변형법, 최대우도법 및 Mahalanobis 법 등이 있다. 지금까지의 각종 연구결과에 의하면 최대우도법이 가장 우수한 분류결과를 나타내는 것으로 알려지고 있다.

본 연구에서는 1991년 10월 22일에 획득된 미국의 Landsat TM 영상자료(path:115/row:34, date: 22/10/91)와 프랑스의 SPOT Panchromatic 영상자료(path:304/row:277, date: 15/11/97)를 합성하여 구역내의 토지피복을 분석하였다. Landsat TM은 셀의 해상도가 30×30m로서, 농업지역의 자세한 토지피복분류에는 한계가 있어, 10×10m의 해상도를 갖는 SPOT Panchromatic 영상을 합성하여 해상도를 향상(enhancement)시켜 분석하였다. 그림 4.12는 Landsat TM의 2, 3, 4밴드를 합성하여 작성한 홍보간척지구 구역 토지피복도이다. 분석방법은 영상의 기하보정과 대기보정을 거친 후, ER-Mapper를 이용하여 교사자료 선택, 최대우도법으로 분류를 실시하였다. 분석결과의 타당성을 검증하기 위하여 1:50,000 지도상에서 토지이용상황을 직접 디지털화(digitizing)하여 생성한 커버리지 및 통계연보상의 자료와 비교하였다.

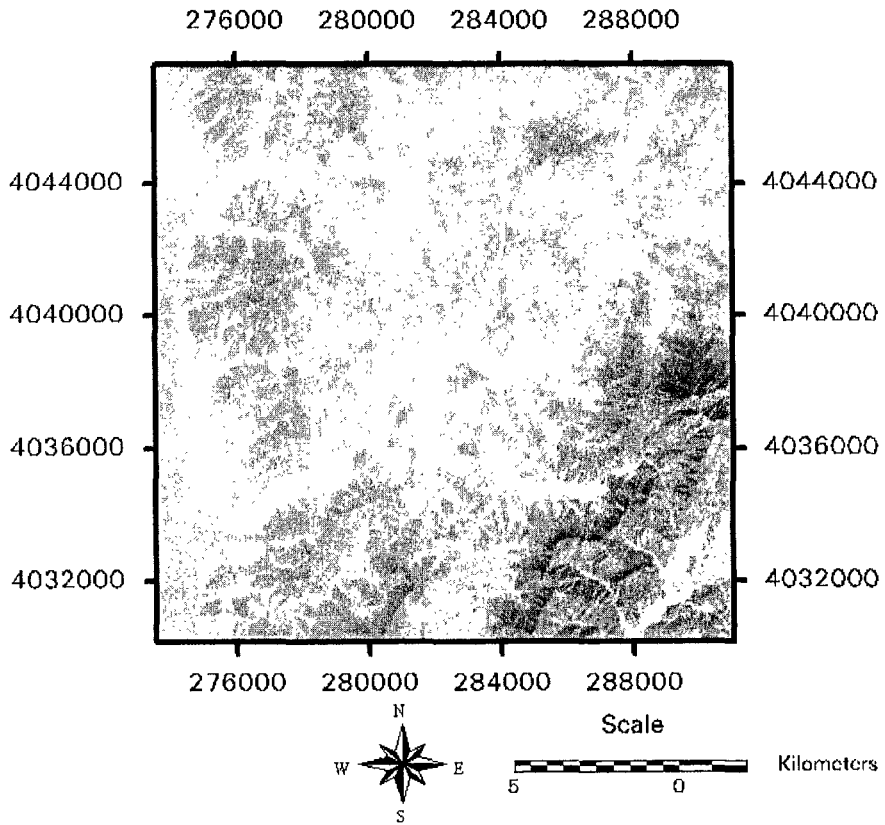
(표 4-7) 토지피복분류 결과

(단위 : %)

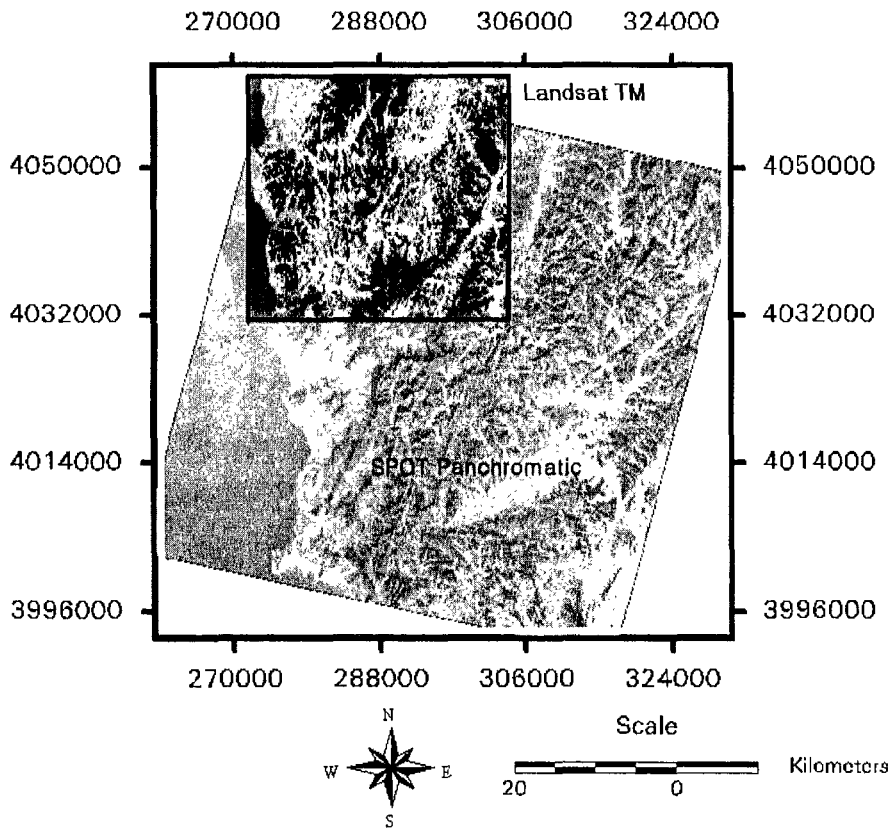
| 항목 | | 물 | 산림 | 주거지 | 논 | 밭 | 갯벌 |
|------|----|-------|-------|--------|--------|-------|-------|
| 구분 | | | | | | | |
| 감독 | 비율 | 0.69 | 43.36 | 2.59 | 34.11 | 10.93 | 7.46 |
| | 차이 | - | 6.70 | 0.05 | -12.28 | 4.85 | - |
| 무감독 | 비율 | 13.34 | 29.65 | 21.07 | 22.07 | 0 | 13.87 |
| | 차이 | - | 20.43 | -18.40 | -0.24 | 15.78 | - |
| 통계자료 | 비율 | - | 50.08 | 2.64 | 21.83 | 15.78 | - |



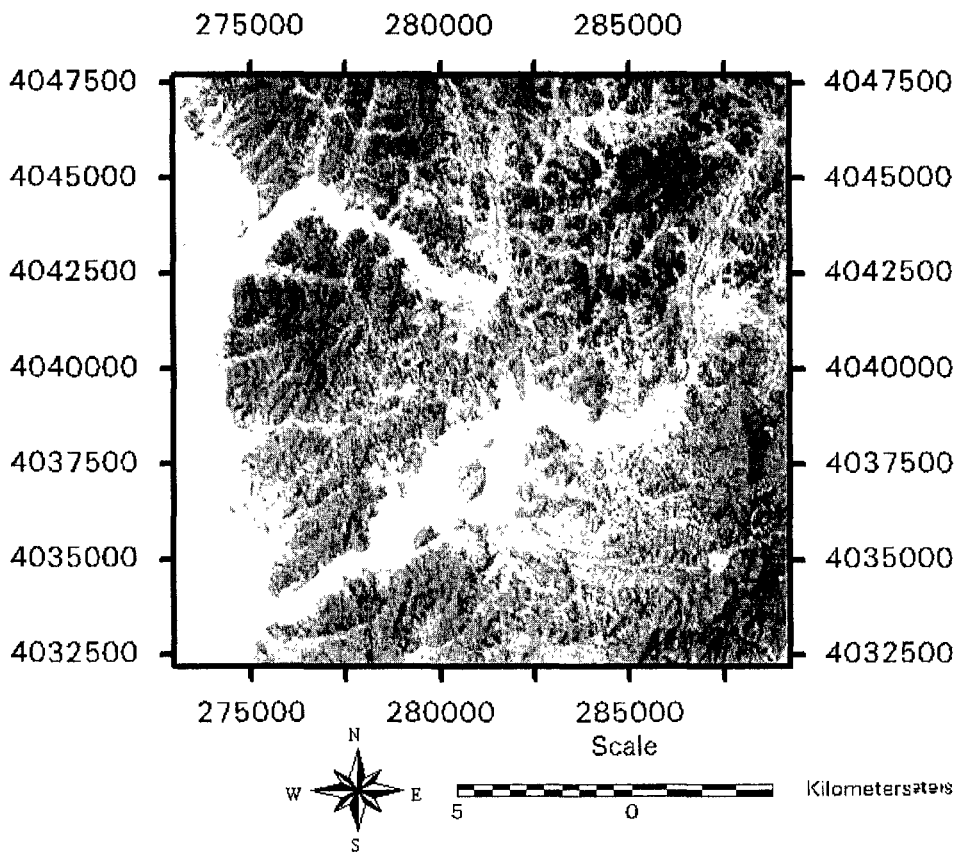
<그림 4-8> 홍보간척지역의 Landsat TM



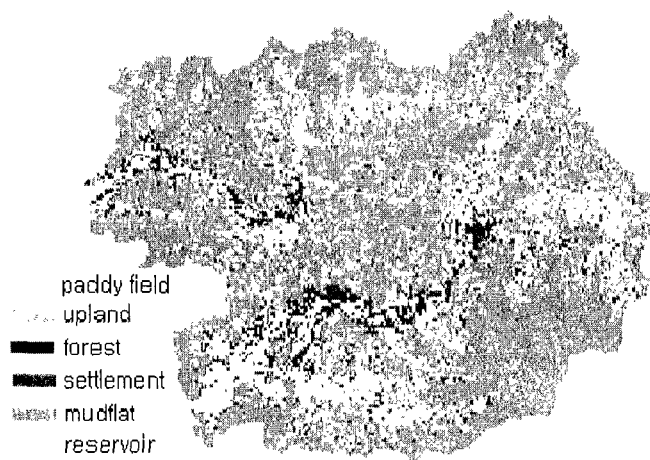
<그림 4-9> 홍보간척지역의 SPOT Panchromatic



<그림 4-10> Landsat TM과 SPOT Panchromatic 중첩



<그림 4-11> Landsat TM과 SPOT Panchromatic 중첩후 Image



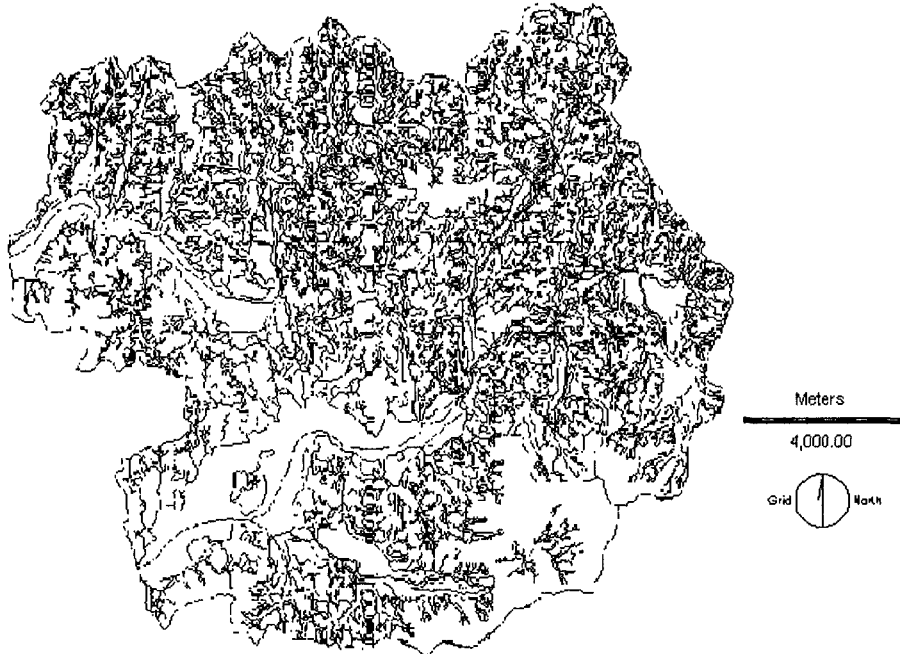
<그림 4-12> 홍보간척지역의 토지피복도

3. 토양도

토양도(soil map)는 농촌진흥청 토양물리과에서 제작한 정밀토양도(1:25,000), 개략토양도(1:50,000, 1:250,000)가 있다. 이들 자료는 모두 Arc/Info 벡터 커버리지로 구축되어 있으며, “토양부호”를 기본속성으로 가지고 있다. 본 연구에서는 수자원/수질분야에서 활용하기 위해 정밀토양도(1:25,000)를 “토양총설”의 내용을 참고하여 토양종류, 배수정도, 유효토심, 유기물함량 등의 속성을 추가 입력하여 토양배수별-종류별 분포도를 작성하였다. 구축 과정은 토양도를 ARC/INFO 자료를 DLG 파일형태로 변환시킨 후, 이를 IDRISI로 불러들여 원래 토양부호별로 입력된 자료를 토양종류 및 4 가지 수문학적 토양군으로 재분류(RECLASS)하였다.

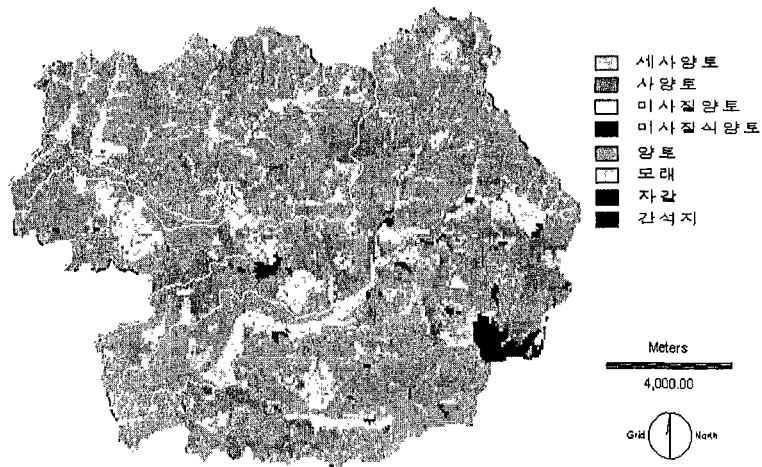
본 지구의 토질은 '91년도에 기 조사된 자료로 대체로 적갈색의 점질토로 이루어져 있으며, 보령방조제 간석지 구간의 기초지반은 0~20m 깊이에 실트와 소량의 모래가 섞여있는 해성퇴적토이고 영구간의 기초지반은 0~3m 깊이가 실트층이며 그 이하는 모래층이 형성되어 있고, 실트층은 함수비 31.2~49.6%, 단위중량 1,726~1,923kg/m³, 점착력 0.9~2.6t/m²인 연약지반이다. 토양의 특성은 36개 토양층으로 분류되며 대부분 하해혼성평탄지, 하성평탄지, 곡간지, 구상지 및 홍적대지 구릉지로 분포되어 있다.

홍보간척지구 정밀 토양도 (1:25,000)



<그림 4-13> 홍보간척지구 정밀 토양도 (1:25,000)

홍보간척지구 토양종류별 분포도 (1:25,000)



<그림 4-14> 홍보간척유역의 토양종류별 분포도(1:25,000)

홍보간척지구 토양배수 분포도 (1:25,000)

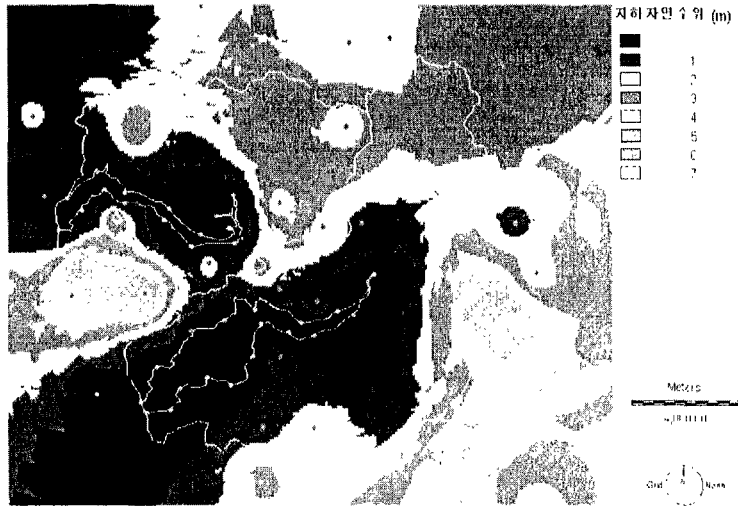


<그림 4-15> 홍보간척구역의 토양배수 분포도(1:25,000)

4. 지하수위 분포도

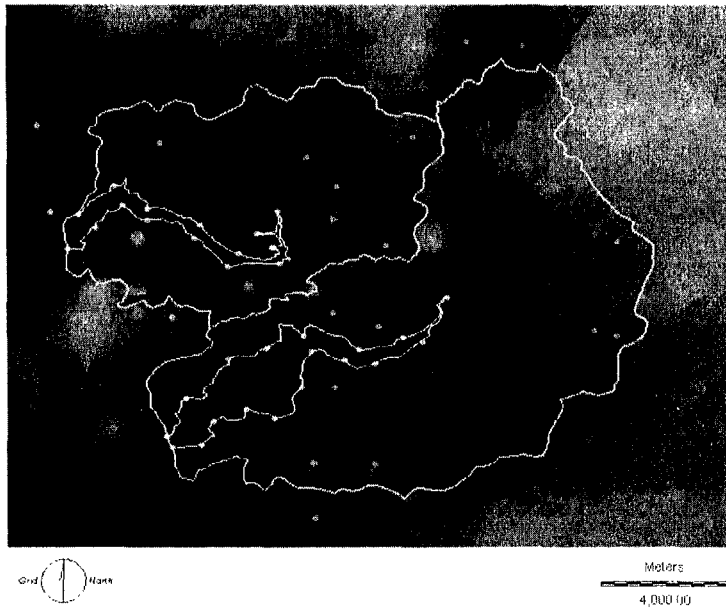
지하수위 분포도는 농어촌진흥공사가 1982년부터 1991년까지 시행한 “전국 지하수 수맥도 조사사업” 자료에서 관측공의 경위도별 지하수위자료와 한국수자원공사의 지하수자원 기본조사보고서(1993)를 이용하여 구축하였다. 지하수위분포도는 일별 유출모델링에 유용한 자료이다.

분석과정은 IDRISI에서 관측공의 위치도를 vector map으로 작성한 후, Surface Interpolation의 INTERPOL에서 지하수위에 대한 value file을 이용하여 지하수위 분포도를 생성시켰다.



<그림 4-18> 홍보간척유역의 지하자연수위 분포도

홍보간척지구 지하수위분포도 (m)



<그림 4-19> 홍보간척유역의 심층지하수위 분포도

5. 강우관측망도

강우관측망도는 IDRISI S/W로 위·경도 점자료를 입력하여 티센망도를 작성하였다. 그림 4.20에서 보는바와 같이 보령담수호 유역은 거의 대부분이 보령관측소망에 포함되어 있고 윗쪽 일부만이 서산 관측소망에 걸쳐있다. 따라서 수질예측시 필요한 강우자료는 보령관측소의 값을 위주로 사용하였다.

홍보간척지구 티센망도



<그림 4-20> 홍보간척유역의 티센망도

제2절 담수호 유역의 GIS/DB 정보화

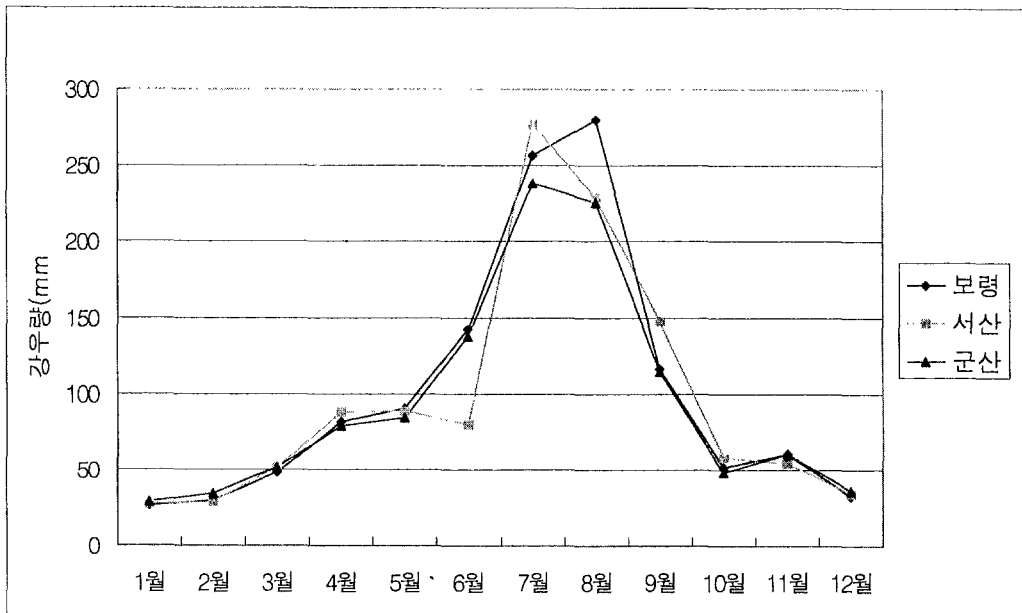
1. 수문관련 자료의 수집

가. 기상자료

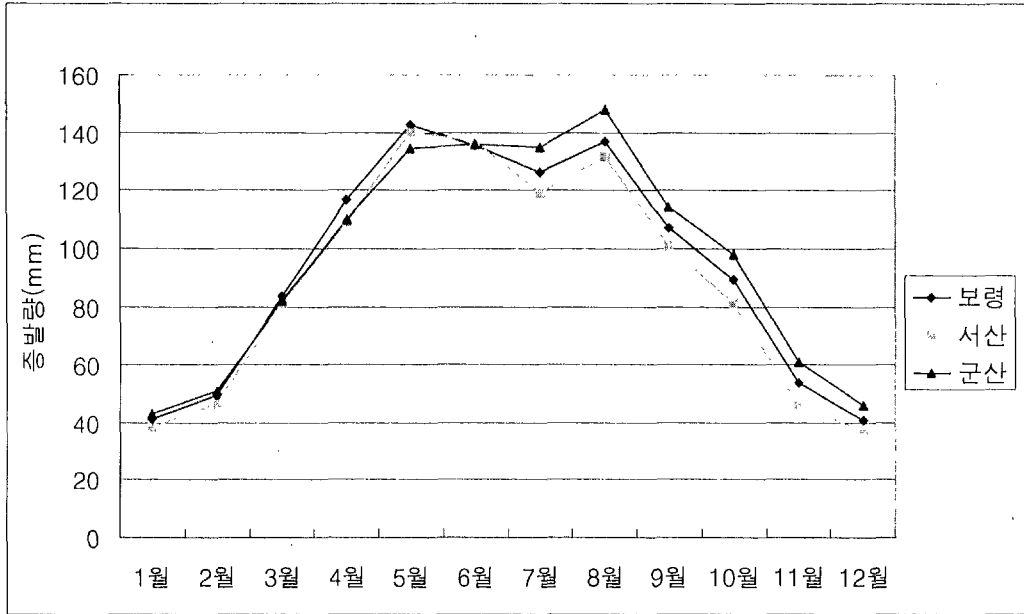
본 유역은 전형적인 몬순기후의 영향을 받아 여름에는 고온다습하며, 겨울에는 한랭건조한 기후로서 연평균기온은 12.0℃이며 기왕의 최고 기온은 30.6℃이고 최저기온은 -11.7℃이다.

년평균 강우는 1,217.8mm로서 전국 평균 1,274mm보다 다소 낮게 나타나고 대부분 6-9월의 우기에 집중되며, 일반적으로 연 3-4회의 폭풍이 7-9월경에 통과하고 있으며 평균풍속은 2.0m/sec이고, 최대풍속은 17.0m/sec였다.

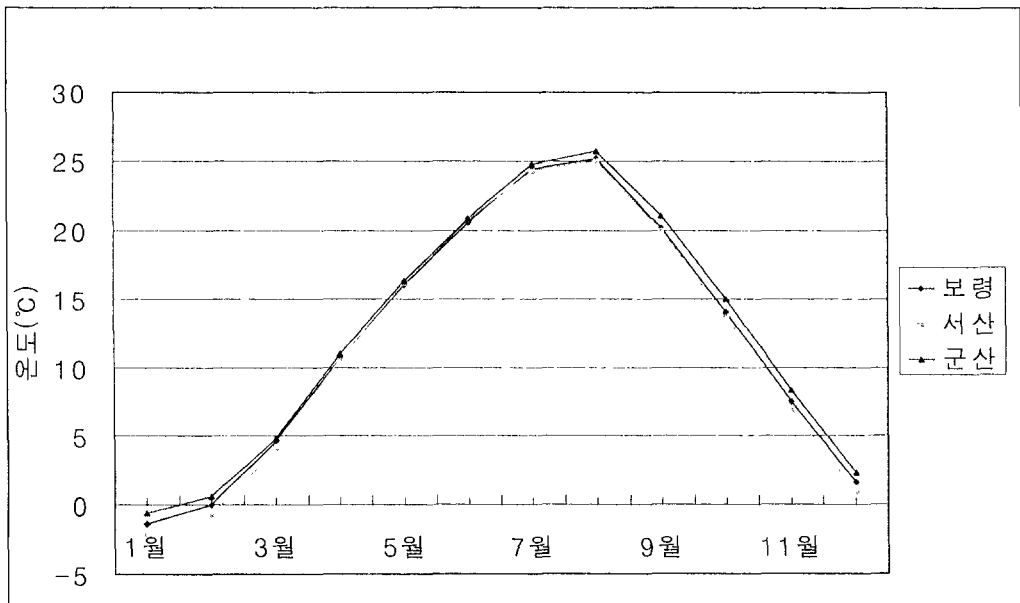
보령('73~2001), 서산('68~2001), 군산('68~2001)관측소별 평균기상자료(강우량, 기온, 습도, 증발량, 풍속, 일조시간)를 도시하면 <그림 4-21>과 같다.



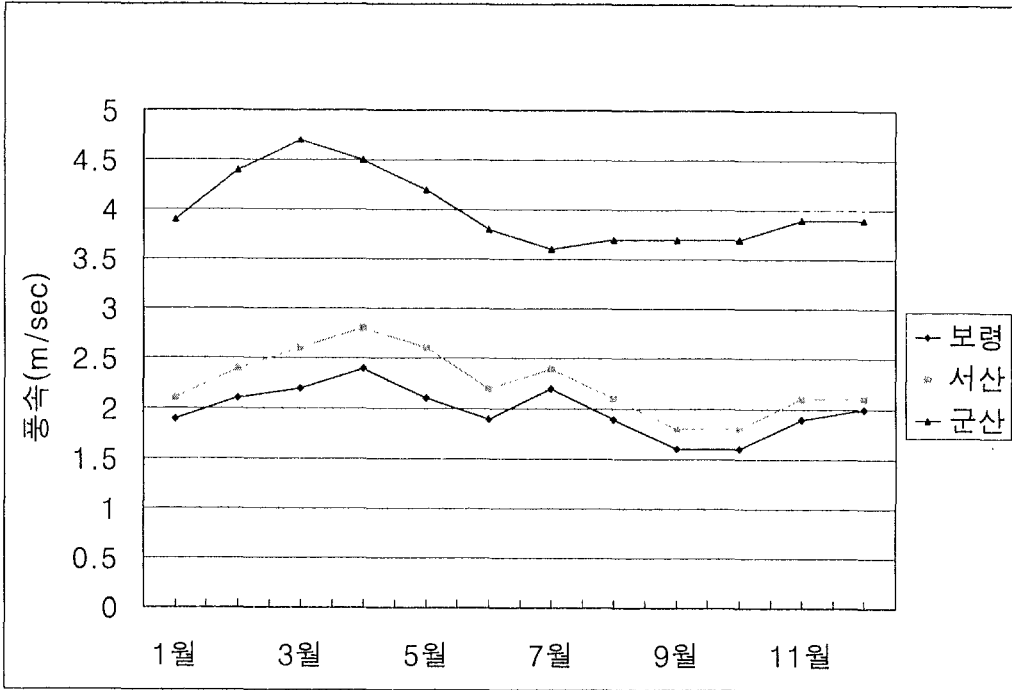
a. 강우량



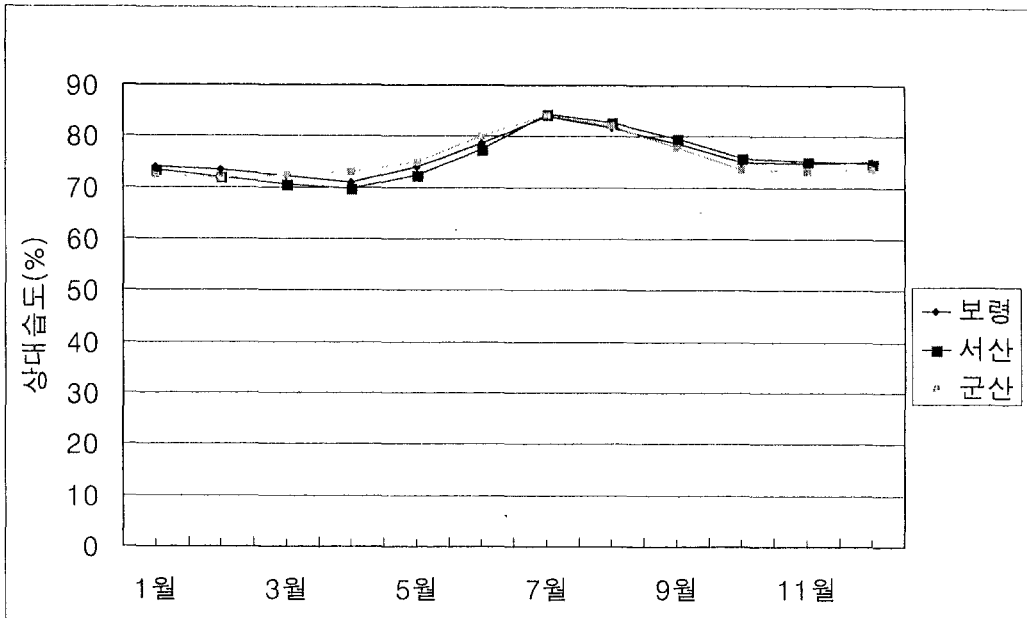
b. 증발량



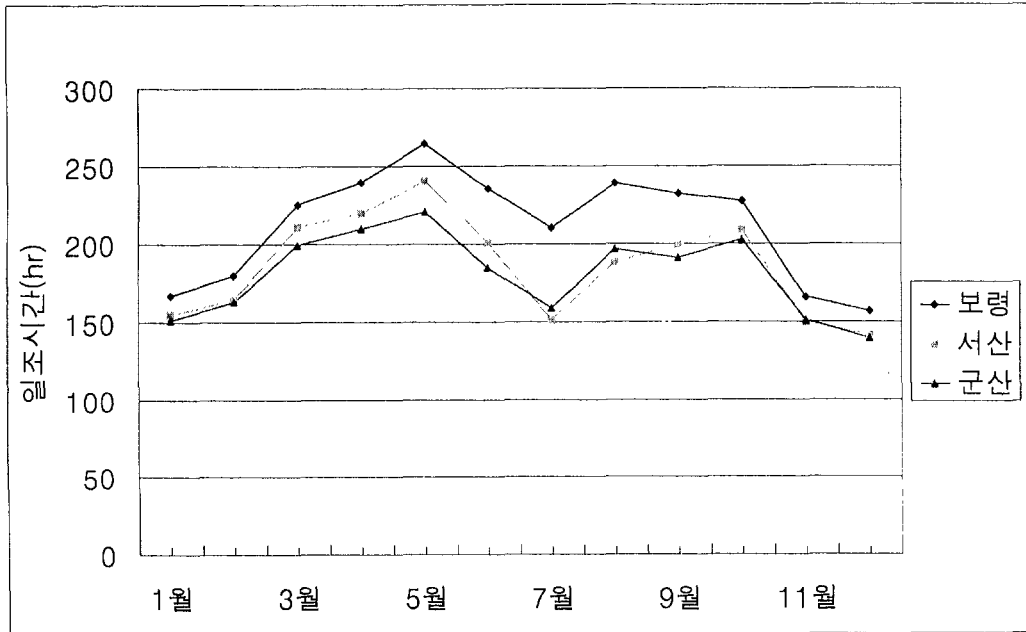
c. 평균 기온



d. 평균 풍속



e. 상대습도



f. 일조시간

<그림 4-21> 보령, 서산, 군산 관측소별 평균기상자료
(강우량, 증발량, 기온, 풍속, 상대습도, 일조시간) (1968-2001)

본 지역의 지배관측소인 보령관측소 기상인자들의 변화를 10년 단위('70년대, '80년대, '90년대)로 비교하여 도시하면 <그림 4-22 ~ 4-25>와 같다.

1) 기온

일반적으로 우리나라 년 평균기온은 지역별로 다소 차이가 있으며 남부 해안지방이 13~14℃, 중부 해안지방이 13~15℃, 중부내륙지방은 9~11℃ 정도이다. 기온의 연교차는 남부 지방이 22~26℃, 중부 해안지방이 24~28℃, 남부 내륙지방이 25~29℃, 중부 내륙지방이 28~32℃ 정도로서 남쪽에서 북쪽으로 갈수록 커지고, 해안지방에서 내륙지방으로 갈수록 커지는 경향이 있다. 중부 서해안지방에 속하는 보령지역의 연평균 기온은 약 12~13℃를 나타내고 있다. 계절별로 살펴보면 봄, 여름의 평균기온은 관측 이래로 별 차이를 보이지 않고 있으나 가을 겨울의 경우 80년대 중반 이후부터 높아지는 것을 알 수 있다. 이는 현재 문제가 되고 있는 온난화 현상에 기인한 것이라 판단된다.

2) 상대습도

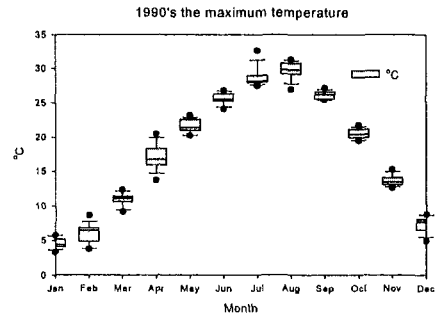
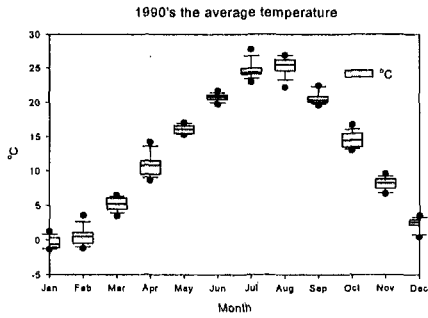
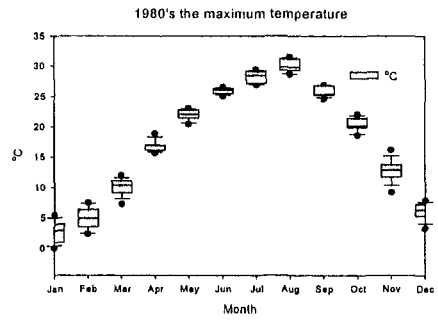
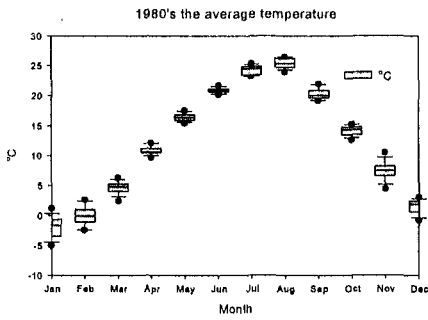
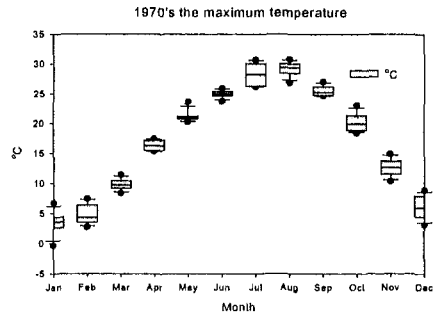
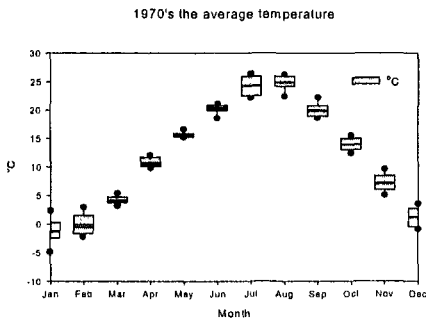
상대습도는 대기의 건·습 상태를 표시하는 요소로서 모든 물질의 부패상태, 미생물의 번식 등과 밀접한 관계가 있을 뿐만 아니라, 큰 화재의 발생에 바람과 더불어 가장 밀접한 관계를 갖는 기후요소이다. 또한 여름철의 불쾌지수를 높이는 주요 원인이기도 하다. 보령지역의 연평균 상대습도는 90년대 들어서 다소 낮아졌으며 최대습도와 최소습도의 차이도 크게 나타나고 있다.

3) 풍속

풍속의 경우, 지표면 근처에 있는 공기이동은 지표의 거칠기에 비례하는 마찰에 의하여 방해를 받는다. 그러므로 지형, 수림의 위치 및 밀도, 호소, 강과 언덕 및 건물의 위치와 크기 등은 수직방향에서의 바람의 속도 구배를 다르게 한다. 풍향은 겨울철에 북태평양 기단의 영향을 받기 때문에 비교적 북서풍(NW)이 우세하고, 여름에는 북태평양기단에 의해 남동(SE)풍이 우세하며 봄과 가을철에는 뚜렷한 방향이 없다. 그러나 산악이 험한 지형 등에서는 연중 거의 일정한 풍향을 나타내는 곳도 있으며, 풍속도 지형적인 영향을 받아 섬지방은 해안지방보다, 해안지방은 내륙지방보다 바람이 강하게 나타난다. 보령지역의 연평균 풍속은 약 2m/sec로 경년변화에 따른 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 월평균 풍속은 4, 7월에 높게 조사되었다.

4) 강우량

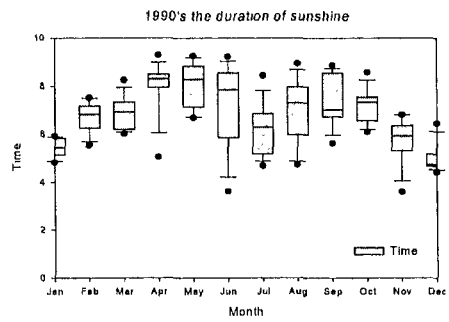
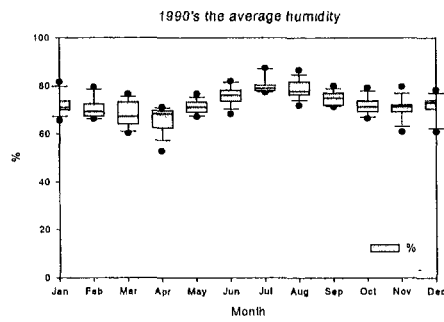
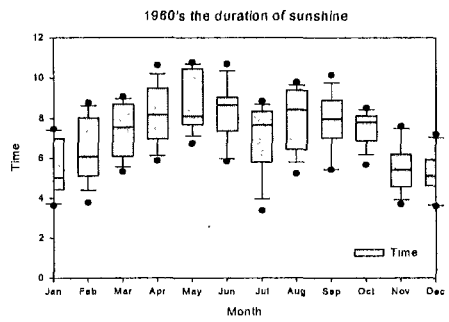
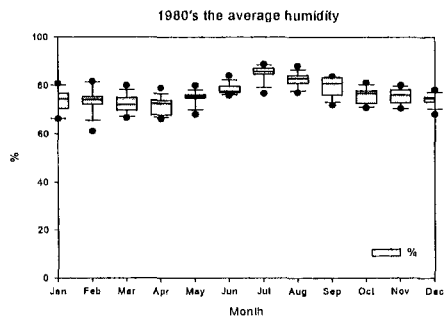
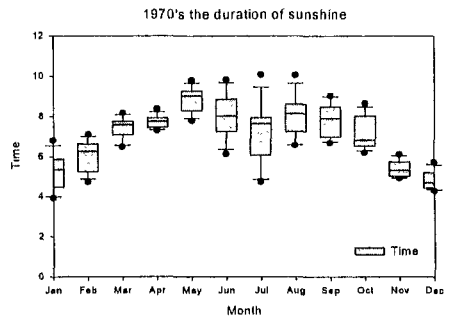
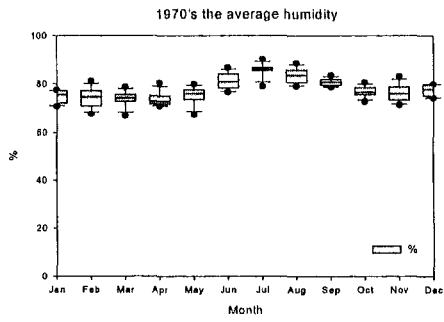
강우량은 평균 1,217.8mm로 조사되었으나 97년 이후로 관측된 자료를 살펴보면 1,494.5mm로써 다소 높게 나오는 것을 알 수 있다. 이는 세계적인 기상이상 등의 영향으로 즉 태풍, 지구온난화 등에 의한 영향이 큰 것으로 판단된다. 겨울철 강우량을 경년 비교하여 보면 90년대 들어 상대적으로 작아진 것을 알 수 있다.



평균기온 °C

최고기온 °C

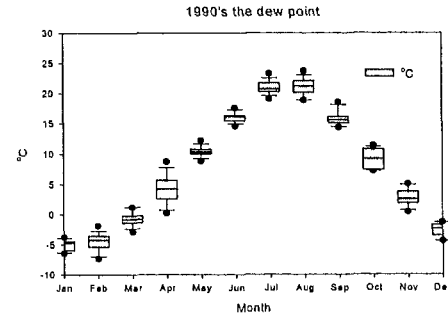
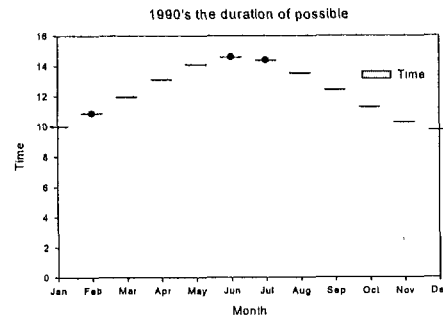
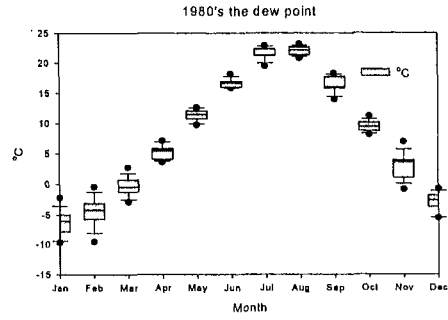
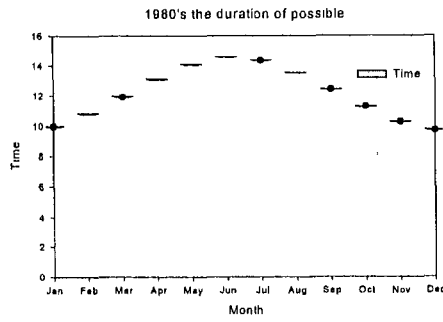
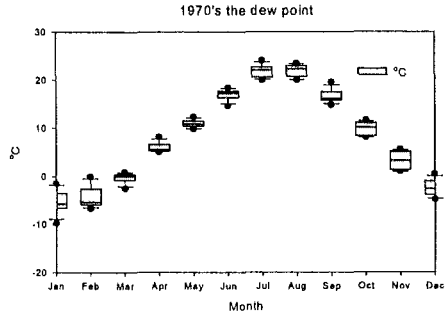
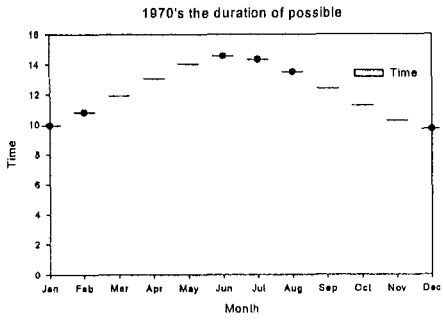
<그림 4-22> 보령관측소의 연대별 평균기온과 최고기온의 변화



평균습도

일조시간

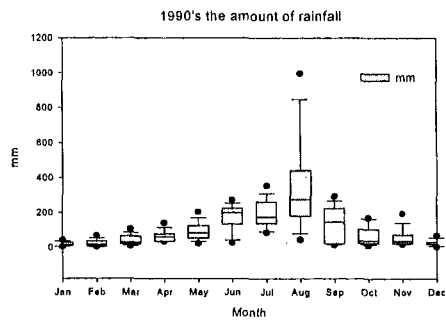
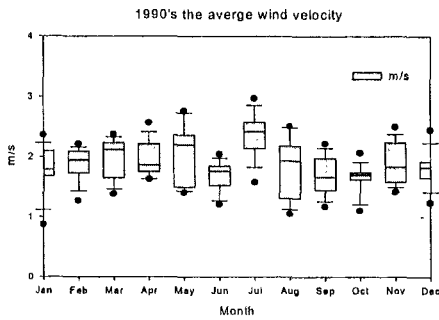
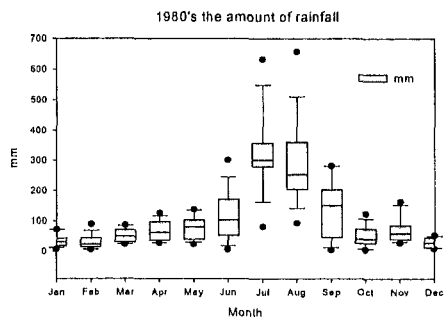
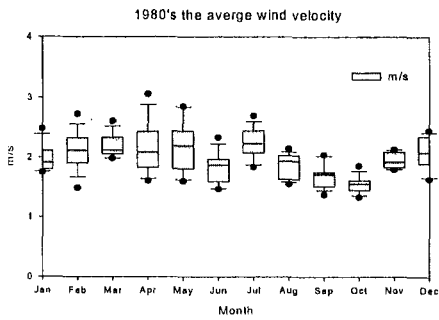
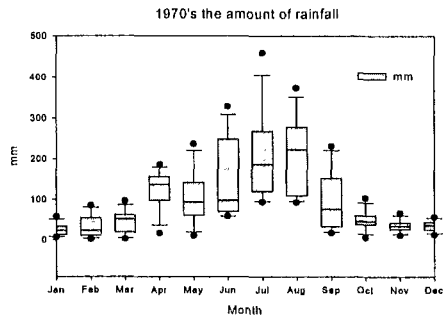
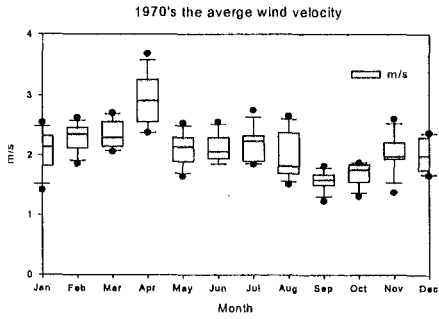
<그림 4-23> 보령관측소의 연대별 평균습도와 일조시간의 변화



가조시간

이슬점 온도

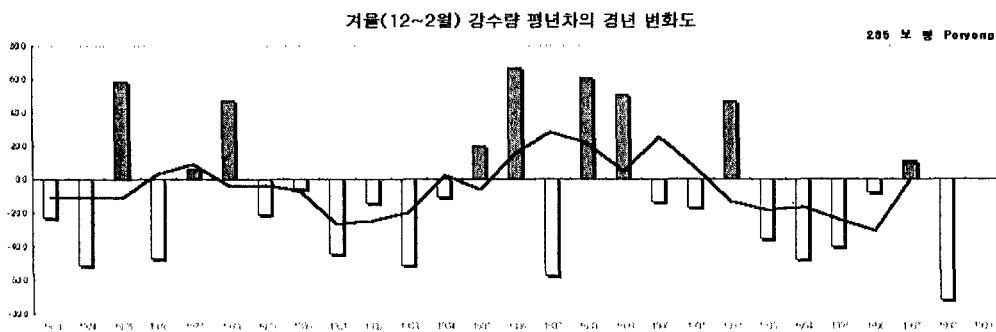
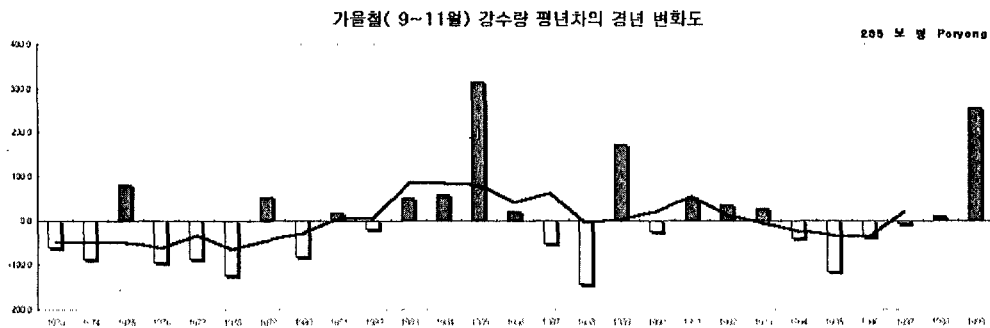
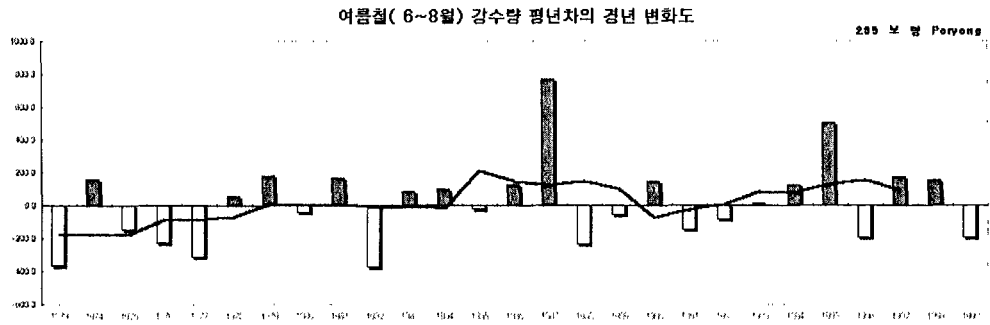
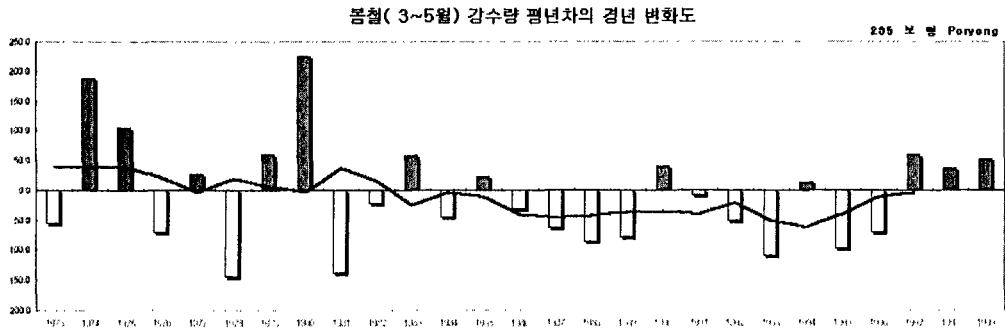
<그림 4-24> 보령관측소의 연대별 가조시간과 이슬점온도의 변화



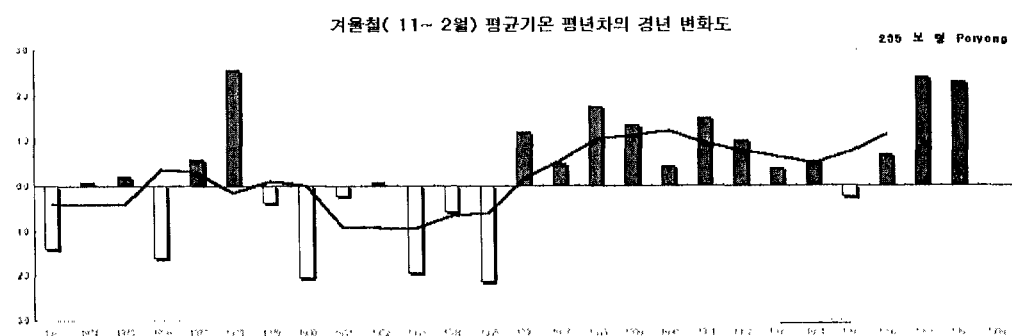
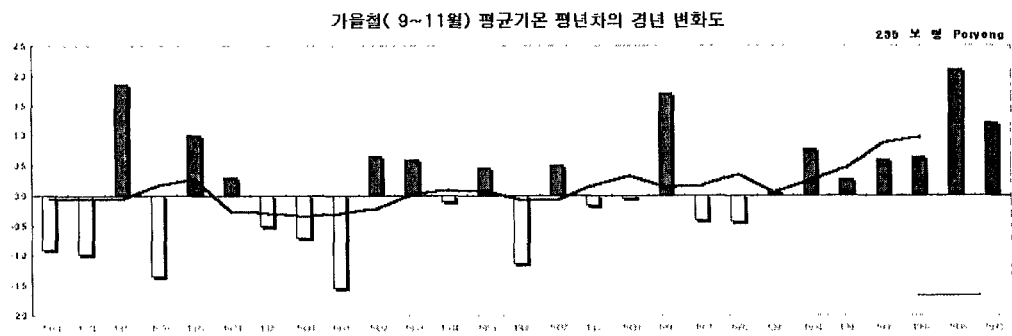
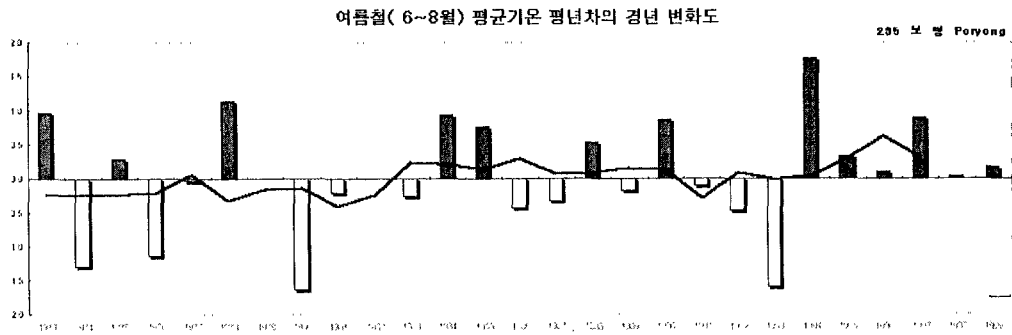
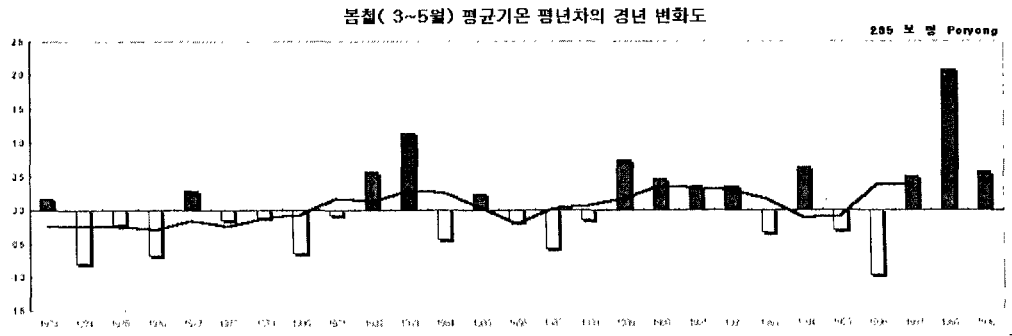
평균풍속

강우량

<그림 4-25> 보령관측소의 연대별 평균풍속과 강우량의 변화



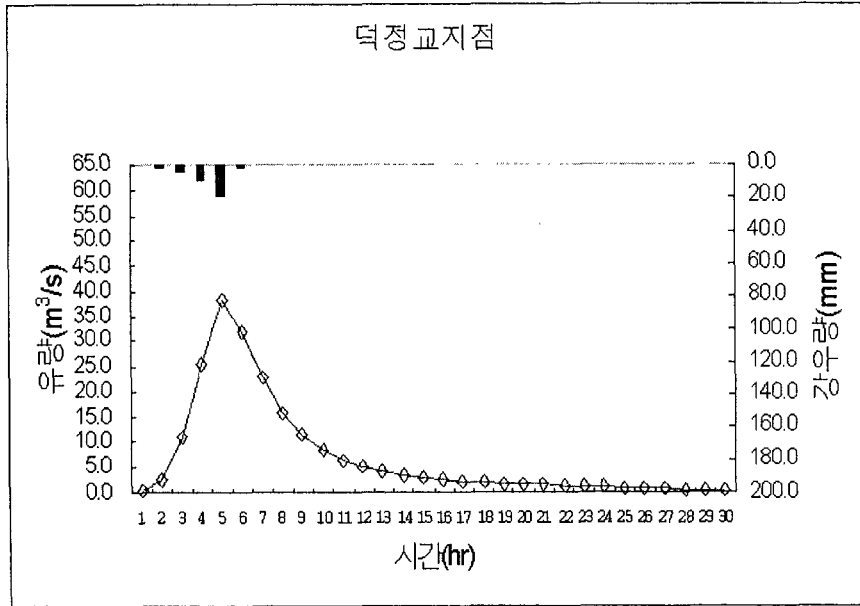
<그림 4-26> 보령관측소의 계절별 강수량 경년 변화도



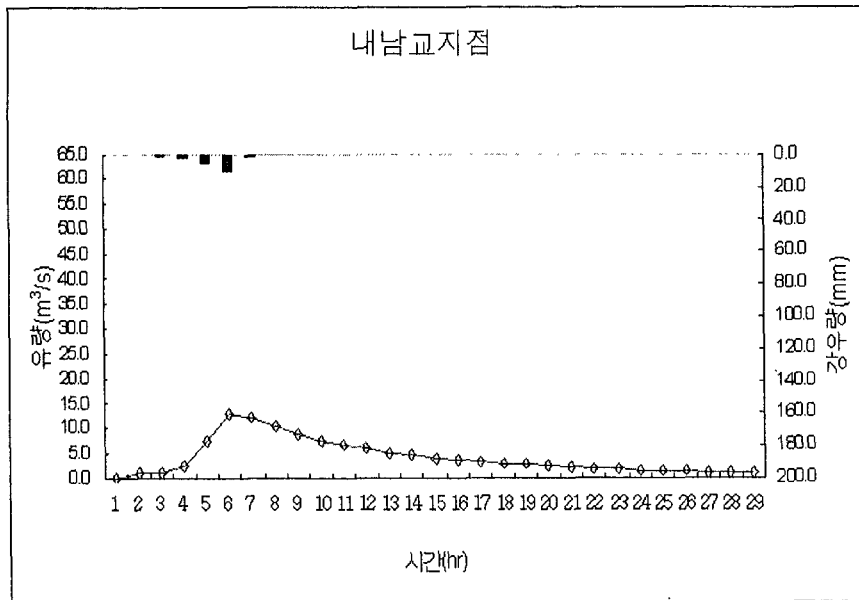
〈그림 4-27〉 보령관측소의 계절별 평균기온 경년 변화도

나. 유출량자료

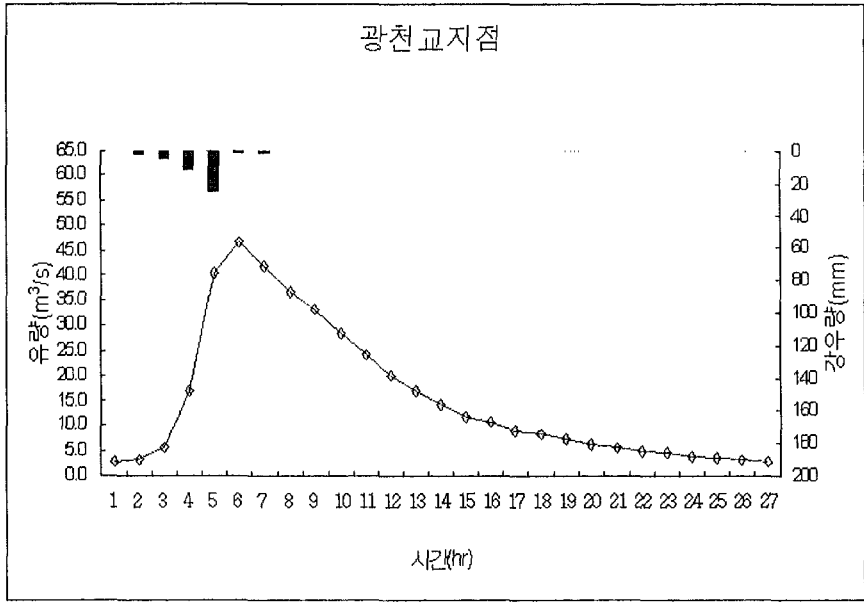
유출량자료는 덕정교, 내남교, 광천교지점의 수위-유량자료(농어촌진흥공사, 홍보지구 수문조사보고서, 1990)를 수집하였다.



a. 덕정교 지점



b. 내남교지점



c. 광천교지점

<그림 4-28> 지점별 유출량 자료(1990)

다. 지하수위자료

지하수위자료는 기존의 조사자료(한국수자원공사, 지하수기본조사보고서, 1993)를 수집하였다.

(표 4-7) 홍성·보령 간척지구 수맥도 종합자료

| 행정구역 | | | | 좌표 | | 표고 (MSL) | 심도 (M) | 자연 수위 (M) | 양수량 (m/ day) | 지질 | 충적 층후 (M) | 풍화 대후 (M) | 대수층 |
|-------|----|----|----|----------|-----------|-------------|-----------|-----------------|--------------------|-----|-----------------|-----------------|-------|
| 도 직할시 | 시군 | 읍면 | 동리 | 북위 | 동경 | | | | | | | | |
| 충청남도 | 홍성 | 갈산 | 부기 | 36 37 20 | 126 32 20 | 24 | 49 | 3.3 | 60 | 편암 | 3.0 | 2.6 | 암반 |
| " | 홍성 | 서부 | 광리 | 36 35 35 | 126 30 15 | 11 | 50 | 6.0 | 15 | 편암 | 0.3 | 4.2 | 암반 |
| " | 홍성 | 구항 | 내현 | 36 34 43 | 126 36 27 | 44 | 50 | 1.5 | 40 | 섬록암 | 1.8 | 45.2 | 암반 |
| " | 홍성 | 구항 | 황곡 | 36 34 51 | 126 37 28 | 62 | 40 | 1.8 | 123 | 섬록암 | 3.0 | 2.0 | 암반 |
| " | 홍성 | 홍성 | 옥암 | 36 34 47 | 126 38 39 | 50 | 38 | 3.02 | 345 | 화강암 | 2.0 | 12.0 | 암반+풍화 |
| " | 홍성 | 홍성 | 학계 | 36 34 13 | 126 39 53 | 50 | 53 | 3.2 | 115 | 화강암 | 7.0 | 20.0 | 풍화+암반 |
| " | 홍성 | 홍성 | 신성 | 36 33 36 | 126 40 35 | 40 | 52 | 3.1 | 50 | 편마암 | 2.7 | 16.7 | 암반 |
| " | 송성 | 은하 | 장곡 | 36 32 48 | 126 36 25 | 33 | 42 | 3.8 | 227 | 섬록암 | 0.4 | 17.8 | 풍화+암반 |
| " | 홍성 | 구항 | 태봉 | 36 33 31 | 126 36 01 | 55 | 52 | 2.5 | 110 | 섬록암 | 3.0 | 2.8 | 암반 |
| " | 홍성 | 결성 | 성남 | 36 30 50 | 126 33 03 | 10 | 50 | - | - | 화강암 | 0.2 | 2.0 | 암반 |
| " | 홍성 | 결성 | 우량 | 36 33 02 | 126 32 41 | 35 | 31.5 | 0.85 | 81 | 편암 | 4.5 | 21.5 | 암반+충적 |
| " | 홍성 | 서부 | 판교 | 36 32 34 | 126 31 09 | 410.6 | 34 | 3.2 | 284 | 화강암 | 1.0 | 26.0 | 암반+풍화 |
| " | 홍성 | 서부 | 남당 | 36 32 52 | 126 28 34 | 15 | 40 | 1.6 | 266 | 편암 | 3.0 | 17.0 | 암반+풍화 |
| " | 홍성 | 결성 | 금곡 | 36 32 10 | 126 33 00 | 15 | 75 | 1.35 | 345 | 편마암 | 1.3 | 25.1 | 풍+암+충 |
| " | 홍성 | 은하 | 거산 | 36 32 19 | 126 34 13 | 14.9 | 42 | 3.3 | 240 | 편마암 | 5.0 | 26.5 | 암반+풍화 |
| " | 홍성 | 은하 | 학동 | 36 31 43 | 126 34 51 | 28 | 28 | 2.80 | 210 | 화강암 | 6.0 | 3.5 | 암반 |
| " | 홍성 | 결성 | 읍내 | 36 31 33 | 126 32 50 | 20 | 30 | 1.2 | 144 | 편암 | 3.6 | 3.7 | 암반 |
| " | 보령 | 천북 | 장읍 | 36 30 33 | 126 30 45 | 12.8 | 56.4 | 4.09 | 146 | 규장암 | 0.7 | 10.2 | 암반+풍화 |
| " | 보령 | 천북 | 사호 | 36 29 19 | 126 29 53 | 15 | 51.5 | 6.3 | 72 | 규장암 | 2.5 | 9.5 | 암반+풍화 |
| " | 보령 | 천북 | 사호 | 36 28 42 | 126 29 42 | 20 | 49 | 4.25 | 69 | 규장암 | 2.7 | 6.5 | 암반 |
| " | 보령 | 천북 | 학성 | 36 26 28 | 126 30 22 | 10 | 46 | - | - | 편마암 | 24 | 22 | 충적층 |
| " | 보령 | 천북 | 신덕 | 36 29 29 | 126 34 24 | 15.6 | 48 | 2.95 | 182 | 편암 | 2.7 | 13.8 | 암반+풍화 |
| " | 보령 | 천북 | 신덕 | 36 28 49 | 126 31 32 | 21.2 | 37.5 | 6.7 | 272 | 편마암 | 1.5 | 31.5 | 암반+풍화 |
| " | 보령 | 천북 | 낙동 | 36 29 32 | 126 33 05 | 3.9 | 47.6 | 1.97 | 142 | 편암 | 5.8 | 5.9 | 암반 |
| " | 홍성 | 은하 | 대판 | 36 30 59 | 126 34 49 | 30 | 46 | 4.25 | 216 | 편암 | 3.0 | 24.0 | 암반 |
| " | 홍성 | 광천 | 상정 | 36 30 33 | 126 36 52 | 6.4 | 50 | 1.3 | 247 | 편암 | 1.7 | 5.0 | 암반 |
| " | 홍성 | 은하 | 화봉 | 36 30 27 | 126 35 55 | 30 | 33.3 | 2.45 | 192 | 편암 | 2.5 | 8.2 | 암반+충적 |
| " | 보령 | 천북 | 신죽 | 36 28 59 | 126 34 53 | 8.19 | 35 | 1.40 | 276 | 편암 | 0.7 | 14.3 | 암반+풍화 |
| " | 보령 | 천북 | 신죽 | 36 28 43 | 126 35 50 | 5.96 | 36.7 | 1.21 | 103 | 화강암 | 2.4 | 25.5 | 암반+풍화 |
| " | 보령 | 청소 | 신송 | 36 27 26 | 126 34 56 | 3.0 | 36 | 1.02 | 142 | 편암 | 5.0 | 3.65 | 암반 |
| " | 홍성 | 장곡 | 광성 | 36 28 44 | 126 40 20 | 84.9 | 43 | 6.4 | 163 | 편마암 | 7.0 | 11.0 | 암반+풍화 |
| " | 홍성 | 장곡 | 가송 | 36 30 37 | 126 40 44 | 30 | 43.5 | 1.1 | 190 | 편마암 | - | 40 | 암반+충적 |
| " | 홍성 | 장곡 | 행성 | 36 30 48 | 126 44 24 | 63.7 | 45.5 | 1.8 | 247 | 편마암 | 2.5 | 33.5 | 암반+풍화 |
| " | 홍성 | 장곡 | 천태 | 36 30 48 | 126 46 00 | 36.3 | 36.3 | 3.1 | 244 | 편마암 | 4.8 | 2.5 | 암반 |
| " | 홍성 | 장곡 | 상송 | 36 29 54 | 126 42 09 | 55 | 47 | 2.8 | 205 | 편암 | 2.0 | 7.6 | 암반 |
| " | 홍성 | 장곡 | 신평 | 36 29 28 | 126 41 17 | 66.08 | 44 | 1.7 | 246 | 편암 | 3.0 | 7.0 | 암반+풍화 |
| " | 홍성 | 장곡 | 광성 | 36 28 37 | 126 40 47 | 83 | 33.3 | 4.66 | 117 | 편마암 | 6.3 | 24.2 | 암반+충적 |
| " | 보령 | 청소 | 장곡 | 36 25 53 | 126 34 34 | 14.5 | 40.7 | 1.38 | 152 | 편암 | 2.3 | 5.2 | 암반 |
| " | 보령 | 청소 | 야현 | 36 25 48 | 126 35 50 | 35 | 42 | 2.1 | 50 | 편암 | 4.5 | 6.5 | 암반 |
| " | 보령 | 주포 | 봉당 | 36 24 37 | 126 34 37 | 27 | 35 | 2.7 | 216 | 편마암 | 2.0 | 28.0 | 암반+풍화 |
| " | 보령 | 청라 | 의평 | 36 23 00 | 126 39 42 | 73.2 | 51 | 6.4 | 200 | 퇴적암 | 4.5 | 4.5 | 암반 |
| " | 보령 | 청라 | 소항 | 36 23 50 | 126 41 27 | 98.2 | 45.4 | 1.8 | 185 | 편암 | 2.7 | 6.1 | 암반 |
| " | 청양 | 남양 | 홍산 | 36 22 27 | 126 45 07 | 125 | 35 | 6.4 | 260 | 편암 | 4.0 | 25.0 | 풍화대 |

2. 인문·사회 통계자료 수집

가. 토지이용 통계자료

토지이용 통계자료는 행정구역별(은하면, 천북면, 청소면, 광천읍, 구항면, 장곡면, 오천면) 논, 밭, 과수원 등의 자료를 수집하였다.

나. 유역내 통계자료 조사

행정구역별 인구, 축산 등 자료를 수집하여 ARC-VIEW로 분포도를 작성하였다.

1) 인구

인구의 분포를 알아보면 이 가운데 약 54%에 가까운 인구가 홍성군 광천읍에 밀집되어 있으며, 다음으로 보령시 청소면이 14.9%, 천북면이 10.6%의 분포를 이루고 있다. 보령 담수호 유역 가운데 홍성군의 인구가 약 19,440명으로 약 70%를 차지하고 있다.

2) 가축

유역내에서 이루어지고 있는 한우의 총 사육두수는 12,501마리였으며 이 가운데 홍성군 광천읍 3,429마리, 홍성군 구항면 1,182마리, 홍성군 장곡면 1,882마리 그리고 보령시 천북면 2,903마리, 보령시 청소면 1,930마리로 거의 대부분이 이 지역에서 한우가 사육되고 있다. 젖소의 경우 총 사육두수가 2,781마리였는데 보령시 천북면에서 2,106마리로 거의 대부분이 이 지역에서 사육되고 있으며, 기타 지역에서는 소규모로 젖소의 사육이 이루어지고 있다. 돼지의 경우 총 사육두수가 135,311마리였는데 홍성군 광천읍에서 40,672마리, 보령시 천북면에서 53,697마리, 보령시 청소면에서 25,610마리가 사육되고 있다. 닭의 경우 총 사육두수가 617,026마리였는데 보령시 천북면 275,986마리, 보령시 청소면 267,885 마리로 거의 대부분의 닭이 이 지역에서 사육되고 있다.

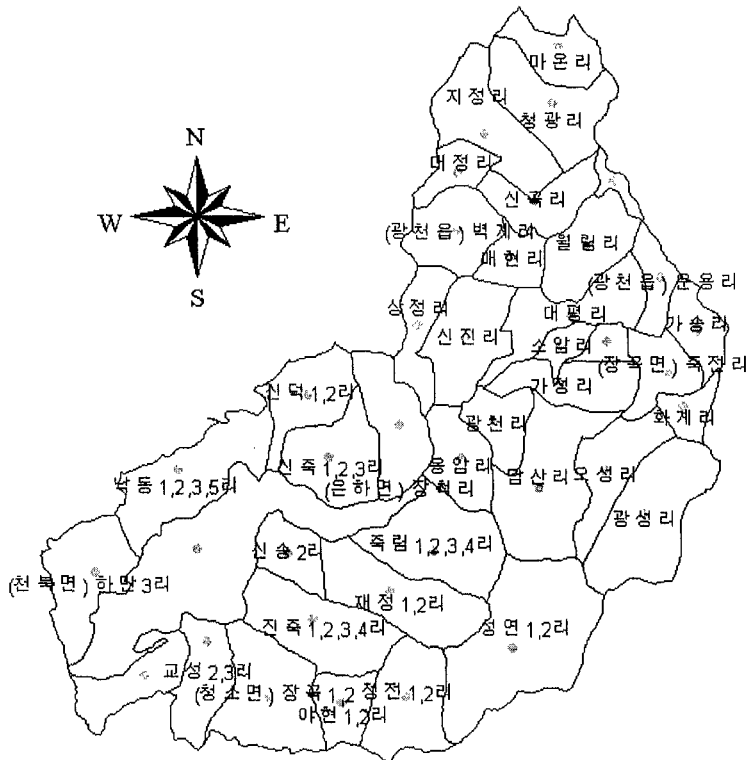
(표 4-8) 소유역별/리별 인구/가축 통계

| 시군 | 리별 | 인구 (명) | 가 축 (마리) | | | |
|------|----|-----------|----------|-------|--------|---------|
| | | | 한우 | 젖소 | 돼지 | 닭 |
| WS#1 | 하만 | 1,205 | 936 | 1,478 | 13,719 | 28,475 |
| WS#2 | 낙동 | 994 | 855 | 573 | 5,374 | 158,309 |
| WS#3 | 신덕 | 409 | 460 | 56 | 7,713 | 43,500 |
| | 신죽 | 560 | 652 | 0 | 26,891 | 45,702 |
| WS#4 | 장척 | 648 | 972 | 23 | 4,271 | 17,366 |
| WS#5 | 신진 | 5,210 | 32 | 4 | 8 | 37 |
| | 매현 | 273 | 184 | 20 | 145 | 28 |
| | 벽계 | 578 | 331 | 15 | 2,054 | 154 |
| | 상정 | 623 | 196 | 0 | 464 | 25 |
| | 지정 | 498 | 363 | 1 | 48 | 79 |
| | 대정 | 130 | 36 | 0 | 4 | 1,130 |
| | 신곡 | 270 | 406 | 0 | 86 | 922 |
| | 청광 | 502 | 165 | 34 | 268 | 240 |
| | 마은 | 967 | 213 | 0 | 266 | 205 |
| WS#6 | 광천 | 5,116 | 104 | 7 | 57 | 450 |
| | 답산 | 703 | 676 | 49 | 6,192 | 13,479 |
| | 가정 | 353 | 182 | 22 | 1,719 | 0 |
| | 내죽 | 418 | 335 | 0 | 1,209 | 9 |
| | 소암 | 483 | 145 | 0 | 327 | 5 |
| | 운용 | 311 | 214 | 2 | 3,820 | 3,118 |
| | 대평 | 206 | 189 | 0 | 5,354 | 11,202 |
| | 월림 | 664 | 615 | 0 | 15,251 | 28 |
| | 화계 | 257 | 215 | 13 | 310 | 18 |
| | 광성 | 412 | 388 | 0 | 162 | 79 |
| | 오성 | 250 | 520 | 0 | 1,263 | 12 |
| | 죽전 | 169 | 198 | 34 | 1,908 | 0 |
| | 가송 | 348 | 561 | 0 | 3,876 | 5,209 |
| WS#7 | 신송 | 454 | 248 | 222 | 11,452 | 17 |
| | 재정 | 362 | 554 | 5 | 6,068 | 27,280 |
| | 죽림 | 747 | 254 | 1 | 6,618 | 37 |
| | 웅암 | 1,195 | 228 | 3 | 4,074 | 68 |

(표 4-8) 소유역별/리별 인구/가축 통계(계속)

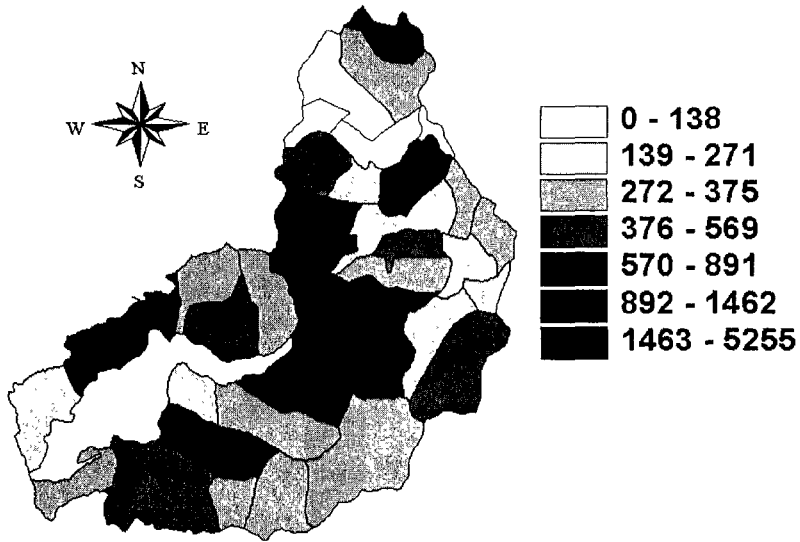
| 시군 | 리별 | 인구 (명) | 가 축 (마리) | | | |
|------|----|-----------|------------|------------|------------|------------|
| | | | 한우 | 젖소 | 돼지 | 닭 |
| WS#8 | 진죽 | 1,425 | 334 | 180 | 887 | 170,267 |
| | 성연 | 313 | 33 | 40 | 0 | 2,509 |
| | 정전 | 374 | 164 | 1 | 57 | 47,093 |
| | 야현 | 355 | 243 | 2 | 0 | 20,658 |
| | 장곡 | 448 | 101 | 0 | 529 | 24 |
| | 교성 | 727 | 165 | 0 | 2,853 | 19,200 |
| WS#9 | 소성 | 996 | 38 | 0 | 17 | 92 |
| 합 계 | | 29,954 | 잘못된 계산식 | 잘못된 계산식 | 잘못된 계산식 | 잘못된 계산식 |

행정구역도



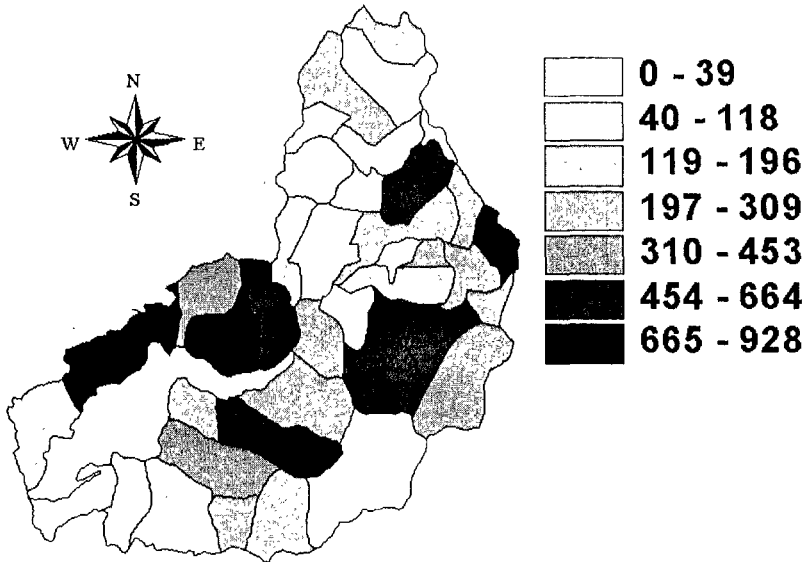
<그림 4-29> 보령호 지역의 행정구역도

리별인구분포도



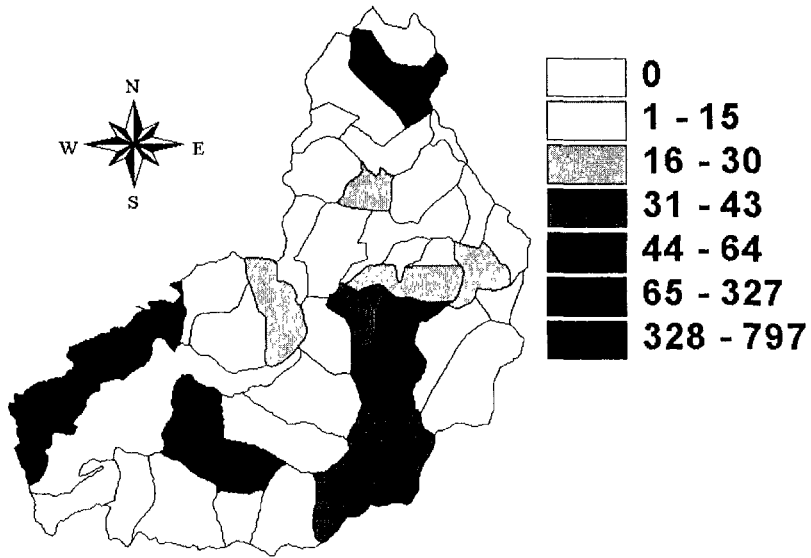
<그림 4-30> 보령호 유역의 리별 인구분포도

리별 한우사육두수



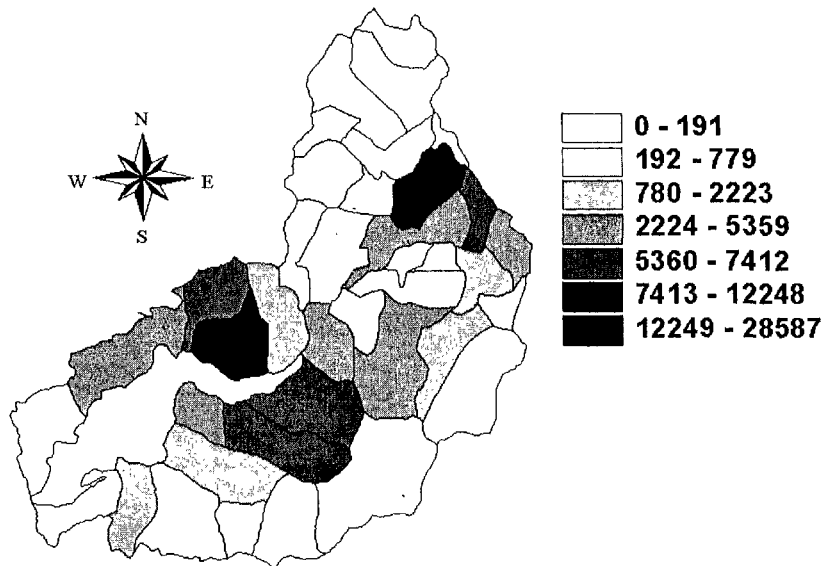
<그림 4-31> 보령호 유역의 리별 한우사육두수

리별 젓소사육두수



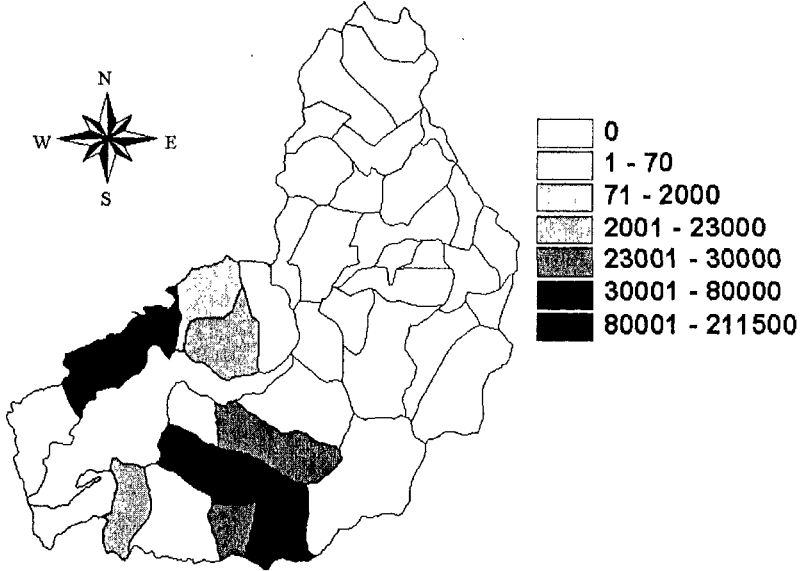
<그림 4-32> 보령호 유역의 리별 젓소사육두수

리별 돼지사육두수



<그림 4-33> 보령호 유역의 리별 돼지사육두수

리별 닭사육마리수



<그림 4-34> 보령호 유역의 리별 닭사육두수

제 5 장

논에서 농업비점원의
유출부하량

제5장 논에서 농업비점원의 유출부하량

농경지로부터 하천이나 호소까지의 영양염류의 이동은 여러 경로를 통하여 일어날 수 있으며 여러 가지 이동 구조가 포함된다. 이중에 특히 물이 기본적인 이동 요인이 되며 토립자 등에 의해서도 일부 운반된다. 농경지로부터 이동되는 질소, 인에 관한 연구는 침윤, 유출, 배수지역 등으로 구분하여 파악할 수 있는데, 침윤과 유출에 대한 연구를 통해서 논 경지 내에서의 영양염류 거동을, 배수지역의 조사연구를 통해서 논 평상시 하천이나 호소에 부하되는 영양염류의 양을 생각할 수 있을 것이다. 농경지가 밭으로 구성되어 있는 경우 하천으로 부하되는 주된 경로는 침윤과 토립자에 흡착된 영양염이 침식으로 인해 이동되는 것이다. 질소는 대부분 침윤으로 밭에서 이동한다. NO_3^- 와 NH_4^+ 은 토양내에서 유동성을 가지므로 침투수와 함께 쉽게 이동되며 지표유실은 시비후 폭우가 있는 경우를 제외하면 크지 않다.

질소와는 달리 인의 경우는 토양속에서 유동성이 적기 때문에 인산 이온들은 토양내로 쉽게 스며들지 않고 토립자에 흡착되어 이온결합으로 단단히 붙게 되므로 토양 간극수에 용해될 수 있는 양이 항상 적게 된다. 그리하여 인의 대부분은 식물 등에 의해 소모되거나 토양 침식에 의해 유사에 흡착된 상태로 하천으로 이동하게 된다. 한편, 우리 나라와 같이 수도 작을 위주로 하는 경우 대부분 농경지는 항상 담수상태이고 토양은 담수를 위해 객토 등을 하여 점토의 함량이 20~25%로서 대부분 난투수성이므로 보수성이 커서 세탈양은 밭 토양보다 적다고 할 수 있다. 그리고 물이 항상 담수되어 있기 때문에 용존상태의 영양염이 상대적으로 많고 토양내에 포함된 영양염도 담수내로 일부 용출될 수 있다. 대부분 배수로로 월류를 허용하지 않으므로 자연소모량, 벼가 흡수하는 양을 제외하면 영양염은 폭우때 지표유출로 인하여 토립자에 포함된 것과 용존상태의 영양염이 배출되고 평상시 논두렁 삼투수에 포함된 것이 배출되게 된다. 강우에 의해 지표유출이 생기게 되면 수용성 질소와 인의 이온이 배출되며 침식이 생기면 유사와 더불어 토립자에 흡착된 영양염류가 다량 배출된다. 유사는 자체의 물리적 특성과 개개입자에 흡착된 영양염류 때문에 수질에 미치는 영향이 크다. 하천에서 이동하는 유사는 유역에서의 토양유실과 제방에서의 침식으로 인하여 유입된다. 나 지나 식생이 부족한 유역에서는 빗방울이 보호되지 않은 표토를 가격하므로 강우강도가 큰 경우 상당한 양의 유사가 배출된다.

하천이나 호소의 수질환경을 건전하게 유지하기 위해서는 유역 수질관리에 앞서 정확한 수질오염 현황을 파악하고 오염원과 부하량에 대한 정량적인 평가가 선행되어야 할 것이다. 특히 우리나라의 경우 논이 전체 농경지 면적의 60% 이상을 차지하고 있는데, 논으로부터의 영양물질 부하는 주변 수계 환경에 영향을 미칠 수 있으므로 논에서 농업비점오염물질의 유·출입 수지와 유출 메커니즘에 대한 정량적인 평가가 먼저 이루어져야 할 것이다. 아울러 집중호우시기에 농업비점오염물질이 하천으로 다량 유출되므로 강우조건을 고려한 농업비점오염물질의 유출특성, 오염부하량과 오염원의 환경용량 파악이 절실하게 요청되는 시기이다.

제1절 자연계와 농경지에서 영양물질 순환기작

자연상태의 유역권은 포토의 침식·유실의 억제, 지하수의 함양, 다양한 생물상의 유지 등, 비교적 안정된 평형계를 형성하고 있다. 그러나 농지로서 토지를 이용하기 위하여 새로운 농지개발을 실시하는 경우, 하천에의 유출·물수지 패턴이나 물질순환의 변화 등 지역생태계에 커다란 영향을 미치는 것을 피할 수 없게 된다. 특히 밭은 강우에 의한 지표유출과 여기에 동반한 수식이 발생하거나 유실된 토사의 흡착, 부유된 다양한 물질을 포장외로 유출시킨다. 또한 포장내에 대량 투입되는 비료, 농약 및 분뇨 등 축산폐기물은 지하에의 용탈을 통해서 부하발생원이 된다. 이러한 포장으로부터 수계에의 물질이동은 농경지 토양 자체의 비옥도 저하 등 영농에 대해서 영향을 미치게 된다. 또한 다양한 물질이 수계를 통해서 하류유역에 운송되기 때문에 이로 인한 영향은 하류역의 수환경을 포함하여 광범위하게 나타나게 된다. 따라서 포장내에서 발생하는 토사나 비료, 분뇨 등의 물질은 포장내에서 소화시킬 필요가 있다. 동시에 하천에의 유출방지를 위해 여러 가지 완충역을 설치할 필요가 있다. 수질환경의 보전은 포장-수계, 또는 유역-지역 전체를 고려해야될 시기라고 할 수 있다.

1. 자연계에 있어서 물질순환

여러 가지 물질의 순환에는 생태계에 있어서의 폐쇄적인 순환과 외계 생태계 사이에 있어서 개방적인 순환의 2가지 경로가 있다. 이러한 순환경로는 물질에 의해서 다양하지만, 같은 물질일지라도 생태계의 발달단계, 기후나 식생 등 지역성에 의해서 커다란 차이를 나타낸

다. 여기에서는 자연계에 있어서 생태계의 물질순환, 특히 질소와 인에 대하여 기술한다

가. 질소 유입/유출

자연계에 있어서 질소의 순환은 질소고정, 강수·강하분진에 의해 유입되고, 탈질, 휘산, 유출에 의해서 유출된다.

- 질소고정 : 생태계내의 미생물(질소고정균)이 지하부(식물의 뿌리의 근처)에 있어서 대기중에 존재하는 질소를 고정하는 작용을 말한다. 생태계에의 질소의 유입과정으로서 중요한 역할을 한다.

- 강수·강하분진 : 질소는 질소고정 뿐만 아니라 강수나 강하분진에 의해서도 유입된다. 강수중에 함유되어 있는 질소농도는 예상보다도 훨씬 높다. 강수나 강하분진에 함유되어 유입되는 질소는 질소고정과 비교해서 적지 않다. 최근에 문제가 되고 있는 대기오염은 강수의 수질에도 영향을 미치고 있다. 산성우의 주요 원인물질인 질소산화물과 황산화물이 있는데 특히 질산이온이 증가하는 추세이기 때문에 산성우가 내리는 생태계에서 질소량이 증가하는 경향이다.

- 탈질과 암모니아 휘산 : 가스테로서의 질소의 유출에는 탈질과 암모니아 휘산이 있지만 아직까지도 불분명한 점이 많다. 탈질에는 토양중의 호기적조건에서 생성된 질산태질소가 혐기조건에서 아산화질소나 질소가스로 되어 가스테로 대기중에 방출되는 것이다. 암모니아 휘산은 석회분을 다량 함유한 염기성 토양에서 생기기 때문에 일반적인 농경지에서는 그 양이 적은 것으로 알려져 있다.

- 유출 : 질소의 유출에는 토양중의 질소가 물에 의해 용해, 침투되어 유출되는 경로가 있다. 유출수중에는 산림을 통하는 사이에 여러 물질이 함유되어 있지만 일반적으로 농도는 낮다.

나. 토양중에서 질소의 형태변화

토양중에 존재하는 질소의 대부분은 유기태질소이다. 그러나 식물이 질소를 직접 이용하기 위해서는 유기태질소는 토양미생물의 작용에 의해 무기태질소로 변환되지 않으면 안된다. 토양중의 무기태질소는 암모니아태질소, 아질산태질소 및 질산태질소가 있다. 유기물의 분해에 동반하여 유기태질소는 우선 암모니아태질소로 변화되거나 또는 미생물의 작용을 받아서 최종적으로는 질산태질소가 된다.

유기태질소 → 암모니아태질소 → (아질산태질소) → 질산태질소

산림토양에 존재하는 유기태질소가 무기화되는 부분은 상당히 낮다. 무기화된 질소의 일부가 다시 유기화하는 과정도 있다. 한편, 일년간에 무기화되는 질소량과 산림토양의 질소흡수량은 양적으로 일치한다.

다. 인 유입/유출

산림에 있어서 인의 순환은 암석의 풍화, 강수·강하분진에 의한 유입 및 지표유출에 의한 유출이 있다. 생태계내에 있어서도 식물 → 토양, 토양 → 식물에 의한 재순환도 있지만, 질소에 의한 고정, 휘산이 없는 순환과정도 적지 않다.

• 암석의 풍화

인 뿐만 아니라 칼리, 나트륨, 마그네슘 등의 미네랄 성분의 주요 공급원은 암석의 풍화이다. 이때 미네랄 성분의 함유율은 암석의 종류에 따라서 큰 차이를 나타낸다. 암석의 분포는 지역에 따라 불균일하기 때문에 자연계에 있어서 미네랄의 양의 분포는 불규칙적이다. 일반적으로 인은 가스태로서의 이동이 없기 때문에 개방적인 순환을 행하는 경우에는 물이 매개체가 되어 이동한다.

• 강수·강하분진

인은 강수나 강하분진으로서도 생태계내에 유입되지만, 강수에 의한 것보다도 강하분진에 함유되어 강하하는 양이 많다고 생각된다. 또한 강수는 수관-임지로의 이동중 강수중의 수질은 수관을 통과할 때에 옆에 접촉되어 변화하거나 인의 농도는 수관에 부가되어 증가하는 경우도 있다.

• 유출

인은 강우에 의한 표면유거수의 발생을 따라 침식토사 등에 부착되어 계외로 유출되지만, 지하에 침투되어 유출되는 경로는 많지 않다. 따라서 대부분의 인은 토양에 흡착되어 다시 식물에 의해 흡수, 이용된다.

2. 농지에 있어서 물질순환

전술한 바와 같이 자연상태의 유역권은 물질순환의 면으로서도 안정한 계로 존재한다. 그

러나 이러한 자연상태를 농지로서 개발, 이용하는 경우 하천에의 유출패턴이나 물질순환이 변하게 되어 지역생태계에 커다란 영향을 미치는 것을 상정해 볼 수 있다. 농지에서 논과 밭 등의 생태계는 다르다. 또한, 물질순환의 메카니즘도 차이가 나타난다. 따라서, 논, 밭, 초지 각각의 물질순환 기구에 대해서도 인식하는 것이 중요하다.

가. 논에서 질소와 인의 순환

논에서 질소 순환의 메카니즘은 자연상태의 것과는 커다란 차이를 나타낸다. 우선 질소의 논에의 유입은 질소고정, 강수·강하분진 이외에 비료, 관개용수가 부가된다. 또 유출에는 탈질, 휘산, 침투가 더해지고, 수확, 지표유출도 있다. 한편, 인의 경우에는 대기와의 고정, 탈질, 휘산이 없이 질소와 유사한 패턴을 가진다. 이때 논에 있어서 '인위적'인 유입은 자연상태와 비교해서 압도적으로 크다. 논에 사용하는 비료의 유출은 수질오염상의 문제가 되고 있다.

$$\text{유입} = \text{비료} + (\text{질소고정}) + \text{강수} \cdot \text{강하분진} + \text{관개용수}$$

$$\text{유출} = \text{수확} + (\text{탈질, 휘산}) + \text{침투} + \text{지표배출}$$

()는 인의 경우에 발생하지 않는 순환경로를 나타낸다.

논에서 이 반응기구는 다르기 때문에 표면수, 토양표층(산화층), 토양하층(환원층)으로 나누어 생각해 볼 필요가 있다.

• 표면수에 의한 반응기구

표면수중에 용존되어 있는 질소산화물($\text{NO}_x\text{-N}$), 암모니아태질소($\text{NH}_4\text{-N}$), 인산테인($\text{P}_04\text{-P}$) 등의 무기태성분은 조류나 수초등의 수생생물에 흡수되어 유기태질소, 유기태인으로 변화한다. 또 질소는 고정, 탈질, 휘산등에 의해 대기중의 가스로 변화를 하기도 한다. 이때 남조류, 광합성세균 등의 작용에 의해, 대기중의 질소가 유기태질소로서 계내에 유입된다. 또한 햇볕이 왕성할 때 조류에 의한 광합성활동에 의해서 pH가 상승하면, 표면수중의 질소가 암모니아로서 휘산하는 것도 확인되고 있다. 표면수중에서 증가하는 조류는 토양표면에 집적되거나 토양의 이분해성 유기물의 공급원이 되기도 한다. 또 표면수중의 무기태질소는 용수의 침투과정에 동반하여 토양중에 이동한다. 또 인에 대해서도 대기중의 가스교환이 발생하는 것을 제외하고는 질소와 동일하게 행동한다.

• 토양중(산화층, 환원층)에 있어서 반응기구

논에서는 토양에의 산소공급속도와 토양의 산소소비속도와의 관계에 의해 두께 수 mm~1cm 정도의 산화층과 환원층으로 분리된다. 질산화성균(질산균)은 산화층에 집중되어 있기 때문에, 호기적조건하에서 질산화균의 작용을 받아서 NO₂-N, NO₃-N로 변화한다. NO₂-N 또는 NO₃-N은 환원층 및 산화층내의 혐기적부위에 이행하지만, 그 혐기적조건하에서도 탈질균의 움직임에 의해서 N₂가 되어 대기중으로 방출된다. 토양중에 있어서 무기태질소는 소동물이나 미생물의 작용에 의해, 무기화되어 NH₄-N으로 된다. 한편 토양에 C/N 비가 높은 유기물이 존재하면, 미생물은 그것을 분해하여 균체합성을 행하게 되지만 근처에 있는 NH₄-N이나 NO₃-N을 취해 무기태질소의 유기화가 일어난다.

토양중에 있는 무기태성분은 수도에 흡수되지만, 용존하고 있는 무기태성분은 토양고상과의 흡착, 해리를 행하고 있다. 토양입자는 음하전으로서 존재하기 때문에 암모니아태질소는 토양사이에 흡착, 평형상태가 된다. 한편 PO₄-P는 음이온이지만, 토양콜로이드를 형성하고 있는 알루미늄 등과 강한 친화성을 나타내기 때문에 이들의 원자에 흡착되는 성질을 가지고 있다. 특별히 활성의 알루미늄이나 철의 산화물이 풍부한 화산회토양에서 PO₄-P의 흡착능이 크다.

나. 밭과 초지에서 질소와 인의 순환

비료중의 질소(주로 암모니아태질소)는 토양중의 질산화성균의 작용을 받아서 질산태질소로 변화한다. 비료이외에도 퇴비나 가축분뇨에 함유되어 있는 유기태질소는 미생물에 의해 분해되거나 한번은 암모니아태질소로 되지만, 최종적으로는 NO₃-N으로 된다.

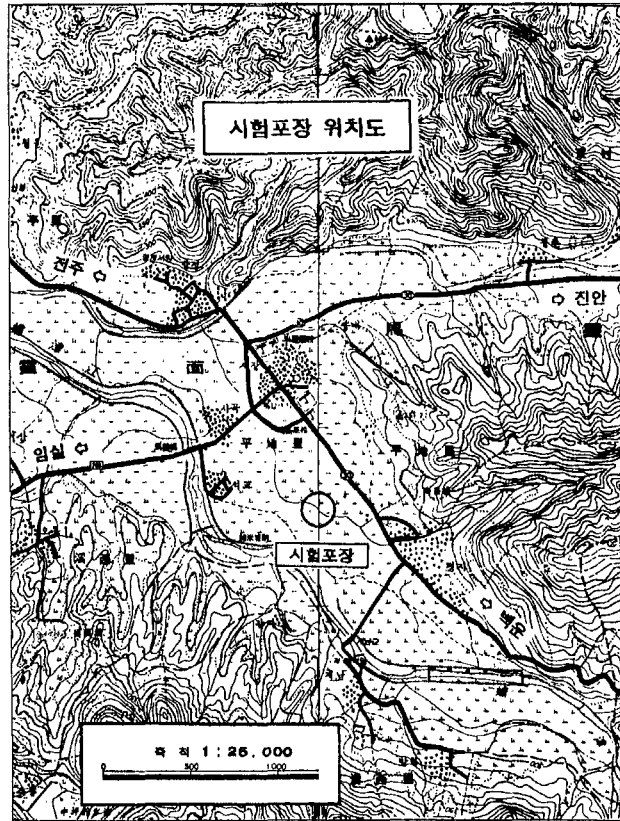
전술한 바와 같이 토양콜로이드의 표면은 음으로 하전되어 있다. 이때 질산이온(NO₃-)도 음하전을 띠고 있기 때문에 토양에는 조금밖에 흡착되지 않는다. 토양입자의 주변에 있는 물에 질산칼슘(Ca(NO₃)₂)등의 염을 형성하면서 용해되어 있다. 이 염은 강우가 있으면 토양침투수에 용해되어 하층으로 용탈한다. 경사지에는 지표유출수에 의해서도 유출된다. 또 밭에서도 논과 동일한 탈질이 확인되고 있다. 토양에 시비된 질소의 일부는 그 작용을 받아서 대기로 방출된다. P의 경우에도 일본에 있어서 밭토양의 높은 인산흡수계수가 높은 화산회토양으로 있기 때문에, 토양중의 철이나 알루미늄과 결합해서 토양중에 고정되어 이동하지 않는다. 이 때문에 표면유출수가 생긴 경우는 탁수에 의해 토양입자의 형태로 유출하며, 이외에는 거의 무시할만 하다.

제2절 시험지구 개요

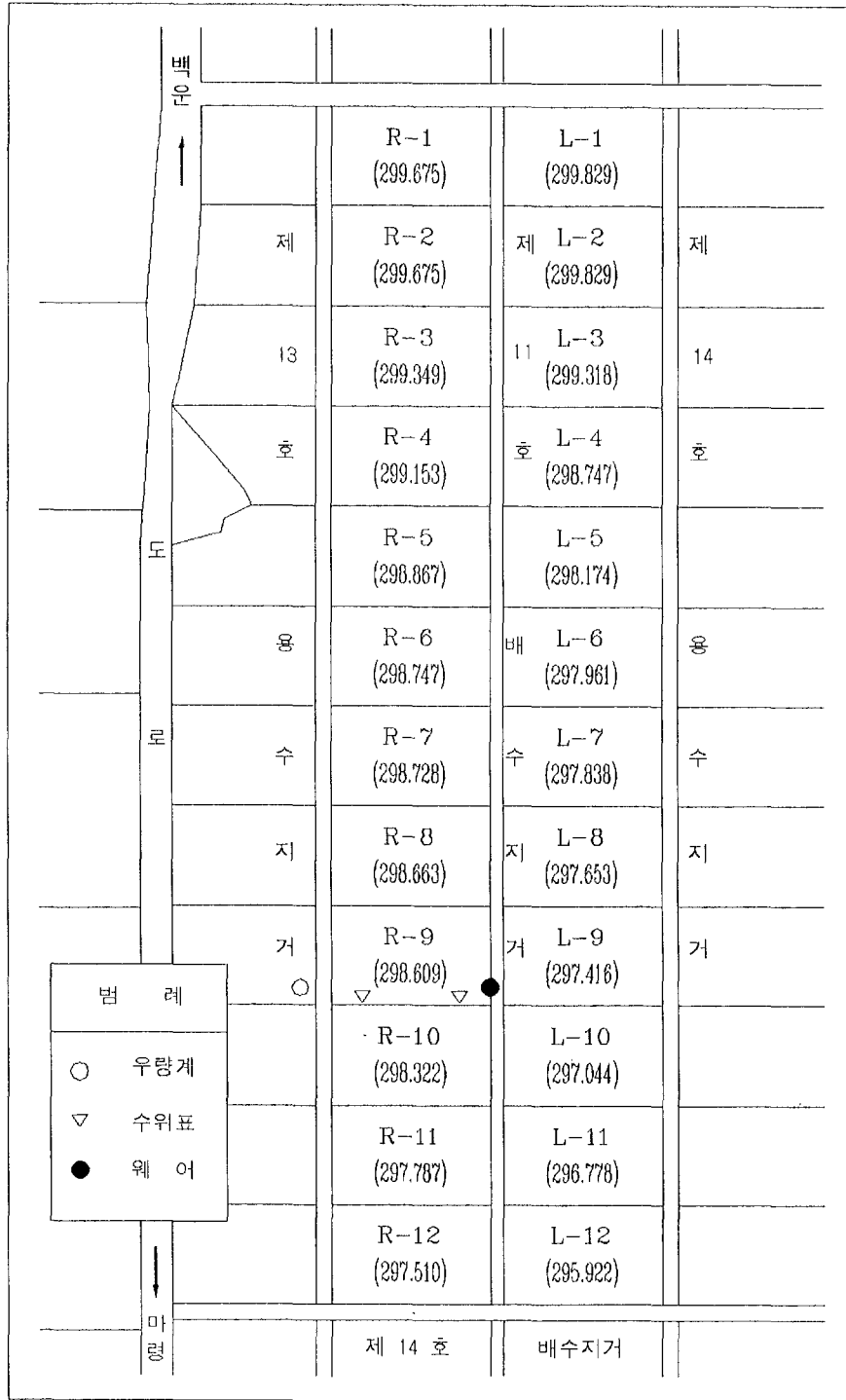
논에서의 유출량 측정 및 물수지 분석에 사용된 시험지구는 1995년 5월에 경지정리사업이 완료된 전라북도 진안군 마령면 평지리 평지지구이며, 시험포장은 평지지구내에 있는 1개 필지를 사용하였으며 그 위치는 <그림 5-1>과 같다. 시험포장을 포함한 평지지구내 배수조직은 논에서의 배수지거가 배수지선에 연결되고, 배수지선은 배수하천에 연결되어 배수량이 배제되도록 되어 있다. 또한 일부 구획들은 용배수로 겸용이며, 배수지거 또는 배수지선의 하류 말단부는 유말공으로 되어 있다.

시험포장구획은 <그림 5-2>에서 보는 바와 같이 평지지구내 2개 블록(R1~12, L1~12)으로 도로, 논둑, 배수로 등을 포함한 전체면적은 127,959 m² 이다. 각 블록은 1필지가 장변 100 m 와 단변 50m 인 좌우 12개 필지의 논으로 구성되어 있으며, 이들은 시점부 좌우측 논에서의 표고차가 0.15 m에 불과하나 말단부는 1.2 m 정도로 상당한 차이가 있다. 또한 시험포장구획내의 최고 및 최저논의 바닥표고차는 3.907 m 이며, 각 필지별 상대표고는 <그림 3.2-2>에 나타낸 바와 같다.

한편 각 블록별 필지는 일정한 형태와 크기로 구획된 것이지만 실제적으로는 논표고, 도로, 논둑, 배수로 등의 조건에 따라서 약간씩 차이가 있다. 또한, 시험포장구획내 모든 논에는 취수 및 배수를 위하여 웨어형태가 아닌 PVC pipe를 이용한 1개이상의 취·배수공이 설치되어 있다.



<그림 5-1> 조사지구 및 시험포장 위치도



<그림 5-2> 시험포장의 필지구분 및 상대표고

제3절 시험포장 및 측정시설

1. 시험포장

논에서의 유출특성과 영양물질의 물질수지를 조사하기 위해서는 시험포장은 경지정리가 되어있는 곳으로 월담배수가 적고, 제반 관측시설의 설치 및 관리가 편리하며, 기상자료의 수집이 용이한 장소를 선정하여야 한다. 본 실험에 사용된 시험포장은 1995년 5월에 경지정리가 완료된 전라북도 진안군 마령면 평지리에 위치하고 있으며, 축산폐수, 가정하수 및 산업폐수로부터 영향을 받지 않은 전형적인 수도작 농업지대이다. 본 시험에 사용된 1개 필지의 시험포장 구획은 장변 100 m 와 단변 50 m 로서 면적은 5,000 m² 이다.

2. 측정시설

시험포장에 설치된 시설로는 강우량 측정을 위한 우량계 1조, 논에서 유출수량 측정을 위한 자기수위계 및 웨어시설 1조, 증발량을 측정하기 위한 간이 증발량계 1조, 침투수량을 측정하기 위한 침투량계 1조, 그리고 논에서 지하로 이동하는 영양물질의 양을 측정하기 위하여 토양용액 채취기 4조를 각각 설치하였다.

가. 우량계

본 연구에 사용된 시험포장은 작은 면적이므로 지체시간이 짧아 강우강도의 변화에 따른 유출영향이 빠르게 나타나게 된다. 이러한 점을 고려하여 보다 정확한 강우량을 측정하기 위하여 웨어가 설치된 시험포장에 인접한 용수로 옆에 우량계를 설치하였다. 1999년 5월 1일부터 10월 31일까지는 아나로그식 전도형 일일기록 자기우량계(Tilting siphon rainfall recorder, Casella Ltd., UK), 2000년 3월 18일부터 10월 31까지는 디지털식 연속 자기우량계(Integrated rainfall logging system, Casella Ltd., UK)로 측정된 우량 자료를 수집하였다.

나. 수위계 및 웨어

웨어(weir)는 1개 필지 논에서의 유출량을 측정하기 위한 것으로 배수로에 접한 시험포

장의 하류지점에 설치하였다. 웨어는 완전 월류의 조건을 만족시키고, 배수에 지장을 주지 않도록 폭 30 cm 의 사각웨어(rectangular weir)로 제작하였으며, 완전한 배수가 이루어질 수 있도록 평균 논바닥 보다 약간 낮게 설치하였다. 이 웨어에는 직경 40 cm 의 stilling well을 부착하여 내부에 자기수위계(OT-1502, OTA Co., Japan)를 설치하였으며, 1999년 5월 1일부터 9월 30일 까지 및 2000년 4월 1일부터 9월 30일까지 수위를 측정하였다.

다. 침투량계

논에서의 침투량을 측정하기 위하여 직경 10 cm, 길이 90 cm 의 아크릴관을 논에 60 cm 깊이로 매설한 다음 일정 눈금높이까지 물을 채워 넣은 후 일자별 수위 변화량을 평균 침투량으로 산정하였다.

라. 증발량계

논에서의 증발량을 측정하기 위하여 직경 10 cm, 길이 90 cm 의 아크릴관을 논에 60 cm 정도를 매설한 다음 일정 눈금높이까지 물을 채워 넣은 후 일자별 수위 변화량에서 침투량을 감한 값을 그 기간동안의 평균 증발량으로 계산하였다.

마. 토양용액 채취기

토양용액 채취관(IRROMETER, USA)은 다공질 세라믹 컵이 부착되어 있는 것으로 영양물질의 지하이동 측정을 위한 것이다. 1999년에는 시험포장의 4지점에 30, 50, 70, 90 cm 의 깊이로, 2000년도에는 1개지점 90 cm 깊이에 매설한 다음 내부를 진공상태로 조정하였다.

제4절 시험포장의 운영

1. 영농현황

본 시험포장은 경지정리(1994년 11월~1995년 5월)가 완료된 논토양으로 경지정리가 끝난 최근 4년 동안 표준시비량(N : P : K = 11 : 8 : 7 kg/10a)의 2~3배에 해당하는 과잉의 화학비료가 시비된 것으로 조사되었다. 연구기간 동안 시험포장에서의 영농현황 및 비료

시비현황은 <표 5.1>에 나타낸 바와 같다. 1999년도에는 5월 22일에 논갈이를 하고 담수를 시킨 후, 5월 25일에 재식거리 15×30 cm, 1주당 3본씩 기계이앙을 실시하였다. 시험포장의 재배품종은 화선찰벼이며, 비교적 늦은 시기인 10월 2일에 수확하였다. 그 기간동안의 시비량은 5월 22일에 모내기 기비(基肥)로 7.6 kg N/10a, 2.9 kg P/10a, 그리고 2.9 kg K/10a를 전층시비(全層施肥)하였으며, 6월 15일에 분얼비(分蘖肥)로 2.8 kg N/10a을, 7월 30일에 수비(穗肥)로 1.8 kg N/10a을 시비하였다. 비영농기간 동안에는 수확후 벼짚을 전량 논토양에 살포하고 비경운 상태로 두었다가 이듬해인 2000년 3월 22일에 1차 논갈이를 한 다음, 5월 20일에 2차 논갈이를 실시하였다.

2000년도에는 5월 20일에 논갈이를 하고 담수를 시킨 후, 6월 2일에 이앙을 실시하였다. 시험포장의 재배품종 및 수도의 재식거리는 1999년도와 같다. 화학비료의 시비량은 6월 2일에 모내기 기비(基肥)로 8.4 kg N/10a, 3.1 kg P/10a 그리고 3.1 kg K/10a를 전층시비(全層施肥)하였으며, 6월 14일에 분얼비(分蘖肥)로 2.8 kg N/10a을, 7월 23일에 수비(穗肥)로 2.8 kg N/10a을 시비하였다.

(표 5-1) 비료시비 및 영농현황

| Year | Date | Fertilization and agricultural activity | Remark |
|------------------|--------------|---|---|
| Year-1 (1999) | May 22, 1999 | 2차경운 및 기비 시비 | 76 kg N ha ⁻¹ , 29 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ |
| | May 25, 1999 | 모내기 | 재식거리 15×30 cm, 3본/1주 |
| | Jun 15, 1999 | 분얼비 | 28 kg N ha ⁻¹ |
| | Jul 30, 1999 | 수비 | 18 kg N ha ⁻¹ |
| | Oct 2, 1999 | 수확 | |
| Year-2 (2000) | Mar 22, 2000 | 1차경운 | |
| | May 20, 2000 | 2차경운 및 기비 시비 | 84 kg N ha ⁻¹ , 31 kg P ₂ O ₅ ha ⁻¹ |
| | Jun 2, 2000 | 모내기 | 재식거리 15×30 cm, 3본/1주 |
| | Jun 14, 2000 | 분얼비 | 28 kg N ha ⁻¹ |
| | Jul 23, 2000 | 수비 | 28 kg N ha ⁻¹ |
| | Oct 10, 2000 | 수확 | |

2. 논바닥 측량

논바닥 형태는 작물 재배시기별로 약간 다르고 특히 객토(客土), 논갈이 및 바닥정리 등

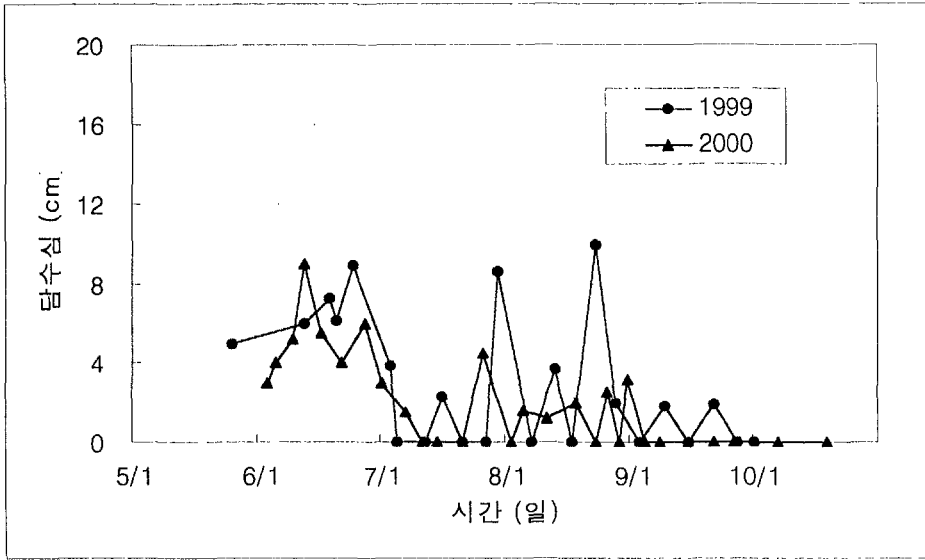
여러 가지 요인에 의하여 변하기 때문에 균일한 수평면으로 볼 수 없다. 시험포장 구획내 논바닥의 불규칙 상태를 조사하기 위하여 장·단변이 100m×50m인 필지를 10 m 간격의 방안망으로 구성하고, 그 지점에 대하여 1997년 5월 10일에 수준측량을 실시하였는데 그 결과, 시험포장의 66개 지점에 대한 상대적 바닥표고는 최소 298.240 m, 최대 298.381 m 로 평균 298.340 m 이었으며, 최대표고차 0.141 m, 표준오차 0.0036 m, 그리고 표준편차는 0.0287 m 로 나타났다.

3. 담수심 측정

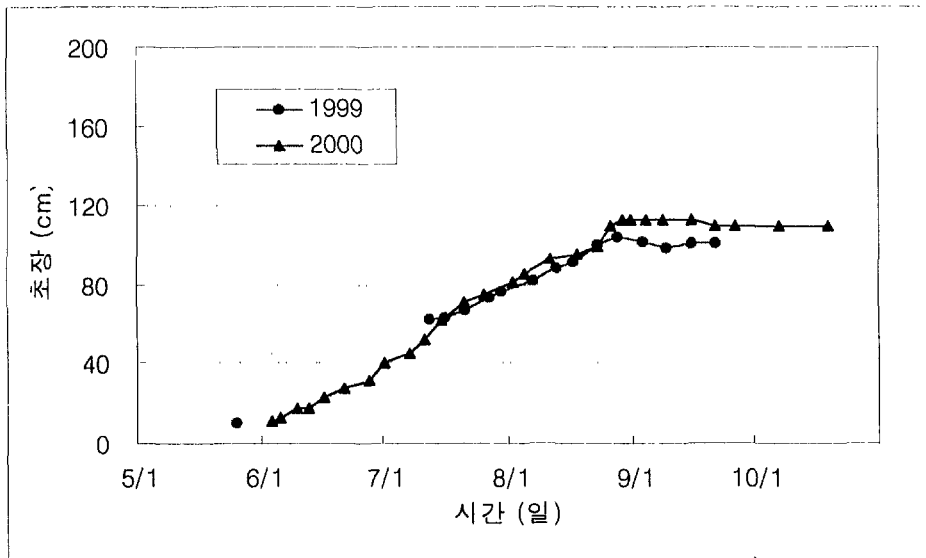
논에서의 담수심은 논바닥 형태가 균일하지 않기 때문에 위치마다 다르다. 여기서는 용수로에서 논의 장변 논둑을 따라 20 m 및 80 m 지점의 위치에 설치한 2개의 논수위표를 이용하여 담수위를 측정하고, 두 지점의 평균값을 담수심으로 취하였다. <그림 5-3>

4. 수도의 초장 측정

수도의 초장은 식물양분 상태를 나타내는 지표일 뿐만 아니라, 강우-유출시 논에서의 직접유출량을 결정하는 요인이 되기도 한다. 수도의 초장은 동일한 필지의 논에서도 약간씩 차이를 나타내기 때문에 본 조사에서는 5개 지점의 초장을 측정한 다음 평균값을 나타내었다.



<그림 5-3> 논 답수심의 변화 (1999년, 2000년)



<그림 5-4> 수도 초장의 변화 (1999년, 2000년)

5. 수문조사

가. 강우량

강우량은 시험포장내에 설치된 자기우량계로 측정된 자료를 사용하였다. 1999년 5월 1일부터 9월 30일까지 5개월간 1,029.6 mm 의 강우량이 기록되었으며, 최대 일우량은 9월 23일의 116.8 mm/day 이었고, 최대 시우량은 7월 23일 07:00~08:00의 46.8 mm/hr 였다. 한편, 2000년도에는 5월 1일부터 9월 30일까지 5개월간 1,213.6 mm 의 강우량이 기록되었으며, 최대 일우량은 9월 13일의 97.2 mm/day 이었고, 최대 시우량은 8월 31일 14:00~15:00의 26.6 mm/hr 였다.

나. 관개수량

1999년도에는 시험포장의 관수로 유입구에서 유입량을 측정하였으며, 매 관개시마다 bucketing을 통하여 유량을 보정하였다. 한편, 2000년도에는 관수로 유출부에 유량을 측정할 수 있는 계량기를 설치하여 관개수량을 측정하였다.

다. 유출수량

논웨어는 시기별로 일정한 담수심을 유지하기 위하여 20 cm 및 25 cm의 플라스틱판으로 경작자가 직접 논물수위를 조정하였으며, 수위계의 기록지는 매 6일마다 교체하였다.

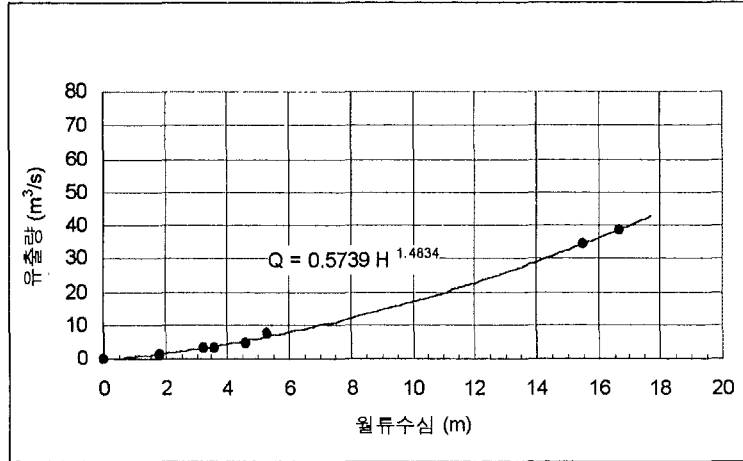
본 시험포장에 설치된 웨어의 유량공식은 웨어접근수심 $P = 0.1$ m, 웨어전폭 $B = 0.6$ m, 웨어윙류폭 $b = 0.3$ m 즉, $b/B = 0.5$ 인 경우를 고려하면 유량공식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q \text{ (L/s)} = 894.3(0.592+0.11H) \times (0.01H+0.001)^{1.5} \quad 0 \leq H \leq 25 \text{ cm} \quad (5-1)$$

여기서 유출수량 Q 는 접근유속을 고려하지 않은 경우이며, 윙류수두 H 는 $0 \leq H \leq 25$ cm 의 제한조건을 필요로 한다. 본 실험에서는 유출수량 환산시 (1)식을 사용하였으며, 윙류수두에 대한 유출수량을 $Q = aHb$ 형태의 지수식으로 나타내면 식 (2)와 같다.

$$Q \text{ (L/s)} = 0.5739H^{1.4834} \quad (0 \leq H \leq 25 \text{ cm}) \quad (5-2)$$

한편, 논웨어의 월류수두와 실측된 유출수량과의 관계는 <그림 5-5>과 같으며, 이는 식 (2)에 접근하고 있다.



<그림 5-5> 월류수두와 유출량과의 관계

제5절 논토양의 이화학적 특성 분석

1. 시료채취

논에서의 토양시료는 현장조사시 시험포장의 4개 지점에서 표토 1 cm 정도를 제거한 다음 채취하여 풍건후 2 mm 체를 통과시켜 분석시료로 사용하였다.

2. 분석방법

토양시료의 분석은 토양화학분석법(농촌진흥청, 1983)에 기준하였다. 토양 pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 희석한 현탁액에서 pH meter(TOA HM-20S)로 측정하였으며, 유기물은 walkley-black법, 총인은 vanado-molybdate법, 유효인산은 bray No.2 방법으로 분석하였다. 질산태질소는 brucine법, 암모니아태질소와 총질소는 kjeldahl법으로 측정하였다.

3. 논토양의 이화학적 특성

본 시험포장의 토양은 지산미사질양토(Jisan Silt loam, SiL : fine loamy, mixed mesic family of Fluventic Haplaguepts)로서 논토양의 이화학적 특성은 (표 5-2)과 같다.

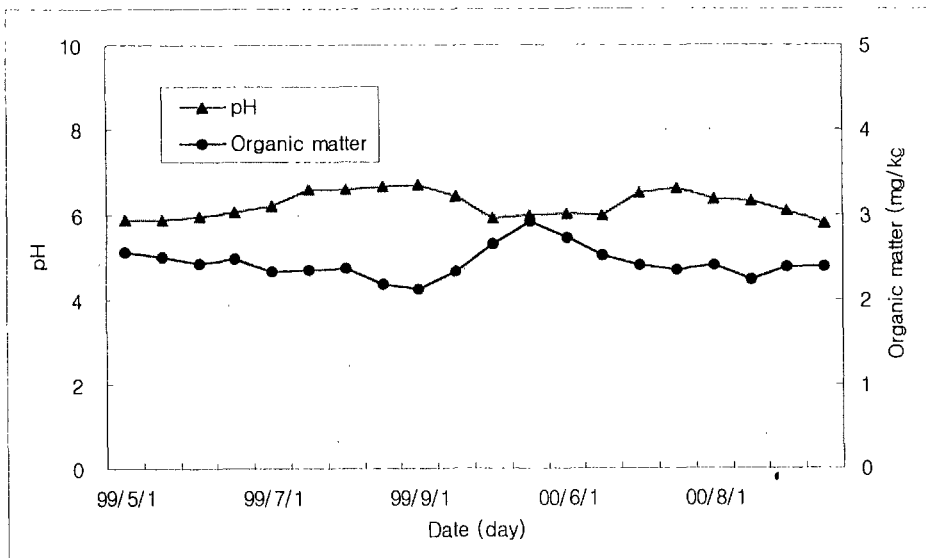
1999년 5월 1일부터 9월 30일까지와 2000년 5월부터 9월까지 영농기간 동안 월 2회 정도로 논토양에 존재하는 화학성분의 시기별 함량변화를 조사한 결과는 다음과 같다. <그림 5-6, 그림 5.7, 그림 5.8>

pH는 5.79~6.71의 범위로 평균 6.23을 나타내었는데, 시기별로 이앙초기에 낮았다가 점차 증가하는 경향이였다. 유기물의 함량은 2.14~2.92%의 범위로 평균 2.44%를 나타내었다. 총질소의 함량은 891.7~1,360.5 mg/kg 의 범위로 평균 1,113.7 mg/kg, 암모니아태질소는 17.3~114.3 mg/kg 의 범위로 평균 70.7 mg/kg, 그리고 질산태질소는 26.2~37.3 mg/kg 의 범위로 평균 28.5 mg/kg 을 나타내었다. 논토양에 존재하는 질소원중 무기태질소는 총질소의 약 1.72~1.75%에 불과하고, 98% 이상이 유기태질소로 존재하기 때문에 총질소의 함량에 비해 암모니아태질소와 질산태질소의 함량이 낮게 나타난 것으로 생각된다. 질소원은 시기별로 이앙초기에 증가하였다가 강우에 의한 유출 및 작물의 영양물질 흡수량이 증가하면서 서서히 감소하는 경향이였다.

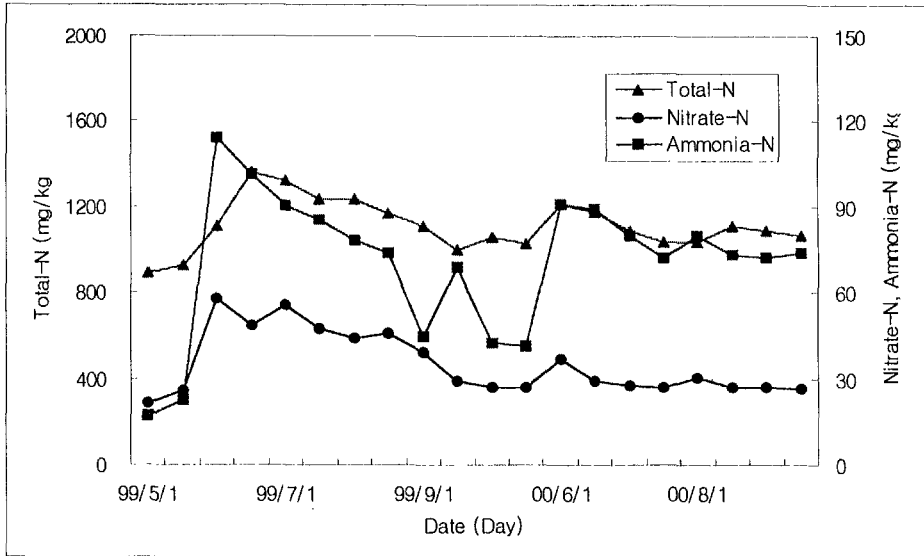
총인의 함량은 213.5~311.7 mg/kg 의 범위로 평균 334.1 mg/kg, 그리고 가용성인산은 21.3~39.5 mg/kg 의 범위로 평균 30.9 mg/kg 을 나타내었다. 우리 나라 논토양중 인산은 Fe와 결합된 형태의 인산이 많이 존재하며, 환원성 Fe-P를 포함하면 Fe와 결합된 인산이 전체의 50%를 넘어 토양내에서 이동성이 작은 것으로 알려져 있다. 본 조사에서도 인산의 경우 시비 후에 약간 증가하였을 뿐 큰 변화 없이 일정하게 유지되었다.

(표 5-2) 논토양의 이화학적 특성

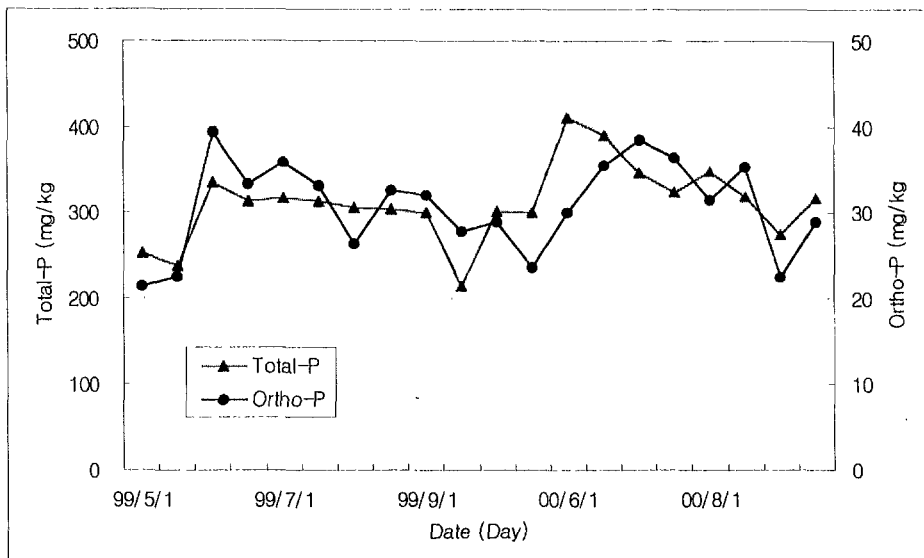
| Chemical properties | | Particle size fraction (g 100g ⁻¹) | |
|--|-------|--|------|
| Organic matter (g 100g ⁻¹) | 2.32 | Sand | 25.0 |
| pH (1:5) | 5.89 | Silt | 56.9 |
| Total-N (mg kg ⁻¹) | 889.3 | Clay | 18.1 |
| Total-P (mg kg ⁻¹) | 284.2 | | |
| CEC (cmol ⁺ kg ⁻¹) | 9.6 | | |
| Exchangeable cations (cmol ⁺ kg ⁻¹) | | | |
| Ca | 3.2 | | |
| Mg | 2.1 | | |
| Na | 0.1 | | |
| K | 0.6 | | |



<그림 5-6> 논토양중 pH와 유기물의 함량변화



<그림 5-7> 논토양중 질소원의 함량변화



<그림 5-8> 논토양중 인산원의 함량변화

제6절 논에서 유·출입되는 수질중 화학성분의 시기별 함량변화

1. 시료채취

강우 시료는 2 mm 이상의 강우사상이 발생할 때마다 2ℓ의 폴리에틸렌용기에 채수하여 4℃ 이하의 온도로 보관하면서 분석시료로 사용하였다. 관개수 시료는 매월 3~4회 정도 현장조사시 관개수 유입구에서 폴리에틸렌용기(2ℓ)에 채수하여 4℃ 이하의 온도로 보관하면서 분석시료로 사용하였다. 유출수는 현장조사시 유출이 있는 경우 시험포장의 웨어유출구에서 폴리에틸렌용기(2ℓ)에 채수하여 4℃ 이하의 온도로 보관하면서 분석시료로 사용하였다. 침투수는 현장조사시 토양용액 채취관이 매설된 4개 지점에서 시료추출기를 이용하여 채취한 다음 혼합하여 4℃ 이하의 온도로 보관하면서 분석시료로 사용하였다.

2. 분석방법

강우, 관개수, 유출수 및 침투수를 포함한 수질시료의 분석은 수질공정시험법(환경처, 1993)에 기준하였다. 부유물질(suspended solids)은 시료 1000mL를 취하여 유리섬유여지법으로, pH와 EC는 현장에서 기기(Orion Model 840)를 이용하여 직접 측정하였으며, 화학적산소요구량은 시료 100mL를 취하여 과망간산칼륨법에 준하여 분석하였다. 총질소와 암모니아태질소는 수질시료 500mL를 취하여 각각 환원중류-킬달법과 중화적정법으로 분석하였다. 총인은 수질시료 500mL를 취하여 50mL로 농축한 다음 ascorbic acid reduction법에 기준하여 분석하였다.

3. 논에서 유·출입되는 수질중 영양물질의 함량 변화

본 연구는 관행영농이 수행되고 있는 논에서 유·출입되는 수질시료중 화학성분의 함량변화와 유출부하량을 평가하고자 하였다. 일반적으로 논에는 이앙 전에 기비로 약 50%의 화학비료가 시비되고, 6월 중·하순경에 분얼비로 약 25%, 나머지 25%는 7월 하순경에 수비로 시비된다. 연구기간인 1999년 5월부터 2000년 9월까지 논에서 유·출입되는 수질시료중 영양물질의 함량 변화를 조사한 결과는 다음과 같다.

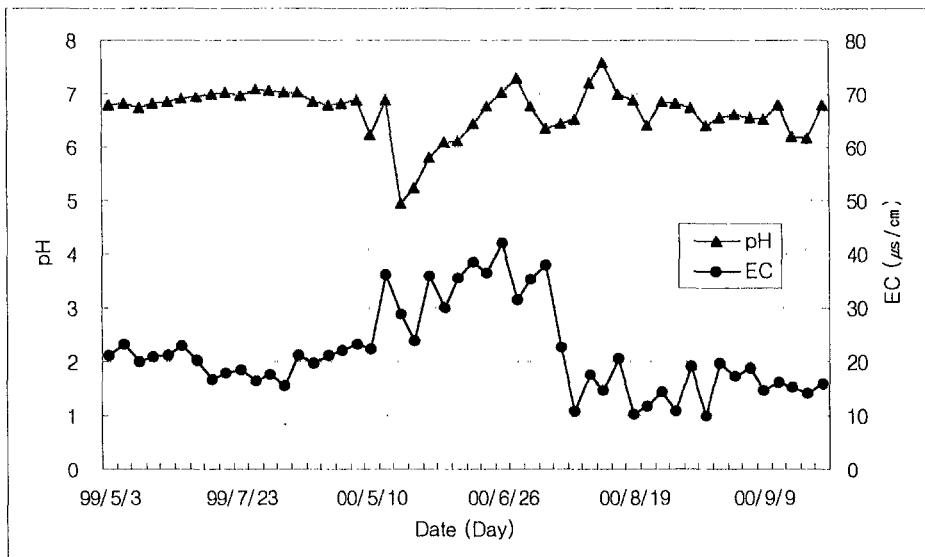
가. 강우

1999년 5월 1일부터 9월 30일 까지와 2000년 5월 1일부터 9월 30일까지를 대상으로 시험포장에 내린 강우중 화학성분의 시기별 함량변화를 조사한 결과는 다음과 같다. <그림 5-9, 그림 5-10, 그림 5-11>

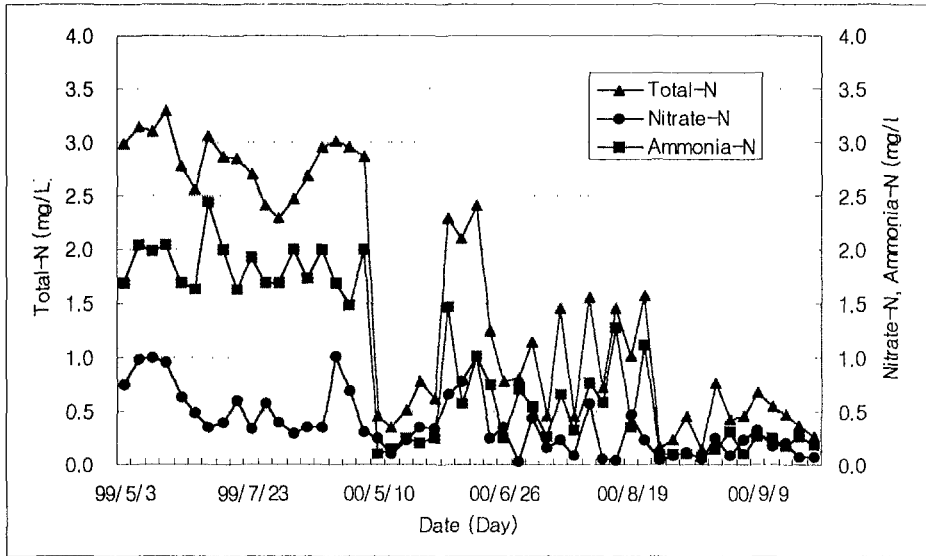
pH는 4.93~7.60의 범위로 평균 6.67를 나타내었으며, 6월부터 약간 상승하다가 8월 이후는 감소하는 경향을 보여 주었다. 전기전도도는 10.1~42.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위로 평균 21.8 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 를 나타내었다. EC의 시기별 변화는 pH와 유사한 경향이었으며, 전체적으로 강우량이 많을수록 EC의 함량이 낮게 나타났는데 이는 강우에 의해 여러 가지 이온성물질이나 대기오염물질들이 희석되었기 때문인 것으로 사료된다.

총질소의 함량은 0.14~3.29 mg/L의 범위로 평균 1.56 mg/L, 암모니아태질소는 0.08~2.44 mg/L의 범위로 평균 0.94 mg/L, 그리고 질산태질소는 0.03~1.01 mg/L의 범위로 평균 0.38 mg/L를 나타내었다.

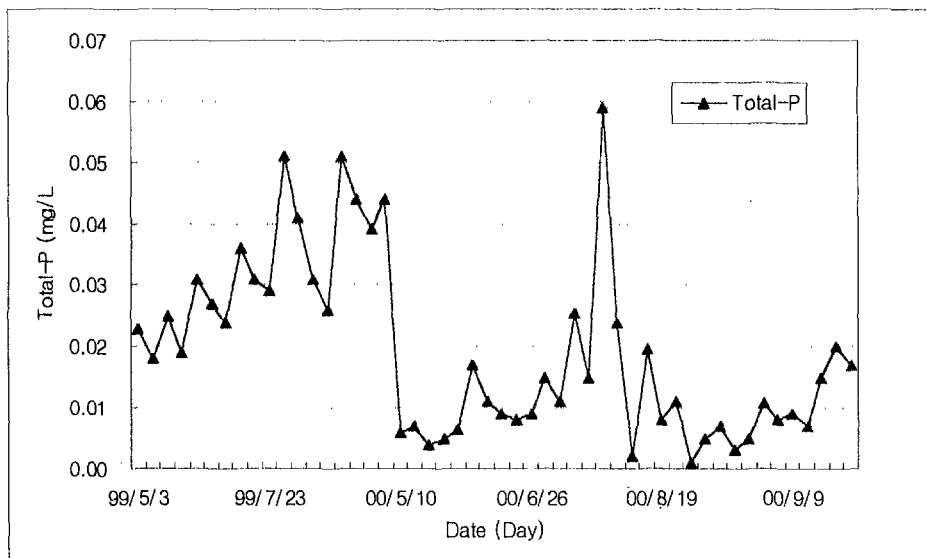
총인의 함량은 검출한계미만~0.06 mg/L의 범위로 평균 0.02 mg/L로서 관개기간중 점차 증가하는 경향을 나타내었으며, 조사기간 동안 가용성인산은 검출되지 않았다.



<그림 5-9> 강우중 pH와 EC의 변화



<그림 5-10> 강우중 질소원의 함량변화



<그림 5-11> 강우중 인산원의 함량변화

나. 관개수

1999년 5월부터 9월까지와 2000년 5월부터 9월까지 영농기간 동안 시험포장으로 유입된 관개수중에 존재하는 화학성분의 시기별 함량변화를 조사한 결과는 다음과 같다. <그림

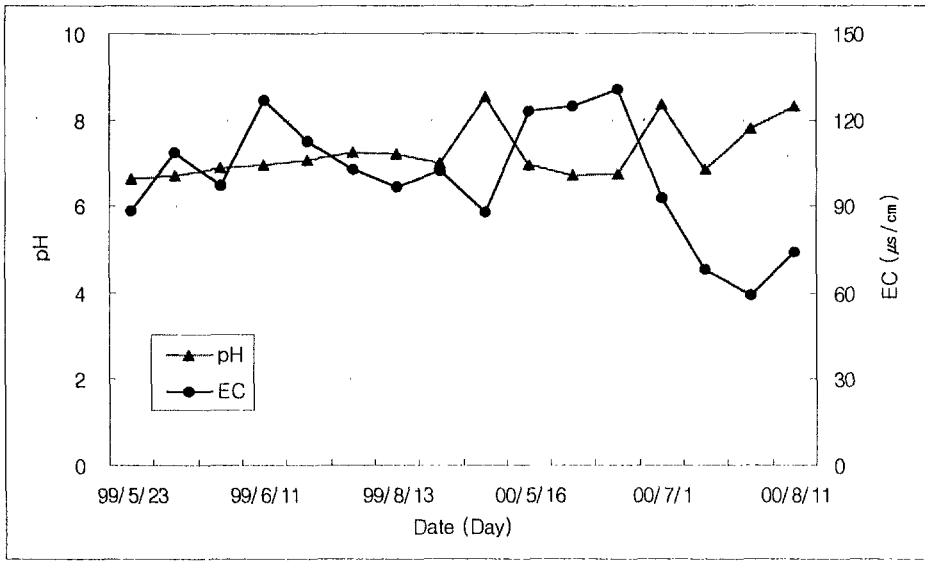
5-12, 그림 5.13, 그림 5.14>

pH는 6.65~8.55의 범위로 평균 7.25, 그리고 전기전도도는 59.2~130.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위로 평균 99.7 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 를 나타내었다. 하천수는 지표면을 흐르면서 토양으로부터 천연적으로 공급되는 각종 무기 및 유기성분을 함유하게 되는데 그 농도는 지역, 거리 및 시기에 따라 다르게 나타나게 된다. pH와 EC는 강우-유출로 주변 농경지 유출수가 관개수로에 유입될 것으로 예상되는 이앙초기와 집중호우시기에 약간 변화가 나타났을 뿐 그 밖에는 일정하게 유지되었다.

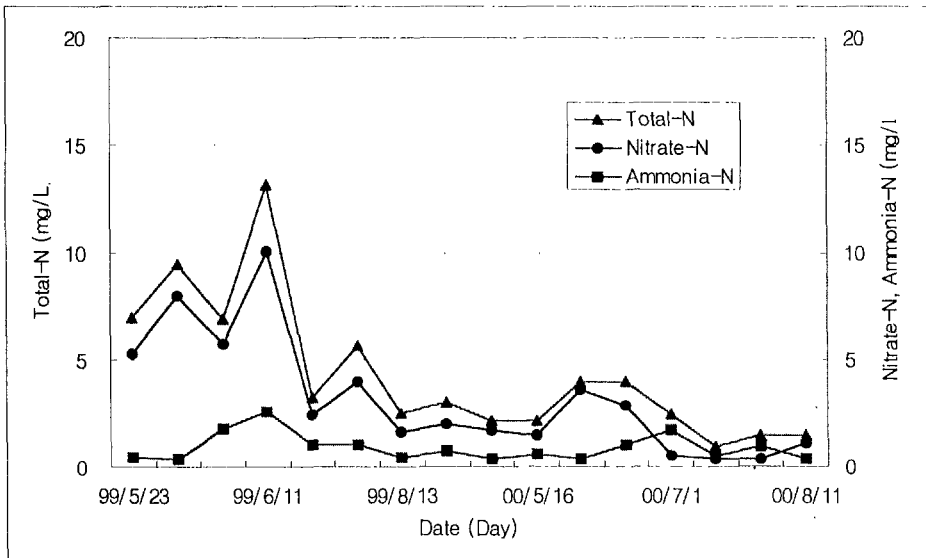
화학적산소요구량은 7.59~12.78 mg/L의 범위로 평균 8.39 mg/L를 나타내어 농업용수 수질기준치인 8.0 mg/L를 약간 상회하고 있었다. 부유물질은 123.8~196.4 mg/L의 범위로 평균 163.2 mg/L를 나타내었으며, 집중강우시기와 주변 논에서 간단관개를 위한 인위적인 배수시기에 약간 높게 나타났을 뿐 그 밖에는 일정한 경향을 나타내었다.

총질소, 암모니아태질소 및 질산태질소의 함량은 각각 0.96~13.13 mg/L(평균 4.34 mg/L), 0.33~2.56 mg/L(평균 0.89 mg/L) 및 0.37~10.06 mg/L(평균 3.19 mg/L)의 범위였으며, 특히 시비후 관개용수로 주변 논에서 영양물질의 삼투 및 유출량이 증가하는 이앙초기에 높게 나타났다.

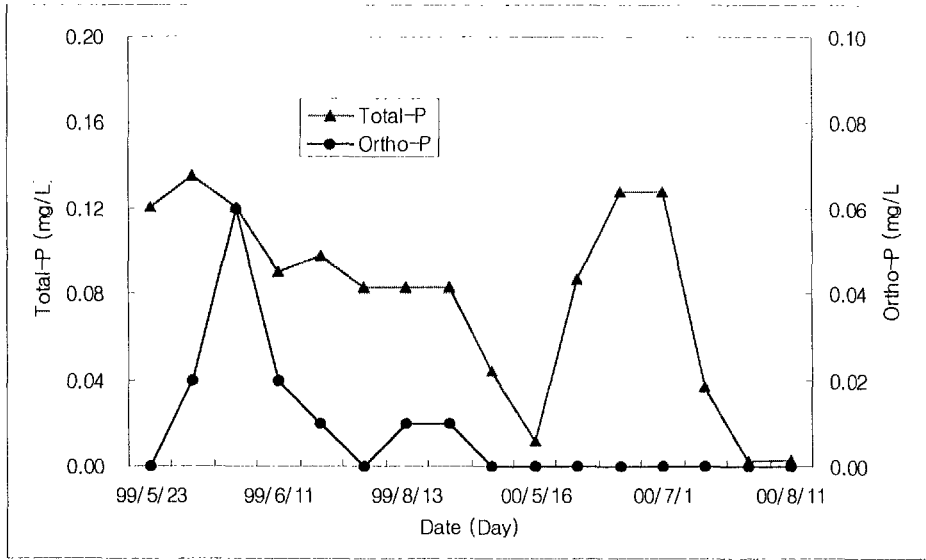
총인의 함량은 검출한계미만~0.140 mg/L의 범위로 평균 0.08 mg/L를 나타내었으며, Ortho- Phosphate는 거의 대부분이 검출한계미만으로 나타났다.



<그림 5-12> 관개수중 pH와 EC의 변화



<그림 5-13> 관개수중 질소원의 함량변화



〈그림 5-14〉 관개수중 인산원의 함량변화

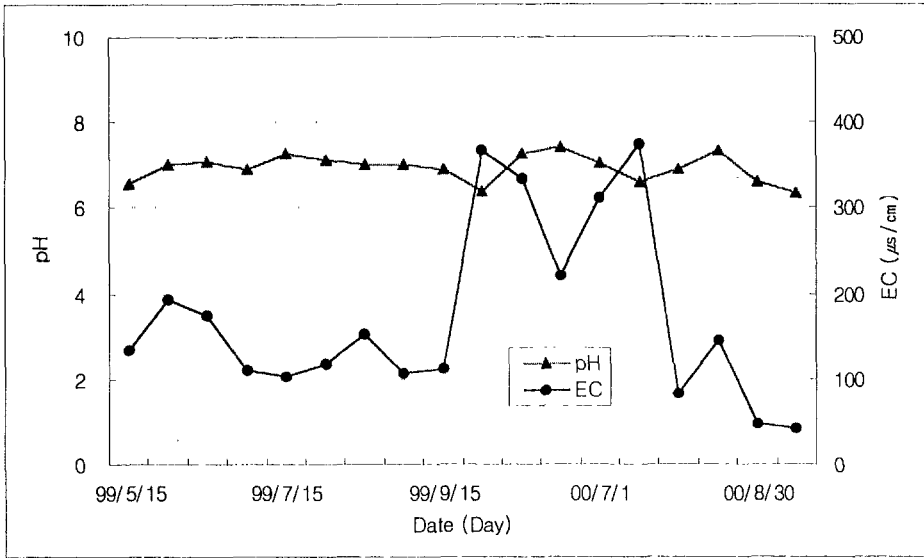
다. 논물

수도작 영농시기인 1999년 5월부터 9월까지와 2000년 5월부터 9월까지 영농기간 동안 논 물중에 존재하는 화학성분의 시기별 함량변화를 조사한 결과는 다음과 같다. 〈그림 5-15, 5.16, 5.17, 5.18〉

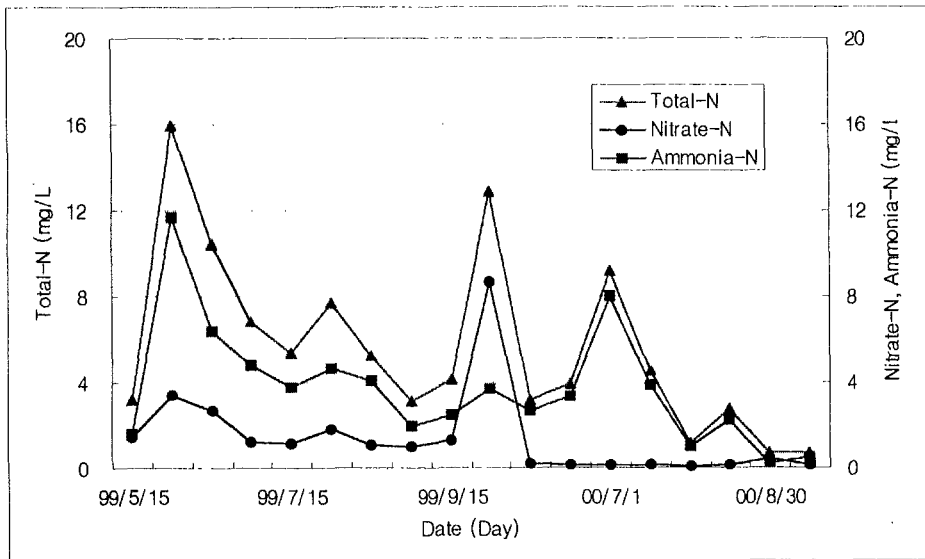
pH는 6.34~7.42의 범위로 평균 6.93, 그리고 전기전도도는 43.2~374.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위로 평균 174.3 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 를 나타내었다. 총질소의 함량은 0.70~15.90 mg/L의 범위로 평균 5.63 mg/L, 암모니아태질소는 0.24~11.69 mg/L의 범위로 평균 3.74 mg/L 그리고 질산태질소는 0.07~8.65 mg/L의 범위로 평균 1.42 mg/L를 나타내었다. 질소원의 함량은 비료시비 시기에 증가하였다가 강우에 의한 지표유출 및 작물의 영양물질 흡수량이 증가하면서 점차 감소하는 경향이였다.

총인의 함량은 검출한계미만~0.27 mg/L의 범위로 평균 0.11 mg/L를 나타내었는데 기비 시비후에 일시적으로 증가하였다가 점차 감소하는 경향이였다. 또한 가용성인산은 조사기간 동안 검출되지 않았다. 시비된 인산질비료의 상당량이 빠른 시일내에 토양중에 흡착되거나 여러 가지 토양조건에 의하여 불용화되어 그 함량변화가 적게 나타난 것으로 생각된다.

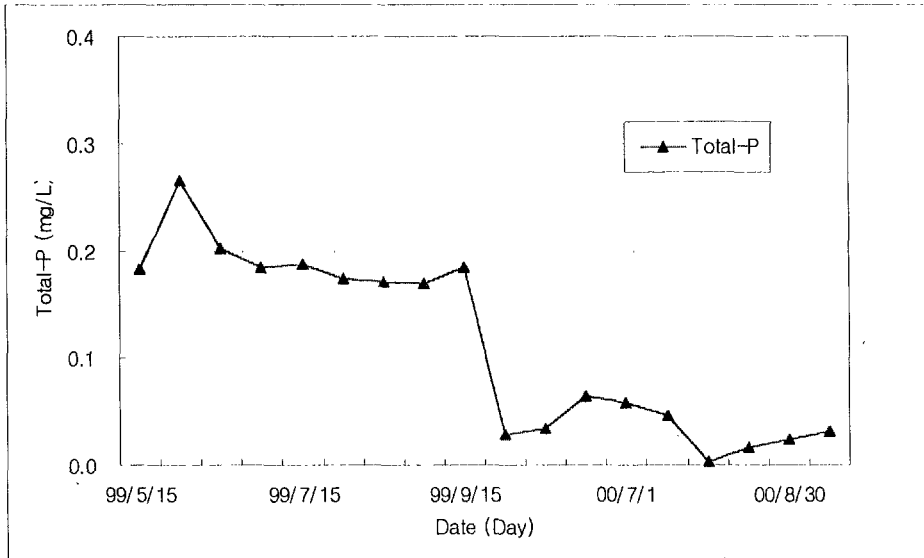
한편, 화학적산소요구량의 함량은 6.4~13.0 mg/L의 범위를 나타내었다.



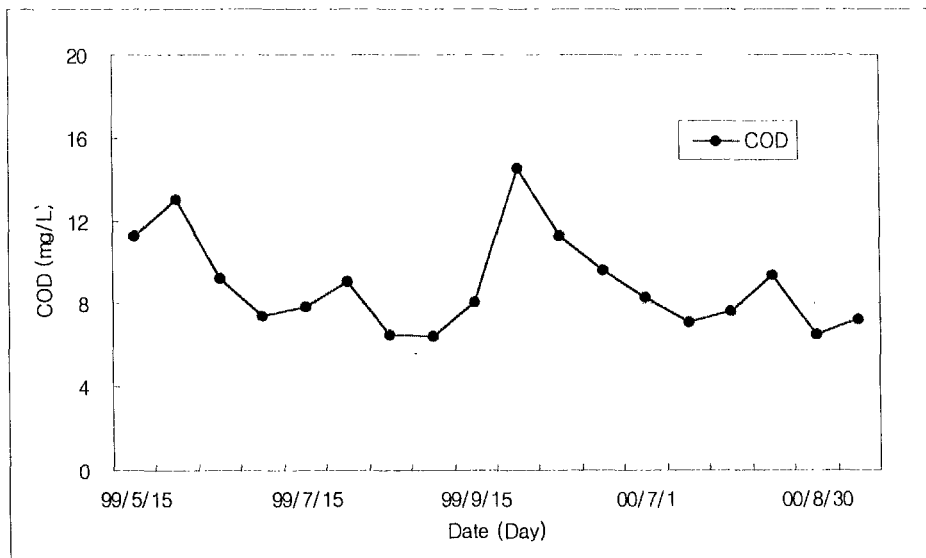
<그림 5-15> 논물중 pH와 EC의 변화



<그림 5-16> 논물중 질소원의 함량변화



<그림 5-17> 논물중 인산원의 함량변화



<그림 5-18> 논물중 화학적 산소 요구량 함량변화

라. 유출수

1999년 5월부터 9월까지와 2000년 5월부터 9월까지 시험포장에서 유출된 유출수중에 존

재하는 각종 화학성분의 시기별 함량변화를 조사한 결과는 다음과 같다. <그림 5-19, 5.20, 5.21, 5.22>

유출수의 pH는 6.30~7.35의 범위로 평균 6.89를 나타내었다. 시기별로 이양초기와 집중호우시기에 pH가 완만하게 증가하는 경향을 나타내었는데 이는 논토양에 시비된 요소비료의 가수분해로 인하여 논물의 pH가 상승되었거나, 집중호우시기에 강우에 의한 희석효과 때문인 것으로 보여진다.

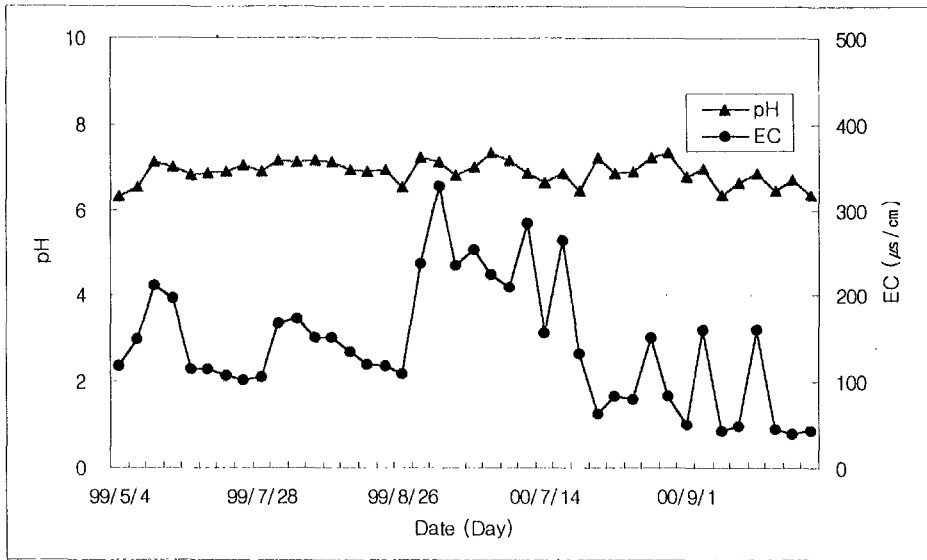
전기전도도는 40.2~328.4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위로 평균 72.2 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 를 나타내었는데, 영농기간 중 비료 시비시기인 5월 하순부터 6월 상순까지와 비영농기간중 경운시기에서 높게 나타난 것을 제외하고는 거의 일정한 경향을 나타내었다. 이와 같이 5월 하순부터 6월 상순까지 EC가 높게 나타난 것은 시비효과로 이 기간에 전체 비료시비량의 70%(기비 50%, 분얼비 20%)를 시용함으로써 비료성분에 의하여 EC가 높아졌으며, 7월 이후는 강우에 의한 유출의 증가 및 수도체로의 영양물질 흡수량 증가로 인하여 EC가 감소한 것으로 판단된다.

총질소의 함량은 2.34~18.10mg/L의 범위로 평균 5.87mg/L, 암모니아태질소는 1.09~13.17mg/L의 범위로 평균 3.38mg/L, 그리고 질산태질소는 0.62~6.36mg/L의 범위로 평균 1.60mg/L를 나타내었다. 질소원의 함량은 비료 시비시기 즉, 기비, 분얼비 및 수비 시비시기에 증가하였다가 점차 감소하는 경향이였다. 본 조사에서는 7월 이후에도 환경정책기본법(환경처, 1993)에서 제한하고 있는 농업용수중 총질소 기준치인 1.0mg/L를 모든 조사시기에서 초과하고 있는 것으로 나타났다.

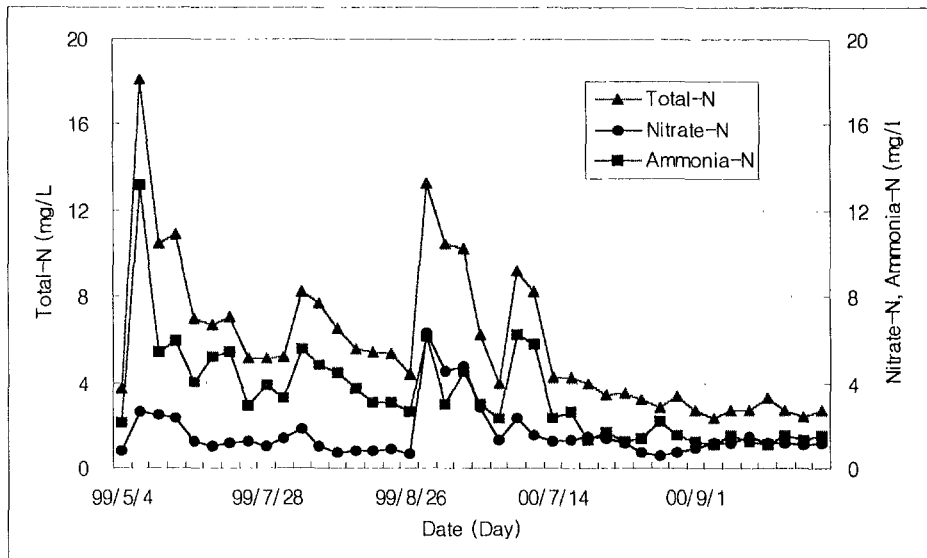
부유물질은 109.4~475.7mg/L의 범위로 평균 185.1mg/L를 나타내었는데 영농기간에는 거의 대부분이 100~150mg/L 정도를 유지한 반면, 비영농기간중 1차 경운활동으로 인하여 토양층이 교란되면서 그 농도가 현저하게 증가하는 경향이였다. 총인의 함량은 0.10~0.25mg/L의 범위로 평균 0.15mg/L를 나타내었는데 기비 시비후 점차 증가하다가 6월 하순 이후 완만하게 감소하는 경향이였다. 그리고 가용성인산은 조사기간 동안 검출되지 않았다. 농업용수중 총인 기준치는 0.100mg/L이하(환경정책기본법, 1993)로 정해져 있는데, 본 조사기간중 유출수는 모든 시기에서 이 기준치를 초과하였다. 논에서 유출된 유출수가 하천으로 유입되면 수량이 풍부한 하천수에 희석되어 그 농도가 감소하겠지만, 유출수중 영양물질의 함량이 높은 비료시비기간을 전후하여 유출이 발생할 때에는 수계 환경에 바람직하지 못한 문제를 야기할 수도 있을 것으로 보여진다.

화학적산소요구량은 5.18~17.34 mg/L 의 범위로 평균 8.67 mg/L 를 나타내었는데 시기

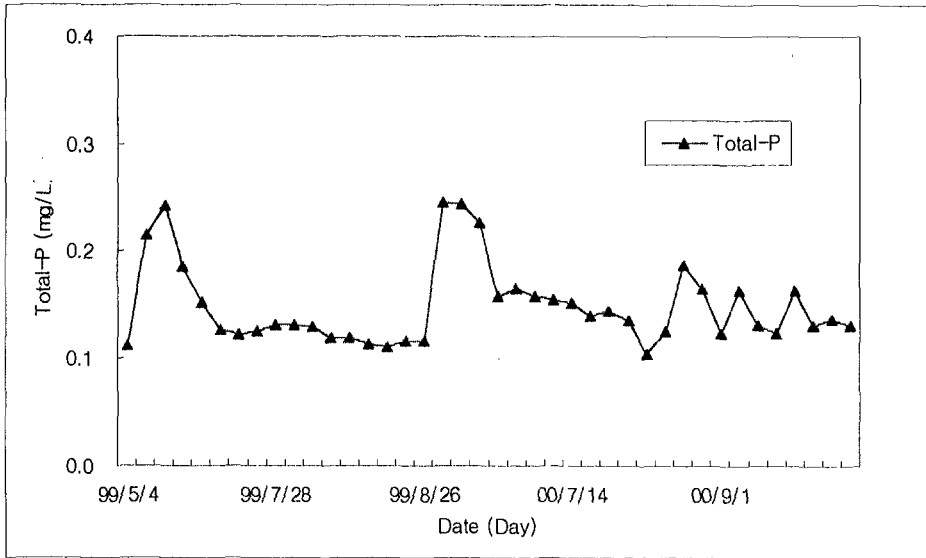
별로 경운후에 크게 증가하였다가 점차 감소하는 경향이였다. 이는 경운활동 과정중 표토층 유기물의 물리적인 파쇄로 인하여 그 함량이 증가하였기 때문으로 판단되었다.



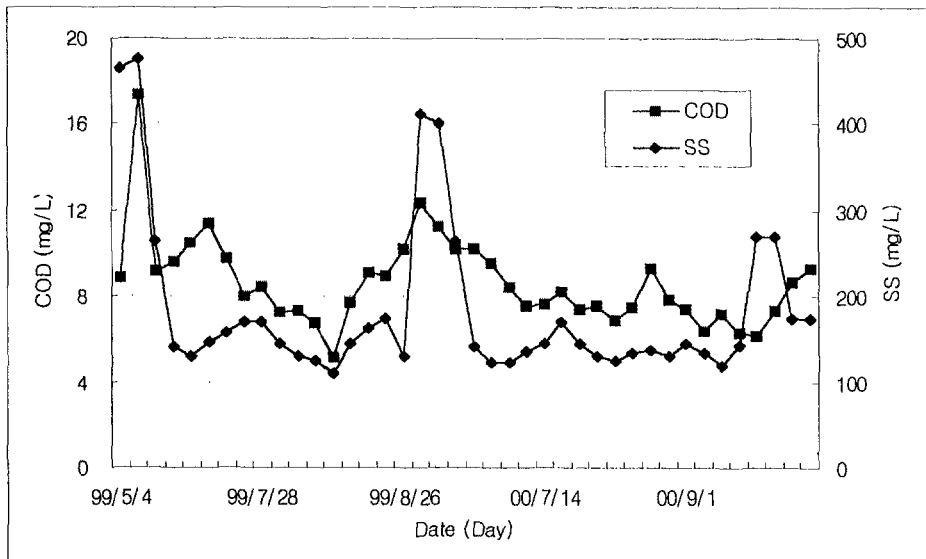
<그림 5-19> 유출수중 pH와 EC의 변화



<그림 5-20> 유출수중 질소원의 함량변화



<그림 5-21> 유출수중 인산원의 함량변화



<그림 5-22> 유출수중 COD와 SS의 함량변화

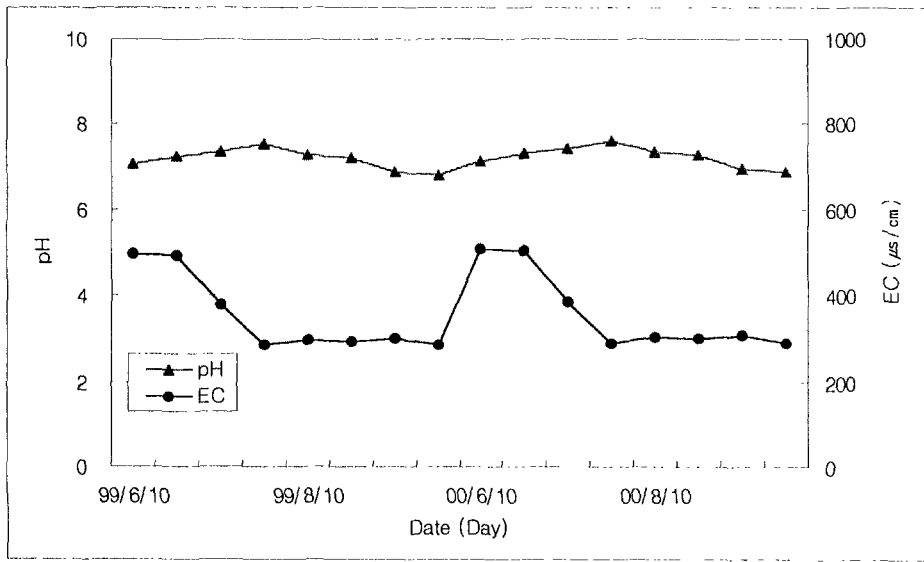
마. 침투수

영농기간인 1999년 5월부터 9월까지와 2000년 5월부터 9월까지 영농기간을 대상으로 시험포장에 매설된 토양용액 채취관으로 이동한 침투수중 화학성분의 시기별 함량변화를 조사한 결과는 다음과 같다. <그림 5-23, 5.24, 5.25>

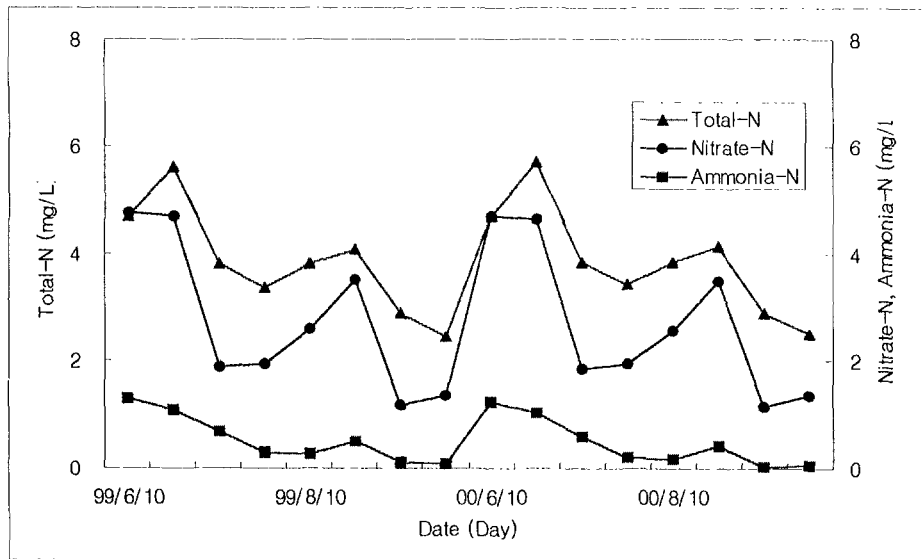
pH는 6.79~7.62의 범위로 평균 7.21, 그리고 전기전도도는 285~508 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위로 평균 358 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 를 나타내었다. EC는 기비시비후 10일~15경에 가장 높았다가 점차 감소하는 경향이었으나, pH는 집중호우기간에 가장 높았다가 점차 감소하는 경향이였다.

총질소의 함량은 2.46~5.69 mg/L의 범위로 평균 3.86 mg/L, 암모니아태질소는 0.02~1.31 mg/L의 범위로 평균 0.51 mg/L, 그리고 질산태질소는 1.15~4.76 mg/L의 범위로 평균 2.73 mg/L를 나타내었다. 질소원의 경우 지표면으로부터 거리가 멀어질수록 농도가 감소하는 경향이였으며, 이양초기에 가장 높게 나타났다. 토양으로부터 질산태질소의 하향 이동은 주로 토양수분의 수리경사(hydraulic gradient) 형성에 따른 대류이동(convective transport)에 의하여 진행되므로 강우량이 질산태질소의 용탈에 가장 크게 관여하는 요인으로 알려져 있다. 일반적으로 토양으로부터 양분의 용탈은 지상부에서의 증발산량에 비하여 강우량이 많을 때 일어나며, 질산태질소의 용탈은 강우량과 정의 상관을 갖고서 용탈된다고 알려져 있다.

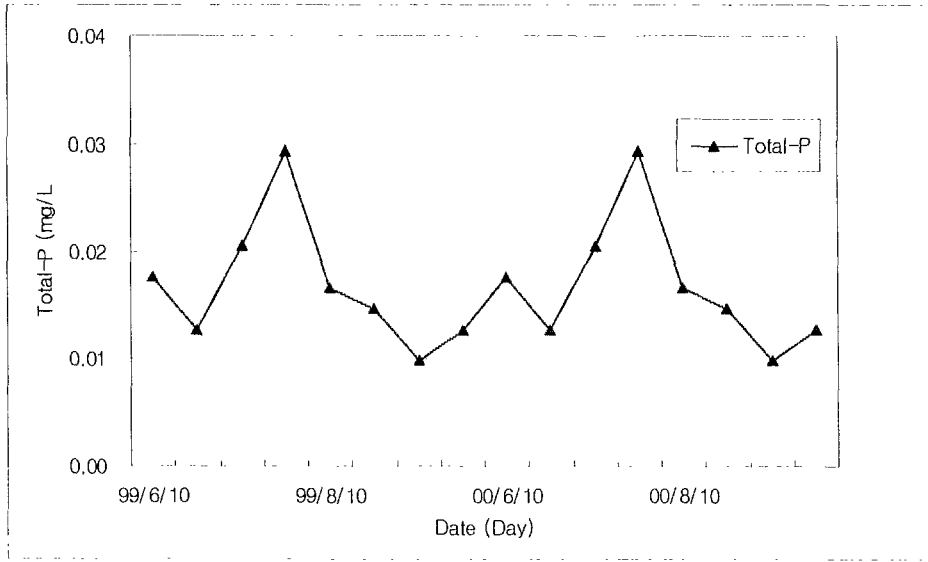
총인의 함량은 0.01~0.03 mg/L의 범위로 평균 0.02 mg/L, 가용성인산은 거의 대부분이 검출한계미만으로 나타났다. 이양초기에 침투수중 총인의 함량이 높게 나타난 것은 시비된 인산질비료의 일부가 가용화 되었거나 토양수에 의한 확산 또는 삼투작용의 영향을 받았기 때문인 것으로 보여진다.



<그림 5-23> 침투수중 pH와 EC의 변화



<그림 5-24> 침투수중 질소원의 함량변화



〈그림 5-25〉 침투수중 인산원의 함량변화

제7절 일별 물수지 분석

논에서의 물수지 방정식은 다음 식(4)과 같이 표현되어진다.

$$D(t) = D(t-1) + P(t) + I(t) - O(t) - E(t) - F(t) \quad (5-3)$$

여기서, D는 일평균 담수심, P는 강우량, I는 관개수량, O는 유출수량, E는 증발산량, 그리고 F는 침투수량을 의미하며, 첨자 t는 t일을 나타내고 있다. 1999년 5월 1일부터 9월 30일까지와 2000년 5월 1일부터 9월 30일까지 조사대상 시험포장으로 유·출입된 물의 양을 <표 5-3>에 나타내었다.

1. 강우량

1999년 5월 1일부터 9월 30일까지 영농기간 동안 조사 대상지역에 내린 강우량과 강우 특성을 조사한 결과는 다음과 같다. 1999년 5월 상순에는 남쪽을 지나는 기압골의 영향을

받아 뇌전(雷電)을 동반한 소나기 현상이 가끔 있었으며, 5월 한달 동안 강우량은 96.0 mm로 예년과 비슷한 강우량을 나타내었다. 장마는 6월 16일에 시작하여 9월 24일에 종료되었는데, 예년의 29일보다 길고 늦게까지 지속되었다. 수도작 영농시기로 논에서 물의 유·출입이 많은 6, 7, 8월에 내린 강우량은 664.7 mm로 년강수량의 64.5% 였고 강우일수는 약 43일이었다. 특히, 9월과 10월사이 2개월 동안의 강우량은 268.8 mm를 나타내었다.

2000년 5월 1일부터 9월 30일까지 영농기간 동안 조사 대상지역에 내린 강우량과 강우특성을 조사한 결과는 다음과 같다. 5월 상순에는 32.7 mm로 가뭄이 계속되다가, 6월의 강우량은 255.6 mm을 나타내었다. 장마는 6월 8일에 시작하여 7월 18일에 종료되었는데, 약 28일로서 예년의 29일과 비슷한 경향이었다. 수도작 영농시기로 논에서 물의 유·출입이 많은 6, 7, 8월에 내린 강우량은 887.1 mm로 년강수량의 73%로 나타났다. 영농기간을 중심으로 조사지역에 내린 강우량은 1999년의 경우 1030 mm, 그리고 2000년의 경우에는 약 1214 mm의 강우량을 나타내었다.

2. 관개수량

작물의 생육에 필요한 수분을 공급하여 토지의 생산력을 높이고, 지온조절과 작물의 동·상해 방지 및 유해물질의 제거로 작물의 생육환경을 개선하기 위하여 관개수를 공급하고 있다. 본 시험포장의 관개수원은 시험포장이 위치한 곳으로부터 약 2 km 상류지점의 섬진강 상류에 해당하는 본 하천의 취입보로부터 용수로로 도수된 용수를 취수하여 사용하고 있다.

벼 재배기간을 중심으로 시험포장으로 유입된 관개수량은 1999년의 경우 566 mm, 그리고 2000년의 경우에는 약 413 mm로 나타났다. 논갈이를 위해 5월 하순에 약 40~145 mm의 관개수를, 농약살포를 위해 6월 초순에 약 50 mm의 관개수를, 7월 중순경 중간낙수기 상태에서 수비 공급을 위해 약 40~70 mm의 관개수를 공급하였다. 질소질비료의 분얼비 시비를 위한 관개시기에는 강우량이 많아 별도의 관개를 하지 않았다. 6월 하순부터 7월 하순까지는 장마철로 거의 관개가 이루어지지 않았으며, 그 밖에는 자연증발량을 보충하는 정도의 관개가 행해졌다.

3. 유출량

1999년 5월부터 9월까지와 2000년 5월부터 9월까지 영농기간 동안 시험포장을 대상으로 강우에 의한 유출, 물관리 관행에 따른 유출 손실, 그리고 낙수기의 인위적 배수상황 등을 정리한 결과는 다음과 같다. 영농기간 동안 유출사상은 1999년 15회, 2000년 13회로 조사되었으며, 총 유출수량은 1999년 701 mm, 2000년 710 mm 로 나타났다. 논에서 물의 유·출입이 많은 영농기간에 경작자의 물관리 소홀로 인한 유출수량은 1999년 70 mm, 2000년 53 mm 이었고, 낙수기와 간단관개(間斷灌溉)를 위한 인위적인 배수활동으로 인한 유출수량은 1999년 93 mm, 2000년 138 mm 로 나타났다.

4. 증발산량

증발산량은 식물체가 생육하는데 필요한 수량(水量)으로써 식물의 생육상황, 기상요소 및 토양조건 등에 따라 다르게 나타나게 된다. 본 실험에서는 증발산량을 측정하지 못한 관계로 남원관측소의 증발량 자료를 이용하였다. 즉, 실제 증발량은 $0.6 \times$ 증발접시 증발량으로 산정하였다. 비영농기간의 경우 작물재배가 이루어지지 않기 때문에 작물에 의한 엽면증발산량이 없고, 비교적 강우량이 작아 증발산량 산정범위에서 제외하였다.

영농기간을 중심으로 시험포장에서의 증발산량을 계산한 결과 1999년의 경우 551 mm, 그리고 2000년에는 682 mm 로 나타났다.

5. 침투수량

물의 침투에 의한 소비는 수도작에서와 같이 담수재배를 하는 작물의 경우에 일어나는 현상으로서 이 침투량은 토양의 성질과 구조, 균열, 토층의 두께, 감수심, 지하수위 등 여러 가지 요인에 따라 매우 큰 차이를 나타낼 수 있는 것으로 알려져 있다. 본 실험에서는 논에서의 침투량을 측정하기 위하여 직경 10 cm, 길이 90 cm 의 아크릴관을 논에 60 cm 정도를 묻고 일정 눈금높이까지 물을 채워넣은 후 덮개를 하고 일정 기일이 지난후 수위 변화량을 그 기간동안의 평균 침투량으로 하였다.

영농기간을 중심으로 시험포장에서의 침투수량을 계산한 결과 1999년의 경우 310 mm, 그

리고 2000년에는 234 mm 로 나타났다.

6. 손실량

조사기간 동안 유·출입된 물의 양을 대입하여 물수지를 계산한 결과, 미측정된 유입수량이 1999년 43.7 mm, 2000년 1 mm 로 나타났다. 신과 권(1990)이 경기도 화성군 정남면 귀량리 인근 논에서 물수지를 계산한 결과, 강우량은 808.6 mm, 관개수량은 715.4 mm, 침투수량은 318.0 mm, 유출수량은 1,060 mm, 그리고 증발산량은 668 mm로 계산되지 않은 유입수량이 552.0 mm 였다고 보고한 바 있으며, 이와 허(1995)가 벼 재배기간 동안 물수지를 조사한 결과, 강우량은 1,513 mm, 관개수량은 500 mm, 침투수량은 552 mm, 증발산량은 598 mm, 유출수량은 500 mm 로 나타났으며, 계산되지 않은 물의 양이 약 350 mm 였다고 보고하였다. 이와 같이 각 연구자별로 연구결과가 서로 상이하게 나타나고 있는데 이는 기상조건, 토양투수조건, 작물재배방식 및 관개수량 등이 지역별로 다르기 때문에 나타나는 결과로 사료된다.

(표 5-3) 논에서 물수지

| Period (Year/Month/Day) | 강우 (mm) | 관개수 (mm) | 유출수 (mm) | 증발산량 (mm) | 침투수 (mm) |
|----------------------------|------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| 1999. 05.01~05.10 | 64.0 | 0.0 | 9.9 | 29.8 | 20.0 |
| 05.11~05.20 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 2.3 | 2.0 |
| 05.21~05.31 | 32.0 | 160.2 | 43.1 | 43.3 | 29.8 |
| 06.01~06.10 | 7.0 | 92.8 | 0.0 | 37.2 | 27.3 |
| 06.11~06.20 | 82.1 | 54.9 | 13.3 | 39.5 | 33.0 |
| 06.21~06.30 | 71.2 | 0.0 | 46.4 | 39.8 | 23.8 |
| 07.01~07.10 | 83.8 | 0.0 | 55.8 | 41.1 | 16.4 |
| 07.11~07.20 | 7.2 | 56.9 | 23.1 | 50.4 | 17.5 |
| 07.21~07.31 | 194.6 | 39.3 | 213.2 | 48.3 | 18.4 |
| 08.01~08.10 | 80.6 | 0.0 | 56.3 | 47.7 | 15.9 |
| 08.11~08.20 | 8.0 | 54.3 | 2.6 | 46.6 | 18.0 |
| 08.21~08.31 | 130.2 | 107.7 | 151.2 | 33.5 | 22.5 |
| 09.01~09.10 | 78.4 | 0.0 | 7.5 | 31.1 | 23.3 |
| 09.11~09.20 | 46.4 | 0.0 | 8.6 | 35.3 | 22.4 |
| 09.21~09.30 | 144.0 | 0.0 | 70.1 | 25.3 | 19.9 |
| Total | 1,030 | 566 | 701 | 551 | 310 |
| 2000. 05.01~05.10 | 8.6 | 0.0 | 0.0 | 1.2 | 1.0 |
| 05.11~05.20 | 7.2 | 21.8 | 0.0 | 11.6 | 2.0 |
| 05.21~05.31 | 23.8 | 10.9 | 0.0 | 34.4 | 22.0 |
| 06.01~06.10 | 113.4 | 63.5 | 32.9 | 47.3 | 19.5 |
| 06.11~06.20 | 13.8 | 34.0 | 30.3 | 51.4 | 20.9 |
| 06.21~06.30 | 128.4 | 17.8 | 11.0 | 36.9 | 19.9 |
| 07.01~07.10 | 44.6 | 22.9 | 15.7 | 54.4 | 16.9 |
| 07.11~07.20 | 53.6 | 0.6 | 18.5 | 56.8 | 14.3 |
| 07.21~07.31 | 181.2 | 71.1 | 164.6 | 77.9 | 10.9 |
| 08.01~08.10 | 40.8 | 54.2 | 67.6 | 45.0 | 12.0 |
| 08.11~08.20 | 86.0 | 38.9 | 84.5 | 44.3 | 11.3 |
| 08.21~08.31 | 220.8 | 62.2 | 131.2 | 61.7 | 15.1 |
| 09.01~09.10 | 70.4 | 15.3 | 24.3 | 60.7 | 21.4 |
| 09.11~09.20 | 220.6 | 0.0 | 120.7 | 64.1 | 20.6 |
| 09.21~09.30 | 0.4 | 0.0 | 0.0 | 34.3 | 27.0 |
| Total | 1,214 | 413 | 710 | 682 | 234 |

제8절 논에서 영양물질의 물질수지와 유출부하량

논에서 화학성분의 물질순환은 크게 유입계, 내부계, 유출계로 분류할 수 있다. 화학비료, 볏짚, 관개수와 관개토사, 강우와 같은 인자가 유입계에 포함되며, 생물학적 질소고정과 일부 영양물질의 토양내 고정 등이 내부계에 포함되며, 암모니아 휘산과 탈질을 통한 질소손실, 침투손실, 논두렁에서의 삼투손실, 수확된 현미의 인출, 그리고 유출수와 유출토사와

같은 인자가 유출계에 해당된다. 이와 같이 논토양 내에서 화학성분의 물질수지는 여러 가지 인자가 개입되어 있고, 지역적인 특성이나 영농형태에 의해 물질수지 결과가 다양하게 나타날 수 있다. 본 조사에서는 논으로부터 영양물질의 유출부하량을 평가하는데 있어 유입계로는 강우, 화학비료, 관개수를 대상으로 하였고, 유출계로는 침투수와 유출수에 의한 손실량만을 고려하여 평가하였다.

1. 유입계

가. 화학비료

1999년 5월 22일에 모내기 기비(基肥)로 7.36 kg N/10a, 2.72 kg P/10a, 그리고 2.72 kg K/10a를, 6월 15일에 분얼비(分藥肥)로 5.52 kg N/10a, 7월 28일에 수비(穗肥)로 3.68 kg N/10a, 1999년도의 경우 시험포장에 시비된 화학비료의 총량은 질소의 경우 122 kg N/ha 그리고 인산 29 kg P/ha로 나타났다. 2000년도의 화학비료의 시비량은 6월 2일에 모내기 기비(基肥)로 8.4 kg N/10a, 3.1 kg P/10a, 그리고 3.1 kg K/10a를 전층시비(全層施肥)하였으며, 6월 14일에 분얼비(分藥肥)로 2.8 kg N/10a 을, 7월 23일에 수비(穗肥)로 2.8 kg N/10a을 시비하였다. 시험포장에 시비된 화학비료의 총량은 질소의 경우 140 kg N/ha, 그리고 인산은 31 kg P/ha로 나타났다.

나. 강우

1999년 5월 1일부터 2000년 9월 30일까지 2개년의 영농기간 동안 강우를 통하여 논토양에 유입된 화학성분의 공급량은 다음과 같다. 시험포장에 내린 총강우량을 측정한 다음 화학성분의 평균농도를 곱하여 강우에 의한 화학성분의 공급량을 산정하였다. 단, 2 mm 이하의 소강우(少降雨)는 시료채취상의 어려움이 있어 조사대상에서 제외하였다. 그 결과 1999년의 경우 총질소 28 kg/ha, 그리고 총인 0.36 kg/ha 로 나타났으며, 2000년에는 총질소 20 kg/ha, 그리고 총인 0.35 kg/ha 로 나타났다. 강우에 의한 화학성분의 공급량에 차이가 나타나는 것은 각 지역별로 내린 강우량과 강우성분이 서로 다르기 때문인 것으로 사료된다.

다. 관개수

하천이나 저수지 등 관개용수원별로 물의 화학적 성질이 다르고, 같은 하천에서도 시기별

로 물의 화학적 성질이나 함량이 다르게 나타난다. 일반적으로 우기에는 하천이나 저수지에서 영양물질의 함량차이가 적은 반면에, 건기에는 크게 나타난다. 벼 재배에서와 같이 관개수량이 많은 경우에는 관개수중 영양물질의 농도가 낮을지라도 관개수량이 많아서 유입되는 영양물질의 총량이 상당한 수준에 이를 것으로 사료된다.

벼 재배기간 동안 관개수에 의하여 시험포장으로 유입된 영양물질의 양은 총 관개량을 측정한 다음 화학성분의 평균농도를 곱하여 산정하였다. 또한 관개수중 총부유물질의 함량은 관개수중 토사의 함량으로 나타내었으며, 토사중 화학성분의 평균농도에 토사유입량을 곱하여 관개토사에 의한 공급량을 산정하였다.

1999년의 경우 총질소 35 kg/ha, 그리고 총인 0.57 kg/ha 로 나타났으며, 2000년에는 총질소 26 kg/ha, 그리고 총인 0.72 kg/ha 로 나타났다. 권과 유(1989)가 경기도 화성군 정남면 괴량리 29.3 ha의 논에 유입된 관개수 218,000 m³으로부터의 영양물질의 공급량을 조사한 결과, 총질소 7.02 kg/ha, 총인 2.63 kg/ha 으로 보고하였다. 권과 유(1989)의 실험결과와 본 실험과는 기상조건과 관개수량 및 관개횟수가 서로 상이한 관계로 직접적인 비교는 어렵겠지만, 본 조사에서 총질소는 약 4배 정도 높게 나타난 반면, 인산의 경우는 약 5배 정도 낮게 나타났다. 하와 허(1989)가 김해평야 인근 논으로 공급되는 관개수를 통한 총질소의 공급량을 조사한 결과 25.4~68.2 kg/ha로 그 변화가 크게 나타났는데, 이는 논으로 유입되는 관개수중에 공업단지 폐수, 생활하수 및 축산폐수 등이 일부 유입되어 그 변화가 컸던 것으로 보여진다.

2. 유출계

가. 유출수

1999년 5월부터 2000년 9월까지 영농기간 동안 시험포장에서 유출된 유출수량을 측정한 다음 유출수중 화학성분의 평균농도를 곱하여 화학성분의 유출량을 산정하였다.

1999년의 경우 총질소는 52 kg/ha, 그리고 총인은 1.1 kg/ha 로 나타났으며, 2000년에는 총질소 48 kg/ha, 그리고 총인은 1.6 kg/ha 로 나타났다. 시기별로 6월에 유출량이 가장 높았는데 이는 시비효과로 6월에 유출수중 화학성분의 농도가 높았기 때문인 것으로 판단된다.

유출량을 시비된 화학비료량을 기준으로 유실률을 계산한 결과, 질소의 경우 시비량의 약

34~43 %, 인산은 3.8~5.3 %가 유출과정을 통하여 유실된 것으로 나타났다. 김과 조(1995)의 연구에서 경기도 화성군 반월면 둔대리를 대상으로 벼 재배기간 동안 농업배수에 의한 영양물질의 유실량을 조사한 결과, 질소 15 kg/ha, 인산 0.59 kg/ha, 칼리 15.0 kg/ha 이었으며, 유실률은 질소 5.32%, 인산 0.01%, 그리고 칼리 19.48% 로 나타났다. 또한 권과 유(1988)는 경기도 화성군 정남면 괴량리 농경지 29.3 ha 를 대상으로 벼 재배기간 동안 영양물질의 유출량을 조사한 결과, 총질소는 12.37 kg/ha, 그리고 총인은 2.16 kg/ha 로 보고되었다. 國松(1986)은 1983년을 기준으로 일본에서 연구되었던 농경지에서 영양물질 이동에 대한 연구결과와 일본농림통계의 자료를 인용하여 논에서 영양물질의 수지를 계산하였는데 그 결과 지표유출을 통해 총질소 14.3 kg/ha/yr, 그리고 총인 0.482 kg/ha/yr가 손실되었다고 하였다. 또한 武田 등(1990)은 비와호 수역에서 11.6 ha 의 논을 대상으로 영양물질의 유출량을 조사한 결과, 총질소 45.7 kg/ha 그리고 총인은 8.72 kg/ha 로 나타났다고 하였으며, 그 중 비영농기간(227일) 동안에는 각각 총질소 52%, 총인14% 가 유출된 것으로 보고하였다.

본 조사결과와 지금까지 연구된 국내·외 결과를 비교해 보면, 본 조사에서 질소, 인산 그리고 칼리의 유출부하량이 상당히 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 조사지역별로 비료사용량, 시비방법, 시비시기, 관개용수 및 강우의 양과 성분의 차이 등 지역적 특성으로 인하여 영양물질의 유출량에 차이가 발생한 것으로 추정되었다.

나. 침투수

1999년 5월부터 2000년 9월까지 영농기간 동안 시험포장에 매설된 토양용액 채취관으로 이동한 화학성분의 침투손실량을 조사한 결과는 다음과 같다.

영양물질의 침투손실량은 총질소의 경우 9~12 kg/ha 로 월별로는 6월에 가장 높게 나타났다. 이는 5월말 영농을 위한 기비(基肥) 시비(施肥)후 논물중 총질소 함량이 크게 증가하였기 때문인 것으로 판단된다. 총인의 침투손실량은 0.04~0.05 kg/ha 로 나타났으며, 월별로는 5월과 6월에 가장 높게 나타났다. 國松(1986)은 일본 농림통계의 자료를 인용하여 논에서 침투손실량을 조사한 결과에서 총질소는 11.34 kg/ha, 그리고 총인은 0.194 kg/ha 로 나타났다고 하였다. 본 조사결과와 國松(1986)의 결과를 비교해 보면 총질소 침투손실량은 유사한 수준이었으나 총인의 침투손실량은 본 조사에서 낮게 나타났다.

논에 시비된 화학비료의 양을 기준으로 침투에 의한 영양물질 손실률을 계산한 결과, 질

소의 경우 시비량의 6.4~9.8%, 인산의 경우 시비량의 0.13~0.17%가 손실된 것으로 나타났다.

3. 논에서 질소와 인의 원단위 오염부하량 산정

본 연구기간 동안 조사된 논에서의 오염부하량과 문헌연구결과 얻어진 결과를 기초로 하여 논에서 질소와 인의 원단위 오염부하량을 산정한 결과는 다음과 같다.

(표 5-4) 원단위 오염부하량

(단위 : kg/ha/year)

| 시험지구 | 유출수에 의한 유출손실량 | | 침투수에 의한 침투손실량 | | 비 고 |
|----------|------------------|---------|------------------|-----------|---------------------------|
| | 질소 | 인 | 질소 | 인 | |
| 전라북도 진안군 | 48~52 | 1.1~1.6 | 9~12 | 0.04~0.05 | 본 연구결과 (1999~2000) |
| 경기도 화성군 | 14 | 0.59 | | | 김과 조 (1995) |
| 경기도 화성군 | 12.4 | 2.16 | | | 권과 유 (1988) |
| 일본농림통계 | 14.3 | 0.48 | 11.34 | 0.194 | 국송 (1986) |
| 일본 비와호유역 | 45.7 | 8.72 | | | 무전 (1994) |
| (제안) | 50 | 1.0 | 10 | 0.05 | 제안된 논에서의 질소와 인의 원단위 오염부하량 |

유출수에 의한 질소 손실량의 경우 김과 조 (1995)와 권과 유(1988)의 연구결과에 비해 본 연구에서 약 4배 이상 높게 나타났으며, 인의 경우 본 연구결과가 김과 조(1995)의 결과보다는 약 2배 이상 높은 반면 권과 유(1988)의 결과보다는 2배 낮게 나타났다. 침투수에 의한 질소와 인산의 손실량은 일본에서 연구된 결과와 큰 차이를 나타내지 않았다.

본 조사결과와 지금까지의 국내·외 연구 결과를 비교해 보면, 본 조사에서 질소, 인산 그리고 칼리의 유출부하량이 상당히 높게 나타났다. 이와 같은 결과는 조사지역별 비료사용량, 시비방법, 시비시기, 관개용수 및 강우의 양과 성분의 차이 등 지역특성으로 인하여 영양물질의 유출량에 차이가 발생되었기 때문으로 보여진다. 한편, 김과 조(1995)와 권과 유

(1988)를 비롯하여 일본에서 연구된 대부분의 연구결과들은 영농기간만을 대상으로 하였거나 1년 이내의 짧은 연구기간 동안 유출된 질소와 인의 오염부하량을 산정한 결과를 제시한 것이다. 그러나 본 연구는 2년 동안 영농기간과 비영농기간을 모두 포함한 장기적인 연구결과이므로 어느 정도 타당성과 신뢰도가 높게 나타날 수 있을 것으로 판단된다. 따라서, 본 연구결과에 의하면 논에서 발생하는 질소와 인의 원단위 오염부하량으로 유출수에 의한 손실량은 질소 50 kg/ha/year, 인 1.0 kg/ha/year 이고, 침투수에 의한 손실량은 질소 10 kg/ha/year, 인 0.05 kg/ha/year 로 하여 잠정적인 원단위 오염부하량으로 산정하여 적용하여도 별 무리가 없을 것으로 생각된다. 한편, 이와 같은 논에서의 원단위 오염부하량 산정은 3~5년에 걸친 장기간의 연구가 필요하며, 영농형태 즉, 화학비료의 사용량, 시비방법, 시비시기별로 논에서의 영양물질 유출에 대한 체계적인 보완실험이 향후에도 지속적으로 수행되어야 할 것으로 사료된다.

제 6 장

보령유역의
수문 · 수질 · 토양 분석

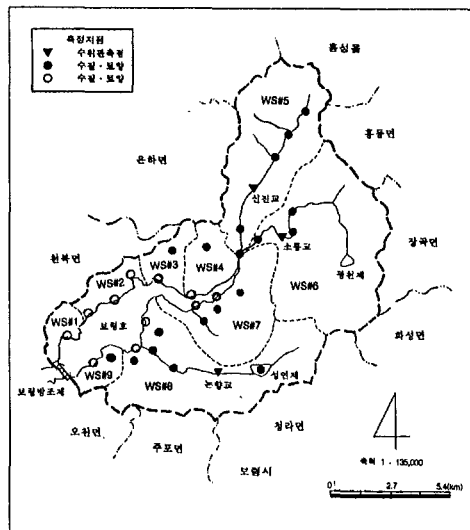
제6장 보령유역의 수문·수질·토양 분석

제1절 유역 수문 분석

본 장에서는 보령 담수호유역에서 하천 또는 담수호로 유입되는 오염원의 적정관리를 위한 기초자료로서 제반 측정 및 분석자료를 기술하였다. 먼저 보령담수호 유역을 대상으로 수문 관측 시설을 설치하고 시험지구의 수문 모니터링을 통해 수위를 측정하였으며, 이 시점으로부터 조사기간 동안 하천지점의 유출량을 산정 하였다.

1. 수문 조사 지점

하천에서의 수문조사는 1998년 11월부터 2001년 9월까지 유역내 9개의 소유역으로부터 담수호로 유입되는 주요 하천지점을 대상으로 실시하였으며, 조사지점은 <그림 5.1-1>과 같다. 여기서 WS#1과 WS#2 유역은 하천이 발달되어 있지 않고 일부 처리되지 않은 축산폐수가 담수호로 유입되고 있다. 본 유역내에서 비교적 하천의 형태가 발달되어 있는 소유역으로는 WS#5, WS#6 및 WS#8 유역이라고 볼 수 있으며, 수위관측 등 수문조사는 3개 유역을 중심으로 실시하였다.



<그림 6-1> 보령담수호 유역 수문조사 위치도

2. 수문 계측시설 및 운영

하천 수위자료를 얻기 위하여 WS#5 유역의 신진교(구교량), WS#6 유역의 소룡교 및 WS#8 유역의 논향교 지점에 수위표와 압력변환형 수위계인 WL-14 Datalogger(Global Water Co., USA) 1조를 설치하였으며, 간이표척은 담수호로 유입되는 하천지점에 설치하였다. 수위계는 매 30분마다 기록되도록 하였고, 1999년 3월부터 2001년 9월까지 운영하여 시간별 수위자료를 수집하였으며, 수위관측과 수위표 확인 및 수위 Data 회수는 매월 1회, 유속측정은 현장조사시 수시로 실시하였다. 한편, 논향교 지점은 상류측 저수지의 영향으로 유량의 변화가 적어 2000년 7월 14일에 폐쇄하였고, 소룡교 지점은 하천정비사업으로 인한 수위계 파손으로 2000년 4월 20일부터 7월 14일까지 결측되었으며, 7월 14일에 다시 설치하였다.

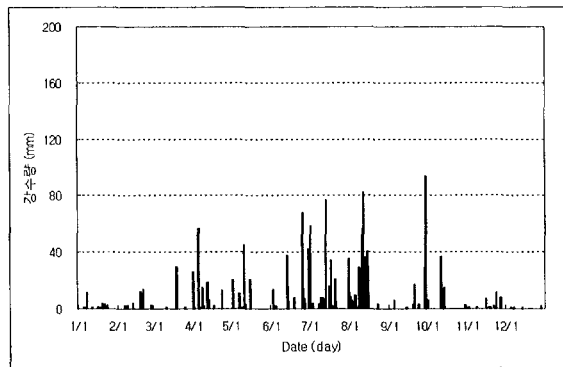
3. 강수량 자료

조사기간중의 강수량 자료는 자료의 신뢰성을 위해 보령관측소의 기상자료를 이용하였다. 조사기간인 1998년 11월부터 2001년 8월까지 보령관측소의 연도별 강수량은 1998년에 1,397.2 mm, 1999년도는 1,284.1 mm, 2000년 1,515.4 mm, 2001년 8월 현재까지 2,000 mm 를 나타내고 있다. 1999년도에는 태풍과 집중된 호우로 인하여 우리나라 년평균 강수량 1,274 mm 보다 약간 많은 편이었으며, 관개기간인 5월~9월 사이에는 69.1% 인 887.5 mm 를 나타내었다. 그리고, 일일 최대우량은 6월 23일의 118.5 mm 이었으며, 다음으로는 9월 10일의 103.0 mm, 8월 2일의 96.5 mm 순이었다. 2000년도의 일일 최대 우량은 8월 26일의 171.5 mm 이었으며, 다음으로는 8월 27일 140.0 mm, 8월 24일 139.5 mm 로 나타났다. 특히 8월 20일~8월 27일 사이에 집중적으로 내려 644.0 mm 를 기록하였다. <표 5.1-1>는 각 연도별로 관개기간을 포함한 월별 강수량을 나타낸 것이며, <그림 5.1-2>~<그림 5.1-5>는 각 연도별로 일별 강수량을 나타낸 것이다.

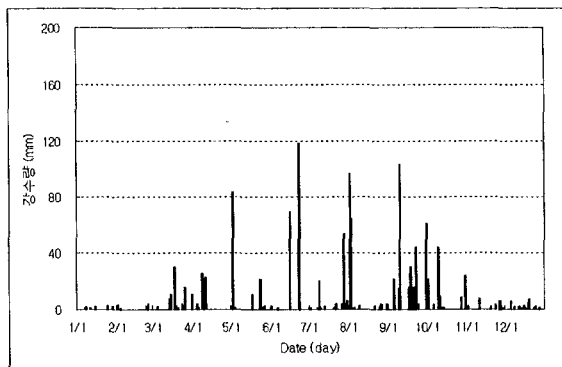
(표 6-1) 보령관측소 월별 강수량 (1998~2001년)

(단위 : mm)

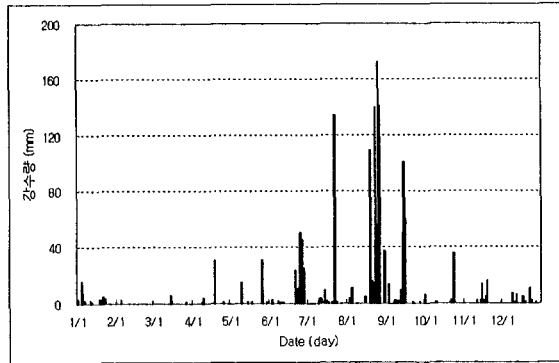
| Year | Month | | | | | | | | | | | | Total |
|------|-------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | |
| 1998 | 29.9 | 40.2 | 30.5 | 138.0 | 100.0 | 209.5 | 263.0 | 341.7 | 150.3 | 61.0 | 29.3 | 3.8 | 1,397.2 |
| 1999 | 7.9 | 9.5 | 71.0 | 88.5 | 124.5 | 192.5 | 98.0 | 180.0 | 292.5 | 169.0 | 24.9 | 25.8 | 1,284.1 |
| 2000 | 42.1 | 3.2 | 7.0 | 35.0 | 53.5 | 159.5 | 155.0 | 701.5 | 241.0 | 46.0 | 39.5 | 32.1 | 1,515.4 |
| 2001 | 73.3 | 46.0 | 15.9 | 26.0 | 17.0 | 129.0 | 286.5 | 170.0 | | | | | 763.7 |



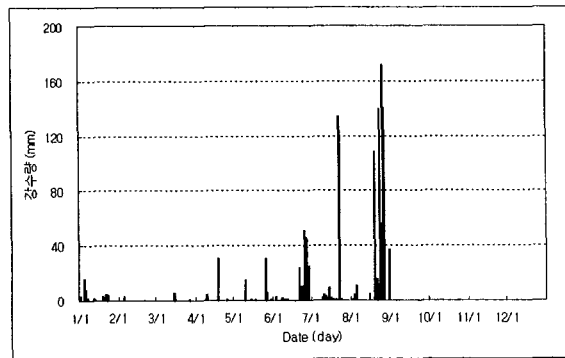
<그림 6-2> 보령관측소 일별 강수량(1998년)



<그림 6-3> 보령관측소 일별 강수량(1999년)



<그림 6-4> 보령관측소 일별 강수량(2000년)

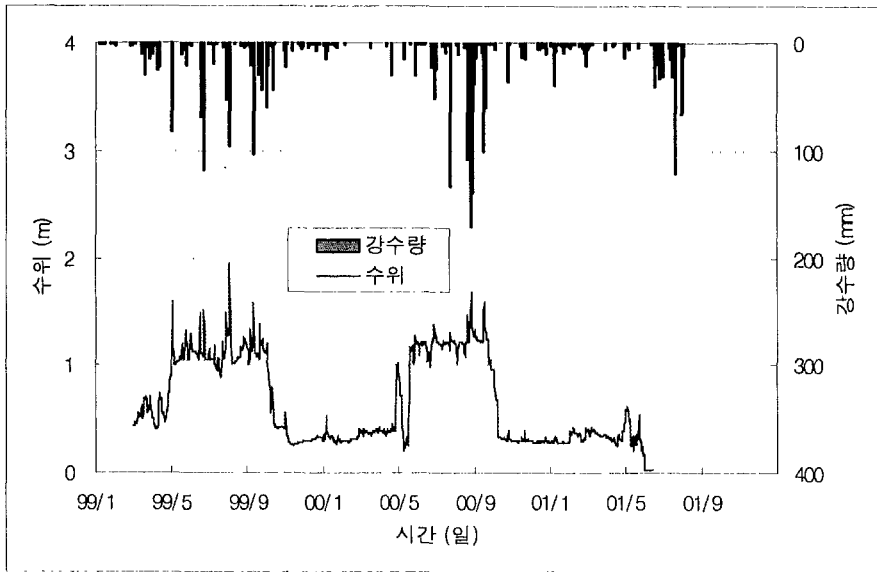


<그림 6-5> 보령관측소 일별 강수량(2001년)

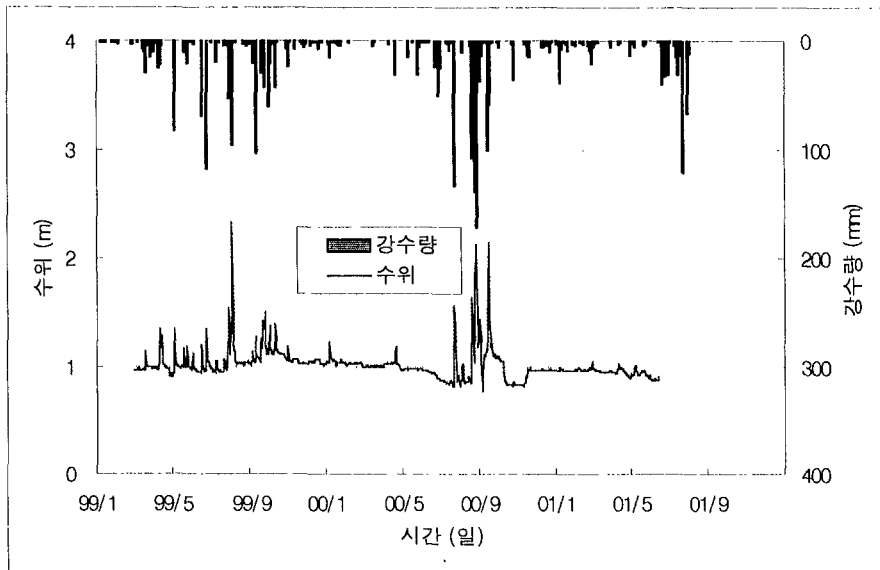
4. 수위 및 유량측정

가. 수위측정

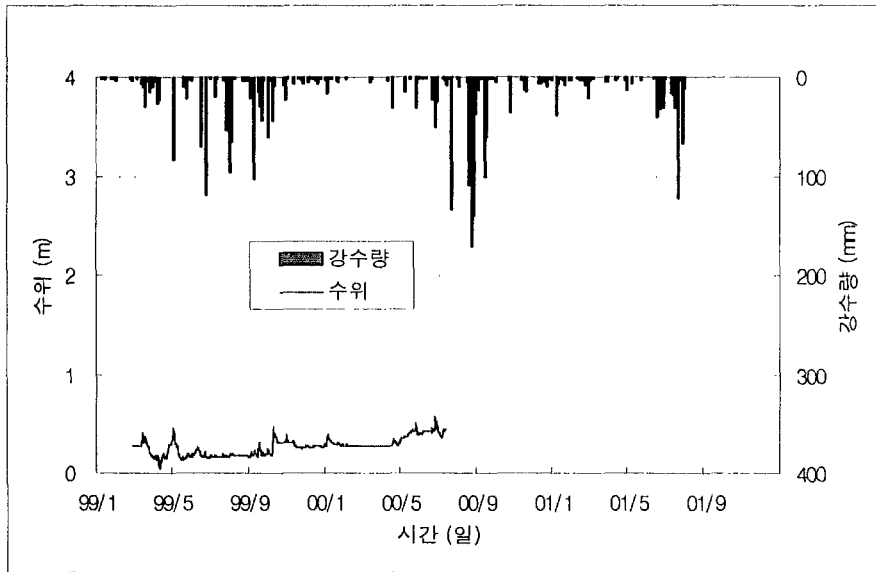
수위자료는 신진교, 소룡교 및 논향교 지점에 설치된 WL-14 수위 데이터로거로부터 30분 간격으로 측정된 시간별 수위곡선으로부터 구하였다. <그림 5.1-6>부터 <그림 5.1-8>까지는 1999년 3월부터 2001년 9월까지 WS#5 유역의 신진교, WS#6 유역의 소룡교, WS#8 유역의 논향교 지점에서 측정된 시간별 수위곡선을 나타낸 것이다.



<그림 6-6> 신진교 지점의 일별 수위곡선 (1999.3~2001.8)



<그림 6-7> 소룡교 지점의 일별 수위곡선(1999.3~2001.8)



<그림 6-8> 논향교 지점의 일별 수위곡선(1999.3~2001.8)

나. 유속측정 및 유량 산정

유속측정은 BFM002 유속계(Valeport Ltd., UK)를 사용하였고, 유량계산은 평균단면법을 이용하였다. 또한, 보 웨어공식, 그리고 Manning 공식도 참고하였으며, 그 결과를 가지고 각 측정에서의 수위-유량관계식을 유도하였다. 여기서 얻어진 수위-유량관계식을 이용하여 시간별 수위자료를 유량으로 변환하고, 이 자료를 가지고 일별 평균유량을 계산하였다.

(표 6-2) 수위-유량 관계식을 위한 사용자료

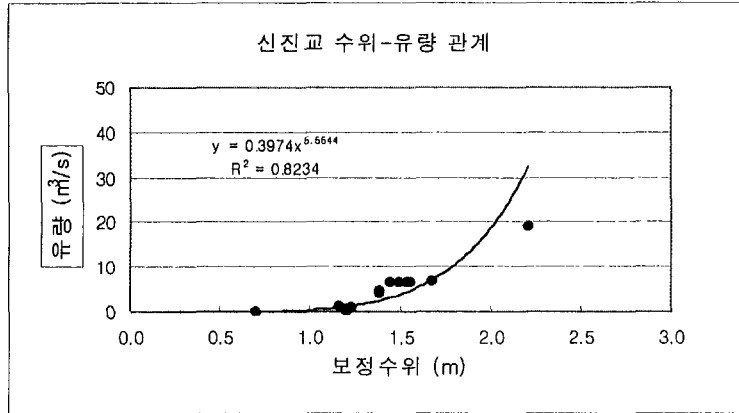
| 신진교 | | | 소룡교 | | | 논향교 | | |
|-------------|---------------------------|---------|-------------|---------------------------|-----|-------------|---------------------------|---------|
| 보정수위 (m) | 유량 (m ³ /s) | 자료 | 보정수위 (m) | 유량 (m ³ /s) | 자료 | 보정수위 (m) | 유량 (m ³ /s) | 자료 |
| 1.387 | 4.2321 | 유속계 | 0.998 | 0.2904 | 유속계 | 0.298 | 0.1153 | 유속계 |
| 1.192 | 0.5287 | Weir | 0.998 | 0.3446 | " | 0.420 | 1.7565 | Weir |
| 1.158 | 1.1376 | " | 0.986 | 0.4081 | " | 0.824 | 5.7145 | " |
| 1.201 | 0.5287 | " | 1.471 | 6.0178 | " | 1.000 | 5.9179 | Manning |
| 1.206 | 0.4022 | " | 1.906 | 16.7250 | 부표법 | 1.340 | 11.6094 | " |
| 1.387 | 4.7288 | " | 1.756 | 11.7581 | " | 2.260 | 36.0962 | " |
| 1.192 | 0.4514 | " | 1.576 | 9.0572 | " | | | |
| 1.229 | 0.8140 | " | 1.976 | 20.3070 | " | | | |
| 1.535 | 6.7211 | 부표법 | 1.826 | 12.9146 | " | | | |
| 1.442 | 6.5333 | " | 1.726 | 11.7804 | " | | | |
| 1.674 | 7.0584 | " | 0.200 | 0.0001 | | | | |
| 1.553 | 6.7564 | " | | | | | | |
| 1.493 | 6.6476 | " | | | | | | |
| 2.210 | 19.1909 | Manning | | | | | | |
| 0.700 | 0.1000 | " | | | | | | |

다. 하천수위-유량 관계곡선

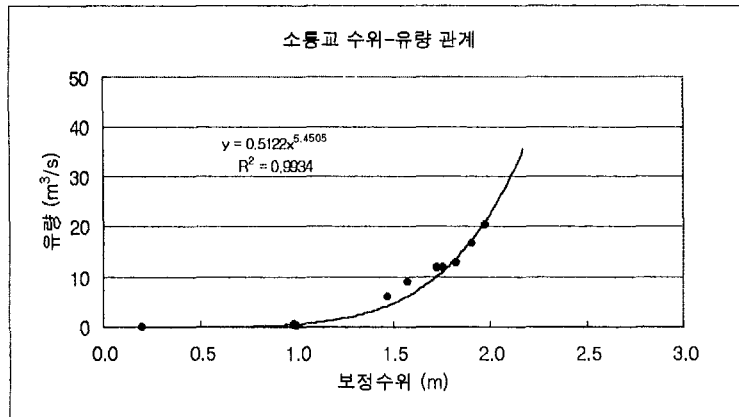
하천 유량을 산정하기 위하여 각 지점으로부터 측정된 시간별 수위와 현장 유량측정 자료로부터 <그림 6-9>~<그림 6-11>에 나타난 바와 같이 각 지점의 수위-유량관계식을 유도하였다.

- 신진교 : $Q = 0.3974 h^5.5544$ ($R^2 = 0.8234$)
- 소룡교 : $Q = 0.5122 h^5.4505$ ($R^2 = 0.9934$) ($h \leq 1.875m$)
 $Q = 10.798 h^2 - 13.149 h + 2.4427$ ($R^2 = 0.9870$) ($h > 1.875m$)
- 논향교 : $Q = 6.1322 h^2.5086$ ($R^2 = 0.8978$)

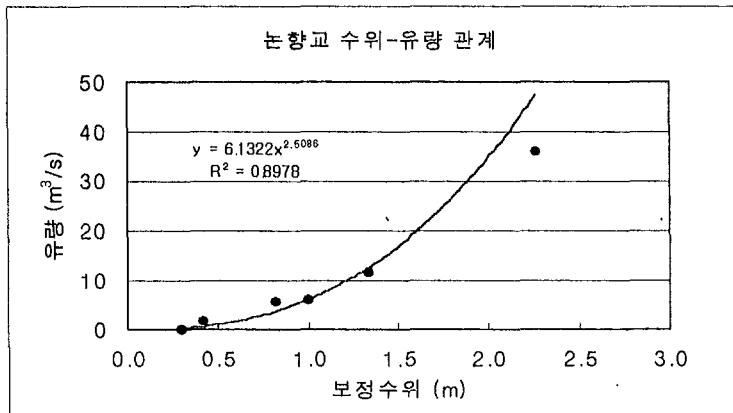
식에서, Q는 유량(m³/s), h는 수심(보정수위, m)이다.



〈그림 6-9〉 신진교 지점의 수위-유량 관계



〈그림 6-10〉 소룡교 지점의 수위-유량 관계



〈그림 6-11〉 논향교 지점의 수위-유량 관계

5. 유출 분석

가. 일별 유량

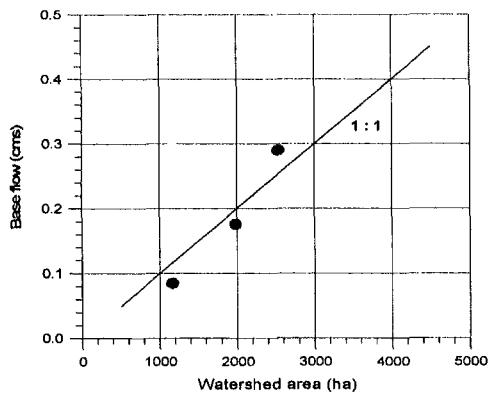
하천의 조사지점에서 유출량을 조사하기 위하여 3개 관측지점에서 유도된 관계식과 시간별 수위자료를 변환시킨 유량을 산정하였으며, 이때의 기저유량은 (표 6-3)에 나타낸 바와 같이 측정값 중에서 가장 작은 값을 취하였다. <그림 6-12>는 유역면적과 기저유량을 나타낸 것으로 $Q_{min} = 0.1 \times \text{유역면적}(\text{km}^2)$ 의 개략적인 관계를 보여주고 있다. <그림 6-13>에서 <그림 6-15>까지는 3개 지점의 일별 평균유량을 강우량과 함께 나타낸 것이다.

(표 6-3) 측정별 기저유량 가정값

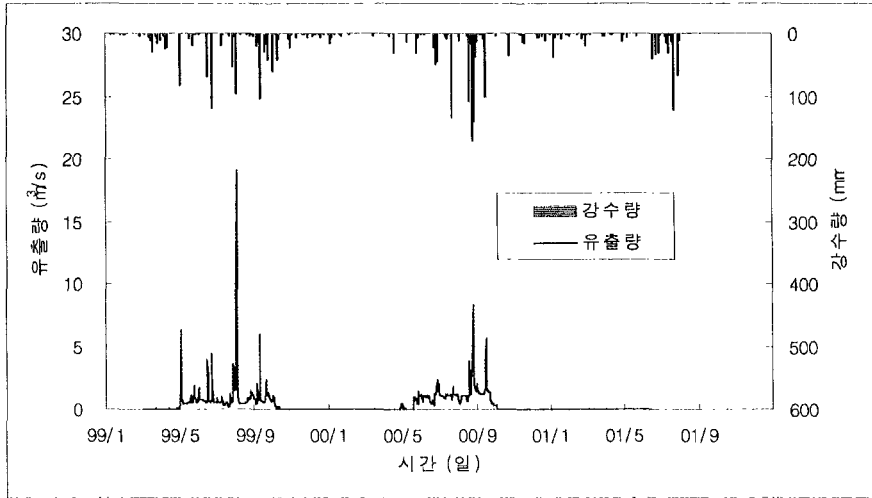
| 소유역 | 측 점 | 유역면적 (ha) | 유량 (m^3/s) | 환산유량 (mm/day) | 측정일 |
|------|-----|--------------|---------------------------------|------------------------------------|---------|
| WS#5 | 신진교 | 1978.5 | 0.1763 | 0.77 | 99.4.27 |
| WS#6 | 소룡교 | 2535.8 | 0.2904 | 0.99 | " |
| WS#8 | 논향교 | 1160.8 | 0.0632 | 0.47 | 99.7.2 |

(표 6-4) 기저유량 산정을 위한 측정 및 계산자료

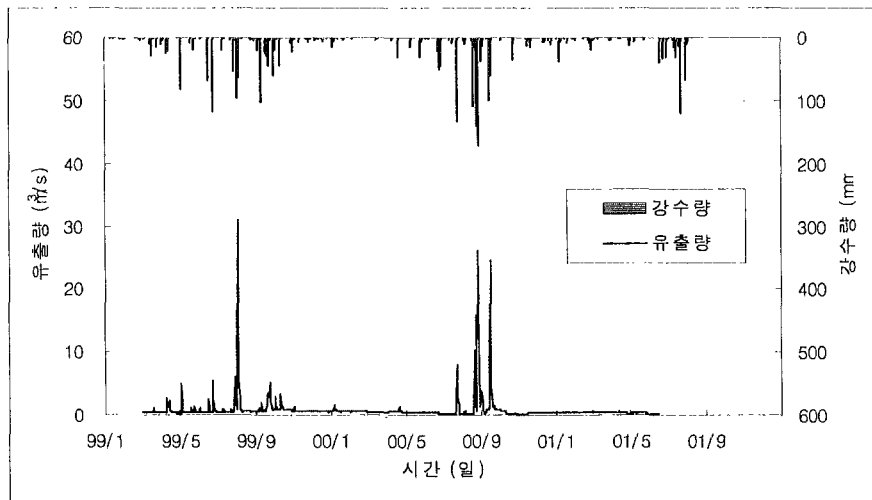
| 소유역 | 측점 위치 | 일자 | 유량 측정 | | Tank 모형 | | 비고 (WL-14) | |
|----------|-------|---------|-------------------------|------------------------|----------|------------------------|------------|--------------------------|
| | | | 유속계 (m ³ /s) | 웨어 (m ³ /s) | 유출심 (mm) | 유량 (m ³ /s) | 보정수위 H(m) | 일평균 Q(m ³ /s) |
| WS#5 | 신진교 | 99.1.19 | | 0.1970 | 0.0 | 0.0 | 0.310 | - |
| | | 99.3.27 | 0.1763 | 0.1386 | 0.96 | 0.2197 | 0.237 | 1.1197 |
| | | 99.5.28 | | 0.5287 | 0.03 | 0.0069 | 1.192 | 4.7705 |
| | | 99.6.10 | | 1.1376 | 0.0 | 0.0 | 1.158 | 5.3408 |
| | | 99.6.28 | | 0.5287 | 1.33 | 0.3044 | 1.201 | 4.8229 |
| | | 99.7.2 | | 0.4022 | 0.21 | 0.0481 | 1.206 | 5.2771 |
| | | 99.7.22 | | 0.4514 | 0.03 | 0.0069 | 1.192 | 4.8144 |
| | | 99.8.4 | 5.2901 | 5.9110 | 13.78 | 3.1542 | 1.387 | 8.7505 |
| | | 99.9.11 | | 0.8140 | 11.78 | 2.6964 | 1.229 | 5.6577 |
| | | 99.10.7 | | 1.8546 | 1.43 | 0.3273 | 0.691 | 1.8021 |
| 99.11.27 | | 0.2240 | 0.23 | 0.0526 | 0.330 | 0.6752 | | |
| WS#6 | 소룡교 | 99.3.27 | 0.2904 | | 0.84 | 0.2465 | 0.998 | 2.8495 |
| | | 99.5.28 | 0.3446 | | 0.03 | 0.0088 | 0.998 | 2.8764 |
| | | 99.7.2 | 0.4081 | | 0.17 | 0.0499 | 0.986 | 2.6686 |
| | | 99.8.4 | 6.0178 | | 12.36 | 3.6277 | 1.471 | 9.5445 |
| WS#8 | 논향교 | 99.1.19 | | 1.7565 | 0.0 | 0.0 | 0.420 | - |
| | | 99.3.27 | 0.1806 | 0.1711 | 1.23 | 0.1653 | 0.461 | 0.3368 |
| | | 99.5.28 | 0.0850 | | 0.03 | 0.0040 | 0.372 | 0.2599 |
| | | 99.6.10 | 0.1153 | | 0.0 | 0.0 | 0.298 | 0.3987 |
| | | 99.7.2 | 0.0632 | | 0.17 | 0.0228 | 0.354 | 0.2637 |
| | | 99.8.4 | | 5.7145 | 17.27 | 2.3211 | 0.824 | 0.2762 |
| | | 00.5.25 | 0.1420 | | 0.0 | 0.0 | 0.429 | 1.0969 |



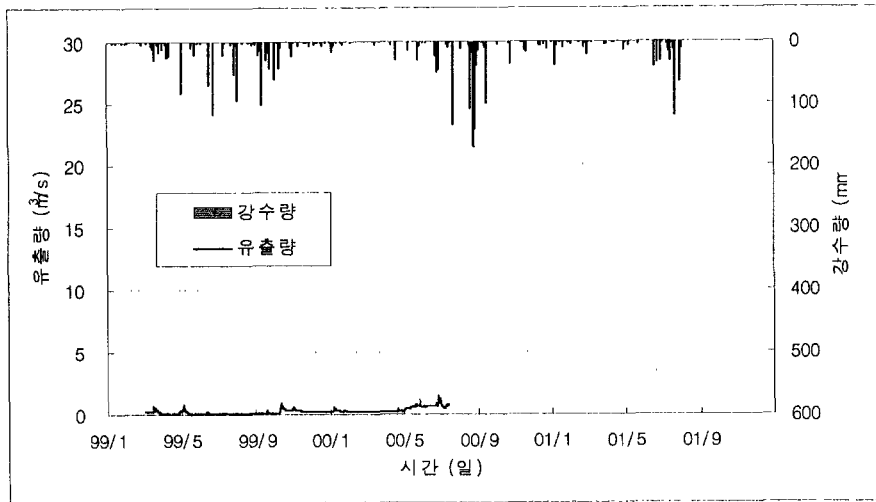
<그림 6-12> 유역면적과 기저유량과의 관계



<그림 6-13> 신진교 지점의 일별 유출량 (1999.3~2001.8)



<그림 6-14> 소룡교 지점의 일별 유출량 (1999.3~2001.8)



<그림 6-15> 논향교 지점의 일별 유출량 (1999.3~2001.8)

나. 월별 유출률

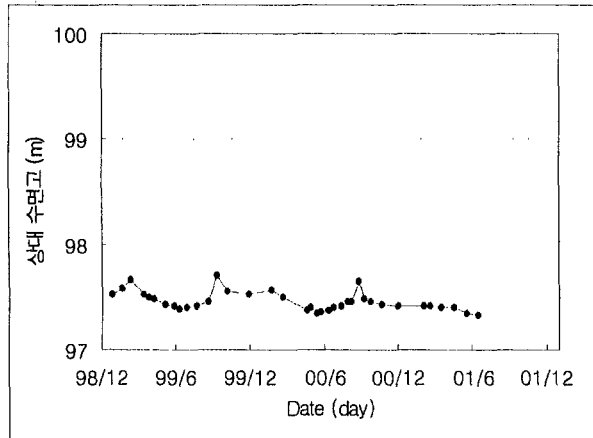
각 측정지점의 수위-유량관계로부터 변환된 유량자료를 이용하여 일별 및 월별로 유출률을 계산하였고, 이를 정리하면 (표 6-5)와 같다.

(표 6-5) 유량측정 지점의 월별 유출량 (1999~2001년)

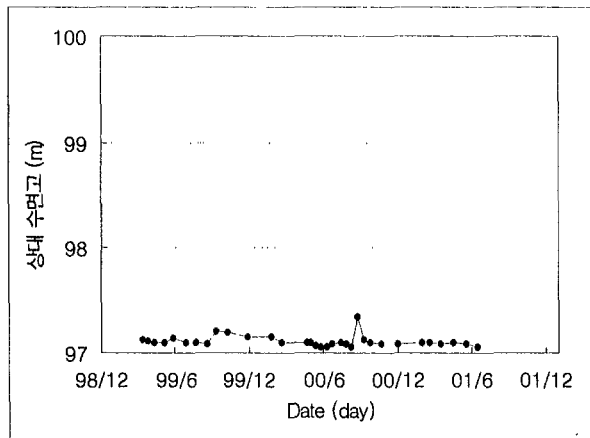
| 년도 | 월별 | 강수량 (mm) | 신진교 | | 소룡교 | | 논향교 | |
|------|----|-------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| | | | 유출량 (mm) | 유출율 (%) | 유출량 (mm) | 유출율 (%) | 유출량 (mm) | 유출율 (%) |
| 1999 | 1 | 7.9 | - | - | - | - | - | - |
| | 2 | 9.5 | - | - | - | - | - | - |
| | 3 | 71.0 | 2.9 | 4.1 | 50.8 | 71.5 | 61.7 | 86.9 |
| | 4 | 88.5 | 3.9 | 4.4 | 69.2 | 78.2 | 21.3 | 24.0 |
| | 5 | 124.5 | 128.8 | 103.5 | 81.6 | 65.6 | 41.6 | 33.4 |
| | 6 | 192.5 | 141.6 | 73.6 | 83.2 | 43.2 | 22.4 | 11.6 |
| | 7 | 98.0 | 112.3 | 114.6 | 82.4 | 84.1 | 16.9 | 17.3 |
| | 8 | 180.0 | 247.4 | 137.5 | 229.9 | 127.7 | 18.9 | 10.5 |
| | 9 | 292.5 | 145.5 | 49.8 | 146.2 | 50.0 | 24.2 | 8.3 |
| | 10 | 169.0 | 18.8 | 11.1 | 119.7 | 70.9 | 74.1 | 43.8 |
| | 11 | 24.9 | 0.2 | 0.9 | 68.5 | 275.0 | 61.5 | 246.8 |
| | 12 | 25.8 | 0.1 | 0.3 | 67.1 | 260.1 | 52.8 | 204.6 |
| | 소계 | 1,284.1 | 801.5 | 62.4 | 998.6 | 77.8 | 395.3 | 30.8 |
| 2000 | 1 | 42.1 | 0.3 | 0.7 | 75.2 | 178.6 | 73.2 | 173.9 |
| | 2 | 3.2 | 0.1 | 3.0 | 57.7 | 1801.6 | 52.6 | 1644.2 |
| | 3 | 7.0 | 0.3 | 3.8 | 54.7 | 781.1 | 55.0 | 785.8 |
| | 4 | 35.0 | 5.8 | 16.7 | 61.4 | 175.3 | 60.7 | 173.4 |
| | 5 | 53.5 | 57.6 | 107.7 | 47.0 | 87.9 | 137.4 | 256.8 |
| | 6 | 159.5 | 144.2 | 90.4 | 36.8 | 23.1 | 166.7 | 104.5 |
| | 7 | 155.0 | 156.4 | 100.9 | 65.1 | 42.0 | 68.5 | 44.2 |
| | 8 | 701.5 | 254.6 | 36.3 | 364.6 | 52.0 | - | - |
| | 9 | 241.0 | 181.0 | 75.1 | 298.5 | 123.9 | - | - |
| | 10 | 46.0 | 4.4 | 9.5 | 37.1 | 80.6 | - | - |
| | 11 | 39.5 | 0.1 | 0.2 | 32.8 | 83.1 | - | - |
| | 12 | 32.1 | 0.1 | 0.2 | 44.8 | 139.5 | - | - |
| | 소계 | 1,515.4 | 804.8 | 53.1 | 1,175.7 | 77.6 | 614.2 | 40.5 |
| 2001 | 1 | 73.3 | 0.1 | 0.1 | 44.8 | 61.1 | - | - |
| | 2 | 46.0 | 0.2 | 0.4 | 42.8 | 93.1 | - | - |
| | 3 | 15.9 | 0.2 | 1.4 | 42.4 | 266.8 | - | - |
| | 4 | 26.0 | 0.2 | 0.6 | 39.6 | 152.5 | - | - |
| | 5 | 17.0 | 0.7 | 3.8 | 38.5 | 226.2 | - | - |
| | 6 | 129.0 | 65.1 | 50.5 | 37.6 | 29.2 | - | - |
| | 7 | 286.5 | 151.3 | 52.8 | 56.2 | 19.6 | - | - |
| | 8 | 170.0 | 113.4 | 66.7 | 37.9 | 22.3 | - | - |
| | 9 | | | | | | - | - |
| | 10 | | | | | | - | - |
| | 11 | | | | | | | |
| | 12 | | | | | | | |
| | 소계 | 763.7 | 331.2 | | 339.8 | | | |

6. 미계측 지점의 수위변화

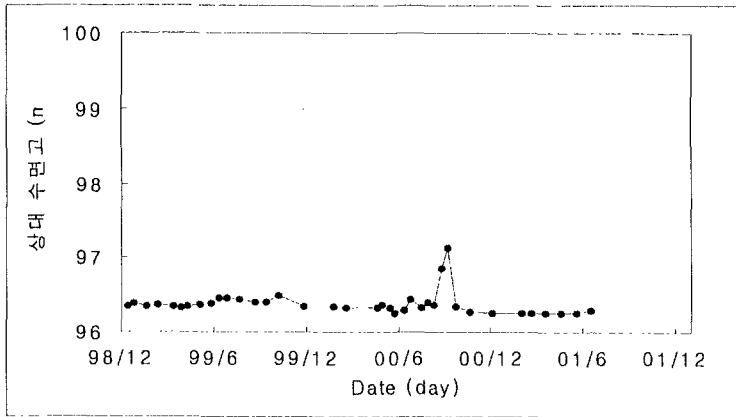
보령유역에서 신진교, 소룡교, 논향교 등 3개 지점을 제외한 다른 하천 지점의 수위변화는 다음과 같다. <그림 6-16>에서 <그림 6-35>까지는 교량 상단을 EL.100m로 가정하여 상대표고로 나타낸 것이다.



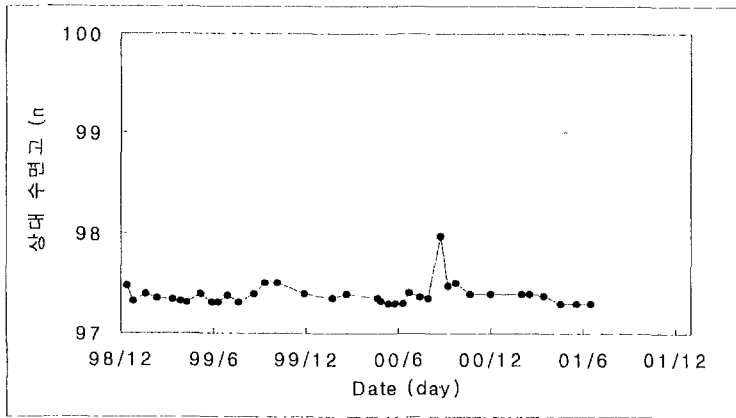
<그림 6-16> WS#3 유역 신죽교 수위변화



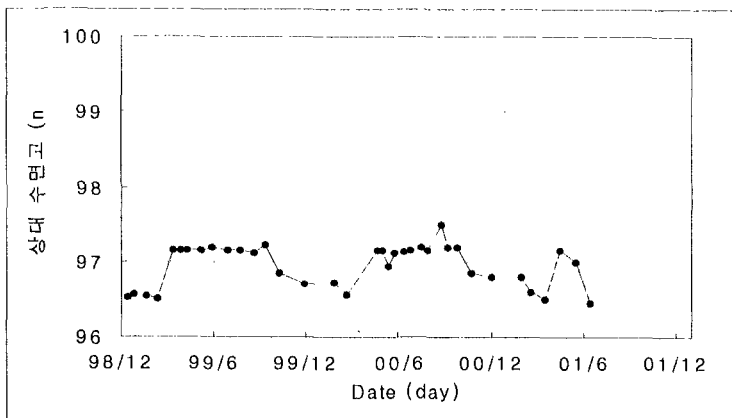
<그림 6-17> WS#4 유역 장척



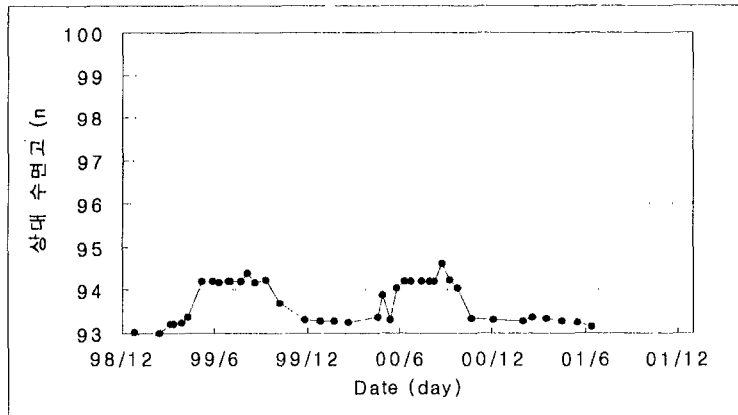
<그림 6-18> WS#5 유역 청광교 수위변화



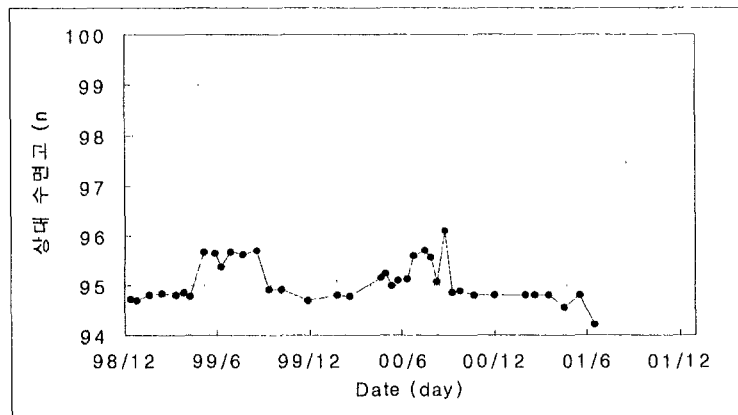
<그림 6-19> WS#5 지정교 수위변화



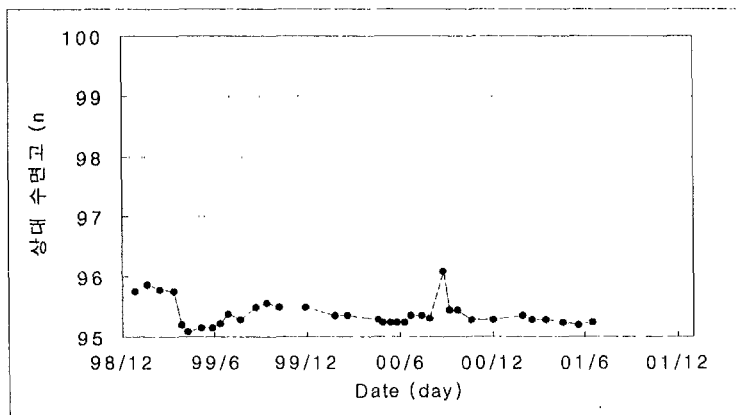
<그림 6-20> WS#5 유역 신곡교 수위변화



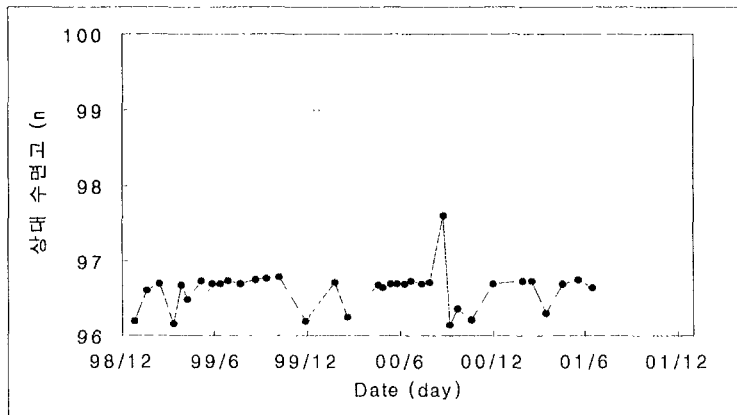
<그림 6-21> WS#5 유역 신진교 수위변화



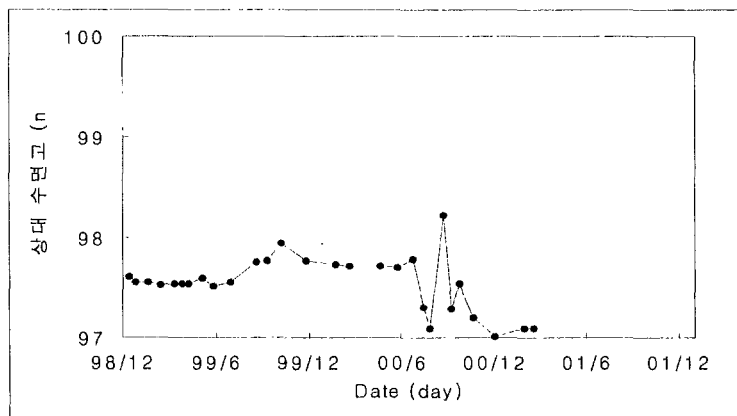
<그림 6-22> WS#5 유역 신진교 수위변화



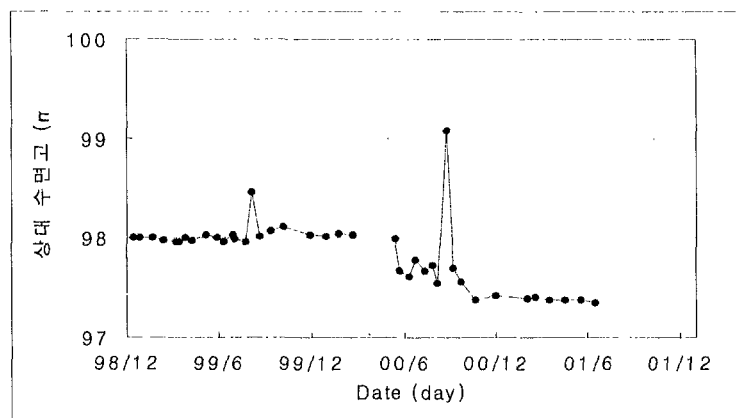
<그림 6-23> WS#5,6 유역 포항교 수위변화



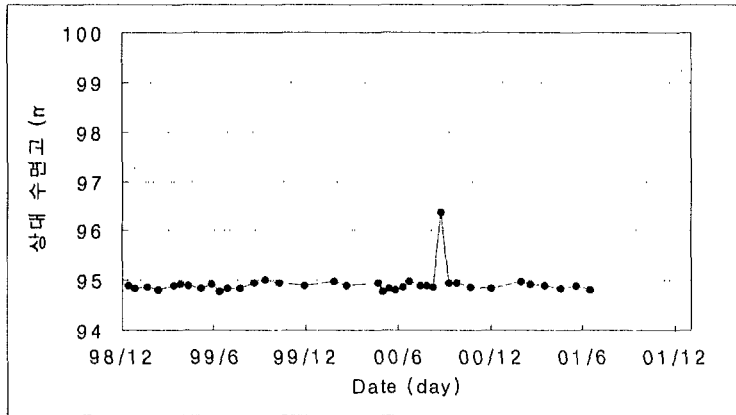
<그림 6-24> WS#6 제1소압교 수위변화



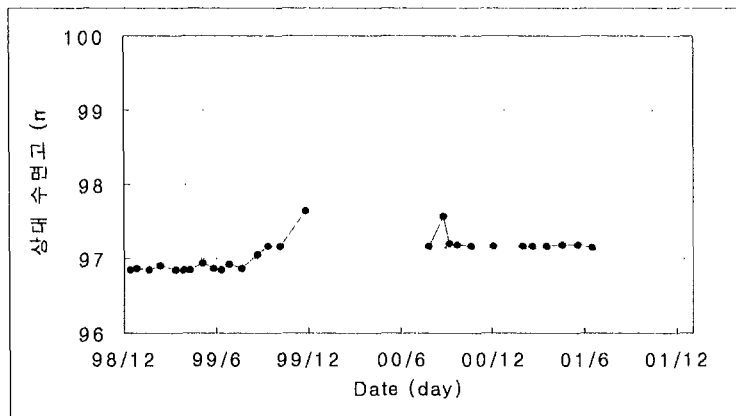
<그림 6-25> WS#6 유역 가시곡교 수위변화



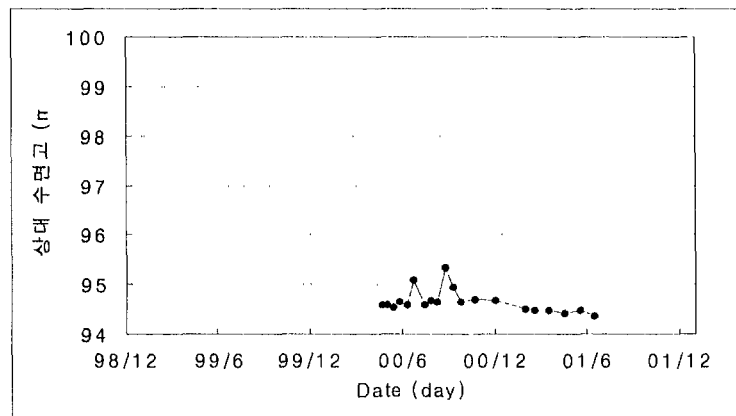
<그림 6-26> WS#6 유역 소릉교 수위변화



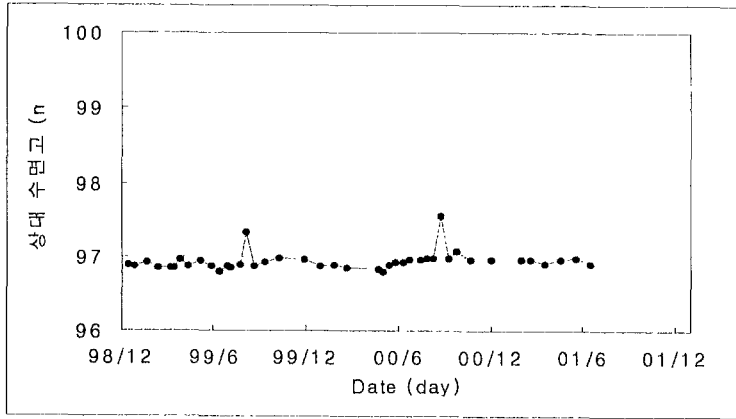
<그림 6-27> WS#6 유역 웅암교 수위변화



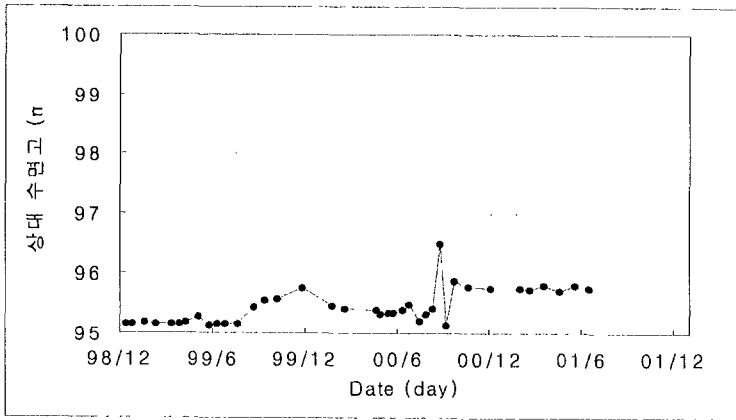
<그림 6-28> WS#6 유역 죽림교 수위변화



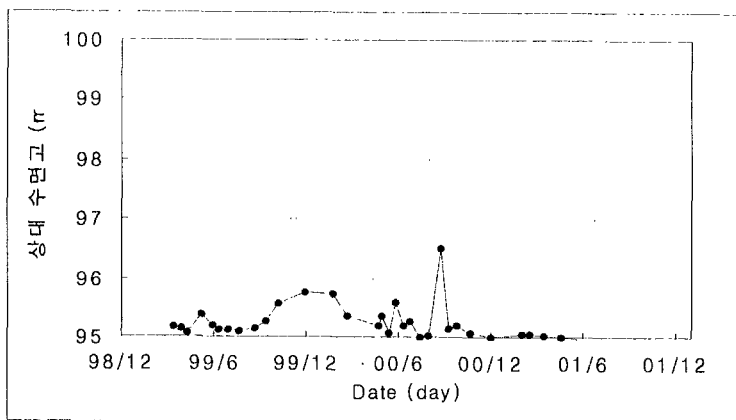
<그림 6-29> WS#7 유역 신송교 수위변화



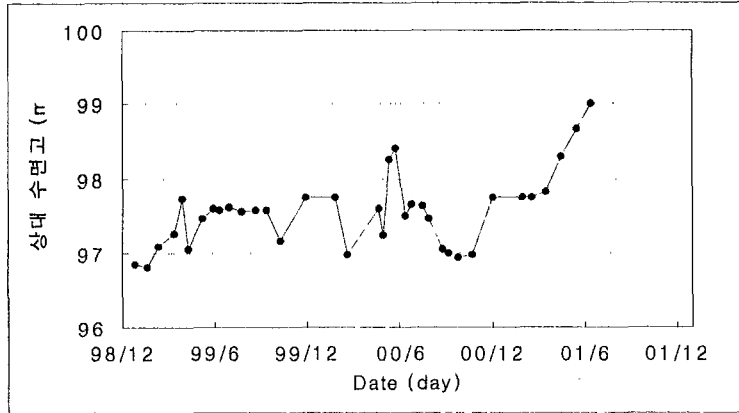
<그림 6-30> WS#8 유역 논향교 수위변화



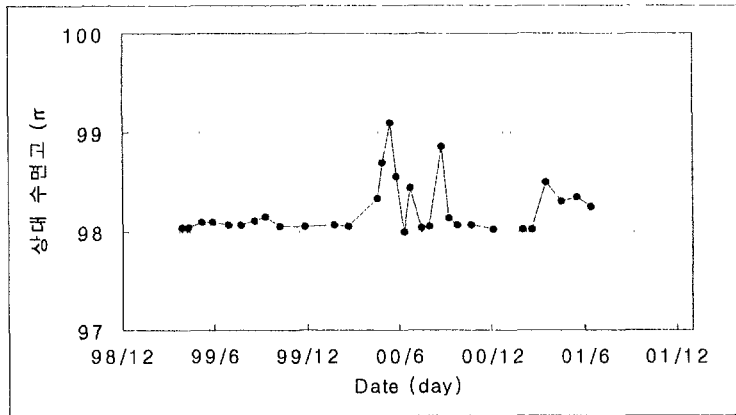
<그림 6-31> WS#8 유역 진죽교 수위변화



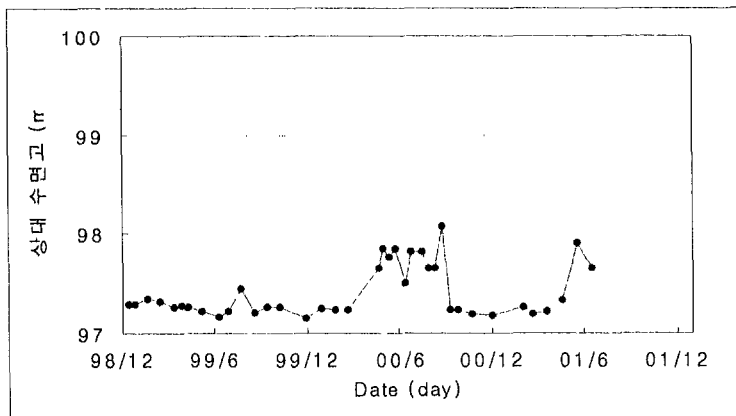
<그림 6-32> WS#8 유역 송덕교 수위변화



〈그림 6-33〉 WS#8 유역 금오교 수위변화



〈그림 6-34〉 WS#8 유역 고잠교 수위변화



〈그림 6-35〉 WS#9 유역 응포교 수위변화

제2절 하천수질의 분석 및 특성

환경정책기본법 제10조는 “정부는 국민의 건강을 보호하고 쾌적한 환경을 조성하기 위하여 환경기준을 설정하여야 한다” 라고 규정하고 있다. 현재 수질환경기준은 동법시행령 제2조 및 환경처 고시 제91-35호에 의거 전국 수역을 17개 수계, 195개 수역구간으로 구분하고, 호소는 14개 수계, 40개 호소로 구분하여 환경기준이 설정되어 있다.

수질환경은 한번 조사된 결과만으로 전체를 추정할 수 있는 것은 아니며, 유역의 이용상황에 따라 급변하는 것이 일반적이기 때문에 수십년간 축적된 자료가 있을 때 만이 진정한 의미에서 수질환경보전계획을 수립할 수 있는 여건이 만들어진다. 따라서 본 연구에서는 농업종합개발사업이 시행중인 보령담수호 유역의 수계 수질환경에 대한 지속적인 데이터를 확보함으로써 담수호 유역 및 하천의 수질환경관리에 대한 기초자료로 활용하고자 하였다.

1. 수질조사 지점

수질측정을 위한 채수지점은 소유역별 3개 수위측점과 주요 하천지점, 그리고 담수호 유입부의 제수문지점 등으로 다음과 같다.

(표 6-6) 하천 수질 조사지점

| 소유역 | 하천 조사지점 | 담수호 유입부 지점 |
|------|---------------------------------|-----------------------|
| WS#1 | | 두만제방제수문 |
| WS#2 | | 화동제수문, 송현동제수문, 삼박동제수문 |
| WS#3 | 신죽교 | 신죽제수문(새터) |
| WS#4 | 장척교 | 신현들제수문 |
| WS#5 | 청광교, 지정교, 신곡교, 신진교, 상정교, 포항교 | |
| WS#6 | 소암교, 가시곡교, 소룡교, 웅암교 | |
| WS#7 | 죽림교, 신송교 | 죽림제수문, 신송제수문 |
| WS#8 | 논향교, 진죽교, 송덕교, 금오교, 고잠교 | 고잠제수문, 금오방제수문(송덕교) |
| WS#9 | 웅포교 | 웅포제수문 |
| 계 | 20 개소 | |

2. 시료채취 및 분석 방법

가. 시료채취

수질시료 채취는 각 지점당 3개소씩 수심 20 cm 되는 곳에서 폴리에틸렌용기(2ℓ)에 채수하여 Ice box에 보관하였다. 또한 수질시료중 암모니아태질소, 총질소, 화학적산소요구량을 측정하기 위하여 H₂SO₄로 pH를 2 이하로 조정한 다음 4℃ 이하에서 보관하였으며, 그 밖의 시료보관 및 분석은 환경부의 수질오염공정시험법에 기준하였다.

나. 분석방법

수질시료중 pH와 EC는 현장에서 기기(EC, pH-Meter : Mettler-Toledo Ltd)를 이용하여 직접 측정하였으며, COD는 과망간산칼륨법, 총질소와 암모니아태질소는 Kjeldahl법, 총인은 염화제일주석 환원법, Cu, Cd, Ni, Zn는 원자흡광분석법(Varian spectr AA 400), NO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, PO₄³⁻는 이온크로마토그래피(Dionex, MIC-2001)를 이용하여 분석하였다.

3. 하천수질의 물리·화학적 특성

보령담수호로 유입되는 유역내 하천 지점의 수질에 대하여 본 조사기간인 1998년 11월부터 2001년 6월까지 3개년에 걸쳐 수질을 분석한 결과는 다음과 같다.

가. 수온

수온은 수질의 변화에 영향을 미치는 중요한 항목중의 하나이다. 자연계내의 수온변화는 대기온도에 의해 영향을 받게 되며 용존산소의 농도에 영향을 주게 되고 수중미생물의 활동에 깊이 관여하게 되어 하천에서는 자정작용의 변수로, 호소에서는 수체에 작용하여 밀도차를 주게 되어 수온약층을 형성하게 된다. 수온약층은 보이지 않는 수체의 경계선을 형성하며 밀도가 다른 수체간에 혼합하지 못하도록 하므로써 수체의 상하운동을 방해하여 저층으로의 산소이동을 차단하는 역할을 하게 된다. 따라서 저층에 혐기성상태를 만들며 봄과 가을에는 수온변화에 따른 전도현상이 일어나 수질악화의 원인이 되기도 한다.

수질시료 채취시 측정된 물의 온도는 다음과 같다. 1998년 및 1999년의 경우 동절기인 11월부터 2월까지 하천수의 평균 수온은 10.1℃, 3월부터 5월까지의 평균 14.6℃, 6월부터

8월까지의 25.2℃ 를 나타내었다.

한편, 1998년 11월부터 2001년 6월까지의 분석결과를 보면, 2000년 동절기인 1월~3월 동안이 1999년 같은 기간의 수온보다 낮았으며, 반면 5월~9월까지의 하절기에는 높은 것으로 나타났다. 전체 조사기간의 하천수의 수온은 1.0~34.8℃ 의 범위였고, 평균은 18.3℃ 를 나타내었으며, 유역별로 큰 차이를 나타내지 않았다 <그림 6-36>.

나. 수소이온농도(pH)

수중 pH는 오염에 의한 수질변화를 예측할 수 있는 방법의 하나이며 조류에 의해서 발생하는 탄산가스의 양에 의해서 pH값이 변화되어 조류발생을 예측할 수 있으며, 다량의 폐수 유입으로 인해 그 폐수 성상에 따라 pH가 변화하는 경우 또는 상류의 지질특성에 의해 변화하는 경우 등이 있다.

보령담수호로 유입되는 하천수의 수소이온농도는 6.04~9.73의 범위로 평균 7.52로 나타났다. 보령담수호와 인접한 일부 지점에서 염수쇄기현상에 의해 9.0 이상으로 약간 높게 나타났다으나 전반적으로 시기별 및 유역별로 큰 차이를 나타내지 않았으며, 부분적으로 축산폐수가 유입되는 일부 지점에서 높게 나타나는 경우도 있었다 <그림 6-37>.

다. 전기전도도(EC)

삼투압으로 인하여 작물의 수분흡수에 영향을 미칠 수 있는 전기전도도의 변화를 조사한 결과 70~5530 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위로 평균 463 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 를 나타내었다. 보령담수호로부터 거리가 멀고, 주변에 임야와 농경지가 주로 구성되어 있는 유역에서는 일반적으로 200~400 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위를 나타내었으나, 일부 생활하수의 유입의 영향과 함께 WS#1, WS#2 및 WS#4 유역의 담수호와 가까이 위치하는 지점에서 높게 나타났다. 시기별로는 4월~6월에 높게 나타났는데 이는 수도작 지대에 공급된 모내기 및 못자리용 용수의 공급을 위한 물관리 과정중 인위적인 배수와 농경지에 시비된 화학비료의 영향을 받았기 때문인 것으로 생각된다 <그림 6-38>.

그러나 담수호와 인접해 있어 간헐적으로 염수쇄기 현상의 영향을 받거나 소규모 축사가 산재하여 처리되지 않은 축산폐수가 유입되는 지점에서는 3000~5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ 의 범위를 나타내는 지점도 있었다. 본 조사지역의 경우 담수호로부터 하천의 유하거리가 짧은 관계로 EC가 대체로 높게 나타나고 있으며 일부 작물 재배시에는 삼투압으로 인한 작물의 수분흡수에

영향을 미칠 수 있는 수준으로 조사되었다.

라. 화학적산소요구량(COD)

수중의 피산화성물질을 일정한 산화조건에서 반응시켜 그에 요구되는 산화제의 양을 산소량으로 계산한 COD가 큰 관계수는 토양환원을 촉진하고 환원에 의한 수도 생육저해의 원인이 된다.

수중의 피산화성물질을 일정한 산화조건에서 반응시켜 그에 요구되는 산화제의 양을 산소량으로 계산한 화학적산소요구량을 조사한 결과 0.23~21.97 mg/L 의 범위로 평균 3.58 mg/L 를 나타내었다. 유역별로는 생활하수와 특히 축산폐수가 다량 유입되는 유역에서는 8~12 mg/L 의 범위를 나타내어 오염이 심화되고 있음을 확인할 수 있었다. 특히, WS#1, WS#2 및 WS#4 유역에서 6 mg/L 이상을 나타낸 반면 그 밖의 유역에서는 전반적으로 4 mg/L 이하를 나타내었다. 화학적산소요구량이 높은 WS#1, WS#2 및 WS#4 유역은 일부 축산폐수 및 생활하수가 유입되어 영향을 미친 것으로 판단되며, 시기별로는 3월부터 약간씩 증가하여 강우-유출에 의한 농경지 유출토사가 하천으로 다량 유입되는 시기인 5월부터 9월까지의 높게 나타났다가 11월 이후 낮아지는 경향을 나타내고 있는데 이는 강우-유출 과정에서 농경지에서 유출된 유기물과 유출토사의 영향을 받았기 때문인 것으로 생각된다 <그림 6-39>. 본 조사 유역에서 COD가 높게 나타난 것은 소규모 축산단지에서 배출되는 축산폐수가 제대로 정화되지 않은 상태로 하천에 직접 유입되어 큰 영향을 받고 있는 것으로 추정된다.

마. 질소원

물 중 질소농도의 증가에 의한 생태학적인 영향으로 부영양화현상이 일어나는 것인데 이 현상은 질소를 비롯한 영양물질이 지나치게 풍부한 상태에서 수생식물의 급속한 성장을 촉진시키게 된다. 관개용수중 질소는 그 형태에 따라서 수도생육에 미치는 영향이 다르지만 어느 것이든 과잉으로 공급되면 질소과잉장애가 나타난다. 특히 과잉의 유기태질소는 토양에 축적되어 토양질소 증가의 원인이 되며 이상토양환원과 질소과잉의 피해를 수도에 나타내게 된다.

우리 나라 호소 수질환경 기준에서는 1등급이 0.2mg/L, 2, 3등급이 각각 0.4mg/L, 0.6mg/L 이하로 정하고 있는데, 본 조사지역에서는 모두 이 기준치를 초과하는 것으로 조사되었다. 본 조사유역은 축산단지가 곳곳에 산재해 있으며, 이들 축산폐수가 제대로 정화되지

않은 상태로 방류되고 있어 하천수질에 영향을 끼칠 것으로 생각된다. 조사결과 본 조사지점에서 총질소(T-N)의 함량은 0.17~34.96 mg/L의 범위로 평균 3.79 mg/L을 나타내고 있었다. 시기별로는 5월~7월에 총질소의 함량이 다른 시기에 비해 조금 높게 나타났는데 이는 농경지에 시비된 화학비료가 잦은 강우-유출과정을 통하여 하천수질에 일부 영향을 미쳤기 때문인 것으로 생각된다. 유역내 농경지 면적이 비교적 적은 WS#4, WS#2, WS#3 유역의 순서로 총질소의 함량이 가장 높게 나타난 것은 채수지점 인근에 축사가 위치한 때문으로 보여지며, 본 조사지점에서 하천수중 질소원의 함량은 영농활동에 의한 영향보다는 축산폐수 및 생활하수에 의해 더 크게 영향을 받고 있는 것으로 생각된다.

유역별로는 축산폐수와 생활하수의 유입이 많은 WS#3, WS#4 유역에서는 아주 높게 나타나 오염물질 부하에 크게 기여하는 것으로 조사되었고, 생활근거지가 없고 산지로만 구성되어 있는 WS#8 유역을 제외한 그 밖의 유역에서도 부분적으로 생활하수가 유입되고 하천의 유하거리가 짧은 관계로 평균 3.5~5.0 mg/L 의 범위를 나타내었다. 총질소의 함량은 비영농기간에 비해 시비효과와 농경지로부터 강우-유출로 인한 유출수로 인하여 영농기간에 높아지는 경향이였다 <그림 6-40>.

또한 질소원을 질산태질소($\text{NO}_3\text{-N}$)와 암모니아태질소($\text{NH}_4\text{-N}$)의 형태로 분류하여 조사한 결과 질산태질소는 0.04~17.09 mg/L 의 범위로 평균 2.28 mg/L 를 나타내었으며, 암모니아태질소는 0.02~24.41 mg/L 의 범위로 평균 1.16 mg/L 를 나타내었다. 수도작 영농활동이 없는 11월부터 3월 사이에는 하천수가 농경지에 시비되어 유출되는 화학비료의 영향을 비교적 적게 받는 관계로 암모니아태질소의 형태보다 질산태질소의 형태가 더 많이 검출되는 것으로 알려지고 있는데, 본 조사결과도 이와 유사하게 나타났다. 또한 암모니아태질소의 함량은 비영농기간에 비하여 영농기간에 높게 나타났는데 이는 농경지에 시비된 요소, 유안과 같은 암모니아형태의 화학비료가 하천에 유입되어 그 함량이 높게 나타난 것으로 추정된다. 질산태질소의 함량도 총질소와 암모니아태질소와 유사한 경향으로 유역별로 WS#3, WS#4에서 높게 나타났으며, 비영농기간과 영농기간에 큰 차이가 나타나지 않았다.

바. 인산원

수질악화의 원인이 되는 부영양화를 일으키고 식물성 플랑크톤의 과다발생을 일으켜 이취미와 수색변동을 일으키는 영양염류중 대표적인 것중의 하나이다.

총인(T-P)의 함량변화를 조사한 결과 불검출~0.210 mg/L 의 범위로 평균 0.032 mg/L

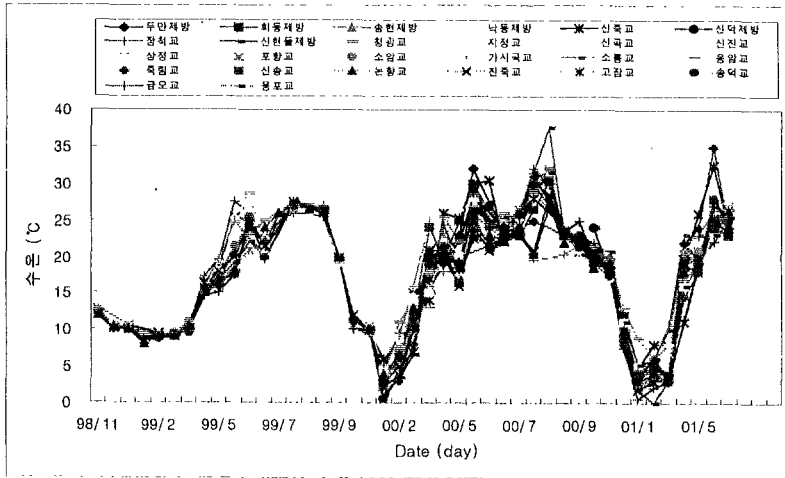
를 나타내었다. 본 조사에서는 가정하수와 축산폐수의 유입이 이루어지고 있는 일부 유역에서 간헐적으로 높게 나타나고 있었으나 거의 대부분의 유역에서 0.05mg/L 이하를 유지하고 있었다. 시기별로는 2월과 3월에 WS#2, WS#3 및 WS#4 등 일부 유역에서 높게 나타났는데 이는 조사기간 동안에 커다란 기상 및 영농활동의 변화가 없었음을 감안할 때 일시적인 축산폐수의 유입으로 인한 영향때문인 것으로 생각된다. 또한, 비영농기간에 비하여 영농기간에 그 함량이 높은 경향을 나타내었다. 가용성인산의 함량을 조사한 결과 대부분의 조사지점에서 검출되지 않았으나, 일부 생활하수가 유입되는 지점에서는 높게 나타났다. 하천수에서 검출되는 가용성인산의 경우 거의 대부분이 합성세제 성분이 포함된 생활하수에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있는데 본 조사에서도 이와 비슷한 경향을 나타내었다 <그림 6-41>.

사. 음이온

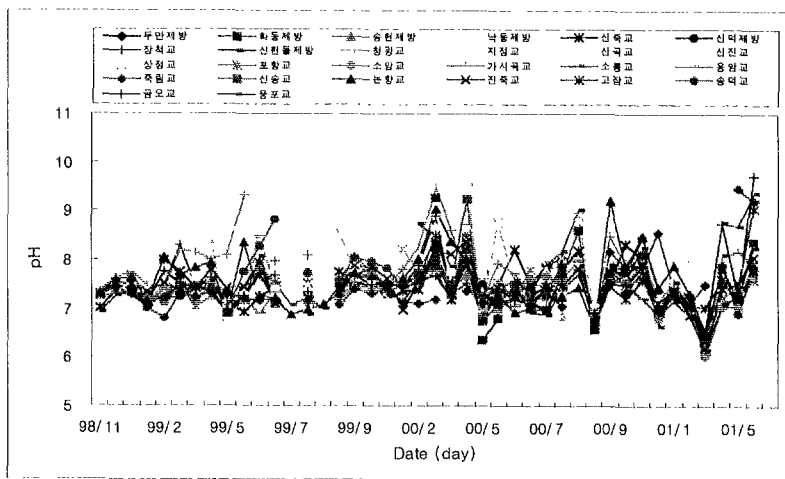
식물체의 광합성 저해 및 환원상태에서 아연과 반응하여 난용성 ZnS를 만들어 아연결핍을 초래하는 음이온중 염소이온의 농도는 1.63~282.12 mg/L 의 범위로 평균 37.95 mg/L 를, 황산이온의 농도는 0.7~346.3 mg/L 의 범위로 평균 29.87 mg/L 를 나타내었다. 이 같은 결과를 분석해 보면 담수호 인접 지역인 WS#1, WS#2 유역에서 부분적으로 아주 높게 나타났는데 이것은 염수침입에 의한 농도상승으로 생각된다.

아. 중금속 오염물질

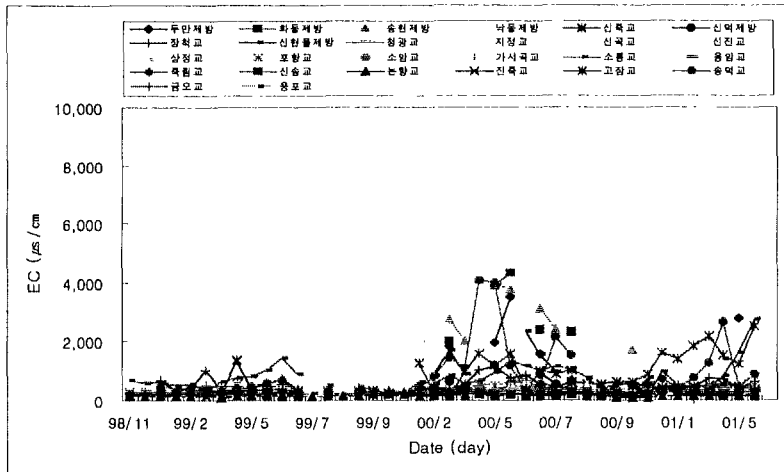
본 조사지역의 하천수에서 조사대상 중금속 가운데 검출된 중금속의 함량은 Zn이 불검출~0.134 mg/L 의 범위로 평균 0.016 mg/L, Cu는 불검출~0.055 mg/L 의 범위로 평균 0.003 mg/L 로서 극미량을 나타내었으나 거의 대부분의 조사지점에서 검출되지 않았으며, Cd은 모든 조사지점에서 검출되지 않았다. 일본의 수도재배용 농업용수 제한기준인 아연 0.5 ppm, 구리 0.02 ppm, 카드뮴 0.01 ppm 에 비하면 본 유역 하천수에서 검출된 중금속함량은 아직 문제가 되는 수준은 아니었다.



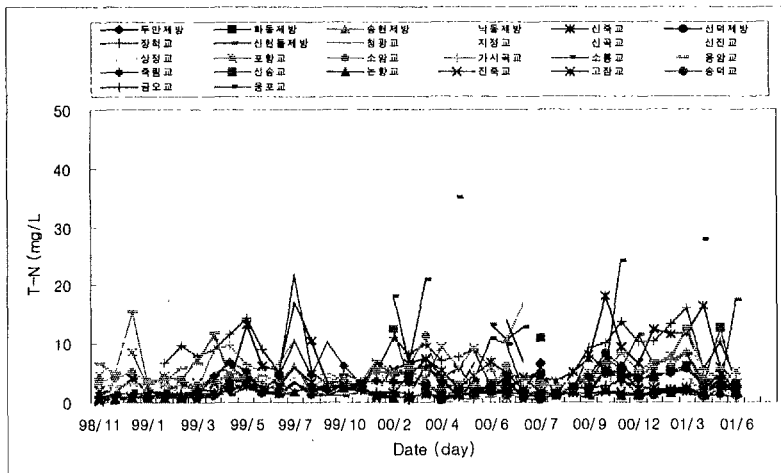
<그림 6-36> 보령담수호 유역내 하천의 지점별 수온 변화 (1998.11~2001.6)



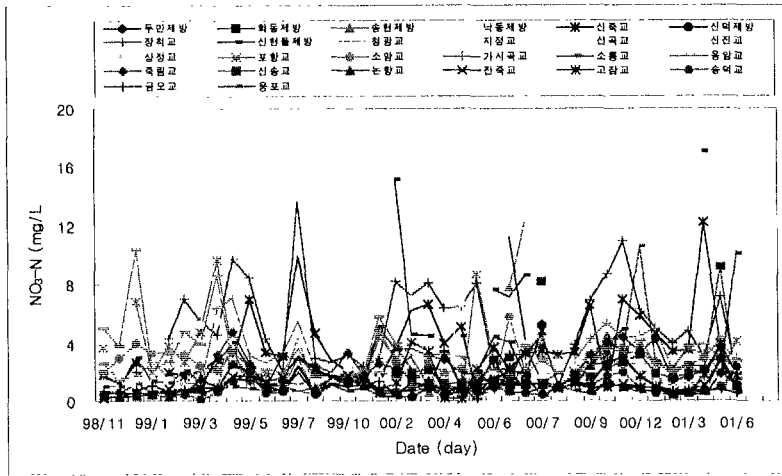
<그림 6-37> 보령담수호 유역내 하천의 지점별 pH 변화 (1998.11~2001.6)



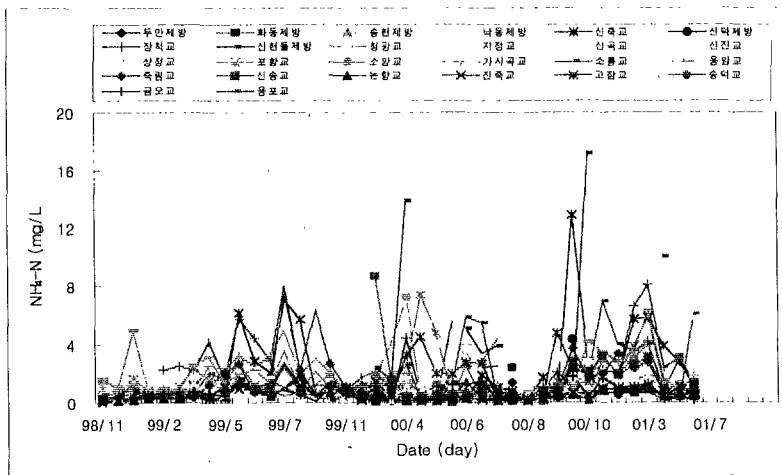
<그림 6-38> 보령담수호 유역내 하천의 지점별 EC 변화 (1998.11~2001.6)



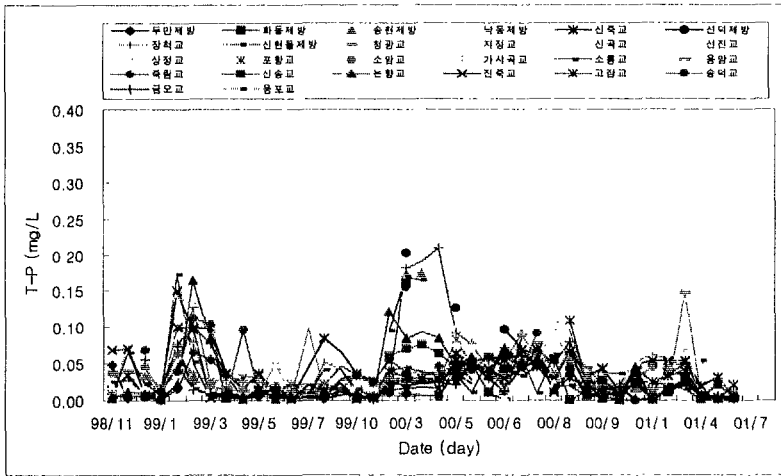
<그림 6-39> 보령담수호 유역내 하천의 지점별 T-N 변화 (1998.11~2001.6)



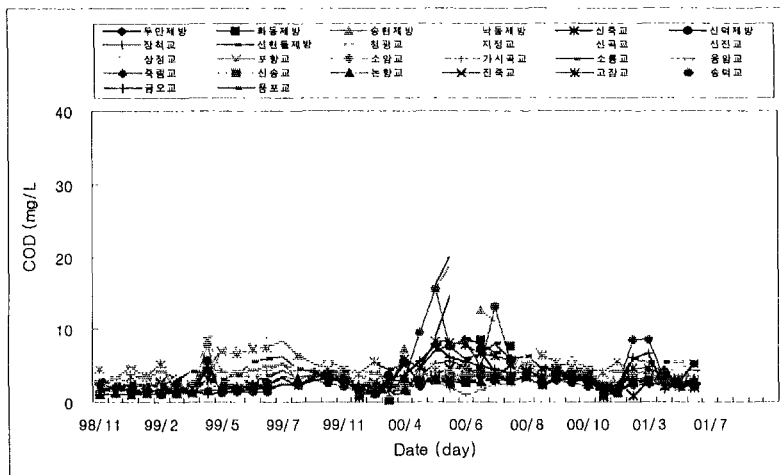
<그림 6-40> 보령담수호 유역내 하천의 지점별 Nitrate-N의 변화 (1998.11~2001.6)



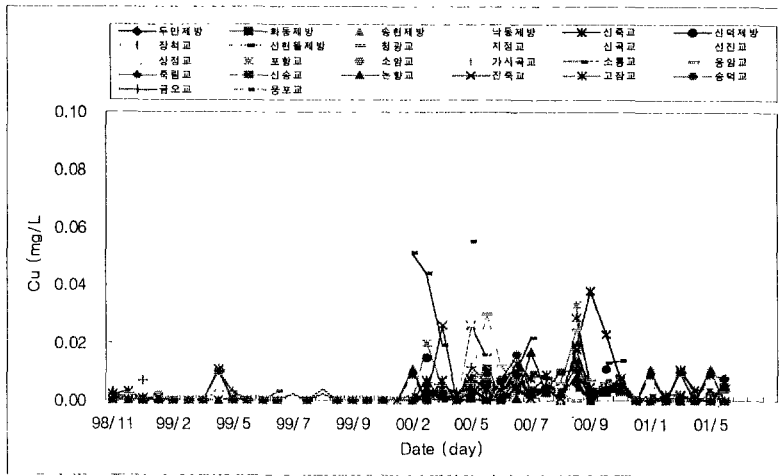
<그림 6-41> 보령담수호 유역내 하천의 지점별 Ammonia-N 변화 (1998.11~2001.6)



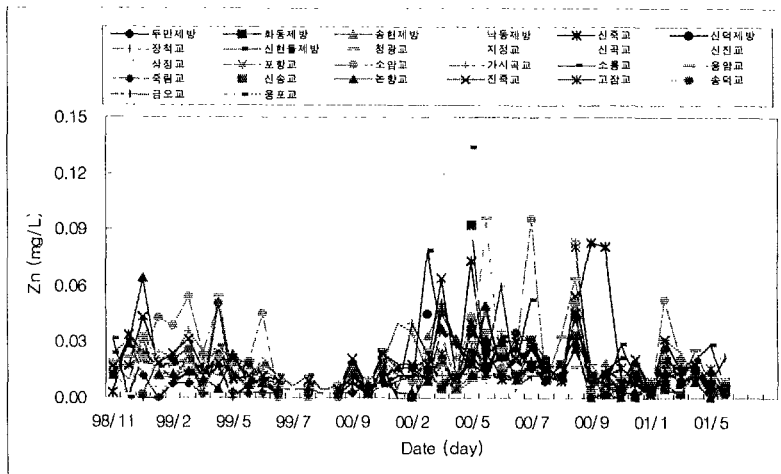
<그림 6-42> 보령담수호 유역내 하천의 지점별 T-P 변화 (1998.11 ~ 2001.6)



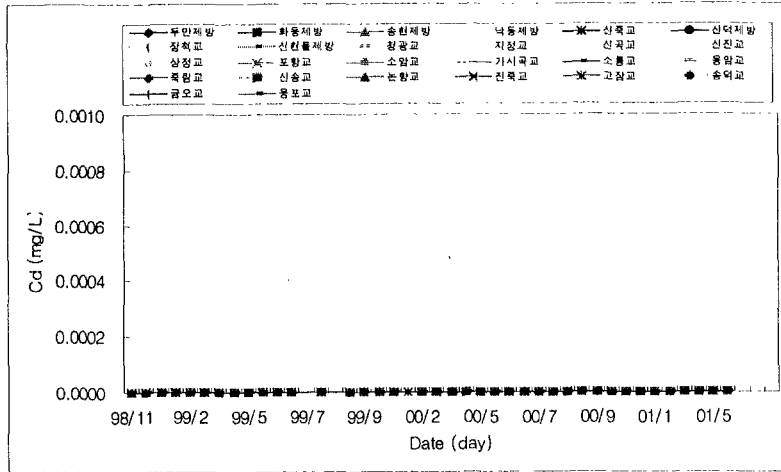
<그림 6-43> 보령담수호 유역내 하천의 지점별 COD 변화 (1998.11 ~ 2001.6)



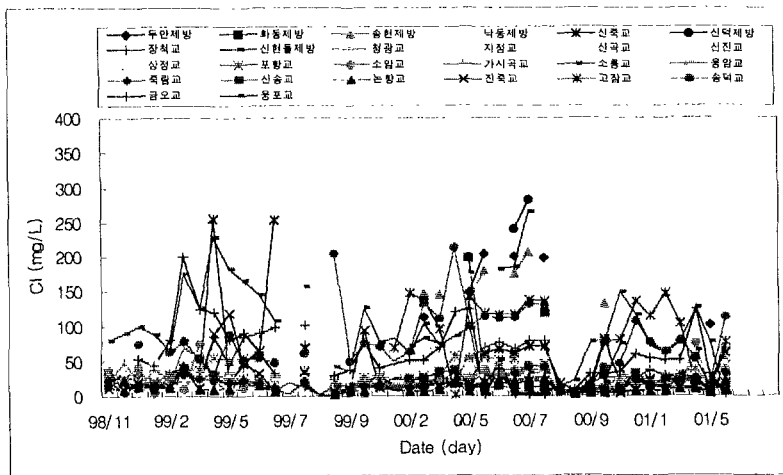
<그림 6-44> 보령담수호 유역내 하천의 지점별 Cu 변화 (1998.11 ~ 2001.6)



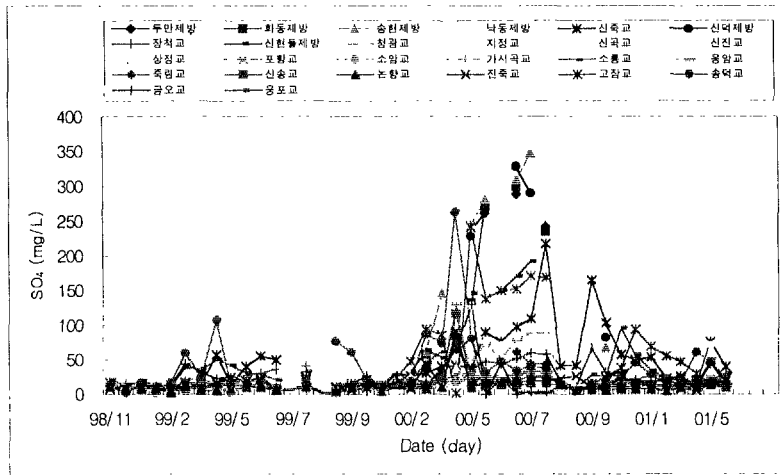
<그림 6-45> 보령담수호 유역내 하천의 지점별 Zn 변화 (1998.11 ~ 2001.6)



<그림 6-46> 보령담수호 유역내 하천의 지점별 Cd 변화 (1998.11~2001.6)



<그림 6-47> 보령담수호 유역내 하천의 지점별 chloride 변화 (1998.11~2001.6)

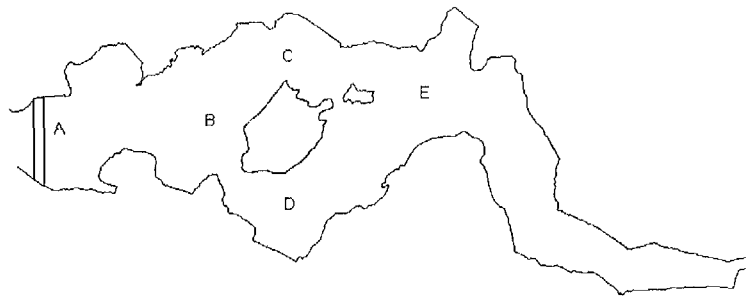


<그림 6-48> 보령담수호 유역내 하천의 지점별 sulfate 변화 (1998.11~2001.6)

제3절 담수호내 수질측정

1. 담수호내 수질관측지점

수질관측지점은 보령호내용적과 각 지류의 유입을 고려하여 A, B, C, D, E의 5개 관측 지점을 선정하였으며, 지점의 5지점에서 수심별로 상·중·하를 구분하여 채수기를 사용, 샘플링 및 수질분석을 실시하였다.



<그림 6-49> 보령호 샘플 채취 지점

2. 담수호내 수질측정항목 및 시기

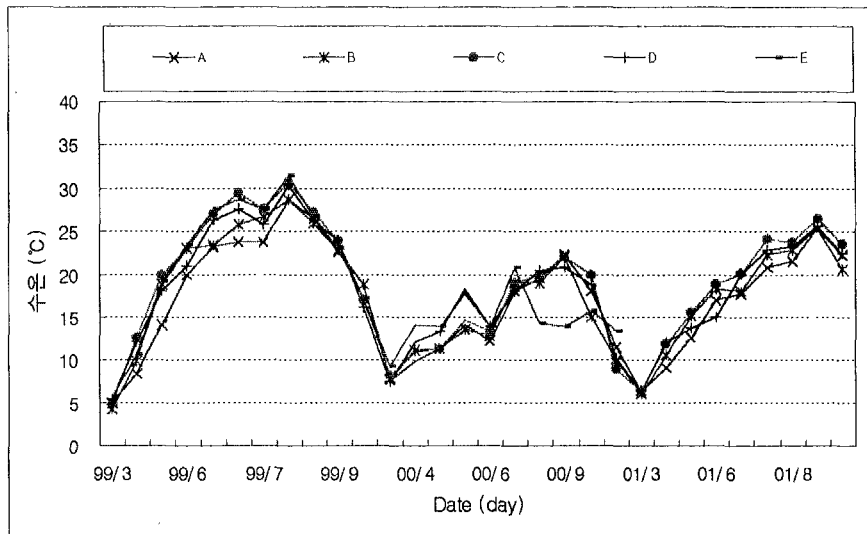
수질시험항목은 수온, pH, DO, BOD5, COD, SS, React-P, TP, TN, Chl-a 등 총 14개 항목으로 채택하였음. 대부분의 수질분석 방법은 standard method를 이용하였으며, COD의 경우 현재 수질기준이 망간법이었기 때문에 크롬법보다 산화력이 약한 망간법으로 실시하였고, 채취시기는 월 1~2회의 정규적인 샘플링 작업을 실시하였으며, GPS를 이용하여 지점별 위치적 오차를 최대한 줄였다.

3. 담수호의 수질분석 결과

가. 수온

수온은 수질환경에 있어 중요한 인자중의 하나로서 DO의 온도에 따른 변화, 유기물질 분

해속도, 조류의 번식, 층리현상과 같은 호소내 수질변화에 많은 영향을 미친다. 보령담수호 내 수온 분포는 <그림 6-50>과 같다.



| 조사년도 | 1999년 | 2000년 | 2001년 |
|------|-------|-------|-------|
| 평균치 | 21 °C | 15 °C | 18 °C |

<그림 6-50> 보령 담수호내의 지점별 온도변화

나. pH

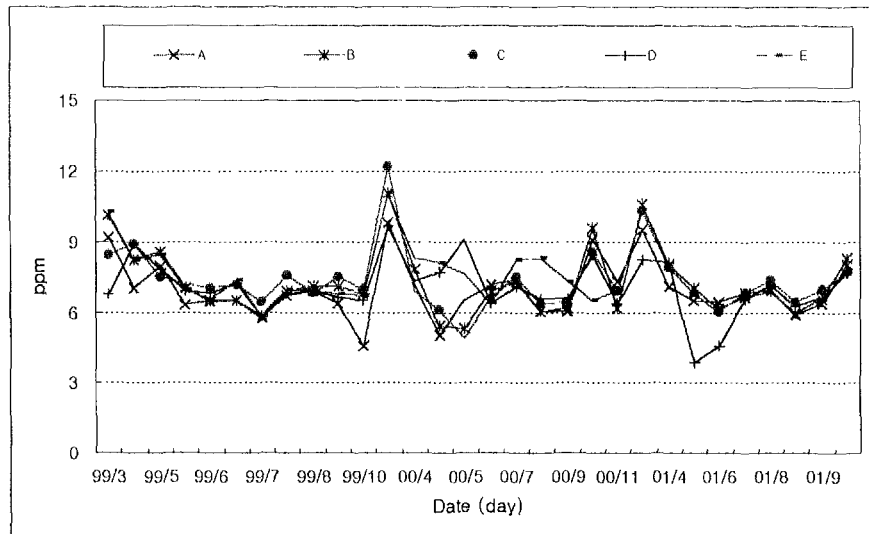
pH는 수질환경에 있어 화학적·생물학적 영향을 미친다. 높거나 낮은 pH값은 동식물상의 생장을 제한하고 수질을 악화시킬 수 있다. 예를 들어 호소가 높은 pH값을 띄게 되면, A1과 결합된 인이 용출되어 부영양화를 가속화시킨다.

다. DO

DO는 수질환경에서 중요한 인자로서 유기물이나 기타 물 속의 산소를 소비하는 물질에 의한 오염을 나타내는 좋은 지표가 된다. 자연상태에서 DO는 미생물이 유기물을 분해함으로써 소모되며 대기중의 산소유입이나 식물의 광합성 작용에 의해 증가하는데 전자의 경우를 탈산소라 하며 후자의 경우는 재폭기라 한다. DO의 재폭기는 온도의 영향을 받게 되는데 온도가 낮을수록 DO의 재폭기가 높아지므로 일반적으로 하천의 경우 겨울철 DO의 농도가 여름철의

DO농도 보다 높은 편이다. DO값이 낮게 되면 물고기의 호흡에 지장을 줄뿐 아니라 혐기성 상태가 되면 악취가 발생하며, 호소의 경우 침전층이 무산소층이 되면 Al과 Fe와 결합된 인이 용출되어 부영양화를 촉진시킨다.

DO의 평균값은 7.25mg/L로 농업용 호소수질기준(2mg/L)을 상회하는 안정적인 값을 나타내고 있다. DO의 값이 떨어지는 여름철에도 5mg/L정도의 값을 보이고 있어 DO로 인한 나쁜 영향은 없는 것으로 나타났다.

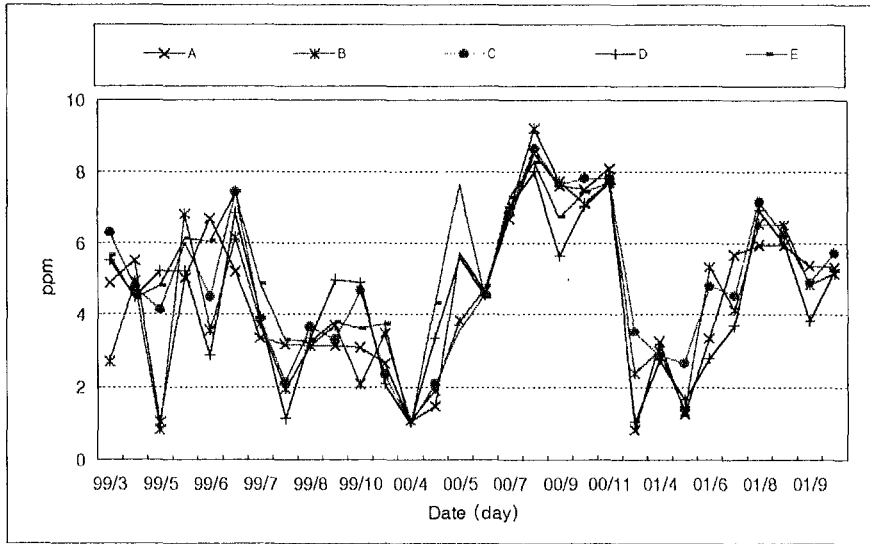


| 조사년도 | 1999년 | 2000년 | 2001년 |
|------|-------|-------|-------|
| 평균치 | 7.21 | 7.43 | 7.12 |

<그림 6-51> 보령 담수호내의 지점별 DO변화

라. COD

COD는 유기물함량을 표현하는 항목으로서 생분해가 가능한 유기물과 난분해성 유기물을 모두 포함한다. COD는 농업용수에 해당하는 호소의 수질기준에서는 8mg/L이하로 규정하고 있다. 호소에서의 유기물은 단순히 유입된 유기물뿐 아니라 호소내의 영양물질에 의해 생성된 식물성 플랑크톤 (내부생산 COD)에 의해 호소에서의 COD가 결정된다.



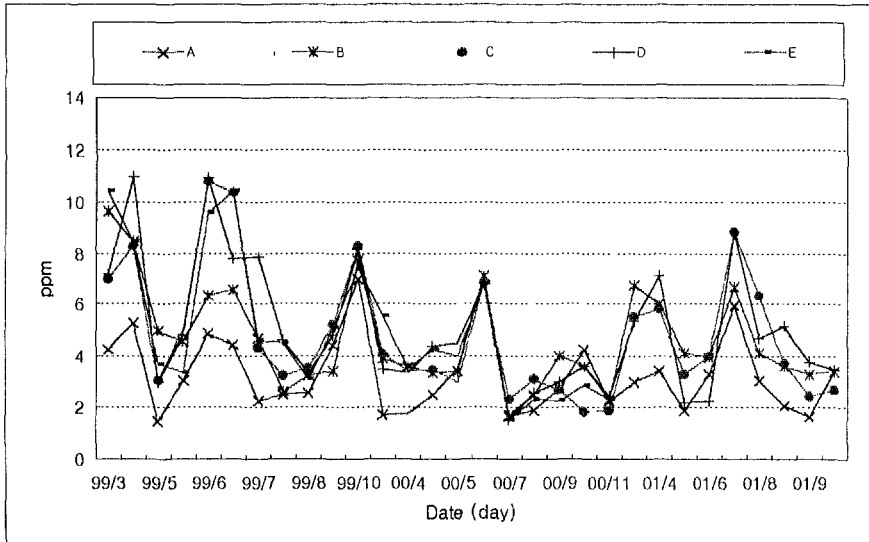
| 조사년도 | 1999년 | 2000년 | 2001년 |
|------|-------|-------|-------|
| 평균치 | 4.30 | 5.41 | 4.24 |

<그림 6-52> 보령 담수호내의 지점별 COD변화

여름철에는 몇몇 호소수질기준을 초과하는 때도 있었으나 COD의 평균값은 4.65mg/L로 대부분 호소수질기준에 적합한 값을 보이고 있다.

마. BOD5

BOD5는 수질을 나타내는 항목 중에서 가장 흔히 사용되는 항목으로서, 물 속의 시료의 유기물함량을 표현하는 지표이다. BOD5는 유기물이 수중에서 분해될 때 소모되는 용존산소량을 측정하는데, COD와 달리 생분해가 가능한 유기물함량만을 나타내는데, 수중에서 미생물의 작용에 의하여 분해되는 유기물함량이 실질적으로 수중 DO에 직접적으로 영향을 미치기 때문에 매우 중요하게 취급하는 항목이다. BOD값 또한 농업용하천수질기준(호소수질기준 없음)을 대부분 만족하고 있다.

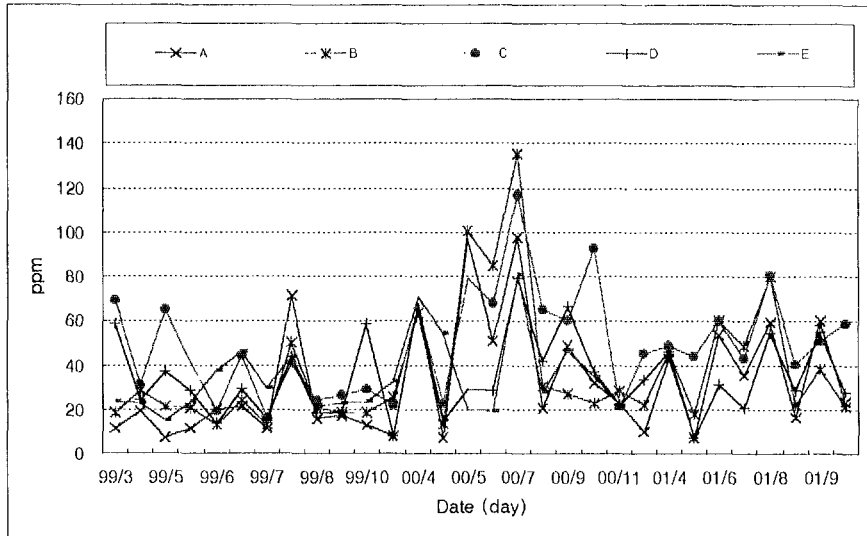


| 조사년도 | 1999년 | 2000년 | 2001년 |
|------|-------|-------|-------|
| 평균치 | 5.77 | 3.37 | 4.32 |

<그림 6-53> 보령 담수호내의 지점별 BOD변화

바. SS(Suspended Solid)

SS는 수중에 함유된 부유물질함량을 나타내는 항목이다. SS가 많으면 탁도 증가로 인해 광투과도가 감소되어 수중 식물의 광합성에 영향을 미친다. 또한 부유물질등에 부착된 영양물질들이 호소바닥에 침전되어 호소의 내용적을 감소시킬 뿐 만 아니라 계속적으로 영양물질의 용출이 일어나 호소의 수질이 악화된다. 특히, 유기성 침전물의 경우 SOD (sediment oxygen demand)를 증가시켜 침전층을 무산소층으로 만들어 인의 용출을 증가시킨다. 또한, 토사 등에 부착된 중금속성분들은 수중생태계에 악영향을 미친다. <그림 6-54>를 보면 농업용호소수질기준인 15mg/L를 거의 모두 초과하고 있는 것으로 나타났다.



| 조사년도 | 1999년 | 2000년 | 2001년 |
|------|-------|-------|-------|
| 평균치 | 28 | 48 | 40 |

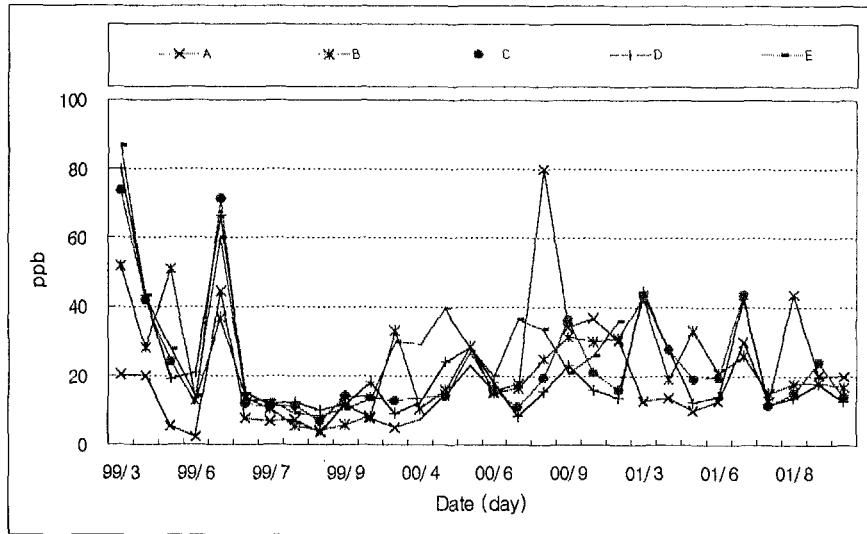
<그림 6-54> 보령 담수호내의 지점별 SS변화

사. Chl-a

모든 식물들은 Chl-a를 가지고 있으므로 Chl-a 수종의 식물성 플랑크톤의 생물량을 나타내는 지표로 사용된다. 비록 하천수질기준에는 포함되어 있지 않지만 호소에서의 부영양화는 조류의 과도한 성장을 의미하므로 Chl-a의 농도에 의해 부영양화도를 평가하기도 한다. Carlson의 영양상태지수(TSI)에 의하면 6.4 $\mu\text{g/L}$ 이상이 되면 부영양 상태라 하였다.

$$TSI(Chl) = 10 \left(6 - \frac{2.04 - 0.68 \ln Chl}{\ln 2} \right) = 61.03$$

TSI는 0~100 으로 표시되며, TSI 값 40이하는 빈영양상태, 40~50은 중영양상태, 50 이상은 부영양상태로 판별할 수 있다. 보령담수호의 Chl-a의 평균값은 23.34 $\mu\text{g/L}$ 로 61.03의 TSI지수를 나타내고 있어 담수호가 부영양상태임을 나타내고 있다.



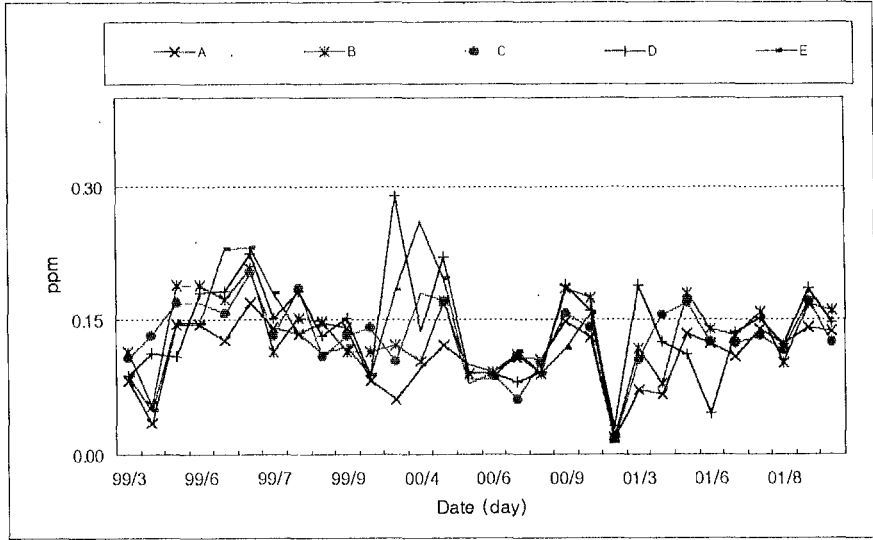
| 조사년도 | 1999년 | 2000년 | 2001년 |
|------|-------|-------|-------|
| 평균치 | 23 | 23 | 22 |

<그림 6-55> 보령 담수호내의 지점별 Chl-a변화

아. TP(Total Phosphorus)

인은 하천수질기준에는 명시되어 있지 않지만 호소의 부영양화에서 매우 중요한 요소이다. 식물성 플랑크톤이 필요로 하는 영양분은 질소와 인이며 조류의 성장에 필요한 질소와 인의 비율은 7:2이다. 따라서 생물생장은 가장 결핍되는 성분에 의해 지배된다는 Leibig의 최소량의 법칙(Leibig's law of minimum)에 의해 성장제한인자가 결정되며 일반적으로 질소의 경우 대기로부터 유입이 용이하기 때문에 인이 성장제한인자가 되기 쉽다. 따라서 호소의 인(외부에서 유입되는 인과 내부에서 생산되는 인)을 통제할 수 있다면 부영양화를 억제할 수 있다.

TP의 경우 총평균농도는 0.198mg/L로 수질기준인 0.1mg/L 보다 거의 2배이상으로 높은 농도를 나타내고 있다. 이 상태의 수질이 계속적으로 호소내로 유입되어 큰 부영양화를 나타내는 것으로 판단된다.

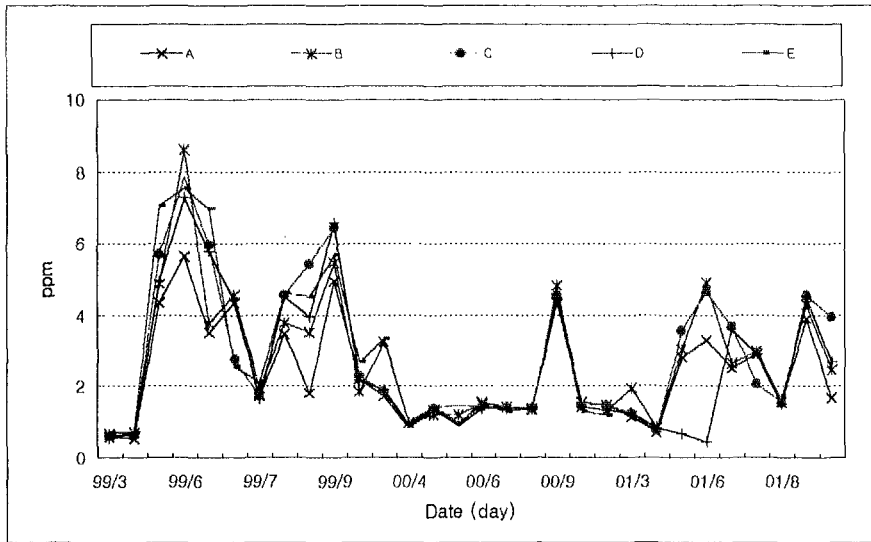


| 조사년도 | 1999년 | 2000년 | 2001년 |
|------|-------|-------|-------|
| 평균치 | 0.19 | 0.18 | 0.19 |

<그림 6-56> 보령 담수호내의 지점별 TP변화

자. TN(Nitrogen)

질소는 위에서도 잠깐 언급하였지만 하천수질기준에는 포함되어 있지 않지만 호소의 부영양화에 영향을 주는 중요한 인자이다. 수질환경에서의 질소의 거동은 $\text{Org-N} \rightarrow \text{NH}_3\text{-N} \rightarrow \text{NO}_2\text{-N} \rightarrow \text{NO}_3\text{-N}$ 로 변하는 질산화 과정을 거쳐 다시 $\text{NO}_3\text{-N} \rightarrow \text{NO}_2\text{-N} \rightarrow \text{NH}_3\text{-N} \rightarrow \text{N}_2$ (가스)의 탈질화를 거쳐 가스형태로 대기중으로 발산한다. 특히 축산분뇨가 부적절하게 처리되면 높은 NH_3 농도를 나타내며 다량의 질소비료를 사용하는 농촌지역의 경우 벼의 생장기와 함께 높은 NO_3 값을 나타낼 것으로 예상된다. TN의 값은 1999년에는 농업용호소수질기준(1mg/L)을 거의 4배정도 초과하는 높은 값을 보이다가 배수문 조작 등으로 인해 많이 감소하였다. 그러나 아직도 수질기준을 웃도는 값을 보이고 있어 TP와 더불어 부영양화의 요인이 되는 것으로 판단된다.



| 조사년도 | 1999년 | 2000년 | 2001년 |
|------|-------|-------|-------|
| 평균치 | 3.72 | 1.72 | 2.48 |

〈그림 6-56〉 보령 담수호내의 지점별 TN변화

제4절 요약 및 결론

1. 축산폐수 밀집지역

보령담수호의 수질은 인구 및 축산농가가 밀집되어 있는 WS#5와 WS#6 유역의 신진리와 광천읍 지역에 의해 크게 좌우된다고 볼 수 있다. 따라서 WS#5 및 WS#6 유역의 하루지점에 계획된 하수종말처리장이 하루 빨리 설치되어야 할 것이다. 한편, 홍성군 천북면 WS#1, WS#2, WS#3 지역은 산재되어 있는 축산농가에 의해 다량의 축산폐수가 발생되므로 각 축산농가의 개별적인 축산폐수 방지시설에 대한 투자보다 마을 단위의 단지화 유도도 기존 축사시설의 낙후에 의한 축산폐수의 무계획적인 방류를 미연에 방지해야 할 것이다.

천북면유역은 오염배출원이 산재한 형태여서 어떠한 하나의 하천만을 대상으로 하여 오염원을 차단하거나 정화사업을 실시하여 수질개선효과를 기대하기 어렵다. 따라서 천북면 유역의 하천으로 유입되는 오염부하량을 저감시키는 등 수질개선이 이루어질 때 담수호의 수질이

유지될 수 있을 것이다. 천북면 유역의 하만, 낙동, 신덕, 신죽리 지역은 산재되어 있는 축산농가로 인해 담수호의 오염이 심각하다. 따라서, 마을단위의 축산단지 조성을 유도하여 무계획적인 방류를 미연에 방지해야 할 것으로 사료된다.

담수호 오염의 주원인은 천북면에서 발생하는 축산폐수이고, 이를 전량 처리한다는 것은 처리에 많은 제반여건 등을 고려할 때 어려운 실정이며, 또한 점오염원의 한정적인 처리로는 담수호의 수질을 크게 향상시킬 수도 없다. 따라서 축산폐수 공동시설의 설치도 시급하지만, 기존 축산단지의 개량 및 가축분뇨의 퇴비화로 담수호로 유입되는 총오염물질 부하량을 원천적으로 제거하여 하천의 수질을 개선시키고 부산물로서 유용한 유기질비료를 생산하는 것이 바람직할 것으로 생각된다. 또한 규제미만의 소규모 축산농가에 정화조 및 오수정화시설의 설치를 유도하고 이에 따른 조세감면 및 지방자치단체가 설비비의 일부를 부담하는 등 정책적인 지원이 요구된다. 그리고 점차 하수관거를 연차적으로 확대하여 축산폐수를 하수처리장으로 연계처리후 방류하는 시스템도 고려되어야 한다.

2. 농업유역

WS#8 유역 가운데 정전리와 진죽리 지역은 산업폐수나 생활하수를 대량으로 배출하는 오염원이 없으며 주로 농업지역이기 때문에 전 유역에 걸쳐 고르게 오염원이 배출되는 양상을 나타내며, 본격적인 영농철이 시작되면 그 오염도가 심화될 것이기 때문에 이에 따른 수질관리대책이 마련되어야 할 것으로 생각된다.

3. 담수호내 수질 분석

호소수질기준에서의 농업용수 4단계를 기준으로 했을 때 대부분 수질 기준을 만족하고 있으나 TP, TN, SS등이 호소수질기준을 초과하고 있다.

총인은 0.198mg/L으로 기준치 0.1mg/L의 약 1.5배를, 총질소는 2.122mg/L으로 기준치 1mg/L의 약 2배를 나타내므로 이로 인해 심한 부영양화가 이루어지고 있음을 알 수 있다. 또한 SS도 37.5mg/L으로 기준치인15mg/L을 초과하고 있다.

이러한 부영양화의 결과로 호수에서 일어나는 생물학적 변화는 유입되는 영양물질의 증가로 인한 조류성장의 촉진처럼 직접적인 영향을 나타내게 되고 침수식물의 경우 부유성 조류

와의 빛에 대한 경쟁으로 인해 영양물질의 증가 상태에서도 성장이 억제 될 수 있다. 이로 인해 수생 식물의 사체가 쌓이고 부패됨에 따라 수계의 산소 농도가 낮아져 어패류에 치명적인 영향을 미칠 것으로 판단된다.

아직까지 DO, BOD, COD의 값이 기준치에 합당하여서 TP, TN의 증가→부영양화→조류의 과다성장→DO증가→BOD감소→생태계파괴의 연쇄적인 피해는 없다 할 수 있다. 하지만 이 상태로 호소를 방지할 경우에는 수질도, 수생생물도 큰 피해를 줄 수 있다고 판단된다. 그러므로 이 지역의 주된 오염원을 효과적으로 처리하여 호소로 유출시킬 수 있는 방법이 모색되어야 할 것으로 본다.

제 7 장

유역 오염 분포도 작성

제7장 유역 오염 분포도 작성

제1절 유역 오염원

보령 담수호 유역의 수질 오염원은 행정구역별 및 소유역별로 오염원을 구분하고, 오염원에 대한 조사 내용으로는 인구, 가축, 그리고 토지이용 현황을 중심으로 조사하였다. 그리고 행정구역별 및 소유역별 오염부하량을 산정하기 위하여 점오염원으로는 인구에 의한 생활오염원과 가축사육에 의해 발생하는 축산오염원을, 비점오염원으로는 유역별 토지이용에 따라 발생하는 오염원을 대상으로 부하량을 산정하였다. 여기서, 유역내 오염물질의 부하량을 산정하는데 있어 인구, 가축사육, 토지이용 현황에 대한 자료는 1996~2000년도의 보령시와 홍성군의 통계연보를 이용하였으며, 읍·면 단위의 세부자료에 대해서는 각 읍·면 사무소를 현지 방문하여 자료를 보완하였다.

1. 행정구역별(읍면)

보령 담수호 유역내 행정구역 읍면별 인구, 가축 사육수, 그리고 토지이용 현황은 (표 7-1), (표 7-2), (표 7-3)과 같다.

가. 인구

2000년 현재 보령 담수호 유역내 총인구는 약 28,173명으로 조사되었다. 이 가운데 약 54%에 가까운 인구가 홍성군 광천읍에 밀집되어 있으며, 다음으로 보령시 청소면이 14.9%, 천북면이 10.6%의 분포를 이루고 있었다. 보령 담수호 유역 가운데 홍성군의 인구가 약 19,440명으로 약 70%를 차지하고 있었다. 연도별 인구변화 추이를 보면, 1996년의 총인구 31,749명에서 2000년에는 약 28,173명으로 5년동안 약 12%의 인구가 감소하는 경향을 보이고 있다. 전반적으로 모든 행정구역에서 인구가 감소하는 경향을 보이고 있으나, 예외적으로 홍성군 구항면의 경우 1996년의 2,365명에서 2000년 현재 2,495명으로 소폭 인구가 증가하였다. <그림 7-1>

나. 가축

보령 담수호 유역내 가축사육 실태에 대한 데이터는 연도별로 누락된 지역이 많아 비교적 신뢰성이 높은 2000년도의 자료를 가지고 검토하였다. 유역내에서 이루어지고 있는 한우의 총 사육두수는 12,501마리였으며 이 가운데 홍성군 광천읍 3,429마리, 홍성군 구항면 1,182마리, 홍성군 장곡면 1,882마리 그리고 보령시 천북면 2,903마리, 보령시 청소면 1,930마리로 거의 대부분이 이 지역에서 한우가 사육되고 있었다. 젓소의 경우 총 사육두수가 2,781마리였는데 보령시 천북면에서 2,106마리로 거의 대부분이 이 지역에서 사육되고 있으며, 기타 지역에서는 소규모로 젓소의 사육이 이루어지고 있었다. 돼지의 경우 총 사육두수가 135,311마리였는데 홍성군 광천읍에서 40,672마리, 보령시 천북면에서 53,697마리, 보령시 청소면에서 25,610마리가 사육되고 있었다. 닭의 경우 총 사육두수가 617,026마리였는데 보령시 천북면 275,986마리, 보령시 청소면 267,885 마리로 거의 대부분의 닭이 이 지역에서 사육되고 있었다.

한편, 읍면별 가축사육 비율을 보면, 한우는 광천읍이 전체의 27.4%, 천북면이 23.2%, 청소면이 15.4% 이고, 젓소는 천북면 75.7%, 청소면이 16.2%, 돼지는 천북면이 39.7%, 광천읍이 30.1%, 청소면이 18.9% 이며, 닭은 천북면이 44.7%, 청소면이 43.4% 로 나타났다. <그림 7-2>에서 <그림 7-5>까지는 읍면별 가축 사육수를 나타낸 것이다.

다. 토지이용

1/25,000 지형도와 각 읍·면의 통계연보 자료를 이용하여 보령 담수호 유역내 토지이용 실태를 조사한 결과는 다음과 같다. 총 유역면적은 12,944.7 ha 이었으며, 이 가운데 논 3,207.1 ha, 밭 2,208 ha, 임야 5,649.8 ha, 대지 및 기타면적이 1,879.8 ha로 총 농경지 비율이 41.8 %를 차지하고 있었다. 그림에서 보는 바와 같이 홍성군 광천읍의 면적이 3,515.5 ha, 보령시 청소면의 면적이 3,860.7 ha 로 거의 대부분의 영농활동 및 산업활동이 이 지역에서 이루어지고 있음을 나타내고 있다.

한편, 읍면별 면적 비율을 보면, 청소면이 전체 유역면적의 29.8% 이며, 광천읍이 27.2%, 그리고 천북면이 12.7%, 장곡면이 12.0%, 구항면이 11.7%의 순으로 구성되어 있는 것으로 나타났다.

(표 7-1) 보령지구 읍면별 인구 현황 (1996~2000년)

| 시군 | 읍면 | 년도별 인구(명) | | | | | 평균 |
|-----|-----|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | |
| 홍성군 | 광천읍 | 17,273 | 16,510 | 16,257 | 15,632 | 14,996 | 16,134 |
| | 구항면 | 2,365 | 2,299 | 2,390 | 2,289 | 2,495 | 2,367 |
| | 은하면 | 687 | 655 | 639 | 648 | 611 | 648 |
| | 장곡면 | 1,535 | 1,476 | 1,446 | 1,384 | 1,338 | 1,436 |
| 보령시 | 천북면 | 3,324 | 3,221 | 3,191 | 3,088 | 3,014 | 3,168 |
| | 오천면 | 1,798 | 1,742 | 1,745 | 1,702 | 1,630 | 1,723 |
| | 청소면 | 4,767 | 4,636 | 4,566 | 4,330 | 4,089 | 4,478 |
| 합 계 | | 31,749 | 30,539 | 30,234 | 29,073 | 28,173 | 29,954 |

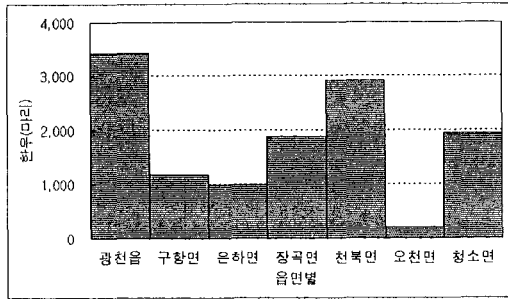
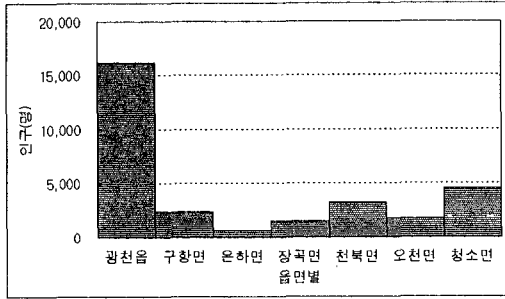
(표 7-2) 보령지구 읍면별 가축 현황(1996~2000년)

| 시군 | 읍면 | 가 축 (마리) | | | | 계 |
|-----|-----|----------|-------|---------|---------|---------|
| | | 한우 | 젖소 | 돼지 | 닭 | |
| 홍성군 | 광천읍 | 3,429 | 120 | 40,672 | 28,604 | 72,825 |
| | 구항면 | 1,182 | 35 | 671 | 2,576 | 4,464 |
| | 은하면 | 972 | 23 | 4,271 | 17,366 | 22,632 |
| | 장곡면 | 1,882 | 46 | 7,519 | 5,318 | 14,765 |
| 보령시 | 천북면 | 2,903 | 2,106 | 53,697 | 275,986 | 334,692 |
| | 오천면 | 203 | 0 | 2,871 | 19,291 | 22,365 |
| | 청소면 | 1,930 | 451 | 25,610 | 267,885 | 295,876 |
| 합 계 | | 12,501 | 2,781 | 135,311 | 617,026 | 767,619 |

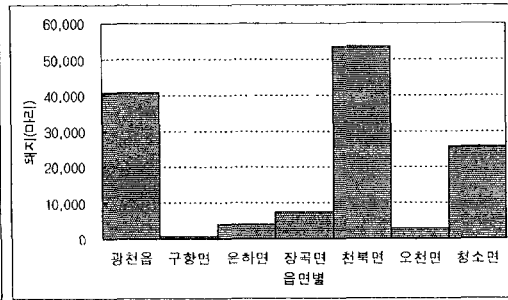
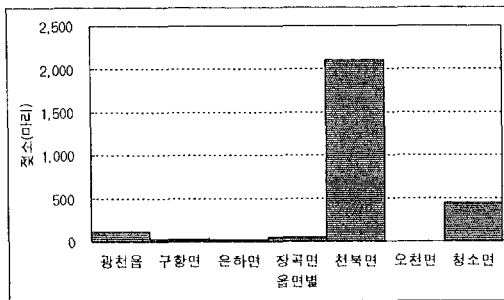
(표 7-3) 보령지구 읍면별 토지이용 (1:25,000 지형도)

| 시군 | 읍면 | 토 지· 이 용 (ha) | | | | | 소 계 | 담수호 (제외) |
|-----|-----|---------------|---------|---------|-------|---------|----------|-------------|
| | | 논 | 밭 | 임야 | 대지 | 기타 | | |
| 홍성군 | 광천읍 | 842.6 | 700.4 | 1,404.8 | 354.3 | 213.4 | 3,515.5 | 1.3 |
| | 구항면 | 317.9 | 288.5 | 728.1 | 97.0 | 81.6 | 1,513.1 | - |
| | 은하면 | 135.0 | 95.1 | 91.9 | 35.1 | 52.4 | 409.5 | 21.2 |
| | 장곡면 | 382.2 | 191.8 | 809.0 | 61.7 | 104.5 | 1,549.2 | - |
| 보령시 | 천북면 | 492.1 | 285.3 | 522.7 | 90.8 | 252.9 | 1,643.8 | 780.1 |
| | 오천면 | 98.9 | 51.3 | 259.5 | 18.7 | 24.5 | 452.9 | 154.9 |
| | 청소면 | 938.4 | 595.6 | 1,833.8 | 201.7 | 291.2 | 3,860.7 | 202.4 |
| 합 계 | | 3,207.1 | 2,208.0 | 5,649.8 | 859.3 | 1,020.5 | 12,944.7 | 1,159.9 |

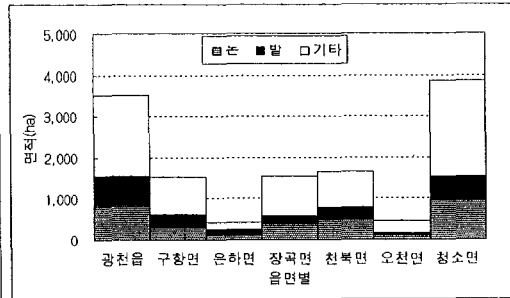
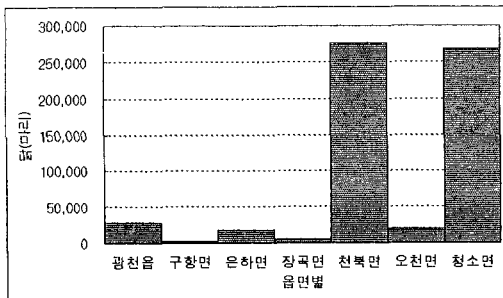
(주) 천북면은 낙동리 빙도를 포함한 수치임.



<그림 7-1> 행정구역 읍면별 인구 <그림 7-2> 행정구역 읍면별 한우 사육수



<그림 7-3> 행정구역 읍면별 젓소 사육수 <그림 7-4> 행정구역 읍면별 돼지 사육수



<그림 7-5> 행정구역 읍면별 닭 사육수 <그림 7-6> 행정구역 읍면별 토지이용

2. 소유역별

보령 담수호 유역내 소유역별 오염원으로 인구, 가축, 그리고 토지이용 현황은 (표 7-4), (표 7-5), (표 7-6)에 나타낸 바와 같다.

가. 인구

보령 담수호 유역의 소유역별 인구현황을 조사한 결과, 2000년도의 경우 전체 유역 인구 가운데 WS#5 유역이 총 8,702명이었는데 이 가운데 신진리가 총 4,851명으로 인구밀집지역으로 나타났다. 또한 WS#6 유역의 경우에도 총 9,031명이었는데 이 가운데 광천읍이 4,783으로 대부분의 인구를 차지하고 있었다.

한편, 소유역별 인구 구성비율을 보면, WS#6 유역이 전체 유역의 32.4%, WS#5 유역이 30.2%이며, WS#8 유역이 12.2%, WS#7 유역이 9.2%의 순으로 광천읍이 포함된 WS#5 및 WS#6 유역이 인구가 많은 것으로 나타났다. <그림 7-7>

나. 가축

소유역별로 가축사육 현황을 보면, 한우의 경우 WS#5에서 1,925마리, WS#6에서 4,340마리 대부분을 차지하였고, 젓소의 경우는 WS#1의 하만리 1,140마리, WS#2의 낙동리 644마리, WS#7의 신송리 139마리, WS#8의 진죽리 176마리로 대부분이 이 지역에서 사육되고 있었다. 돼지의 경우 WS#3의 신죽리 21,990마리, WS#6의 월림리 15,048마리였으며 소유역별로는 WS#6이 42,442로 가장 높게 나타났다. 닭의 경우 WS#1, WS#2, WS#3에 집중되어 있으며 WS#2의 낙동리에서 246,500마리, WS#3의 신죽리에서 115,000마리로 가장 높았다. 지금까지의 조사자료에서 보면 축산활동이 각 소유역별로 각기 다르게 이루어지고 있는 것으로 나타났다.

한편, 소유역별 가축사육 비율을 보면, 한우의 경우 WS#6, WS#5 및 WS#7 유역이 각각 전체의 34.7%, 15.4% 와 10.3%, 젓소의 경우 WS#1 유역이 53.1%, 돼지의 경우 WS#6, WS#3 및 WS#7 유역이 각각 30.6%, 25.6% 와 20.9%, 닭의 경우 WS#8과 WS#2 유역이 42.1% 및 25.7%를 차지하고 있었다. <그림 7-8>에서 <그림 7-11>까지는 소유역별 가축 사육수를 나타낸 것이다.

다. 토지이용

소유역별 토지이용 현황을 보면, 거의 대부분의 영농활동이 WS#5, WS#6, WS#8 유역에서 이루어지고 있는 것으로 나타났다. WS#5 유역의 경우 논 619 ha, 밭 438 ha, WS#6 유역의 경우 논 879 ha, 밭 681 ha, 그리고 WS#8 유역의 경우 논 660 ha, 밭 416 ha로 나타났다.

한편, 소유역별 토지이용 면적 구성비율을 보면, 광천읍이 있는 WS#6 유역이 전체의 28.7%, 청소면이 있는 WS#8 유역이 22.2%, 그리고 구항면과 광천읍 등이 포함된 WS#5 유역이 20.1% 로 나타났다. <그림 7-12>

(표 7-4) 소유역별/리별 인구 현황 (1996~2000년)

| 시군 | 리별 | 연도별 인구 (명) | | | | | 평균 |
|------|----|------------|--------|--------|---------|--------|--------|
| | | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | |
| WS#1 | 하만 | 1,311 | 1,221 | 1,196 | 1,182 | 1,115 | 1,205 |
| WS#2 | 낙동 | 1,023 | 1,013 | 1,009 | 964 | 961 | 994 |
| WS#3 | 신덕 | 415 | 418 | 417 | 396 | 399 | 409 |
| | 신죽 | 575 | 569 | 569 | 546 | 539 | 560 |
| WS#4 | 장척 | 687 | 655 | 639 | 648 | 611 | 648 |
| WS#5 | 신진 | 5,549 | 5,309 | 5,255 | 5,085 | 4,851 | 5,210 |
| | 매현 | 302 | 288 | 271 | 255 | 250 | 273 |
| | 벽계 | (644) | 611 | 572 | 540 | 522 | 578 |
| | 상정 | (680) | 633 | 616 | 602 | 584 | 623 |
| | 지정 | 506 | 499 | 502 | 494 | 487 | 498 |
| | 대정 | 145 | 133 | 131 | 122 | 121 | 130 |
| | 신곡 | 293 | 266 | 276 | 258 | 259 | 270 |
| | 청광 | 528 | 499 | 521 | 503 | 458 | 502 |
| | 마온 | 893 | 902 | 960 | 912 | 1,170 | 967 |
| WS#6 | 광천 | 5,452 | 5,201 | 5,172 | 4,974 | 4,783 | 5,116 |
| | 담산 | 721 | 717 | 719 | 692 | 666 | 703 |
| | 가정 | 370 | 355 | 347 | 352 | 341 | 353 |
| | 내죽 | 453 | 435 | 429 | 403 | 372 | 418 |
| | 소암 | 512 | 510 | 481 | 466 | 447 | 483 |
| | 운용 | 349 | 325 | 309 | 290 | 282 | 311 |
| | 대평 | 226 | 210 | 209 | 189 | 195 | 206 |
| | 월림 | 703 | 679 | 678 | 654 | 607 | 664 |
| | 화계 | 266 | 261 | 259 | 252 | 245 | 257 |
| | 광성 | 442 | 420 | 415 | 404 | 380 | 412 |
| | 오성 | 268 | 260 | 255 | 239 | 229 | 250 |
| | 죽전 | 189 | 180 | 172 | 155 | 148 | 169 |
| | 가송 | 370 | 355 | 345 | 334 | 336 | 348 |
| WS#7 | 신송 | 471 | 480 | 467 | (440) | 413 | 454 |
| | 재정 | 394 | 378 | 374 | (347) | 319 | 362 |
| | 죽림 | 804 | 775 | 758 | (719) | 680 | 747 |
| | 웅암 | 1,312 | 1,237 | 1,199 | 1,130 | 1,096 | 1,195 |
| WS#8 | 진죽 | 1,535 | 1,484 | 1,462 | (1,368) | 1,274 | 1,425 |
| | 성연 | 330 | 318 | 319 | (306) | 292 | 313 |
| | 정전 | 391 | 372 | 374 | (369) | 363 | 374 |
| | 야현 | 378 | 368 | 356 | (343) | 329 | 355 |
| | 장곡 | 464 | 461 | 456 | (438) | 419 | 448 |
| | 교성 | 776 | 743 | 733 | 705 | 680 | 727 |
| WS#9 | 소성 | 1,022 | 999 | 1,012 | 997 | 950 | 996 |
| 합 계 | | 31,749 | 30,539 | 30,234 | 29,073 | 28,173 | 29,954 |

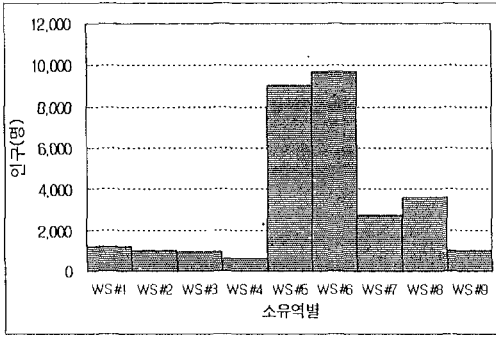
(표 7-5) 소유역별/리별 가축사육 현황 (1996~2000년 평균)

| 시군 | 리별 | 가축 (마리) | | | | 소계 |
|------|----|---------|-------|---------|---------|---------|
| | | 한우 | 젖소 | 돼지 | 닭 | |
| WS#1 | 하만 | 936 | 1,478 | 13,719 | 28,475 | 44,608 |
| WS#2 | 낙동 | 855 | 573 | 5,374 | 158,309 | 165,111 |
| WS#3 | 신덕 | 460 | 56 | 7,713 | 43,500 | 51,729 |
| | 신죽 | 652 | 0 | 26,891 | 45,702 | 73,245 |
| WS#4 | 장척 | 972 | 23 | 4,271 | 17,366 | 22,632 |
| WS#5 | 신진 | 32 | 4 | 8 | 37 | 81 |
| | 매현 | 184 | 20 | 145 | 28 | 377 |
| | 벽계 | 331 | 15 | 2,054 | 154 | 2,554 |
| | 상정 | 196 | 0 | 464 | 25 | 685 |
| | 지정 | 363 | 1 | 48 | 79 | 491 |
| | 대정 | 36 | 0 | 4 | 1,130 | 1,170 |
| | 신곡 | 406 | 0 | 86 | 922 | 1,414 |
| | 청광 | 165 | 34 | 268 | 240 | 707 |
| | 마은 | 213 | 0 | 266 | 205 | 684 |
| WS#6 | 광천 | 104 | 7 | 57 | 450 | 618 |
| | 담산 | 676 | 49 | 6,192 | 13,479 | 20,396 |
| | 가정 | 182 | 22 | 1,719 | 0 | 1,923 |
| | 내죽 | 335 | 0 | 1,209 | 9 | 1,553 |
| | 소암 | 145 | 0 | 327 | 5 | 477 |
| | 운용 | 214 | 2 | 3,820 | 3,118 | 7,154 |
| | 대평 | 189 | 0 | 5,354 | 11,202 | 16,745 |
| | 일립 | 615 | 0 | 15,251 | 28 | 15,894 |
| | 화계 | 215 | 13 | 310 | 18 | 556 |
| | 광성 | 388 | 0 | 162 | 79 | 629 |
| | 오성 | 520 | 0 | 1,263 | 12 | 1,795 |
| | 죽전 | 198 | 34 | 1,908 | 0 | 2,140 |
| | 가송 | 561 | 0 | 3,876 | 5,209 | 9,646 |
| WS#7 | 신송 | 248 | 222 | 11,452 | 17 | 11,939 |
| | 재정 | 554 | 5 | 6,068 | 27,280 | 33,907 |
| | 죽림 | 254 | 1 | 6,618 | 37 | 6,910 |
| | 옹암 | 228 | 3 | 4,074 | 68 | 4,373 |
| WS#8 | 진죽 | 334 | 180 | 887 | 170,267 | 171,668 |
| | 성연 | 33 | 40 | 0 | 2,509 | 2,582 |
| | 정전 | 164 | 1 | 57 | 47,093 | 47,315 |
| | 야현 | 243 | 2 | 0 | 20,658 | 20,903 |
| | 장곡 | 101 | 0 | 529 | 24 | 654 |
| | 교성 | 165 | 0 | 2,853 | 19,200 | 22,218 |
| WS#9 | 소성 | 38 | 0 | 17 | 92 | 147 |
| 합계 | | 12,505 | 2,785 | 135,314 | 617,026 | 767,630 |

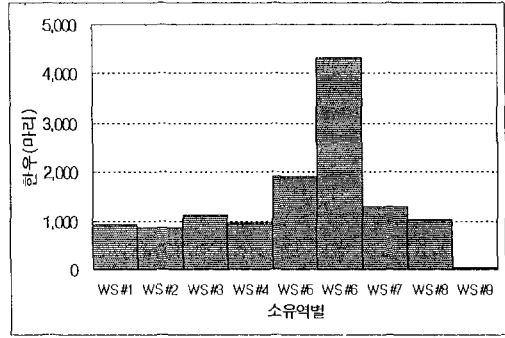
(표 7-6) 소유역별/리별 토지이용 면적 (1:25,000 지형도)

| 시군 | 리별 | 토 지 이 용 (ha) | | | | | 소계 |
|------|----|--------------|----------|---------|-------|---------|----------|
| | | 논 | 밭 | 임야 | 대지 | 기타 | |
| WS#1 | 하만 | 76.3 | 27.4 | 201.4 | 9.0 | 7.4 | 321.5 |
| WS#2 | 낙동 | 201.7 | 116.3 | 193.8 | 28.4 | 63.4 | 603.6 |
| WS#3 | 신덕 | 66.2 | 56.6 | 90.9 | 22.1 | 84.6 | 320.4 |
| | 신죽 | 147.9 | 85.0 | 36.6 | 31.3 | 97.5 | 398.3 |
| WS#4 | 장척 | 135.0 | 95.1 | 91.9 | 35.1 | 52.4 | 409.5 |
| WS#5 | 신진 | 121.3 | 66.0 | 52.9 | 104.2 | 29.0 | 373.4 |
| | 매현 | 39.9 | 47.7 | 59.8 | 11.0 | 2.7 | 161.1 |
| | 벽계 | 70.7 | 16.8 | 198.8 | 39.7 | 2.1 | 328.1 |
| | 상정 | 69.6 | 19.2 | 100.0 | 23.1 | 11.5 | 223.4 |
| | 지정 | 114.7 | 64.0 | 230.3 | 27.1 | 5.3 | 441.4 |
| | 대정 | 31.8 | 15.1 | 70.2 | 12.0 | 15.3 | 144.4 |
| | 신곡 | 47.2 | 54.7 | 121.2 | 12.4 | 18.7 | 254.2 |
| | 청광 | 82.2 | 92.9 | 191.0 | 17.1 | 27.0 | 410.2 |
| | 마온 | 42.0 | 61.8 | 115.4 | 28.4 | 15.3 | 262.9 |
| WS#6 | 광천 | 56.9 | 109.6 | 136.8 | 60.0 | 45.6 | 408.9 |
| | 답산 | 80.8 | 96.0 | 416.8 | 18.8 | 19.5 | 631.9 |
| | 가정 | 32.5 | 50.2 | 86.8 | 12.5 | 2.3 | 184.3 |
| | 내죽 | 44.3 | 19.2 | 8.7 | 8.1 | 20.4 | 100.7 |
| | 소암 | 77.3 | 24.8 | 36.4 | 13.1 | 6.4 | 158.0 |
| | 운용 | 44.9 | 38.7 | 53.8 | 10.9 | 3.9 | 152.2 |
| | 대평 | 73.4 | 51.0 | 44.9 | 12.3 | 15.9 | 197.5 |
| | 월림 | 86.7 | 99.5 | 124.1 | 18.0 | 1.7 | 330.0 |
| | 화계 | 45.0 | 11.5 | 58.3 | 7.4 | 1.1 | 123.3 |
| | 광성 | 125.4 | 32.8 | 462.1 | 25.6 | 54.4 | 700.3 |
| | 오성 | 55.9 | 44.0 | 185.3 | 7.4 | 32.4 | 325.0 |
| | 죽전 | 117.3 | 39.7 | 33.8 | 10.5 | 10.5 | 211.8 |
| | 가송 | 38.6 | 63.8 | 69.5 | 10.8 | 6.1 | 188.8 |
| WS#7 | 신송 | 133.1 | 84.8 | 78.9 | 25.6 | 36.3 | 358.7 |
| | 재정 | 79.7 | 51.7 | 197.3 | 18.8 | 2.7 | 350.2 |
| | 죽림 | 141.1 | 84.7 | 294.8 | 24.6 | 12.9 | 558.1 |
| | 용암 | 44.3 | 61.7 | 85.0 | 22.6 | 52.4 | 266.0 |
| WS#8 | 진죽 | 168.6 | 115.3 | 49.2 | 49.2 | 115.1 | 497.4 |
| | 성연 | 44.6 | 81.8 | 723.3 | 23.6 | 38.8 | 912.1 |
| | 정전 | 85.1 | 60.1 | 259.1 | 19.6 | 8.8 | 432.7 |
| | 야현 | 44.7 | 34.6 | 42.0 | 18.8 | 55.4 | 195.5 |
| | 장곡 | 241.5 | 82.6 | 189.2 | 21.5 | 21.2 | 556.0 |
| | 교성 | 75.8 | 42.0 | 127.2 | 15.2 | 13.8 | 274.0 |
| WS#9 | 소성 | 23.1 | 9.3 | 132.3 | 3.5 | 10.7 | 178.9 |
| 합 계 | | 3,184 | 2,198.70 | 5,517.5 | 855.8 | 1,009.8 | 12,944.7 |

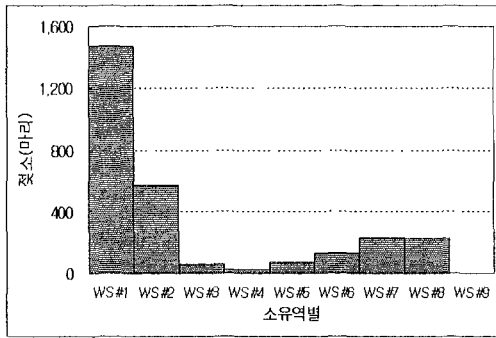
(주) 리별 면적을 소유역별로 분류한 자료임.



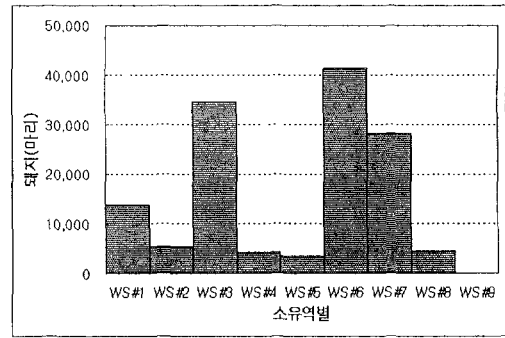
<그림 7-7> 소유역별 인구



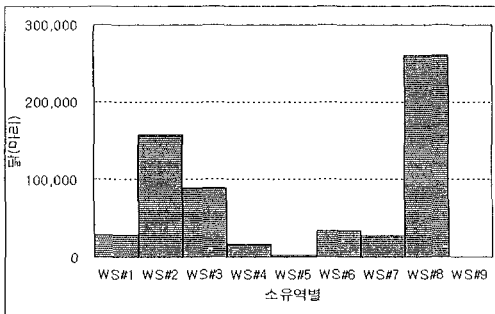
<그림 7-8> 소유역별 한우 사육수



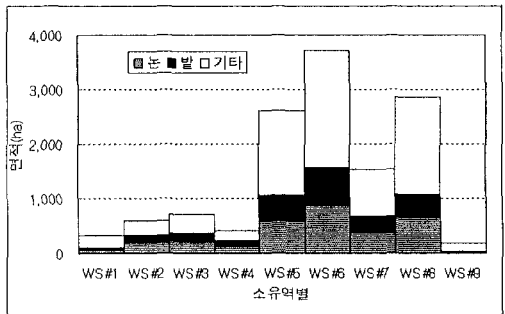
<그림 7-9> 소유역별 젖소 사육수



<그림 7-10> 소유역별 돼지 사육수



<그림 7-11> 소유역별 닭 사육수



<그림 7-12> 소유역별 토지이용

제2절 원단위법에 의한 발생오염부하량

1. 오염원별 원단위

각 오염원에서 발생하는 오염물질은 질이나 양적으로 다양하고 복합적이기 때문에 이들 특성을 모두 고려하여 해석하기란 쉽지 않으며, 현재 적용하고 있는 원단위는 조사자마다 그 값이 상이할 뿐만 아니라 큰 편차를 나타내고 있기 때문에 실제 부하량 산출결과에 인용자료에 따라 크게 영향을 받고 있다. 이러한 현상은 점오염원보다 비점오염원에서 더욱 현저하게 나타나고 있는데 이는 조사지역의 강우, 토양특성 및 지역특성 등 비점오염원이 인위적인 영향을 많이 받을 수 있기 때문이라 생각된다. 따라서 지역적인 특성에 따라 상이한 원단위를 모든 지역에 일률적으로 적용시키는 것 보다 해당지역의 오염원별 원단위를 실측하여 오염부하량을 산정하는 것이 바람직할 것으로 생각된다. 본 연구에서는 국내에서 오염 원단위에 대해 보고된 많은 연구결과와 현재 적용하고 있는 연구들을 비교, 분석하여 보령담수호 유역에 적합하다고 판단되는 값들을 선정하여 적용하였다.

오염물질의 원단위를 적용하는데 있어 인구에 의한 오염원단위는 수질보전장기종합계획보고서(환경처, 1994)를, 토지이용에 대한 오염원단위는 한국환경과학연구협의회(1991)의 영양염류 원단위를, 가축사육에 대한 오염원단위는 장(1994)이 제시한 자료를 적용하였다. (표 7-7)

(표 7-7) 원단위 발생오염부하량

| 구 분 | 항 목 | T-N | T-P | 자 료 |
|-------------------------------|------|-------|-------|---------------------------------|
| 인구 (g/인·일) | 시가화 | 7.75 | 1.63 | 수질보전장기종합계획보고서 (환경처, 1994) |
| | 비시가화 | 7.75 | 1.63 | |
| 가축 (g/두·일) | 한우 | 108.2 | 12.1 | 장(1994) |
| | 젖소 | 310.1 | 15.8 | |
| | 돼지 | 30.7 | 13.6 | |
| | 닭 | 4.8 | 0.2 | |
| 토지 (kg/km ² ·일) | 전(밭) | 2.330 | 0.170 | 한국환경과학연구협의회(1991) 의 영양염류 원단위 |
| | 답(논) | 2.330 | 0.170 | |
| | 대지 | 0.759 | 0.027 | |
| | 임야 | 0.550 | 0.013 | |
| | 기타 | 0.759 | 0.027 | |

(표 7-8) 오염물질 발생 원단위(4)

| 구분 | 항목 | BOD | COD | T-N | T-P |
|-------------------------------|----|--------|--------|---------|---------|
| 인구 (g/인/일) | 농촌 | 49(1) | 31(2) | 7.75(1) | 1.63(1) |
| 가축 (g/두/일) | 소 | 640(1) | 530(2) | 128(1) | 72(1) |
| | 돼지 | 125(1) | 130(2) | 20(1) | 16(1) |
| 토지 (kg/km ² /일) | 논 | 71(1) | 126(1) | 2.5(3) | - |
| | 밭 | 51(1) | 59(1) | 43.0(3) | - |
| | 임야 | 9.6(1) | 15(1) | - | - |

(자료) (1) 국립환경연구소, 전국 주요 하천 기초조사 보고서

(2) 일본, 기보당, 하천 해석의 모델 해석

(3) 일본, 장기남부 환경영향 평가서

(4) 농어촌진흥공사(1997) 홍보지구 농업종합개발사업 사후환경영향조사 보고서, 1997. 12.

2. 행정구역별 원단위법에 의한 발생오염부하량 산정

수질오염에 영향을 미칠 수 있는 오염원을 대상으로 과거자료를 이용하여 수학적 예측과 각종 관련계획을 고려하여 각 수계별로 오염발생량을 전망하였다. 오염원의 분류는 점오염원과 비점오염원으로 대분하여 인구, 가축, 토지이용 등을 조사하였다. 이외에 폐축물 매립장이나 관공에 의한 오염이 있으나 일반적인 오염원이 아니므로 고려대상에서 제외하였다. 또한 오염부하량의 산정에 있어서는 유역의 각 오염원에서 발생된 부하를 발생부하, 오염원에서 유역으로 배출되는 부하를 배출부하, 하천까지 유달되는 부하를 유입 또는 유달부하라고 하며, 이와 같은 부하를 정량적으로 표현한 것을 부하량이라고 정의한다. 한편 하천의 오염실태 또는 오염정도를 표현한 것이 수질이라면 부하량은 각 오염원에서의 오염물질량을 시간의 개념으로 나타내는 것이기 때문에 하천 수질개선을 위한 삭감량 산정이나 환경기초시설계획 등에 중요한 기초자료로 활용된다.

오염부하량을 산정하는데 있어 인구의 경우는 하루 1인이 발생하는 오염량으로서 생활하수와 분뇨에 의해 발생하는 것을 총괄하여 제시된 원단위를 적용하여 각 유역의 인구수를 곱하여 계산하였고, 가축의 경우는 가축의 종류에 따라 발생하는 오염량으로서 분뇨를 포함한

원단위를 적용하여 각 구역의 가축수를 곱하였으며, 그리고 토지이용에 따른 오염량은 크게 논, 밭, 대지, 임야, 기타의 5가지로 구분된 각 토지이용 형태의 원단위를 적용하여 각 조 사유역의 토지면적을 곱하여 산정하였다.

가. 인구

과거 1996년부터 2000년 동안 보령담수호 구역에서의 인구는 연평균 2% 정도씩 지속적으로 감소하는 경향을 보이고 있다. 시군지역에서의 인구변화 추이는 절대인구는 계속 감소하겠지만 그 추세는 점진적으로 둔화될 것으로 예상된다. 통계연보자료를 인용하여 행정구역별 인구분포를 분석한 결과, 홍성군 광천읍의 신진리와 광천리에 인구가 집중되어 있고, 보령시의 경우 천북면 하만리와 청소면 진죽리에 인구가 집중되어 있다. 농공단지가 위치하고 있는 구항면 마온리의 경우에만 인구가 약간 증가하는 추세이며, 기타 지역은 모두 감소경향을 나타내고 있다. 홍성군의 경우 광천읍과 신진리, 그리고 보령시의 경우 천북면 하만리와 낙동리에 대부분의 인구가 밀집되어 있는 추세이다.

행정구역별 인구에 의한 질소와 인산의 원단위 오염부하량을 조사한 결과 <표 6.2-3>과 같이, 홍성군 광천읍의 경우 전질소 45,637 kg/yr, 전인산 9,598 kg/yr를 나타내었고, 이 가운데 신진리에서 전질소 14,737 kg/yr, 전인산 3,099 kg/yr로 나타났으며, 광천읍의 경우에도 전질소 14,473 kg/yr, 전인산 3,044 kg/yr로 나타났다. 홍성군 구항면의 경우는 전질소 6,697 kg/yr, 전인산 1,408 kg/yr를 나타내었으며 이 가운데 마온리에서 전질소 2,736 kg/yr, 전인산 575 kg/yr로 나타났다. 보령시 천북면의 경우에는 전질소 8,960 kg/yr, 전인산 1,884 kg/yr를 나타내었으며 이 가운데 하만리에서 전질소 3,408 kg/yr, 전인산 716 kg/yr로 나타났다. 또한 보령시 청소면의 경우 전질소 12,666 kg/yr, 전인산 2,663 kg/yr를 나타내었으며 이 가운데 진죽리에서 전질소 4,029 kg/yr, 전인산 847 kg/yr로 나타났다.

나. 가축

가축사육 현황을 보면 (표 6-2~4(a), (b), (c), (d))와 같으며, 한우는 홍성군 광천읍 담산리, 내죽리, 월림리와 은하면 장척리, 보령시 천북면의 하만리, 낙동리, 신덕리, 신죽리에서 대규모로 사육하고 있다. 젖소의 사육상황을 보면 보령시 천북면에서 대단위로 사육이 이루어지고 있을 뿐 기타 구역에서의 젖소 사육은 거의 이루어지지 않고 있다. 돼지의

사육실태는 한우의 사육실태와 유사하게 이루어지고 있으며, 닭은 보령시 천북면 은하리와 장척리, 청소면의 진죽리, 재정리, 야현리에서 대단위로 이루어지고 있다. 총괄적으로 한우, 젖소, 돼지는 보령시 천북면에서 대규모로 사육되고 있는 반면, 가금류는 청소면에서 주로 이루어지고 있다. 행정구역별 가축에 의한 질소와 인산의 원단위 오염부하량을 조사한 결과 (표 6-2~4)와 같이, 홍성군 광천읍의 경우 전질소 654,894 kg/yr, 전인산 219,821 kg/yr를 나타내었으며, 홍성군 구항면의 경우는 전질소 62,676 kg/yr, 전인산 8,942 kg/yr를 나타내었다. 보령시 천북면의 경우에는 전질소 1,438,185 kg/yr, 전인산 311,659 kg/yr를 나타내었으며, 또한 보령시 청소면의 경우 전질소 883,597 kg/yr, 전인산 157,809 kg/yr를 나타내었다.

다. 토지이용

농경지에 사용된 농약, 공사지역에서의 토사, 포장이 많이 된 도시지역의 누적된 먼지와 오물 등은 강우시 해당수계에 유입되어 하천 및 호소 수질악화를 유발하고 있는 실정이다. 따라서 이와 같은 토지이용에 의해 인위적으로 발생된 오염물질 관리는 생활하수나 공장폐수에 못지 않게 하천수질관리 측면에서 중요하다. 보령 담수호 유역의 주요 지목별 토지이용 현황을 개괄적으로 보면 임야는 약 43.6%, 논 24.8%, 밭 17.1%를 차지하고 있으며 전체면적의 14.5%에 불과한 지역에서 대지, 공공용지 및 공장용지로 이용되고 있다. 행정구역별 토지이용에 의한 질소와 인산의 원단위 오염부하량을 조사한 결과 (표 6-2~5) 및 (표 7-9)과 같이, 홍성군 광천읍의 경우 전질소 17,517 kg/yr, 전인산 1,080 kg/yr를 나타내었으며 이 가운데 담산리에서 전질소 2,446 kg/yr, 전인산 133 kg/yr로 나타났다. 홍성군 구항면의 경우는 전질소 7,114 kg/yr, 전인산 428 kg/yr를 나타내었으며 이 가운데 지정리에서 전질소 2,072 kg/yr, 전인산 125 kg/yr로 나타났다. 보령시 천북면의 경우에는 전질소 8,614 kg/yr, 전인산 541 kg/yr를 나타내었으며 이 가운데 낙동리에서 전질소 3,348 kg/yr, 전인산 216 kg/yr로 나타났다. 또한 보령시 청소면의 경우 전질소 18,094 kg/yr, 전인산 1,088 kg/yr를 나타내었으며 이 가운데 장곡리에서 전질소 3,254 kg/yr, 전인산 214 kg/yr로 나타났다.

(표 7-9) 행정구역/리별 인구에 의한 원단위 발생오염부하량 (1996~2000년)

| 시군 | 읍면 | 리별 | 년도별 인구(명) | | | | | 평균 | 원단위부하량(kg/yr) | |
|-----|-------|-----|-----------|--------|--------|---------|--------|---------|---------------|----------|
| | | | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | | T-N | T-P |
| 홍성군 | 광천읍 | 신진 | 5,549 | 5,309 | 5,255 | 5,085 | 4,851 | 5,210 | 14,737.2 | 3,099.6 |
| | | 광천 | 5,452 | 5,201 | 5,172 | 4,974 | 4,783 | 5,116 | 14,473.0 | 3,044.0 |
| | | 답산 | 721 | 717 | 719 | 692 | 666 | 703 | 1,988.6 | 418.2 |
| | | 가정 | 370 | 355 | 347 | 352 | 341 | 353 | 998.5 | 210.0 |
| | | 내죽 | 453 | 435 | 429 | 403 | 372 | 418 | 1,183.5 | 248.9 |
| | | 운용 | 349 | 325 | 309 | 290 | 282 | 311 | 879.7 | 185.0 |
| | | 대평 | 226 | 210 | 209 | 189 | 195 | 206 | 582.2 | 122.4 |
| | | 월림 | 703 | 679 | 678 | 654 | 607 | 664 | 1,878.9 | 395.2 |
| | | 소암 | 512 | 510 | 481 | 466 | 447 | 483 | 1,366.9 | 287.5 |
| | 구항면 | 매현 | 302 | 288 | 271 | 255 | 250 | 273 | 772.8 | 162.5 |
| | | 벽계 | (644) | 611 | 572 | 540 | 522 | 578 | 1,634.5 | 343.8 |
| | | 상정 | (680) | 633 | 616 | 602 | 584 | 623 | 1,762.3 | 370.7 |
| | | 용암 | 1,312 | 1,237 | 1,199 | 1,130 | 1,096 | 1,195 | 3,379.8 | 710.8 |
| | | 지정 | 506 | 499 | 502 | 494 | 487 | 498 | 1,407.6 | 296.0 |
| | | 대정 | 145 | 133 | 131 | 122 | 121 | 130 | 368.9 | 77.6 |
| | | 신곡 | 293 | 266 | 276 | 258 | 259 | 270 | 764.9 | 160.9 |
| | | 청광 | 528 | 499 | 521 | 503 | 458 | 502 | 1,419.5 | 298.5 |
| 은하면 | 마온 | 893 | 902 | 960 | 912 | 1,170 | 967 | 2,736.5 | 575.6 | |
| | 장척 | 687 | 655 | 639 | 648 | 611 | 648 | 1,833.0 | 385.5 | |
| | 장곡면 | 화계 | 266 | 261 | 259 | 252 | 245 | 257 | 725.9 | 152.7 |
| | | 광성 | 442 | 420 | 415 | 404 | 380 | 412 | 1,166.0 | 245.2 |
| | | 오성 | 268 | 260 | 255 | 239 | 229 | 250 | 707.8 | 148.9 |
| | | 죽전 | 189 | 180 | 172 | 155 | 148 | 169 | 477.5 | 100.4 |
| | | 가송 | 370 | 355 | 345 | 334 | 336 | 348 | 984.4 | 207.0 |
| 보령시 | | 천북면 | 하만 | 1,311 | 1,221 | 1,196 | 1,182 | 1,115 | 1,205 | 3,408.6 |
| 낙동 | 1,023 | | 1,013 | 1,009 | 964 | 961 | 994 | 2,811.8 | 591.4 | |
| 신덕 | 415 | | 418 | 417 | 396 | 399 | 409 | 1,157.0 | 243.3 | |
| 신죽 | 575 | | 569 | 569 | 546 | 539 | 560 | 1,583.0 | 332.9 | |
| 오천면 | 소성 | | 1022 | 999 | 1012 | 997 | 950 | 996 | 2,817.4 | 592.6 |
| | 교성 | | 776 | 743 | 733 | 705 | 680 | 727 | 2,057.6 | 432.8 |
| 청소면 | 진죽 | | 1,535 | 1,484 | 1,462 | (1,368) | 1,274 | 1,425 | 4,029.8 | 847.6 |
| | 신송 | | 471 | 480 | 467 | (440) | 413 | 454 | 1,284.8 | 270.2 |
| | 재정 | | 394 | 378 | 374 | (347) | 319 | 362 | 1,025.1 | 215.6 |
| | 죽림 | | 804 | 775 | 758 | (719) | 680 | 747 | 2,113.6 | 444.5 |
| | 성연 | | 330 | 318 | 319 | (306) | 292 | 313 | 885.4 | 186.2 |
| | 정전 | | 391 | 372 | 374 | (369) | 363 | 374 | 1,057.4 | 222.4 |
| | 야현 | | 378 | 368 | 356 | (343) | 329 | 355 | 1,003.6 | 211.1 |
| 장곡 | 464 | | 461 | 456 | (438) | 419 | 448 | 1,266.1 | 266.3 | |
| 합 계 | | | 31,749 | 30,539 | 30,234 | 29,073 | 28,173 | 29,953 | 84,731.1 | 17,820.7 |

(표 7-10(a)) 행정구역/리별 가축(한우)에 의한 원단위 발생오염부하량
(1996~2000년)

| 시군 | 읍면 | 리동역 (유역 내) | 한 우 (마리) | | | | | 원단위부하량(kg/yr) | | | |
|-----|-----|------------------|----------|-------|-------|------|----------|---------------|----------|---------|----------|
| | | | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 평균 | T-N | T-P | |
| 홍성 | 광천 | 신진 | | 57 | 37 | 12 | 21 | 31.8 | 1,253.9 | 140.2 | |
| | | 광천 | | 182 | 62 | 117 | 55 | 104.0 | 4,107.3 | 459.3 | |
| | | 담산 | | 706 | 664 | 736 | 596 | 675.5 | 26,677.5 | 2,983.3 | |
| | | 가정 | | 244 | 131 | 210 | 142 | 181.8 | 7,177.9 | 802.7 | |
| | | 내죽 | | 507 | 354 | 329 | 149 | 334.8 | 13,220.3 | 1,478.4 | |
| | | 운용 | | 297 | 247 | 187 | 124 | 213.8 | 8,441.6 | 944.0 | |
| | | 대평 | | 213 | 196 | 196 | 149 | 188.5 | 7,444.4 | 832.5 | |
| | | 월림 | | 804 | 599 | 582 | 475 | 615.0 | 24,288.2 | 2,716.1 | |
| | | 소암 | | 189 | 90 | 106 | 193 | 144.5 | 5,706.7 | 638.2 | |
| | | 매현 | | 255 | 141 | 163 | 177 | 184.0 | 7,266.7 | 812.6 | |
| | | 벽계 | | 332 | 263 | 415 | 314 | 331.0 | 13,072.2 | 1,461.9 | |
| | | 상정 | | 211 | 238 | 234 | 211 | 87 | 196.2 | 7,748.5 | 866.5 |
| | | 용암 | | 214 | 192 | 234 | 295 | 207 | 228.4 | 9,020.2 | 1,008.7 |
| | | | 구항 | 지정 | 421 | 432 | 444 | 274 | 243 | 362.8 | 14,328.1 |
| 대정 | 30 | | | 35 | 38 | 42 | 33 | 35.6 | 1,406.0 | 157.2 | |
| 신곡 | 532 | | | 542 | 552 | 175 | 229 | 406.0 | 16,034.2 | 1,793.1 | |
| 청광 | 148 | | | 150 | 156 | 202 | 167 | 164.6 | 6,500.5 | 727.0 | |
| | 마은 | 장척 | 1,054 | 1,090 | 1,157 | 894 | 664 | 971.8 | 38,379.3 | 4,292.0 | |
| | | 화계 | 245 | 250 | 255 | 179 | 148 | 215.4 | 8,506.8 | 951.3 | |
| | | 광성 | 415 | 420 | 422 | 376 | 305 | 387.6 | 15,307.5 | 1,711.8 | |
| | | 오성 | 568 | 587 | 599 | 481 | 366 | 520.2 | 20,544.3 | 2,297.5 | |
| | 죽전 | 죽전 | 226 | 245 | 269 | 156 | 94 | 198.0 | 7,819.6 | 874.5 | |
| | | 가송 | | | 780 | 547 | 355 | 560.66 | 22,142.4 | 2,476.2 | |
| | | 하만 | 1,055 | 1,074 | 1,076 | | 540 | 936.3 | 36,975.3 | 4,134.9 | |
| 보령 | 천북 | 낙동 | 910 | 923 | 938 | | 649 | 855.0 | 33,766.5 | 3,776.1 | |
| | | 신덕 | 532 | 540 | 546 | | 222 | 460.0 | 18,166.8 | 2,031.6 | |
| | | 신죽 | 721 | 735 | 741 | | 410 | 651.8 | 25,739.6 | 2,878.5 | |
| | | 소성 | 33 | 35 | 39 | | 45 | 38.0 | 1,500.7 | 167.8 | |
| | 오천 | 교성 | 160 | 165 | 171 | | 163 | 164.8 | 6,506.5 | 727.6 | |
| | | 진죽 | 345 | 350 | 358 | | 284 | 334.3 | 13,200.5 | 1,476.2 | |
| | 청소 | 신송 | 275 | 280 | 284 | | 151 | 247.5 | 9,774.5 | 1,093.1 | |
| | | 재정 | 599 | 589 | 603 | | 423 | 553.5 | 21,859.4 | 2,444.5 | |
| | | 죽림 | 230 | 235 | 250 | | 301 | 254.0 | 10,031.2 | 1,121.8 | |
| | | 성연 | 14 | 15 | 17 | | 87 | 33.3 | 1,313.1 | 146.8 | |
| | | 정진 | 145 | 148 | 158 | | 204 | 163.8 | 6,467.0 | 723.2 | |
| | | 야현 | 220 | 221 | 230 | | 299 | 242.5 | 9,577.1 | 1,071.0 | |
| | | 장곡 | 87 | 89 | 93 | | 134 | 100.8 | 3,978.9 | 445.0 | |
| 합 계 | | | | | | | 12,500.6 | 493,663.2 | 55,206.1 | | |

(표 7-10(b)) 행정구역/리별 가축(젖소)에 의한 원단위 발생오염부하량
(1996~2000년)

| 시군 | 읍면 | 리동 (유역 내) | 젖 소 (마리) | | | | | 원단위부하량(kg/yr) | | | |
|----|-----|-----------------|----------|-------|------|------|-------|---------------|-----------|----------|-------|
| | | | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 평균 | T-N | T-P | |
| 홍성 | 광천 | 신진 | 18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.6 | 407.5 | 20.8 | |
| | | 광천 | 0 | 0 | 33 | 0 | 0 | 6.6 | 747.0 | 38.1 | |
| | | 담산 | 38 | 57 | 51 | | | 48.66 | 5,508.4 | 280.7 | |
| | | 가정 | 25 | 20 | 22 | | | 22.3 | 2,527.8 | 128.8 | |
| | | 내죽 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | |
| | | 운용 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 2.0 | 226.4 | 11.5 | |
| | | 대평 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | |
| | | 월림 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | |
| | | 소암 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | |
| | | 매현 | | 15 | 24 | | | 19.5 | 2,207.1 | 112.5 | |
| | 구항 | 벽계 | | 29 | 0 | | | 14.5 | 1,641.2 | 83.6 | |
| | | 상정 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | |
| | | 용암 | 0 | 0 | 15 | 0 | 0 | 3.0 | 339.6 | 17.3 | |
| | | 지정 | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0.8 | 90.5 | 4.6 | |
| | | 대정 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | |
| | | 신곡 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | |
| | | 청광 | 28 | 40 | 43 | 25 | 35 | 34.2 | 3,871.0 | 197.2 | |
| | | 마은 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | |
| | | 은하 | 장척 | 22 | 23 | 23 | 28 | 18 | 22.8 | 2,580.7 | 131.5 |
| | | | 장곡 | 10 | 10 | 12 | 0 | 32 | 12.8 | 1,448.8 | 73.8 |
| | 광성 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | | |
| | 오성 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | | |
| | 죽전 | 25 | 25 | 30 | 40 | 48 | 33.6 | 3,803.1 | 193.8 | | |
| | 가송 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | | |
| 보령 | 천북 | 하만 | 1,580 | 1,588 | 1602 | | 1,140 | 1,477.5 | 167,233.1 | 8,520.7 | |
| | | 낙동 | 540 | 546 | 560 | | 644 | 572.5 | 64,799.3 | 3,301.6 | |
| | | 신덕 | 54 | 50 | 51 | | 67 | 55.5 | 6,281.9 | 320.1 | |
| | 오천 | 신죽 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | |
| | | 소성 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | |
| | 청소 | 교성 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | |
| | | 진죽 | 177 | 178 | 189 | | 176 | 180.0 | 20,373.6 | 1,038.1 | |
| | | 신송 | 245 | 250 | 252 | | 139 | 221.5 | 25,070.8 | 1,277.4 | |
| | | 재정 | 15 | 10 | 0 | 0 | 0 | 5.0 | 565.9 | 28.8 | |
| | | 죽림 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.0 | 113.2 | 5.8 | |
| | | 성연 | 32 | 35 | 40 | | 54 | 40.3 | 4,555.8 | 232.1 | |
| | | 정전 | 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.0 | 113.2 | 5.8 | |
| | | 야현 | 4 | 0 | 0 | 0 | 8 | 2.4 | 271.6 | 13.8 | |
| | | 장곡 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.2 | 22.6 | 1.2 | |
| | 합 계 | | | | | | | 2,781.3 | 314,800.1 | 16,039.6 | |

(표 7-10(c)) 행정구역/리별 가축(돼지)에 의한 원단위 발생오염부하량
(1996~2000년)

| 시군 | 읍면 | 리동 (유역 내) | 돼 지 (마리) | | | | | 원단위부하량(kg/yr) | | | |
|-----|-----|-----------------|----------|--------|--------|--------|-----------|---------------|-----------|-----------|----------|
| | | | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 평균 | T-N | T-P | |
| 홍성 | 광천 | 신진 | | 0 | 30 | 0 | 0 | 7.5 | 84.0 | 37.2 | |
| | | 광천 | | 29 | 47 | 73 | 77 | 56.5 | 633.1 | 280.5 | |
| | | 답산 | 4,886 | 4,925 | 7,417 | 7,539 | 6,191.8 | 69,381.7 | 30,735.8 | | |
| | | 가정 | 479 | 2,081 | 1,635 | 2,680 | 1,718.8 | 19,259.5 | 8,531.9 | | |
| | | 내죽 | 1,372 | 1,336 | 1,104 | 1,022 | 1,208.5 | 13,541.8 | 5,999.0 | | |
| | | 운용 | 3,170 | 5,883 | 3,425 | 2,800 | 3,819.5 | 42,799.4 | 18,960.0 | | |
| | | 대평 | 8,050 | 5,359 | 3,367 | 4,641 | 5,354.3 | 59,997.0 | 26,578.5 | | |
| | | 월림 | 16,468 | 12,917 | 16,571 | 15,048 | 15,251.0 | 170,895.1 | 75,706.0 | | |
| | | 소암 | 367 | 229 | 415 | 298 | 327.3 | 3,667.0 | 1,624.5 | | |
| | | 매현 | 86 | 138 | 152 | 205 | 145.3 | 1,627.6 | 721.0 | | |
| | | 벽계 | 1,379 | 2,454 | 2,342 | 2,040 | 2,053.8 | 23,013.3 | 10,194.8 | | |
| | | 상정 | 469 | 426 | 330 | 631 | 464.0 | 5,199.4 | 2,303.3 | | |
| | | 용암 | 530 | 4,171 | 5,334 | 6,261 | 4,074.0 | 45,651.2 | 20,223.3 | | |
| | | 구항 | 지정 | 35 | 45 | 50 | 68 | 40 | 47.6 | 533.4 | 236.3 |
| | | | 대정 | 2 | 2 | 2 | 10 | 4 | 4.0 | 44.8 | 19.9 |
| | | | 신곡 | 0 | 0 | 0 | 402 | 27 | 85.8 | 961.4 | 425.9 |
| | | | 청광 | 274 | 280 | 288 | 215 | 281 | 267.6 | 2,998.6 | 1,328.4 |
| | | | 마은 | 336 | 340 | 343 | 237 | 75 | 266.2 | 2,982.9 | 1,321.4 |
| | | 은하 | 장척 | 3,601 | 3,614 | 3,738 | 4,380 | 6,021 | 4,270.8 | 47,856.4 | 21,200.3 |
| 장곡 | 352 | | 365 | 372 | 0 | 462 | 310.2 | 3,475.9 | 1,539.8 | | |
| | 광성 | 177 | 186 | 191 | 58 | 200 | 162.4 | 1,819.8 | 806.2 | | |
| | 오성 | 1,250 | 1,258 | 1,322 | 1,535 | 950 | 1,263.0 | 14,152.5 | 6,269.5 | | |
| | 죽전 | 2,144 | 2,154 | 2,223 | 1,793 | 1,225 | 1,907.8 | 21,377.9 | 9,470.3 | | |
| | 가송 | 3,104 | 3,125 | 3,299 | 4,352 | 5,500 | 3,876.0 | 43,432.5 | 19,240.5 | | |
| 보령 | 천북 | 하만 | 16,314 | 16,325 | 16,535 | | 5,700 | 13,718.5 | 153,722.7 | 68,098.6 | |
| | | 낙동 | 4,410 | 4,426 | 4,561 | | 8,100 | 5,374.3 | 60,221.7 | 26,677.8 | |
| | | 신덕 | 7,430 | 7,440 | 7,452 | | 8,530 | 7,713.0 | 86,428.0 | 38,287.3 | |
| | | 신죽 | 28,445 | 28,541 | 28,587 | | 21,990 | 26,890.8 | 301,324.3 | 133,485.7 | |
| | 오천 | 소성 | 20 | 21 | 25 | | 3 | 17.3 | 193.3 | 85.6 | |
| | | 교성 | 2,900 | 2,985 | 3,007 | | 2,521 | 2,853.3 | 31,955.3 | 14,156.1 | |
| | 청소 | 진죽 | 1,156 | 1,190 | 1,200 | | 0 | 886.5 | 9,933.7 | 4,400.6 | |
| | | 신송 | 12,245 | 12,269 | 12,289 | | 9,003 | 11,451.5 | 128,319.8 | 56,845.2 | |
| | | 재정 | 6,850 | 6,855 | 6,868 | | 3,700 | 6,068.3 | 67,997.8 | 30,122.8 | |
| | | 죽림 | 7,005 | 7,100 | 7,210 | | 5,158 | 6,618.3 | 74,160.8 | 32,853.0 | |
| | 성연 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | | |
| | 청전 | 74 | 75 | 80 | | 0 | 57.3 | 641.5 | 284.2 | | |
| | 야현 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | | |
| | 장곡 | 688 | 710 | 714 | | 2 | 528.5 | 5,922.1 | 2,623.5 | | |
| 합 계 | | | | | | | 135,311.3 | 1,516,207.2 | 671,674.7 | | |

(표 7-10(d)) 행정구역/리별 가축 (닭)에 의한 원단위 발생오염부하량
(1996~2000년)

| 시군 | 읍면 | 리동 (유역 내) | 닭 (마리) | | | | | 원단위부하량(kg/yr) | | | |
|-----|-------|-----------------|---------|---------|---------|--------|-----------|---------------|-----------|----------|------|
| | | | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 | 2000 | 평균 | T-N | T-P | |
| 홍성 | 광천 | 신진 | 0 | 35 | 124 | 15 | 11 | 37.0 | 64.8 | 2.7 | |
| | | 광천 | 2,209 | 0 | 5 | 38 | 0 | 450.4 | 789.1 | 32.9 | |
| | | 담산 | 4,008 | 12,300 | 12,000 | 20,000 | 19,085 | 13,478.6 | 23,614.5 | 983.9 | |
| | | 가정 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | |
| | | 내죽 | 0 | 0 | 0 | 27 | 16 | 8.6 | 15.1 | 0.6 | |
| | | 운용 | 10,000 | 0 | 5,000 | 592 | 0 | 3,118.4 | 5,463.4 | 227.6 | |
| | | 대평 | 1,000 | 10,000 | 15,000 | 15,000 | 15,010 | 11,202.0 | 19,625.9 | 817.7 | |
| | | 월림 | 15 | 24 | 0 | 60 | 40 | 27.8 | 48.7 | 2.0 | |
| | | 소암 | 0 | 0 | 25 | 0 | 0 | 5.0 | 8.8 | 0.4 | |
| | | 매현 | 41 | 0 | 0 | 0 | 97 | 27.6 | 48.4 | 2.0 | |
| | | 벽계 | 680 | 0 | 0 | 22 | 70 | 154.4 | 270.5 | 11.3 | |
| | | 상정 | 12 | 0 | 20 | 60 | 35 | 25.4 | 44.5 | 1.9 | |
| | | 웅암 | 262 | 0 | 22 | 40 | 18 | 68.4 | 119.8 | 5.0 | |
| | | 구항 | 지정 | 241 | 154 | 0 | 0 | 0 | 79.0 | 138.4 | 5.8 |
| | | | 대정 | 3,200 | 2,451 | 0 | 0 | 0 | 1,130.2 | 1,980.1 | 82.5 |
| 신곡 | 2,360 | | 2,251 | 0 | 0 | 0 | 922.2 | 1,615.7 | 67.3 | | |
| 청광 | 570 | | 542 | 0 | 88 | 0 | 240.0 | 420.5 | 17.5 | | |
| 마은 | 425 | | 362 | 2 | 85 | 150 | 204.8 | 358.8 | 15.0 | | |
| 은하 | 장척 | 20,451 | 20,011 | 19,000 | 10,000 | | 17,365.5 | 30,424.4 | 1,267.7 | | |
| | 장곡 | 0 | 0 | 0 | 62 | 26 | 17.6 | 30.8 | 1.3 | | |
| | 광성 | 30 | 35 | 38 | 238 | 52 | 78.6 | 137.7 | 5.7 | | |
| | 오성 | 18 | 20 | 22 | 0 | 0 | 12.0 | 21.0 | 0.9 | | |
| | 죽전 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | | |
| | 가송 | 5,320 | 5,400 | 5,500 | 3,300 | 6,527 | 5,209.4 | 9,126.9 | 380.3 | | |
| 보령 | 천북 | 하만 | 22,451 | 21,450 | 20,000 | | 50,000 | 28,475.3 | 49,888.6 | 2,078.7 | |
| | | 낙동 | 114,521 | 122,514 | 149,700 | | 246,500 | 158,308.8 | 277,356.9 | 11,556.5 | |
| | | 신덕 | 44,500 | 44,000 | 42,000 | | | 43,500.0 | 76,212.0 | 3,175.5 | |
| | | 신죽 | 22,356 | 22,451 | 23,000 | | 115,000 | 45,701.8 | 80,069.5 | 3,336.2 | |
| | 오천 | 소성 | 120 | 85 | 70 | | | 91.66 | 160.6 | 6.7 | |
| | | 교성 | 20,142 | 19,241 | 18,216 | | | 19,199.66 | 33,637.8 | 1,401.6 | |
| | | 청소 | 188,962 | 202,510 | 211,500 | | 78,097 | 170,267.3 | 298,308.2 | 12,429.5 | |
| | | 신송 | 0 | 0 | 0 | | 67 | 16.8 | 29.3 | 1.2 | |
| 오천 | 재정 | 29,540 | 29,581 | 30,000 | | 20,000 | 27,280.3 | 47,795.0 | 1,991.5 | | |
| | 죽림 | 0 | 0 | 0 | | 146 | 36.5 | 63.9 | 2.7 | | |
| | 성연 | 0 | 0 | 0 | | 10,034 | 2,508.5 | 4,394.9 | 183.1 | | |
| | 장전 | 74,521 | 75,800 | 8,000 | | 30,050 | 47,092.8 | 82,506.5 | 3,437.8 | | |
| | 야현 | 29,758 | 29,854 | 3,000 | | 20,020 | 20,658.0 | 36,192.8 | 1,508.0 | | |
| | 장곡 | 0 | 0 | 0 | | 97 | 24.3 | 42.5 | 1.8 | | |
| 합 계 | | | | | | | 617,024.6 | 1,081,026.3 | 45,042.8 | | |

(표 7-11) 행정구역/리별 토지이용에 의한 원단위 발생오염부하량 (T-N)

(단위 : kg/yr)

| 시군 | 읍면 | 리별 | 논 | 밭 | 임야 | 대지 | 기타 | 소계 | | |
|-----|-------|---------|----------|----------|----------|---------|---------|----------|---------|---------|
| 홍성군 | 광천읍 | 신진 | 1,031.6 | 561.3 | 106.2 | 289.1 | 80.4 | 2,068.6 | | |
| | | 광천 | 483.9 | 932.1 | 274.6 | 166.4 | 126.5 | 1,983.5 | | |
| | | 답산 | 687.2 | 816.4 | 836.7 | 52.2 | 54.1 | 2,446.6 | | |
| | | 가정 | 276.4 | 426.9 | 174.3 | 34.7 | 6.4 | 918.7 | | |
| | | 내죽 | 376.7 | 163.3 | 17.5 | 22.5 | 56.6 | 636.6 | | |
| | | 운용 | 381.9 | 329.1 | 108.0 | 30.2 | 10.8 | 860.0 | | |
| | | 대평 | 624.2 | 433.7 | 90.1 | 34.1 | 44.1 | 1,226.2 | | |
| | | 월림 | 737.3 | 846.2 | 249.1 | 49.9 | 4.7 | 1,887.2 | | |
| | | 소암 | 657.4 | 210.9 | 73.1 | 36.3 | 17.8 | 995.5 | | |
| | | 매현 | 339.3 | 405.7 | 120.0 | 30.5 | 7.5 | 903.0 | | |
| | | 벽계 | 601.3 | 142.9 | 399.1 | 110.1 | 5.8 | 1,259.2 | | |
| | | 상정 | 591.9 | 163.3 | 200.8 | 64.1 | 31.9 | 1,052.0 | | |
| | | 웅암 | 376.7 | 524.7 | 170.6 | 62.7 | 145.4 | 1,280.1 | | |
| | | 구항면 | 지정 | 975.5 | 544.3 | 462.3 | 75.2 | 14.7 | 2,072.0 | |
| | | | 대정 | 270.4 | 128.4 | 140.9 | 33.3 | 42.4 | 615.4 | |
| | 신곡 | | 401.4 | 465.2 | 243.3 | 34.4 | 51.9 | 1,196.2 | | |
| | 청광 | | 699.1 | 790.1 | 383.4 | 47.4 | 74.9 | 1,994.9 | | |
| | 마온 | | 357.2 | 525.6 | 231.7 | 78.8 | 42.4 | 1,235.7 | | |
| | 은하면 | 장척 | 1,148.1 | 808.8 | 184.5 | 97.4 | 145.4 | 2,384.2 | | |
| | 홍동면 | 원천 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | |
| | 장곡면 | 화계 | 382.7 | 97.8 | 117.0 | 20.5 | 3.1 | 621.1 | | |
| | | 광성 | 1,066.5 | 278.9 | 927.7 | 71.0 | 150.9 | 2,495.0 | | |
| | | 오성 | 475.4 | 374.2 | 372.0 | 20.5 | 89.9 | 1,332.0 | | |
| | | 죽전 | 997.6 | 337.6 | 67.9 | 29.1 | 29.1 | 1,461.3 | | |
| | | 가송 | 328.3 | 542.6 | 139.5 | 30.0 | 16.9 | 1,057.3 | | |
| | | 보령시 | 천북면 | 하만 | 648.9 | 233.0 | 404.3 | 25.0 | 20.5 | 1,331.7 |
| | | | | 낙동 | 1,715.4 | 989.1 | 389.1 | 78.8 | 175.9 | 3,348.3 |
| 신덕 | 563.0 | | | 481.4 | 182.5 | 61.3 | 234.7 | 1,522.9 | | |
| 오천면 | 신죽 | | 1,257.8 | 722.9 | 73.5 | 86.8 | 270.5 | 2,411.5 | | |
| | 소성 | | 196.5 | 79.1 | 265.6 | 9.7 | 29.7 | 580.6 | | |
| 청소면 | 교성 | 644.6 | 357.2 | 255.4 | 42.2 | 38.3 | 1,337.7 | | | |
| | 진죽 | 진죽 | 1,433.9 | 980.6 | 98.8 | 136.5 | 319.3 | 2,969.1 | | |
| | | 신송 | 1,131.9 | 721.2 | 158.4 | 71.0 | 100.7 | 2,183.2 | | |
| | 재정 | 677.8 | 439.7 | 396.1 | 52.2 | 7.5 | 1,573.3 | | | |
| | 죽림 | 1,200.0 | 720.3 | 591.8 | 68.2 | 35.8 | 2,616.1 | | | |
| | 성연 | 379.3 | 695.7 | 1452.0 | 65.5 | 107.6 | 2,700.1 | | | |
| | 정전 | 723.7 | 511.1 | 520.1 | 54.4 | 24.4 | 1,833.7 | | | |
| | 야현 | 380.2 | 294.3 | 84.3 | 52.2 | 153.7 | 964.7 | | | |
| | 장곡 | 2,053.8 | 702.5 | 379.8 | 59.6 | 58.8 | 3,254.5 | | | |
| 합 계 | | | 27,274.8 | 18,778.1 | 11,342.0 | 2,383.8 | 2,831.0 | 6,2609.7 | | |

(표 7-12) 행정구역/리별 토지이용에 의한 원단위 발생오염부하량 (T-P)

(단위 : kg/yr)

| 시군 | 읍면 | 리별 | 논 | 밭 | 임야 | 대지 | 기타 | 소계 | |
|-----|-----|-------|---------|---------|-------|------|-------|--------|-------|
| 홍성군 | 광천읍 | 신진 | 75.3 | 41.0 | 2.5 | 10.3 | 2.9 | 132.0 | |
| | | 광천 | 35.3 | 68.0 | 6.5 | 5.9 | 4.5 | 120.2 | |
| | | 답산 | 50.1 | 59.6 | 19.8 | 1.9 | 1.9 | 133.3 | |
| | | 가정 | 20.2 | 31.1 | 4.1 | 1.2 | 0.2 | 56.8 | |
| | | 내죽 | 27.5 | 11.9 | 0.4 | 0.8 | 2.0 | 42.6 | |
| | | 운용 | 27.9 | 24.0 | 2.6 | 1.1 | 0.4 | 56.0 | |
| | | 대평 | 45.5 | 31.6 | 2.1 | 1.2 | 1.6 | 82.0 | |
| | | 월림 | 53.8 | 61.7 | 5.9 | 1.8 | 0.2 | 123.4 | |
| | | 소암 | 48.0 | 15.4 | 1.7 | 1.3 | 0.6 | 67.0 | |
| | | 매현 | 24.8 | 29.6 | 2.8 | 1.1 | 0.3 | 58.6 | |
| | 구항면 | 벽계 | 43.9 | 10.4 | 9.4 | 3.9 | 0.2 | 67.8 | |
| | | 상정 | 43.2 | 11.9 | 4.7 | 2.3 | 1.1 | 63.2 | |
| | | 용암 | 27.5 | 38.3 | 4.0 | 2.2 | 5.2 | 77.2 | |
| | | 지정 | 71.2 | 39.7 | 10.9 | 2.7 | 0.5 | 125.0 | |
| | | 대정 | 19.7 | 9.4 | 3.3 | 1.2 | 1.5 | 35.1 | |
| | | 신곡 | 29.3 | 33.9 | 5.8 | 1.2 | 1.8 | 72.0 | |
| | | 청광 | 51.0 | 57.6 | 9.1 | 1.7 | 2.7 | 122.1 | |
| | | 마은 | 26.1 | 38.3 | 5.5 | 2.8 | 1.5 | 74.2 | |
| | | 은하면 | 장척 | 83.8 | 59.0 | 4.4 | 3.5 | 5.2 | 155.9 |
| | | 홍동면 | 원천 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 장곡면 | 화계 | 27.9 | 7.1 | 2.8 | 0.7 | 0.1 | 38.6 | | |
| | 광성 | 77.8 | 20.4 | 21.9 | 2.5 | 5.4 | 128.0 | | |
| | 오성 | 34.7 | 27.3 | 8.8 | 0.7 | 3.2 | 74.7 | | |
| | 죽전 | 72.8 | 24.6 | 1.6 | 1.0 | 1.0 | 101.0 | | |
| | 가송 | 24.0 | 39.6 | 3.3 | 1.1 | 0.6 | 68.6 | | |
| | 보령시 | 천북면 | 하만 | 47.3 | 17.0 | 9.6 | 0.9 | 0.7 | 75.5 |
| 오천면 | 낙동 | | 125.2 | 72.2 | 9.2 | 2.8 | 6.2 | 215.6 | |
| | 신덕 | | 41.1 | 35.1 | 4.3 | 2.2 | 8.3 | 91.0 | |
| | 신죽 | | 91.8 | 52.7 | 1.7 | 3.1 | 9.6 | 158.9 | |
| 청소면 | 소성 | 14.3 | 5.8 | 6.3 | 0.3 | 1.1 | 27.8 | | |
| | 교성 | 47.0 | 26.1 | 6.0 | 1.5 | 1.4 | 82.0 | | |
| 장곡면 | 진죽 | 104.6 | 71.5 | 2.3 | 4.8 | 11.3 | 194.5 | | |
| | 신송 | 82.6 | 52.6 | 3.7 | 2.5 | 3.6 | 145.0 | | |
| | 재정 | 49.5 | 32.1 | 9.4 | 1.9 | 0.3 | 93.2 | | |
| | 죽림 | 87.6 | 52.6 | 14.0 | 2.4 | 1.3 | 157.9 | | |
| | 성연 | 27.7 | 50.8 | 34.3 | 2.3 | 3.8 | 118.9 | | |
| | 정전 | 52.8 | 37.3 | 12.3 | 1.9 | 0.9 | 105.2 | | |
| | 야현 | 27.7 | 21.5 | 2.0 | 1.9 | 5.5 | 58.6 | | |
| 합 계 | 장곡 | 149.9 | 51.3 | 9.0 | 2.1 | 2.1 | 214.4 | | |
| | | | 1,990.4 | 1,370.0 | 268.0 | 84.7 | 100.7 | 3813.8 | |

라. 행정구역별 원단위법에 의한 발생오염부하량의 총괄

인구, 가축 및 토지이용 전체에 대한 행정구역별 원단위 오염부하량을 보면 T-N의 경우 천북면이 1,445,760 kg/yr 으로 전체 오염부하량의 41.0%, 청소면이 914,358 kg/yr로 25.7%, 광천읍이 20.2%이며, 단위면적당으로 보면 천북면이 885.6 kg/yr/ha, 은하면 301.5 kg/yr/ha, 청소면 236.8 kg/yr/ha의 순으로 가축사육이 많은 천북면이 가장 높았다.

T-P의 경우 전체 원단위 오염부하량은 T-N과 비슷하게 천북면이 314,085 kg/yr로 38.8%, 광천읍이 230,500 kg/yr로 28.5%, 청소면이 161,561 kg/yr로 19.9% 이었으며, 단위면적당으로 보면 천북면이 191.1 kg/yr/ha, 은하면 67.0 kg/yr/ha, 광천읍 65.6 kg/yr/ha의 순으로 나타났다.

(표 7-13) 읍면별 전체 원단위법에 의한 발생오염오염량(T-N)

| 시군 | 읍면 | 오염원별 (kg/yr) | | | | | 단위면적당 오염부하량 (kg/yr/ha) |
|-----|-----|--------------|-------------|----------|-------------|-------|------------------------------|
| | | 인구 | 가축 | 토지이용 | 소계 | % | |
| 홍성군 | 광천읍 | 45,637.9 | 654,894.1 | 17,517.2 | 718,049.2 | 20.2 | 204.3 |
| | 구항면 | 6,697.3 | 62,676.9 | 7,114.2 | 76,488.4 | 2.1 | 50.6 |
| | 은하면 | 1,833.0 | 119,240.8 | 2,384.2 | 123,458.0 | 3.5 | 301.5 |
| | 장곡면 | 4,061.5 | 173,147.5 | 6,966.7 | 184,175.7 | 5.2 | 118.9 |
| 보령시 | 천북면 | 8,960.3 | 1,438,185.5 | 8,614.4 | 1,455,760.2 | 41.0 | 885.6 |
| | 오천면 | 4,875.1 | 73,954.2 | 1,918.3 | 80,747.6 | 2.3 | 178.3 |
| | 청소면 | 12,666.0 | 883,597.3 | 18,094.7 | 914,358.0 | 25.7 | 236.8 |
| 합 계 | | 84,731.2 | 3,405,696.2 | 62,609.7 | 3,553,037.1 | 100.0 | 274.5 |

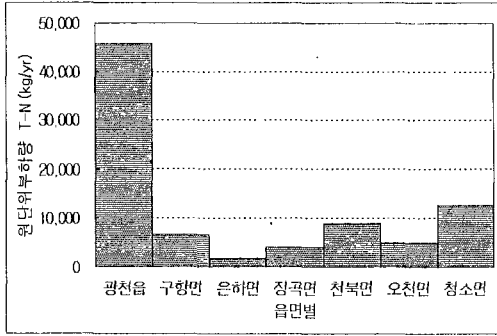
(표 7-14) 읍면별 전체 원단위법에 의한 발생오염부하량 (T-P)

| 시군 | 읍면 | 오염원별 (kg/yr) | | | | | 단위면적당 오염부하량 (kg/yr/ha) |
|-----|-----|--------------|-----------|---------|-----------|-------|------------------------------|
| | | 인구 | 가축 | 토지이용 | 소계 (%) | | |
| 홍성군 | 광천읍 | 9,598.7 | 219,821.7 | 1,080.1 | 230,500.5 | 28.5 | 65.6 |
| | 구항면 | 1,408.6 | 8,942.0 | 428.4 | 10,779.0 | 1.3 | 7.1 |
| | 은하면 | 385.5 | 26,891.4 | 155.9 | 27,432.8 | 3.4 | 67.0 |
| | 장곡면 | 854.2 | 46,293.3 | 410.9 | 47,558.4 | 5.9 | 30.7 |
| 보령시 | 천북면 | 1,884.6 | 311,659.9 | 541.0 | 314,085.5 | 38.8 | 191.1 |
| | 오천면 | 1,025.3 | 16,545.4 | 109.8 | 17,680.5 | 2.2 | 39.0 |
| | 청소면 | 2,663.9 | 157,809.4 | 1,087.7 | 161,561.0 | 19.9 | 41.8 |
| 합 계 | | 17,820.9 | 787,963.2 | 3,813.8 | 809,597.9 | 100.0 | 62.5 |

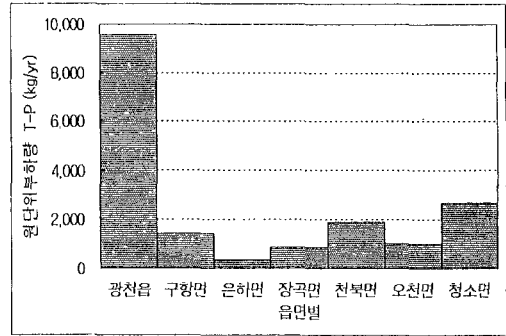
(표 7-15) 행정구역 리별 전체 원단위 발생부하량

(단위 : kg/yr)

| 시군 | 읍면 | 리별 | 인구 | | 가축 | | 토지이용 | | 전체 | | |
|-----|---------|----------|----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-----------|
| | | | T-N | T-P | T-N | T-P | T-N | T-P | T-N | T-P | |
| 홍성군 | 광천읍 | 신진 | 14,737.2 | 3,099.6 | 1,810.2 | 200.9 | 2,068.6 | 132.0 | 18,616.1 | 3,432.5 | |
| | | 광천 | 14,473.0 | 3,044.0 | 6,276.5 | 810.7 | 1,983.5 | 120.2 | 22,733.0 | 3,974.9 | |
| | | 담산 | 1,988.6 | 418.2 | 125,182.1 | 34,983.8 | 2,446.6 | 133.3 | 129,617.3 | 35,535.3 | |
| | | 가정 | 998.5 | 210.0 | 28,965.1 | 9,463.4 | 918.7 | 56.8 | 30,882.4 | 9,730.2 | |
| | | 내죽 | 1,183.5 | 248.9 | 26,777.2 | 7,478.0 | 636.6 | 42.6 | 28,597.3 | 7,769.6 | |
| | | 운용 | 879.7 | 185.0 | 56,930.8 | 20,143.2 | 860.0 | 56.0 | 58,670.6 | 20,384.2 | |
| | | 대평 | 582.2 | 122.4 | 87,067.4 | 28,228.8 | 1,226.2 | 82.0 | 88,875.7 | 28,433.2 | |
| | | 월립 | 1,878.9 | 395.2 | 195,232.0 | 78,424.1 | 1,887.2 | 123.4 | 198,998.0 | 78,942.7 | |
| | | 소암 | 1,366.9 | 287.5 | 9,382.5 | 2,263.0 | 995.5 | 67.0 | 11,744.9 | 2,617.5 | |
| | | 매현 | 772.8 | 162.5 | 11,149.8 | 1,648.1 | 903.0 | 58.6 | 12,825.6 | 1,869.3 | |
| | 구항면 | 벽계 | 1,634.5 | 343.8 | 37,997.2 | 11,751.6 | 1,259.2 | 67.8 | 40,890.8 | 12,163.1 | |
| | | 상정 | 1,762.3 | 370.7 | 12,992.4 | 3,171.7 | 1,052.0 | 63.2 | 15,806.7 | 3,605.5 | |
| | | 용암 | 3,379.8 | 710.8 | 55,130.8 | 21,254.4 | 1,280.1 | 77.2 | 59,790.7 | 22,042.4 | |
| | | 지정 | 1,407.6 | 296.0 | 15,090.4 | 1,849.0 | 2,072.0 | 125.0 | 18,570.0 | 2,270.0 | |
| | | 대정 | 368.9 | 77.6 | 3,430.9 | 259.6 | 615.4 | 35.1 | 4,415.2 | 372.3 | |
| | | 신곡 | 764.9 | 160.9 | 18,611.3 | 2,286.3 | 1,196.2 | 72.0 | 20,572.4 | 2,519.2 | |
| | | 청광 | 1,419.5 | 298.5 | 13,790.6 | 2,270.1 | 1,994.9 | 122.1 | 17,205.0 | 2,690.7 | |
| | | 마은 | 2,736.5 | 575.6 | 11,753.7 | 2,277.1 | 1,235.7 | 74.2 | 15,726.0 | 2,926.8 | |
| | | 은하면 | 장척 | 1,833.0 | 385.5 | 119,240.8 | 26,891.4 | 2,384.2 | 155.9 | 123,458.0 | 27,432.8 |
| | | 장곡면 | 화계 | 725.9 | 152.7 | 13,462.4 | 2,566.2 | 621.1 | 38.6 | 14,809.3 | 2,757.5 |
| 광성 | 1,166.0 | | 245.2 | 17,265.0 | 2,523.7 | 2,495.0 | 128.0 | 20,926.0 | 2,897.0 | | |
| 오성 | 707.8 | | 148.9 | 34,717.8 | 8,567.9 | 1,332.0 | 74.7 | 36,757.6 | 8,791.4 | | |
| 죽전 | 477.5 | | 100.4 | 33,000.5 | 10,538.6 | 1,461.3 | 101.0 | 34,939.3 | 10,740.0 | | |
| 가송 | 984.4 | | 207.0 | 74,701.8 | 22,096.9 | 1,057.3 | 68.6 | 76,743.5 | 22,372.6 | | |
| 보령시 | 천북면 | | 하만 | 3,408.6 | 716.9 | 407,819.7 | 82,833.0 | 1,331.7 | 75.5 | 412,560.0 | 83,625.4 |
| | | | 낙동 | 2,811.8 | 591.4 | 436,143.9 | 45,312.0 | 3,348.3 | 215.6 | 442,304.0 | 46,119.0 |
| | | | 신덕 | 1,157.0 | 243.3 | 187,088.7 | 43,814.5 | 1,522.9 | 91.0 | 189,768.5 | 44,148.8 |
| | | | 신죽 | 1,583.0 | 332.9 | 407,133.3 | 139,700.4 | 2,411.5 | 158.9 | 411,127.8 | 140,192.8 |
| | | | 오천면 | 소성 | 2,817.4 | 592.6 | 1,854.6 | 260.1 | 580.6 | 27.8 | 5,252.7 |
| | 교성 | 2,057.6 | 432.8 | 72,099.6 | 16,285.3 | 1,337.7 | 82.0 | 75,494.9 | 16,800.0 | | |
| | 청소면 | 진죽 | 4,029.8 | 847.6 | 341,816.0 | 19,344.4 | 2,969.1 | 194.5 | 348,814.9 | 20,386.4 | |
| | | 신송 | 1,284.8 | 270.2 | 163,194.5 | 59,216.9 | 2,183.2 | 145.0 | 166,662.5 | 59,632.2 | |
| | | 재정 | 1,025.1 | 215.6 | 138,218.1 | 34,587.6 | 1,573.3 | 93.2 | 140,816.5 | 34,896.4 | |
| | | 죽림 | 2,113.6 | 444.5 | 84,369.2 | 33,983.2 | 2,616.1 | 157.9 | 89,098.9 | 34,585.7 | |
| 성연 | | 885.4 | 186.2 | 10,263.8 | 562.1 | 2,700.1 | 118.9 | 13,849.3 | 867.2 | | |
| 합계 | 정전 | 1,057.4 | 222.4 | 89,728.2 | 4,450.9 | 1,833.7 | 105.2 | 92,619.3 | 4,778.5 | | |
| | 야현 | 1,003.6 | 211.1 | 46,041.5 | 2,592.9 | 964.7 | 58.6 | 48,009.9 | 2,862.6 | | |
| | 장곡 | 1,266.1 | 266.3 | 9,966.1 | 3,071.4 | 3,254.5 | 214.4 | 14,486.8 | 3,552.1 | | |
| | 합계 | 84,731.2 | 17,820.9 | 3,405,696.2 | 787,963.2 | 62,609.7 | 3,813.8 | 3,553,037.2 | 809,597.9 | | |

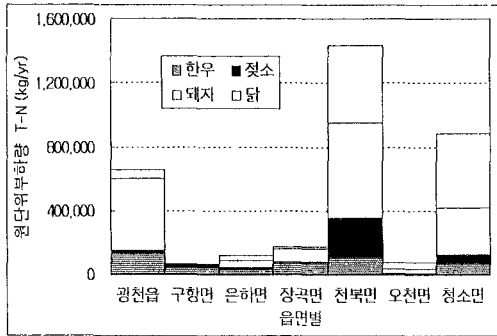


(a) T-N

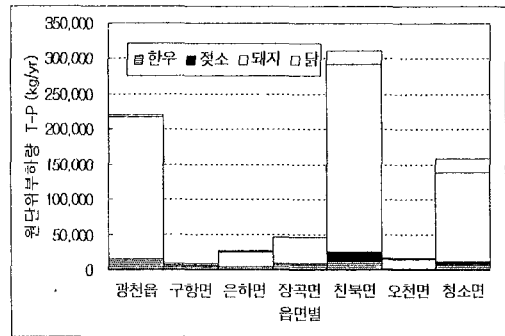


(b) T-P

<그림 7-13> 읍면별 인구 원단위 발생부하량

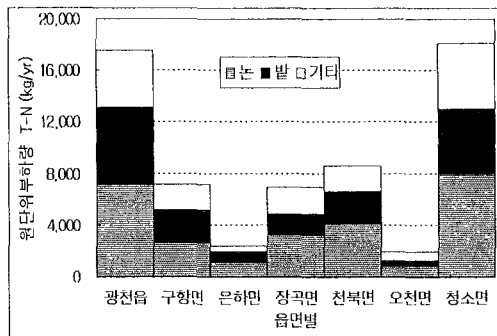


(a) T-N

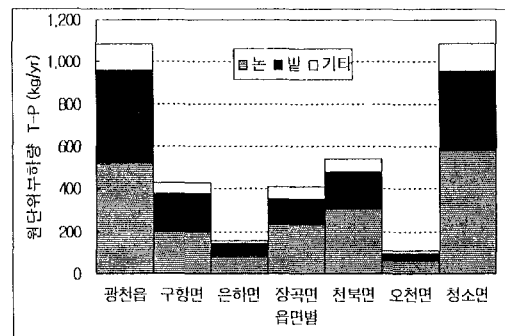


(b) T-P

<그림 7-14> 읍면별 가축 원단위 발생부하량

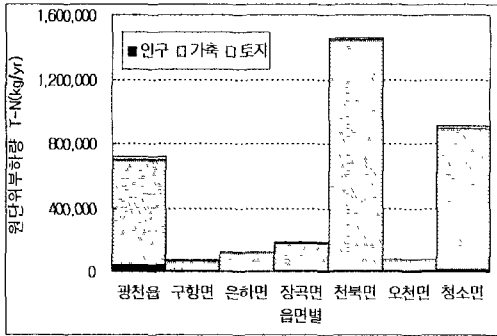


(a) T-N

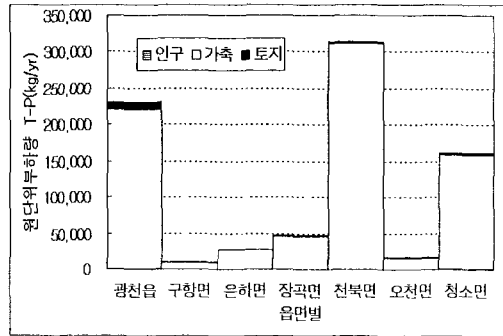


(b) T-P

<그림 7-15> 읍면별 토지이용 원단위 발생부하량



(a) T-N



(b) T-P

<그림 7-16> 읍면별 전체 원단위 발생부하량

3. 소유역별 원단위법에 의한 발생오염부하량 산정

가. 인구

보령 담수호 유역내 소유역별 인구에 의한 원단위 오염부하량을 조사한 결과는 (표 7-16)에 정리한 바와 같다. 보령 담수호 유역을 대상으로 하였을 때 인구에 의한 전체 원단위 오염부하량은 전질소 84,732 kg/yr, 전인산 17,821 kg/ha로 나타났다. 이 가운데 WS#5 및 WS#6 유역이 인구밀도가 높아 원단위 오염부하량이 높게 나타나고 있었다. WS#5의 경우 전질소 25,603 kg/yr, 전인산 5,384 kg/yr, WS#6 전질소 27,413 kg/yr, 전인산 5,765 kg/yr로 각각 인구에 의한 전체 원단위 오염부하량의 62%를 차지하고 있었다. <그림 7-13>

나. 가축

축산활동에 의한 전체 원단위 오염부하량은 전질소 3,405,696 kg/yr, 전인산 787,963 kg/ha로 나타났다. (표 7-17), (표 7-18) 이 가운데 WS#1, WS#2, WS#3, WS#6, WS#8 유역에서 대규모 축산활동이 이루어지고 있는 관계로 원단위 오염부하량이 높게 나타나고 있었다. 질소의 경우 WS#6에서 708,961 kg/yr, WS#3 유역에서 594,220 kg/yr, WS#8 유역에서 569,915 kg/yr로 매우 높게 나타났다. 인산의 경우 WS#6 유역에서 228,088 kg/yr, WS#3 유역에서 183,514 kg/yr, WS#7 유역에서 149,042 kg/yr로 매우 높게 나타났다. 질소와 인산의 원단위 오염부하량이 각 유역별로 가축사육 형태에 따라 그 양이 다르게 나타나고 있는 것으로 나타났다.

가축에 대한 소유역별 원단위 오염부하량 비율을 보면 T-N의 경우 WS#6 유역이 전체의 20.8%, WS#3 17.4%, WS#8 16.7%, WS#7 12.9%이며, T-P의 경우에는 T-N과 비슷하게 WS#6 28.9%, WS#3 23.3%, WS#7 18.9%, WS#1 10.5%의 순으로 나타났다. <그림 7-14>

다. 토지이용

보령 담수호 유역을 대상으로 하였을 때 토지이용에 의한 전체 원단위 오염부하량은 전질소 62,609 kg/yr, 전인산 3,814 kg/ha로 나타났다. (표 7-19), (표 7-20) 이 가운데 WS#5, WS#6 및 WS#8 유역에서 논농사가 활발히 이루어지고 있는 관계로 원단위 오염부하량이 높게 나타나고 있었다. 질소의 경우 WS#5에서 12,397 kg/yr, WS#6에서 17,921 kg/yr, WS#8에서 13,059 kg/yr로 매우 높게 나타났다. 인산의 경우 WS#5에서 750 kg/yr, WS#6에서 1,092 kg/yr, WS#8에서 774 kg/yr로 매우 높게 나타났다. 질소와 인산의 원단위 오염부하량이 각 유역별로 논과 밭으로의 이용형태에 따라 그 양이 다르게 나타나고 있는 것으로 나타났다.

토지이용에 대한 소유역별 원단위 오염부하량 비율을 보면 T-N의 경우 WS#6 유역이 전체의 28.6%, WS#8 20.9%, WS#5 19.8%이며, T-P의 경우에는 T-N과 비슷하게 WS#6 28.6%, WS#8 20.3%, WS#5 19.7%의 순으로 나타났다. <그림 7-15>

라. 소유역별 원단위법에 의한 발생오염부하량의 총괄

보령 담수호 유역 전체를 대상으로 하였을 때 원단위 오염부하량은 전질소 3,553,037 kg/yr, 전인산 809,597 kg/yr로 나타났다. (표 7-21) 이 가운데 인구에 의한 원단위 오염부하량은 전질소 84,731 kg/yr, 전인산 17,820 kg/yr로 각각 전체 원단위 오염부하량의 2.38% 와 2.20%를 차지하고 있었다. 축산활동에 의한 원단위 오염부하량은 전질소 3,405,696 kg/yr, 전인산 787,963 kg/yr 로 각각 전체 원단위 오염부하량의 95.85% 와 97.33%를 차지하고 있었다. 토지이용에 의한 원단위 오염부하량은 전질소 62,609 kg/yr, 전인산 3,813 kg/yr로 각각 전체 원단위 오염부하량의 1.76% 와 0.47%를 차지하고 있었다.

인구, 가축 및 토지이용 전체에 대한 소유역별 원단위 오염부하량 비율을 보면 T-N의 경우 WS#6 유역이 전체의 21.2%, WS#3 16.9%, WS#8 16.7%이며, 단위면적당으로 보면 WS#1이 1283.2 kg/yr/ha, WS#3 836.1 kg/yr/ha, WS#2 732.8 kg/yr/ha의 순이다. T-P의 경우 전체 원단위 오염부하량은 T-N과 비슷하게 WS#6 29.0%, WS#3 22.8%, WS#7 18.7%이며, 단위

면적당으로 보면 천북면이 위치한 WS#1 유역과 WS#3 유역이 각각 260.1 kg/yr/ha 및 256.5 kg/yr/ha, 그리고 WS#7 유역의 98.6 kg/yr/ha의 순으로 나타났다. <그림 7-16>

(표 7-16) 소유역별 인구에 대한 원단위 발생오염부하량

| 소유역 | 평균인구 (5년) | 오염부하량(kg/yr) | |
|------|--------------|--------------|----------|
| | | T-N | T-P |
| WS#1 | 1,205 | 3,408.6 | 716.9 |
| WS#2 | 994 | 2,811.8 | 591.4 |
| WS#3 | 969 | 2,741.1 | 576.5 |
| WS#4 | 648 | 1,833.0 | 385.5 |
| WS#5 | 9,051 | 25,603.0 | 5,384.9 |
| WS#6 | 9,691 | 27,413.4 | 5,765.7 |
| WS#7 | 2,758 | 7,801.7 | 1,640.9 |
| WS#8 | 3,642 | 10,302.3 | 2,166.8 |
| WS#9 | 996 | 2,817.4 | 592.6 |
| 합 계 | 29,954 | 84,732.4 | 17,821.1 |

(표 7-17) 소유역별 가축에 대한 원단위 발생오염부하량 (T-N)
(단위 : kg/yr)

| 소유역 | 한우 | 젖소 | 돼지 | 닭 | 소 계 |
|------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| WS#1 | 36,975.3 | 167,233.1 | 153,722.7 | 49,888.6 | 407,819.7 |
| WS#2 | 33,766.5 | 64,799.3 | 60,221.2 | 277,356.9 | 436,143.9 |
| WS#3 | 43,906.3 | 6,281.9 | 387,752.3 | 156,281.5 | 594,222.0 |
| WS#4 | 38,379.3 | 2,580.7 | 47,856.4 | 30,424.4 | 119,240.8 |
| WS#5 | 76,022.1 | 8,217.3 | 37,445.4 | 4,941.7 | 126,626.5 |
| WS#6 | 171,384.5 | 14,261.5 | 464,433.2 | 58,881.9 | 708,961.1 |
| WS#7 | 50,685.3 | 26,089.5 | 316,129.6 | 48,008.1 | 440,912.5 |
| WS#8 | 41,043.1 | 25,336.8 | 48,452.6 | 455,082.7 | 569,915.2 |
| WS#9 | 1,500.7 | 0.0 | 193.3 | 160.6 | 1,854.6 |
| 합 계 | 493,663.2 | 314,800.0 | 1,516,206.7 | 1,081,026.5 | 3,405,696.2 |

(표 7-18) 소유역별 가축에 대한 원단위 발생오염부하량 (T-P)
(단위 : kg/yr)

| 소유역 | 한우 | 젖소 | 돼지 | 닭 | 소 계 |
|------|----------|----------|-----------|----------|-----------|
| WS#1 | 4,134.9 | 8,520.7 | 68,098.6 | 2,078.7 | 82,833.0 |
| WS#2 | 3,776.1 | 3,301.6 | 26,677.8 | 11,556.5 | 45,312.0 |
| WS#3 | 4,910.0 | 320.1 | 171,773.0 | 6,511.7 | 183,514.8 |
| WS#4 | 4,292.0 | 131.5 | 21,200.3 | 1,267.7 | 26,891.4 |
| WS#5 | 8,501.5 | 418.7 | 16,588.2 | 205.9 | 25,714.3 |
| WS#6 | 19,165.9 | 726.6 | 205,742.4 | 2,453.4 | 228,088.4 |
| WS#7 | 5,668.1 | 1,329.3 | 140,044.4 | 2,000.3 | 149,042.1 |
| WS#8 | 4,589.8 | 1,290.9 | 21,464.3 | 18,961.8 | 46,306.9 |
| WS#9 | 167.8 | 0.0 | 85.6 | 6.7 | 260.1 |
| 합 계 | 55,206.3 | 16,039.5 | 671,674.6 | 45,042.8 | 787,963.2 |

(표 7-19) 소유역별 토지이용에 대한 원단위 발생오염부하량 (T-N)

(단위 : kg/yr)

| 소유역 | 논 | 밭 | 임야 | 대지 | 기타 | 소 계 |
|------|----------|-----------|----------|---------|---------|----------|
| WS#1 | 648.9 | 233.0 | 404.3 | 25.0 | 20.5 | 1,331.7 |
| WS#2 | 1,715.4 | 989.1 | 389.1 | 78.8 | 175.9 | 3,348.3 |
| WS#3 | 1,820.8 | 1,204.3 | 256.0 | 148.1 | 505.2 | 3,934.4 |
| WS#4 | 1,148.1 | 808.8 | 184.5 | 97.4 | 145.4 | 2,384.2 |
| WS#5 | 5,267.7 | 3,726.8 | 2,287.7 | 762.9 | 351.9 | 12,397.0 |
| WS#6 | 7,475.5 | 5,789.07 | 3,447.5 | 597.4 | 610.9 | 17,921.0 |
| WS#7 | 3,386.4 | 2,405.9 | 1,316.9 | 254.1 | 289.4 | 7,652.7 |
| WS#8 | 5,615.5 | 3,541.4 | 2,790.4 | 410.4 | 702.1 | 13,059.8 |
| WS#9 | 196.5 | 79.1 | 265.6 | 9.7 | 29.7 | 580.6 |
| 합 계 | 27,274.8 | 18,777.47 | 11,342.0 | 2,383.8 | 2,831.0 | 62,609.7 |

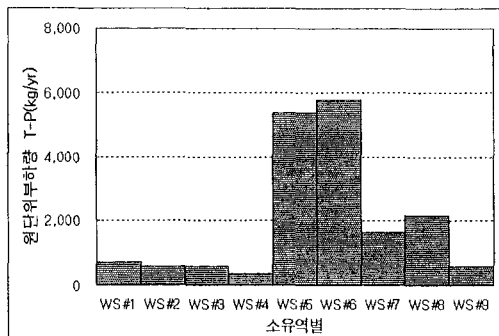
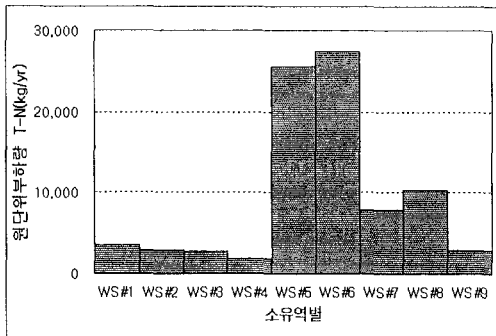
(표 7-20) 소유역별 토지이용에 대한 원단위 발생오염부하량 (T-P)

(단위 : kg/yr)

| 소유역 | 논 | 밭 | 임야 | 대지 | 기타 | 소 계 |
|------|---------|---------|-------|------|-------|---------|
| WS#1 | 47.3 | 17.0 | 9.6 | 0.9 | 0.7 | 75.5 |
| WS#2 | 125.2 | 72.2 | 9.2 | 2.8 | 6.2 | 215.6 |
| WS#3 | 132.9 | 87.8 | 6.0 | 5.3 | 17.9 | 249.9 |
| WS#4 | 83.8 | 59.0 | 4.4 | 3.5 | 5.2 | 155.9 |
| WS#5 | 384.5 | 271.8 | 54.0 | 27.2 | 12.5 | 750.0 |
| WS#6 | 545.5 | 422.3 | 81.5 | 21.2 | 21.7 | 1,092.2 |
| WS#7 | 247.2 | 175.6 | 31.1 | 9.0 | 10.4 | 473.3 |
| WS#8 | 409.7 | 258.5 | 65.9 | 14.5 | 25.0 | 773.6 |
| WS#9 | 14.3 | 5.8 | 6.3 | 0.3 | 1.1 | 27.8 |
| 합 계 | 1,990.4 | 1,370.0 | 268.0 | 84.7 | 100.7 | 3,813.8 |

(표 7-21) 소유역별 전체 원단위 및 단위면적당 발생오염부하량

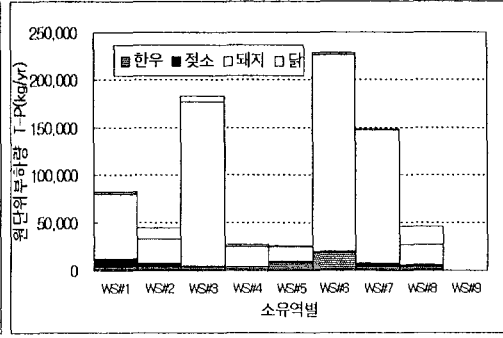
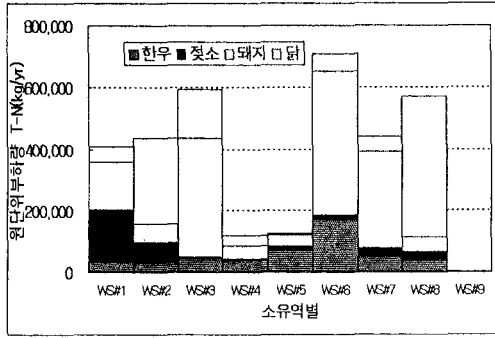
| 구 분 | T-N | | | T-P | | |
|------|---------------------|-----------|----------------------------|---------------------|-----------|----------------------------|
| | 원단위 총부하량 (kg) | 비율 (%) | 단위면적당 부하량 (kg/yr/ha) | 원단위 총부하량 (kg) | 비율 (%) | 단위면적당 부하량 (kg/yr/ha) |
| WS#1 | 412,560.0 | 11.6 | 1,283.2 | 83,625.4 | 10.3 | 260.1 |
| WS#2 | 442,304.0 | 12.5 | 732.8 | 46,119.0 | 5.7 | 76.4 |
| WS#3 | 600,896.3 | 16.9 | 836.1 | 184,341.1 | 22.8 | 256.5 |
| WS#4 | 123,458.0 | 3.5 | 301.5 | 27,432.8 | 3.4 | 67.0 |
| WS#5 | 164,627.6 | 4.6 | 63.3 | 31,849.4 | 3.9 | 12.3 |
| WS#6 | 754,295.0 | 21.2 | 203.2 | 234,946.1 | 29.0 | 63.3 |
| WS#7 | 456,368.6 | 12.8 | 297.7 | 151,156.6 | 18.7 | 98.6 |
| WS#8 | 593,275.0 | 16.7 | 206.9 | 49,246.8 | 6.1 | 17.2 |
| WS#9 | 5,252.6 | 0.2 | 29.4 | 880.5 | 0.1 | 4.9 |
| 합 계 | 3,553,037.1 | 100.0 | 274.5 | 809,597.7 | 100.0 | 62.5 |



(a) T-N

(b) T-P

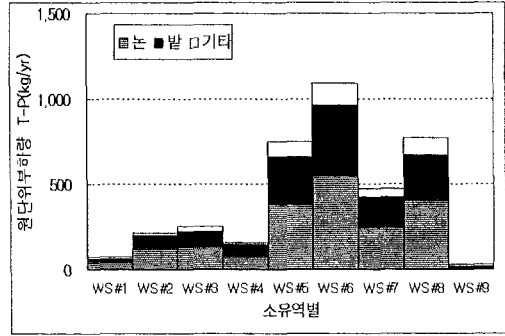
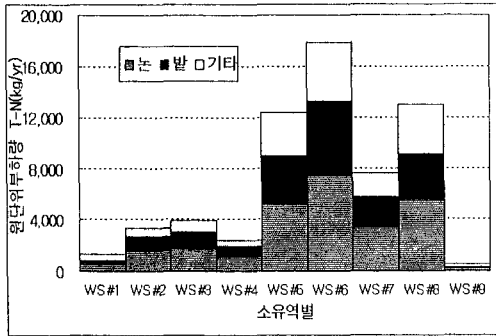
<그림 7-17> 소유역별 인구 원단위 발생부하량



(a) T-N

(b) T-P

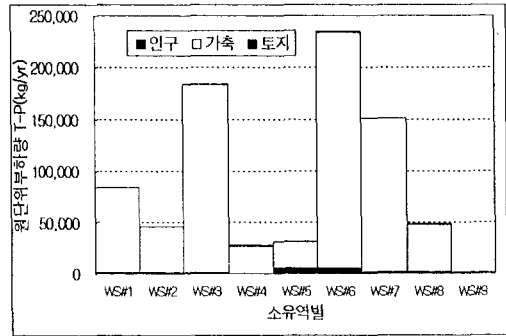
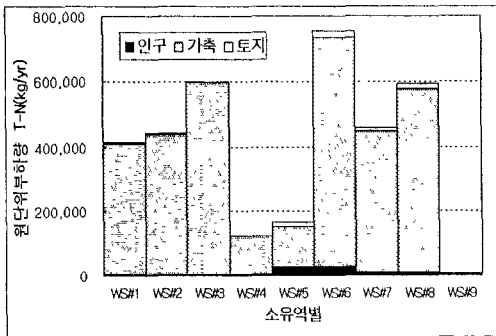
<그림 7-18> 소유역별 가축 원단위 발생부하량



(a) T-N

(b) T-P

<그림 7-19> 소유역별 토지이용 원단위 발생부하량



(a) T-N

(b) T-P

<그림 7-20> 소유역별 전체 원단위 발생부하량

제3절 하천 유출 오염부하량

1. 측정지점별 유출 오염부하량

오염원에서 배출되는 발생오염부하량이 수용 수체(water body)에 도달하는 양인 유출오염부하량을 계산하기 위해서는 먼저 오염원 현황에다 오염원별 원단위를 곱해서 발생 오염부하량을 구하고, 여기에 유달률과 정화율을 곱하여 유출오염부하량을 얻는다. 여기서,

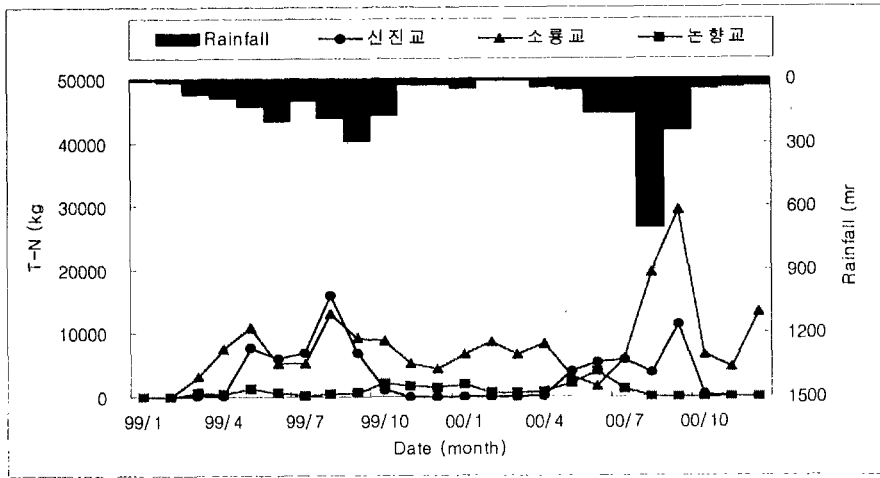
유달율 = 하천 상류지점의 오염부하량 / 발생오염부하량

정화율 = 하천하류 도달 오염부하량 / 하천 상류지점의 오염부하량

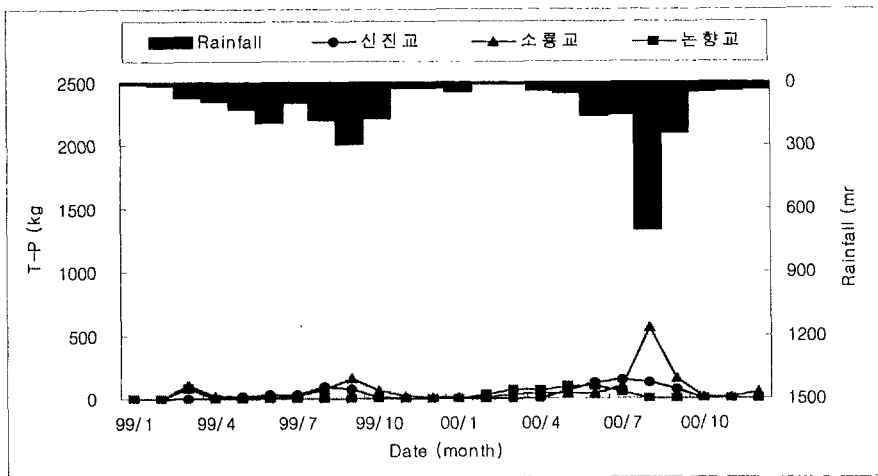
유출율 = 유달율 × 정화율 = 하천하류 도달 오염부하량 / 발생오염부하량

하천에서의 오염부하량을 산정하는데 있어 각 수위 및 수질측정 지점의 유량에 수질분석에 얻어진 T-N, T-P값을 곱하여 각 측정에서의 일별 부하량을 계산하였고, 이를 월별로 보령 담수호로 유입되는 하천 유출 오염부하량으로 정리하였다. 그리고 오염원별 원단위법에 의해 계산된 발생 오염부하량과 비교하였다.

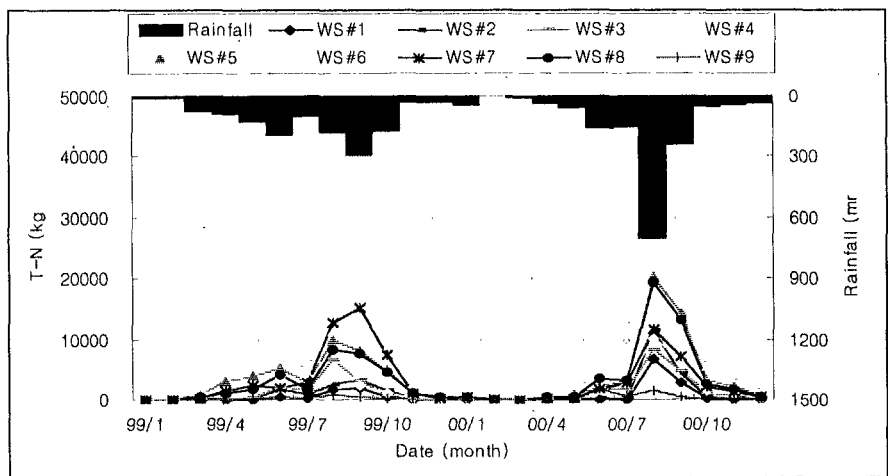
<그림 7-21>에서 <그림 7-24>까지는 1999년에서 2000년까지의 주요 측정지점별 유출 오염부하량과 TANK 모형으로부터 얻은 유출량과 수질분석자료를 이용하여 산정된 유출 오염부하량을 월별로 나타낸 것이다.



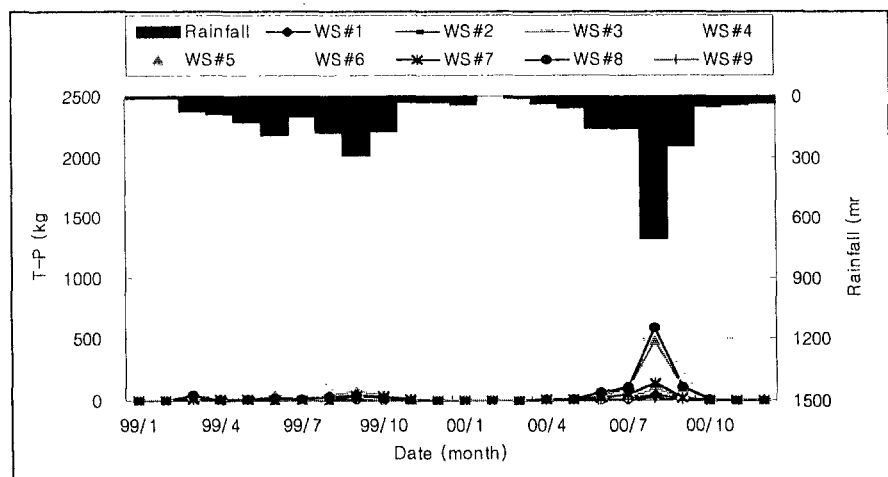
<그림 7-21> 신진교, 소룡교 및 논향교 지점의 T-N 유출 오염부하량 (1999~2001년)



<그림 7-22> 신진교, 소룡교 및 논향교 지점의 T-P 유출 오염부하량 (1999~2001년)



<그림 7-23> 소유역별 하류지점의 T-N 유출 오염부하량 (1999~2001년)



<그림 7-24> 소유역별 하류지점의 T-P 유출 오염부하량 (1999~2001년)

(표 7-22) 주요 하천지점의 월별 T-N 및 T-P 유출 오염부하량
(1999~2001년)

| 연도 | 월별 | T-N (kg/yr) | | | T-P (kg/yr) | | |
|------|----|-------------|-----------|----------|-------------|---------|-------|
| | | 신진교 | 소룡교 | 논향교 | 신진교 | 소룡교 | 논향교 |
| 1999 | 1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 3 | 106.0 | 3,249.6 | 680.3 | 4.2 | 106.2 | 82.2 |
| | 4 | 166.8 | 7,483.0 | 435.1 | 1.0 | 19.9 | 4.2 |
| | 5 | 7,739.0 | 11,018.1 | 1,277.7 | 25.0 | 18.4 | 1.6 |
| | 6 | 6,158.0 | 5,354.2 | 649.4 | 35.8 | 15.3 | 1.5 |
| | 7 | 6,834.6 | 5,221.9 | 313.8 | 35.2 | 22.8 | 1.0 |
| | 8 | 15,934.5 | 13,033.3 | 469.5 | 93.6 | 72.8 | 2.4 |
| | 9 | 6,907.3 | 9,168.8 | 733.0 | 77.4 | 155.0 | 4.5 |
| | 10 | 1,077.9 | 8,792.0 | 2,039.8 | 7.6 | 66.0 | 3.5 |
| | 11 | 11.8 | 5,162.9 | 1,695.6 | 0.0 | 24.0 | 2.4 |
| | 12 | 4.1 | 4,459.2 | 1,544.1 | 0.0 | 8.5 | 3.7 |
| 합 계 | | 44,940.0 | 72,943.0 | 9,838.4 | 279.7 | 508.9 | 106.9 |
| 2000 | 1 | 13.9 | 6,779.4 | 1,857.4 | 0.0 | 9.5 | 5.1 |
| | 2 | 5.3 | 8,710.7 | 581.5 | 0.0 | 15.5 | 29.7 |
| | 3 | 13.8 | 6,678.8 | 535.1 | 0.1 | 30.6 | 72.1 |
| | 4 | 278.3 | 8,472.9 | 790.9 | 2.5 | 42.9 | 62.2 |
| | 5 | 3,931.2 | 3,148.2 | 2,023.6 | 61.7 | 46.1 | 97.9 |
| | 6 | 5,417.5 | 1,690.5 | 4,069.8 | 129.7 | 46.2 | 101.5 |
| | 7 | 5,789.0 | 6,055.3 | 1,198.4 | 144.2 | 96.1 | 55.9 |
| | 8 | 3,713.5 | 19,444.0 | 0.0 | 131.5 | 562.5 | 0.0 |
| | 9 | 11,325.6 | 29,316.3 | 0.0 | 69.3 | 161.9 | 0.0 |
| | 10 | 330.3 | 6,651.8 | 0.0 | 1.1 | 14.7 | 0.0 |
| | 11 | 5.4 | 4,545.2 | 0.0 | 0.0 | 8.3 | 0.0 |
| | 12 | 3.1 | 13,216.9 | 0.0 | 0.0 | 51.1 | 0.0 |
| 합 계 | | 30,826.9 | 114,710.1 | 11,056.7 | 540.1 | 1,085.3 | 424.4 |
| 2001 | 1 | 3.9 | 12,848.8 | 0.0 | 0.0 | 49.5 | |
| | 2 | 13.6 | 7,279.8 | 0.0 | 0.0 | 24.0 | |
| | 3 | 16.5 | 8,153.8 | 0.0 | 0.1 | 19.1 | |
| | 4 | 11.1 | 8,234.3 | 0.0 | 0.1 | 14.1 | |
| | 5 | 47.5 | 7,986.6 | 0.0 | 0.4 | 13.7 | |
| | 6 | | 2,663.9 | 0.0 | 0.0 | 4.6 | |
| | 7 | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| | 8 | | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | |
| | 9 | | 0.0 | 0.0 | | 0.0 | |
| 합 계 | | 92.6 | 47,167.2 | 0.0 | 0.6 | 125.0 | |

2. 소유역별 유출오염부하량

(표 7-23) 소유역별·월별 T-N 유출 오염부하량 (1999~2001년)

| 연도 | 월별 | 소유역별 T-N (kg/yr) | | | | | | | | | 소계 |
|------|----|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|-----------|
| | | WS#1 | WS#2 | WS#3 | WS#4 | WS#5 | WS#6 | WS#7 | WS#8 | WS#9 | |
| 1999 | 1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 3 | 17.0 | 47.7 | 155.3 | 629.8 | 896.7 | 1837.5 | 161.4 | 506.8 | 50.0 | 4,302.1 |
| | 4 | 28.0 | 80.8 | 326.9 | 999.5 | 2,982.1 | 6162.5 | 1455.7 | 1,019.6 | 93.2 | 13,148.3 |
| | 5 | 67.8 | 280.8 | 533.4 | 1,804.0 | 3,963.6 | 8175.5 | 2463.6 | 1,775.0 | 150.6 | 19,214.3 |
| | 6 | 476.0 | 1,732.8 | 2,175.3 | 3,769.3 | 5,370.8 | 9781.7 | 1927.9 | 4,258.1 | 381.3 | 29,873.2 |
| | 7 | 329.1 | 860.2 | 1,478.1 | 2,114.9 | 2,973.3 | 4660.3 | 2883.4 | 1,819.9 | 222.9 | 17,342.2 |
| | 8 | 1,662.9 | 2,628.7 | 6,721.4 | 10,898.4 | 9,868.9 | 18011.7 | 12850.8 | 8,278.8 | 862.2 | 71,783.8 |
| | 9 | 2,057.5 | 3,309.2 | 2,997.0 | 2,393.1 | 8,201.7 | 16632.7 | 15192.3 | 7,809.7 | 515.5 | 59,108.8 |
| | 10 | 529.5 | 1,461.9 | 921.4 | 1,118.1 | 4,920.9 | 8766.4 | 7472.0 | 4,706.8 | 216.9 | 30,113.9 |
| | 11 | 93.6 | 237.7 | 143.4 | 203.8 | 1,125.7 | 1559.9 | 1039.8 | 1,112.9 | 37.2 | 5,554.0 |
| | 12 | 35.9 | 91.2 | 47.6 | 58.2 | 528.2 | 634.1 | 236.8 | 517.5 | 21.1 | 2,170.4 |
| 합계 | | 5,297.2 | 10,730.9 | 15,499.9 | 23,989.0 | 40,831.9 | 76222.4 | 45683.8 | 31,805.0 | 2,550.9 | 252,611.1 |
| 2000 | 1 | 9.7 | 25.5 | 87.8 | 123.5 | 546.2 | 790.4 | 343.0 | 520.1 | 47.5 | 2,493.7 |
| | 2 | 0.6 | 1.5 | 4.5 | 8.4 | 69.8 | 121.9 | 26.4 | 23.7 | 0.9 | 257.7 |
| | 3 | 0.0 | 0.0 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.3 |
| | 4 | 7.5 | 21.9 | 163.2 | 353.3 | 462.2 | 1,276.3 | 264.9 | 484.0 | 23.5 | 3,056.9 |
| | 5 | 10.9 | 31.7 | 110.0 | 392.3 | 903.0 | 603.5 | 161.8 | 537.3 | 108.3 | 2,858.8 |
| | 6 | 61.1 | 190.8 | 1,996.5 | 2,116.9 | 1,904.1 | 5,464.3 | 1,654.5 | 3,611.5 | 1,688.0 | 18,687.8 |
| | 7 | 92.3 | 281.7 | 1,867.8 | 3,308.3 | 3,409.3 | 9,349.4 | 2,790.3 | 3,265.6 | 578.5 | 24,943.1 |
| | 8 | 6,876.5 | 11,461.4 | 8,386.5 | 10,079.8 | 20,254.3 | 25,271.2 | 11,706.6 | 19,459.8 | 1,478.6 | 114,974.7 |
| | 9 | 2,821.2 | 4,306.3 | 4,792.0 | 7,038.2 | 14,231.6 | 18,411.4 | 7,207.4 | 13,152.7 | 371.7 | 72,332.6 |
| | 10 | 203.5 | 517.8 | 1,105.4 | 1,465.3 | 3,303.2 | 5,471.5 | 2,115.2 | 2,671.6 | 99.0 | 16,952.5 |
| | 11 | 109.3 | 298.0 | 554.5 | 1,153.6 | 2,208.6 | 3,663.7 | 1,213.8 | 1,708.5 | 51.7 | 10,961.7 |
| | 12 | 46.9 | 115.9 | 156.3 | 219.8 | 752.4 | 1,836.3 | 377.7 | 462.4 | 18.9 | 3,986.6 |
| 합계 | | 10,239.7 | 17,252.2 | 19,224.9 | 26,259.4 | 48,044.8 | 72,259.9 | 27,861.6 | 45,897.0 | 4,466.7 | 271,506.2 |
| 2001 | 1 | 21.8 | 61.6 | 524.0 | 876.7 | 1,467.9 | 4,649.9 | 1,004.0 | 939.5 | 66.9 | 9,612.3 |
| | 2 | 9.0 | 24.6 | 362.6 | 412.8 | 784.7 | 1,788.0 | 487.8 | 369.7 | 37.0 | 4,276.1 |
| | 3 | 3.7 | 9.3 | 141.7 | 163.6 | 481.6 | 1,161.7 | 247.7 | 224.5 | 14.6 | 2,448.3 |
| | 4 | 1.1 | 2.9 | 44.2 | 59.3 | 77.4 | 181.0 | 57.9 | 34.7 | 5.1 | 463.6 |
| | 5 | 0.8 | 2.3 | 34.6 | 49.2 | 77.4 | 191.5 | 53.2 | 35.3 | 4.0 | 448.4 |
| | 6 | 39.1 | 118.1 | 1,735.6 | 2,778.9 | 4,914.4 | 13,089.8 | 2,861.2 | 2,243.9 | 169.5 | 27,950.5 |
| | 7 | 128.5 | 399.7 | 5,497.2 | 9,117.0 | 14,339.7 | 37,751.5 | 8,313.8 | 6,500.6 | 501.3 | 82,549.2 |
| | 8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 합계 | | 203.9 | 618.4 | 8,340.0 | 13,457.4 | 22,143.3 | 58,813.3 | 13,025.4 | 10,348.3 | 798.4 | 127,748.4 |

(표 7-24) 소유역별·월별 T-P 유출 오염부하량 (1999~2001년)

| 연도 | 월별 | 소유역별 T-P (kg/yr) | | | | | | | | | 소계 |
|------|----|------------------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|---------|
| | | WS#1 | WS#2 | WS#3 | WS#4 | WS#5 | WS#6 | WS#7 | WS#8 | WS#9 | |
| 1999 | 1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 3 | 6.2 | 7.5 | 6.1 | 6.6 | 19.7 | 34.5 | 13.0 | 39.8 | 0.7 | 134.0 |
| | 4 | 9.9 | 12.6 | 3.8 | 4.1 | 12.9 | 13.7 | 11.7 | 5.4 | 0.5 | 74.5 |
| | 5 | 7.7 | 17.5 | 5.2 | 6.5 | 15.0 | 17.5 | 12.8 | 11.9 | 0.7 | 95.0 |
| | 6 | 4.9 | 10.3 | 4.2 | 5.6 | 39.3 | 35.3 | 4.1 | 23.1 | 1.8 | 128.3 |
| | 7 | 2.6 | 4.2 | 3.7 | 1.8 | 9.8 | 21.2 | 1.2 | 6.5 | 0.4 | 51.2 |
| | 8 | 11.9 | 10.9 | 18.1 | 7.6 | 42.9 | 106.9 | 4.9 | 32.3 | 1.4 | 236.8 |
| | 9 | 14.5 | 13.7 | 37.9 | 25.2 | 75.0 | 144.3 | 38.9 | 47.2 | 3.9 | 400.6 |
| | 10 | 2.6 | 6.2 | 14.4 | 12.8 | 40.5 | 56.6 | 29.0 | 18.0 | 1.9 | 182.2 |
| | 11 | 0.5 | 1.0 | 1.6 | 1.5 | 8.1 | 6.8 | 5.9 | 1.7 | 0.2 | 27.4 |
| | 12 | 0.2 | 0.4 | 0.5 | 0.4 | 2.4 | 1.9 | 1.9 | 0.8 | 0.1 | 8.6 |
| 합계 | | 60.8 | 84.2 | 95.6 | 72.1 | 265.6 | 438.6 | 123.5 | 186.8 | 11.5 | 1,338.7 |
| 2000 | 1 | 3.5 | 4.0 | 0.9 | 0.9 | 2.5 | 2.3 | 2.6 | 0.9 | 0.2 | 17.8 |
| | 2 | 0.2 | 0.2 | 0.0 | 0.1 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.0 | 1.4 |
| | 3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 4 | 2.2 | 3.6 | 1.9 | 5.4 | 5.2 | 4.7 | 5.8 | 5.6 | 0.9 | 35.3 |
| | 5 | 0.7 | 1.4 | 2.0 | 3.9 | 12.9 | 14.3 | 6.2 | 12.0 | 0.5 | 53.8 |
| | 6 | 3.1 | 5.1 | 14.8 | 10.0 | 35.5 | 61.5 | 24.7 | 61.9 | 8.1 | 224.7 |
| | 7 | 6.9 | 23.2 | 22.7 | 27.3 | 112.8 | 132.4 | 51.5 | 107.6 | 7.6 | 492.0 |
| | 8 | 49.3 | 47.3 | 103.4 | 171.2 | 481.0 | 725.5 | 137.7 | 593.0 | 21.4 | 2,329.9 |
| | 9 | 20.1 | 17.8 | 21.4 | 27.2 | 115.0 | 199.2 | 25.3 | 111.3 | 3.7 | 541.0 |
| | 10 | 1.0 | 2.2 | 2.4 | 3.1 | 10.8 | 11.9 | 2.9 | 6.9 | 0.7 | 41.9 |
| | 11 | 0.5 | 1.3 | 1.3 | 1.8 | 4.7 | 6.1 | 1.5 | 3.3 | 0.5 | 21.1 |
| | 12 | 0.2 | 0.5 | 1.1 | 1.0 | 11.0 | 10.1 | 2.9 | 5.4 | 0.4 | 32.6 |
| 합계 | | 87.8 | 106.7 | 171.9 | 251.9 | 791.8 | 1,168.4 | 261.1 | 908.1 | 44.0 | 3,791.5 |
| 2001 | 1 | 7.9 | 9.7 | 3.7 | 4.1 | 21.2 | 25.5 | 7.6 | 10.9 | 1.3 | 91.8 |
| | 2 | 3.3 | 3.9 | 1.0 | 1.1 | 4.2 | 9.4 | 0.9 | 3.2 | 0.2 | 27.2 |
| | 3 | 1.3 | 1.5 | 0.4 | 0.4 | 2.8 | 6.0 | 0.5 | 2.2 | 0.1 | 15.4 |
| | 4 | 0.2 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.5 | 1.2 | 0.3 | 0.5 | 0.1 | 3.5 |
| | 5 | 0.2 | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.5 | 1.2 | 0.2 | 0.5 | 0.1 | 3.3 |
| | 6 | 414.4 | 22.1 | 7.6 | 8.8 | 34.6 | 84.9 | 12.7 | 29.4 | 2.8 | 617.1 |
| | 7 | 10.9 | 29.7 | 23.9 | 28.9 | 101.0 | 244.7 | 36.9 | 85.1 | 8.2 | 569.3 |
| | 8 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 9 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| | 합계 | | 438.2 | 67.4 | 37.0 | 43.6 | 164.9 | 372.9 | 59.2 | 131.7 | 12.8 |

3. 유역전체

보령담수호 유역의 T-N 및 T-P에 대한 유출 오염부하량을 추정하는데 사용된 원단위법에 의한 발생 오염부하량과 측정된 유출 오염부하량을 전체유역에 대하여 비교하였다. 보령지구 내 원단위법으로 계산된 발생 오염부하량은 전질소 3,553,037 kg/yr, 전인산 809,597 kg/yr로 산정되었으며, 측정된 유출 오염부하량은 1999년의 경우 전질소 252,611 kg/yr, 그리고 전인산 1,339 kg/yr로 나타났으며, 2000년에는 전질소 271,506 kg/yr, 그리고 전인산 3,792 kg/yr로 나타났다.

원단위법에 의한 발생 오염부하량에 대한 측정된 하천 유출 오염부하량을 비교한 결과, 전질소의 경우 전체 원단위 발생 오염부하량의 7.1~7.6%가, 전인산의 경우에는 전체 원단위 발생 오염부하량의 0.17~0.47%가 유출된 것으로 나타났다.

제4절 유역 오염분포도 작성

1. 행정구역별 원단위 오염 발생부하량 분포도

가. 행정구역도

행정구역 읍·면별(홍성군 : 광천읍, 은하면, 구항면, 장곡면, 보령시 : 천북면, 청소면, 오천면) 및 리·동별로 행정구역도를 작성하였다.

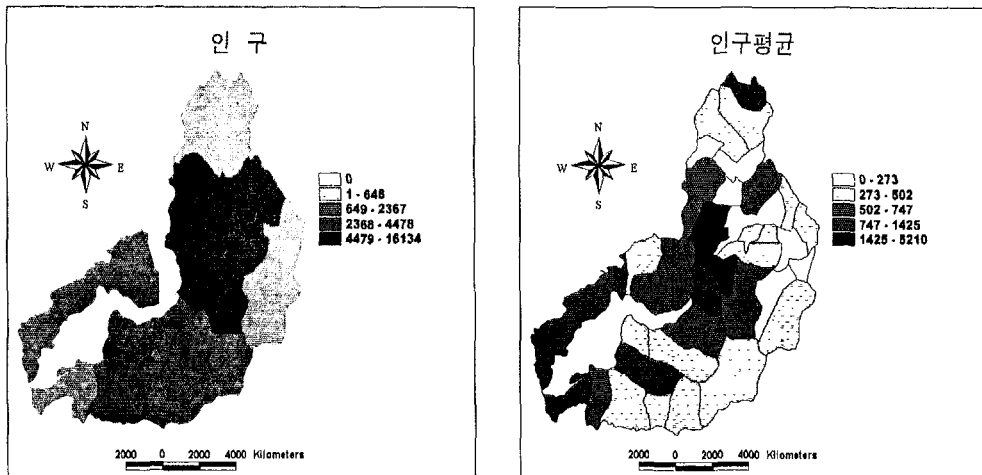


<그림 8-24> 보령유역 행정구역도

나. 행정구역별 오염원도

1) 인구

다음은 읍·면별 및 리·동별 인구 현황을 나타낸 것이다.



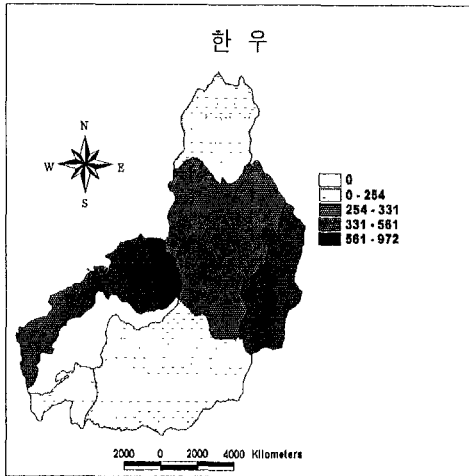
(a) 읍·면별

(b) 리·동별

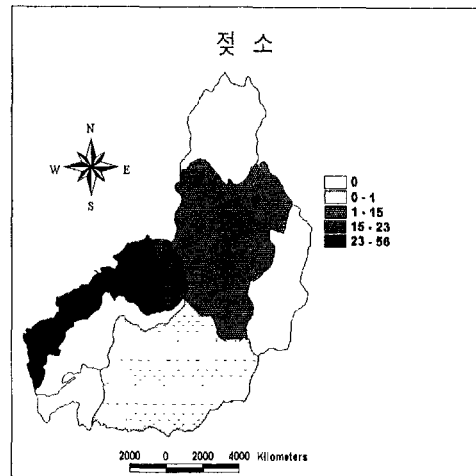
<그림 8-25> 보령유역 인구 현황

2) 가축

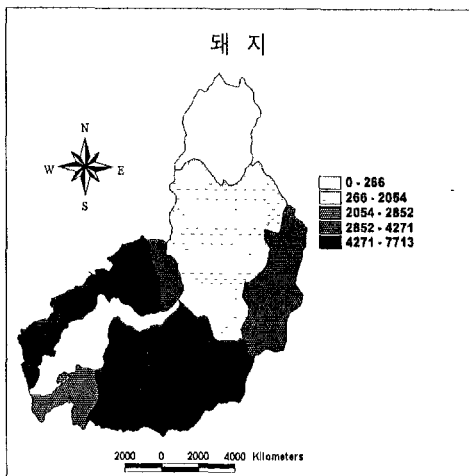
다음은 읍·면별 및 리·동별 한우, 젓소, 돼지, 닭 등의 가축사육 현황을 나타낸 것이다.



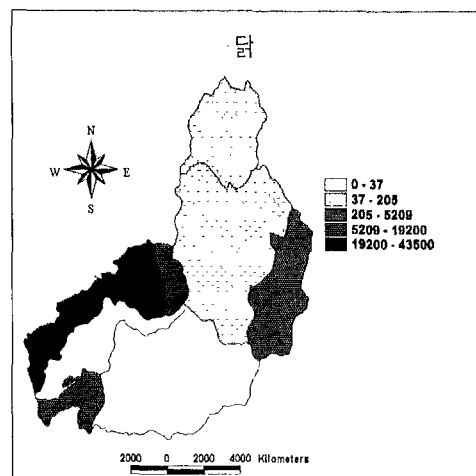
(a) 한우



(b) 젓소

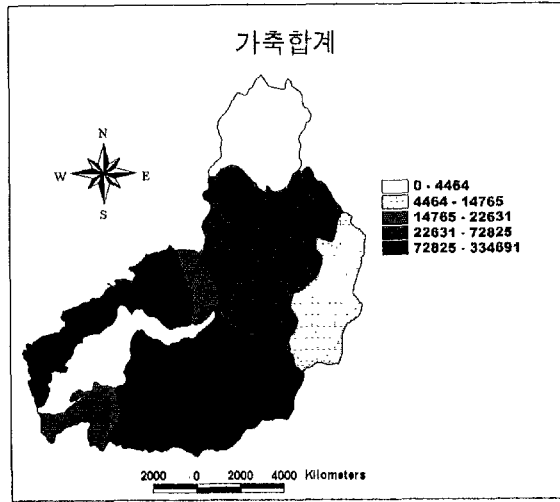


(c) 돼지

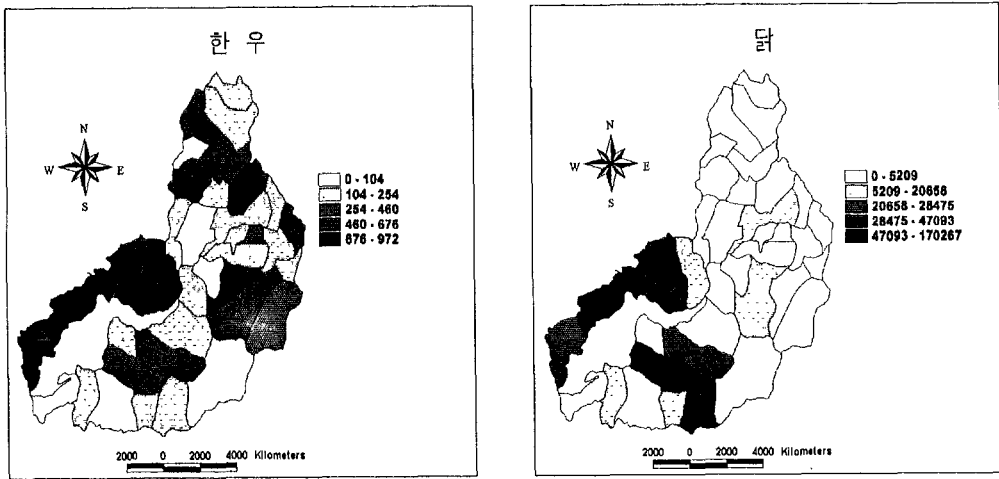


(d) 닭

<그림 8-26> 보령유역의 읍·면별 가축 현황



<그림 8-27> 보령유역의 읍·면별 가축사육 현황 (전체)



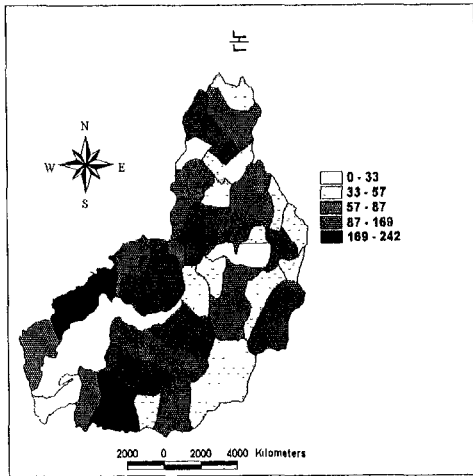
(a) 한우

(b) 닭

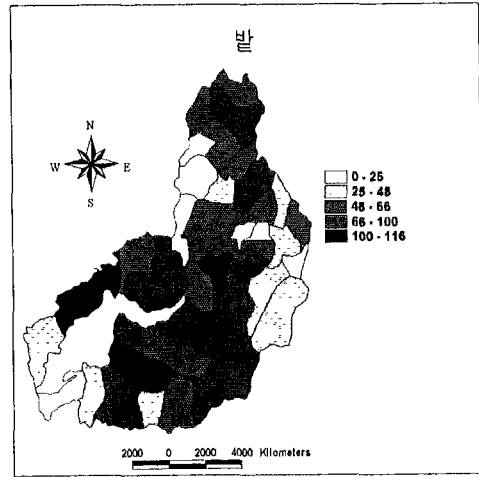
<그림 8-28> 보령유역의 리·동별 가축사육 현황 (한우, 닭)

3) 토지이용

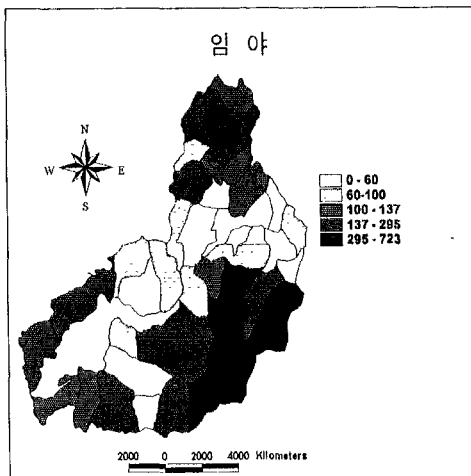
다음은 읍·면별 및 리·동별 논, 밭, 임야, 대지 등의 토지이용 현황을 나타낸 것이다.



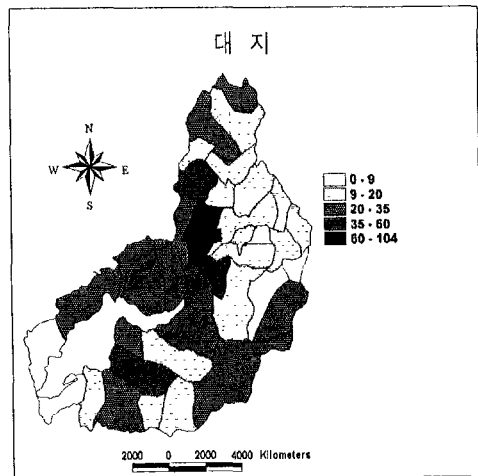
(a) 논



(b) 밭



(c) 임야



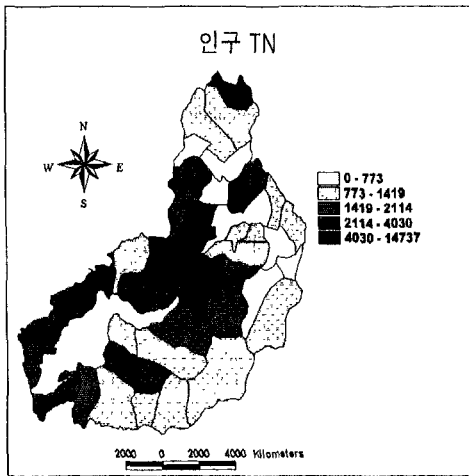
(d) 대지

<그림 8-29> 보령유역의 리·동별 토지이용

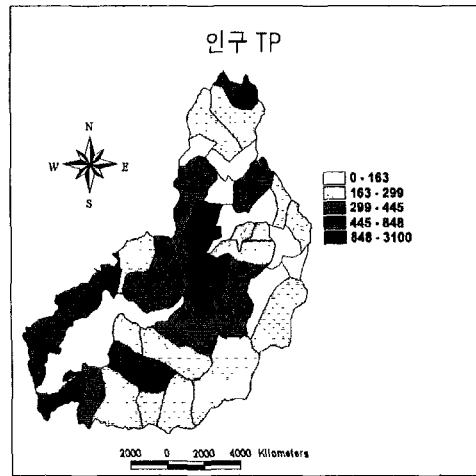
다. 행정구역별 원단위 오염 발생부하량도

1) 인구

다음은 읍·면별 및 리·동별 인구에 대하여 원단위법을 적용하여 산정한 오염 발생부하량을 나타낸 것이다.



(a) T-N

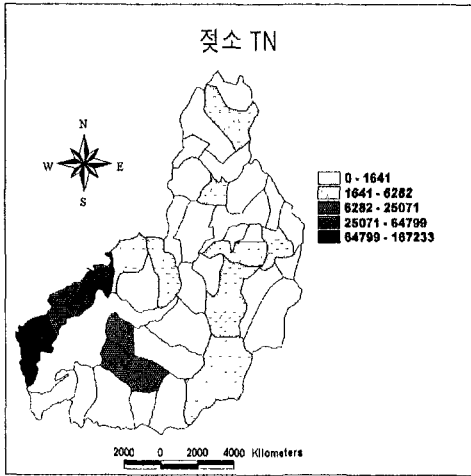


(b) T-P

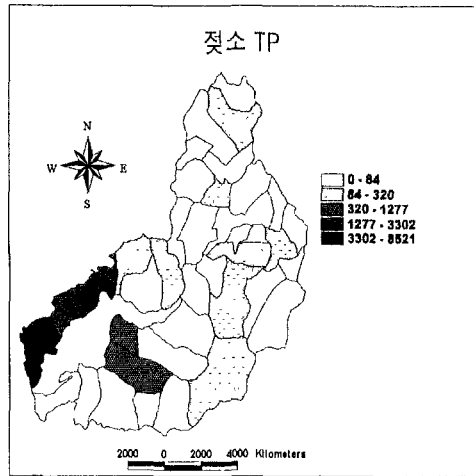
<그림 8-30> 보령유역의 리·동별 인구에 대한 원단위 오염 발생부하량 (인구)

2) 가축

다음은 읍·면별 및 리·동별 가축에 대한 원단위 오염 발생부하량을 나타낸 것이다.

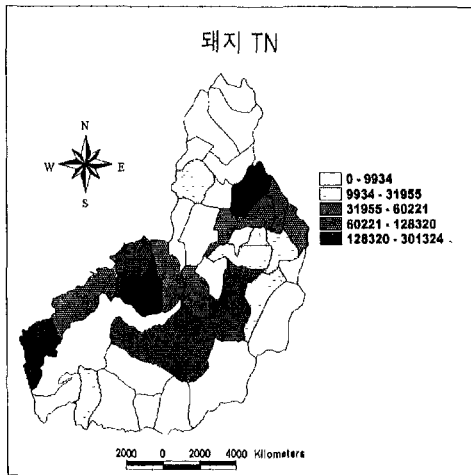


(a) T-N

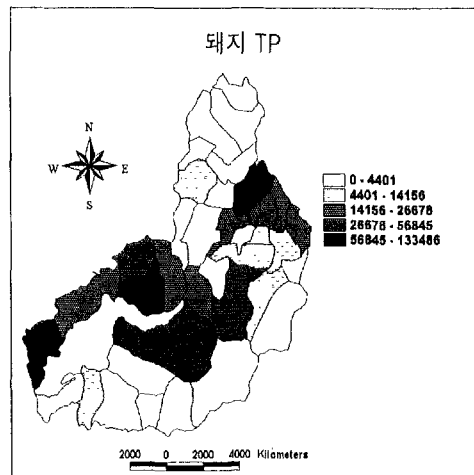


(b) T-P

<그림 8-31(a)> 보령유역의 리·동별 가축에 대한 원단위 오염 발생부하량 (젓소)

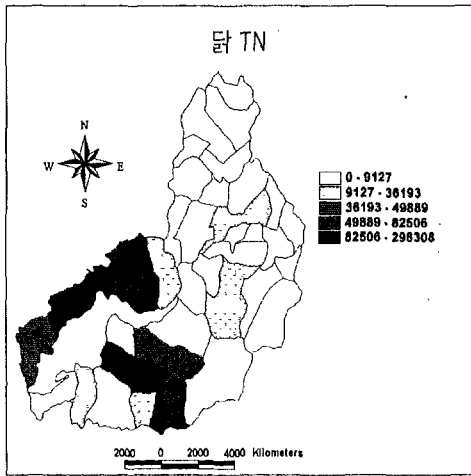


(a) T-N

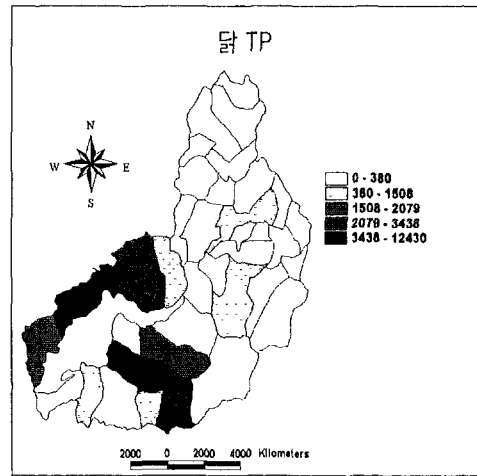


(b) T-P

<그림 8-31(b)> 보령유역의 리·동별 가축에 대한 원단위 오염 발생부하량 (돼지)



(a) T-N

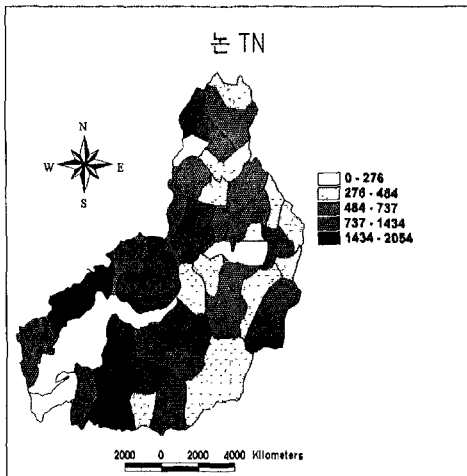


(b) T-P

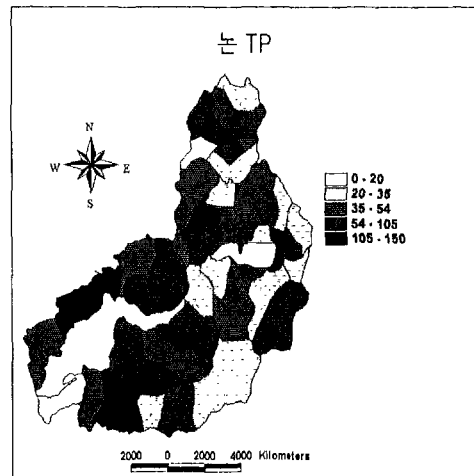
<그림 8-31(c)> 보령유역의 리·동별 가축에 대한 원단위 오염 발생부하량 (닭)

3) 토지이용

다음은 읍·면별 및 리·동별 토지이용에 대한 원단위 오염 발생부하량을 나타낸 것이다

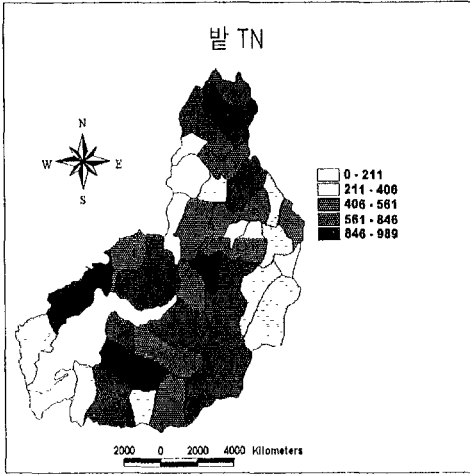


(a) T-N

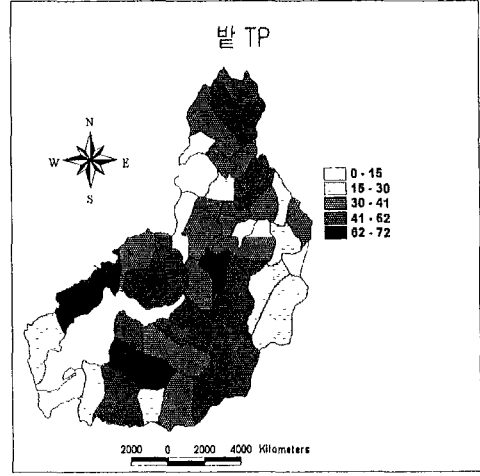


(b) T-P

<그림 8-32(a)> 보령유역의 리·동별 토지이용에 대한 원단위 오염 발생부하량 (논)

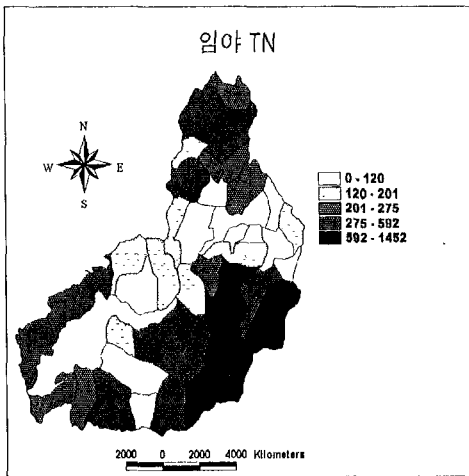


(a) T-N

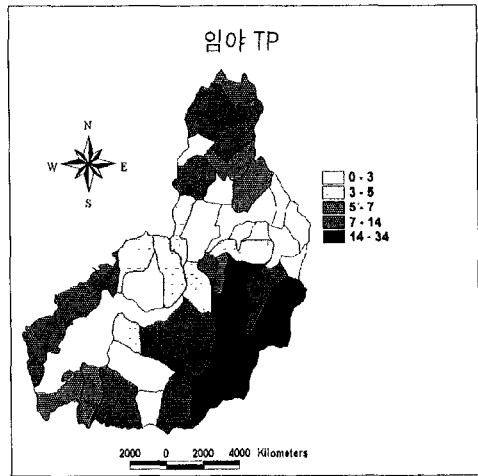


(b) T-P

<그림 8-32(b)> 보령유역의 리·동별 토지이용에 대한 원단위 오염 발생부하량 (밭)

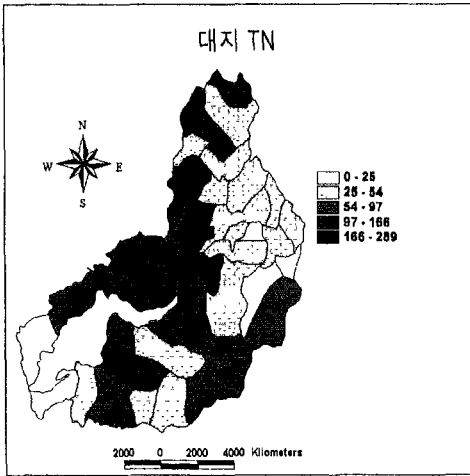


(a) T-N

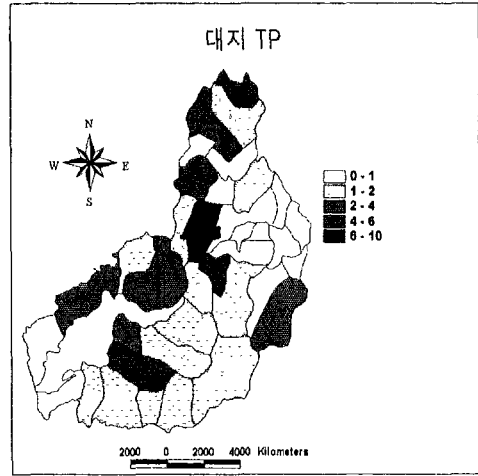


(b) T-P

<그림 8-32(c)> 보령유역 리·동별 토지이용에 대한 원단위 오염 발생부하량 (임야)

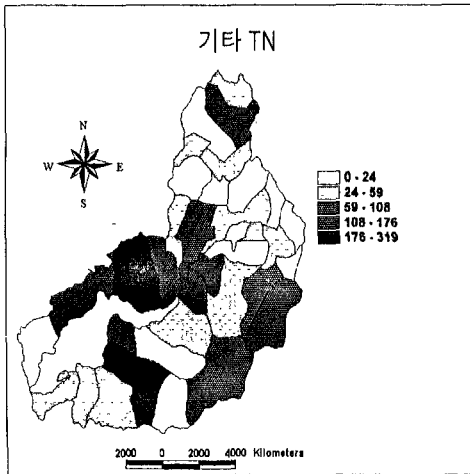


(a) T-N

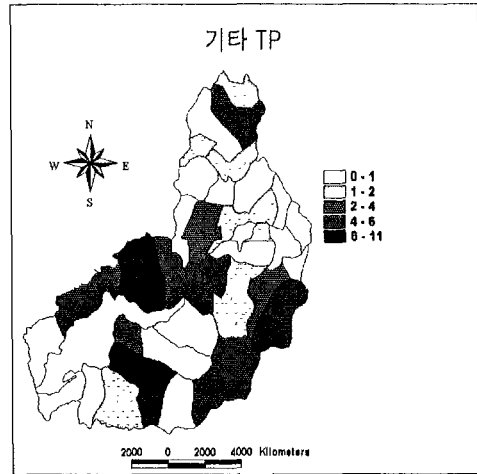


(b) T-P

<그림 8-32(d)> 보령유역 리·동별 토지이용에 대한 원단위 오염 발생부하량 (대지)



(a) T-N

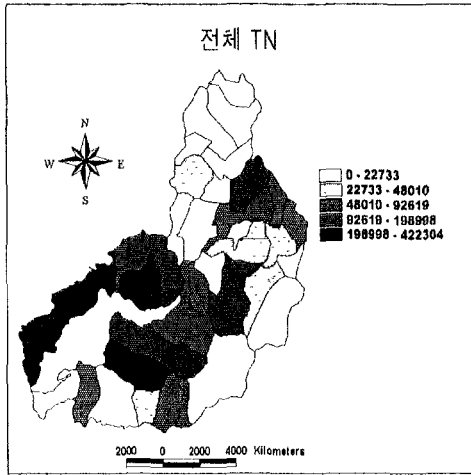


(b) T-P

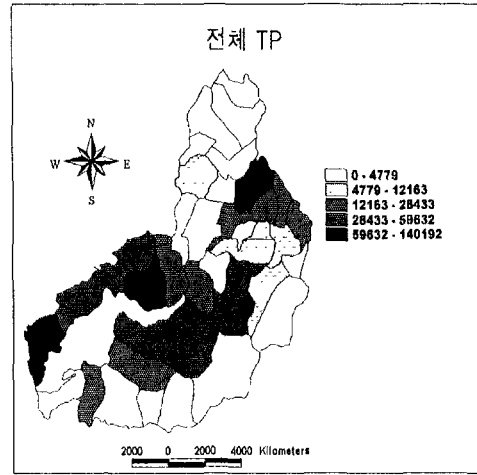
<그림 8-32(e)> 보령유역 리·동별 토지이용에 대한 원단위 오염 발생부하량 (기타)

4) 리·동별 총 오염발생부하량

다음은 리·동별 인구, 가축, 토지이용 등에 대한 총 오염 발생부하량을 나타낸 것이다.



(a) T-N

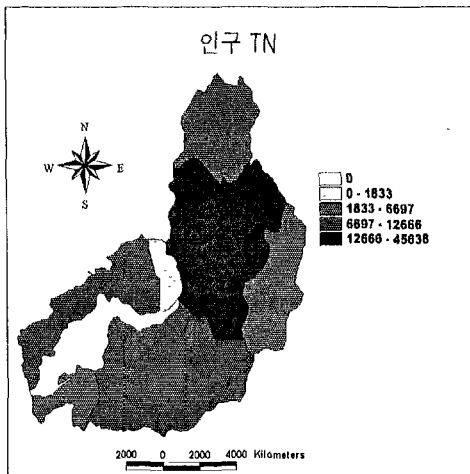


(b) T-P

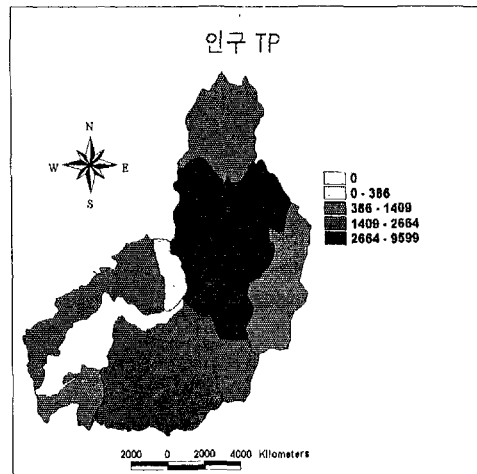
<그림 8-33> 보령유역의 리·동별 원단위 총 오염발생부하량 (전체)

5) 읍면별

다음은 읍·면별 인구, 가축, 토지이용에 대한 원단위 오염 발생부하량을 나타낸 것이다

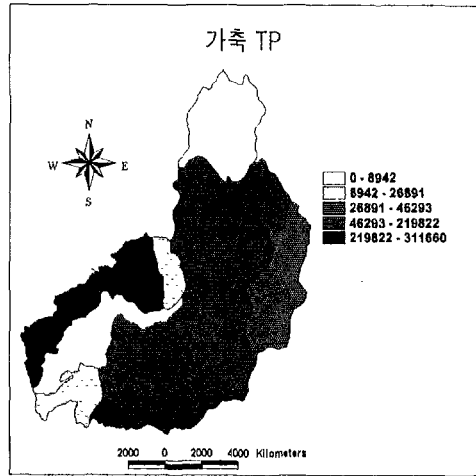
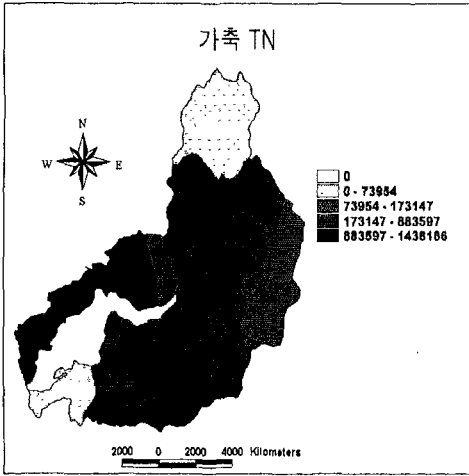


(a) T-N

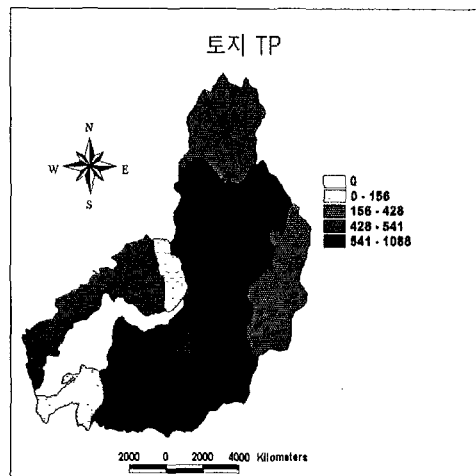
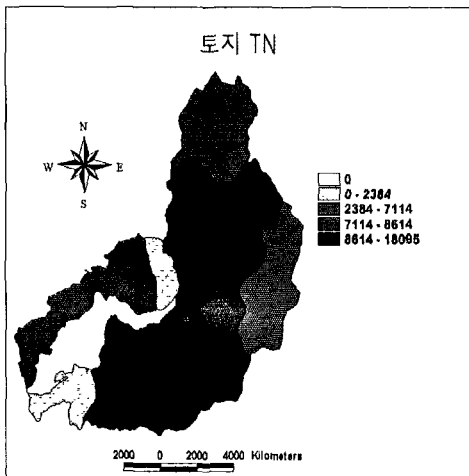


(b) T-P

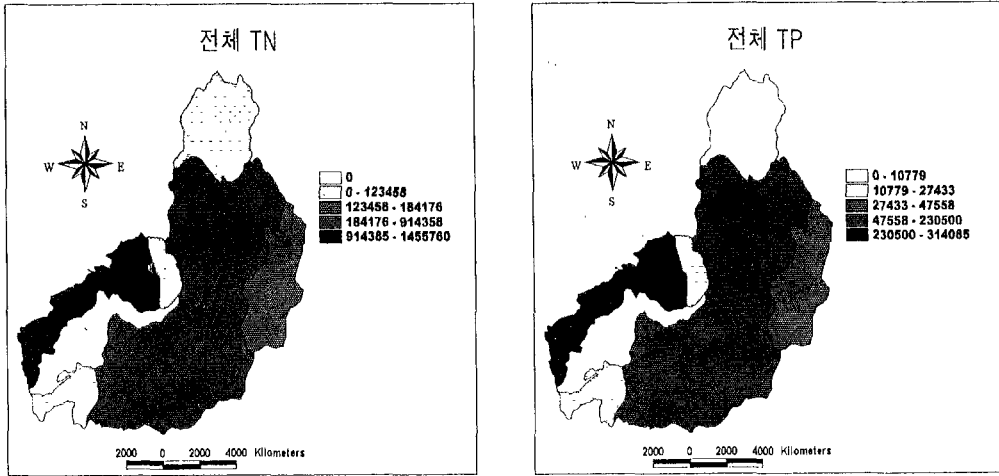
<그림 8-34> 보령유역의 읍·면별 인구에 대한 원단위 오염 발생부하량



<그림 8-35> 보령유역의 읍·면별 가축에 대한 원단위 오염 발생부하량



<그림 8-36> 보령유역의 읍·면별 토지이용에 대한 원단위 오염 발생부하량



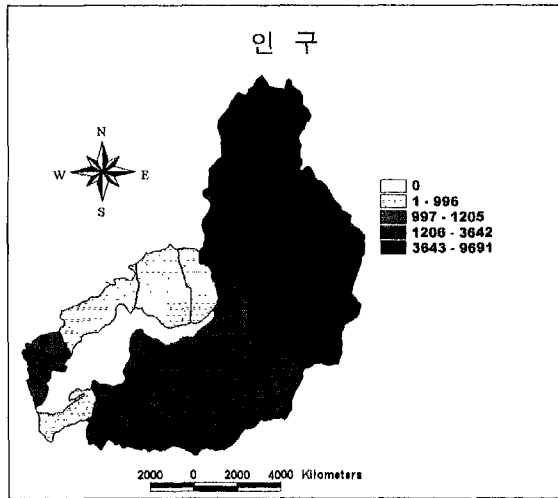
<그림 8-37> 보령유역의 읍·면별 원단위 총 오염발생부하량 (전체)

2. 소유역별 오염 발생부하량 분포도

가. 소유역별 오염원도

1) 인구

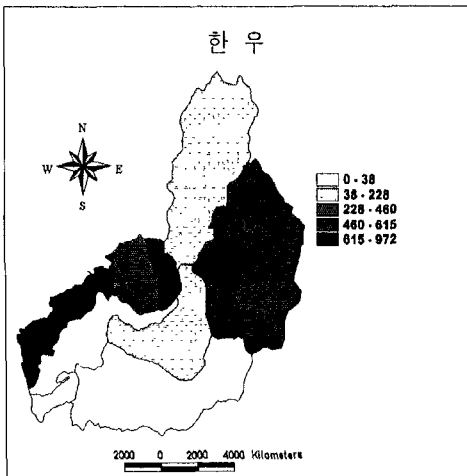
다음은 소유역별 인구 현황을 나타낸 것이다.



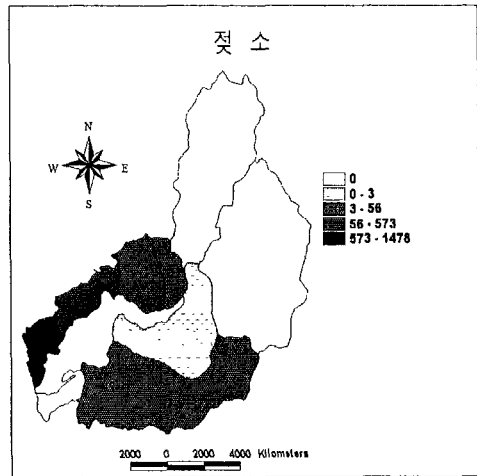
<그림 8-38> 보령유역의 소유역별 인구 현황

2) 가축

다음은 소유역별로 한우, 젖소, 돼지, 닭 등의 가축사육 현황을 나타낸 것이다.

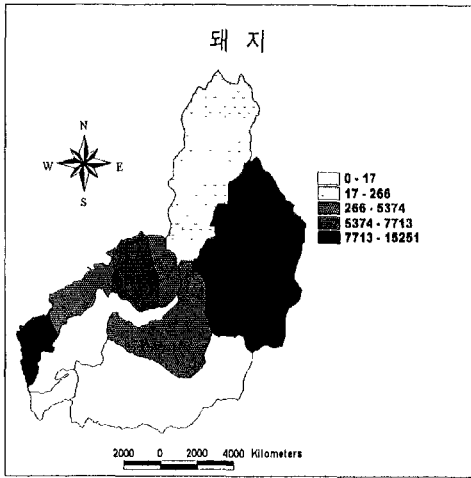


(a) 한우

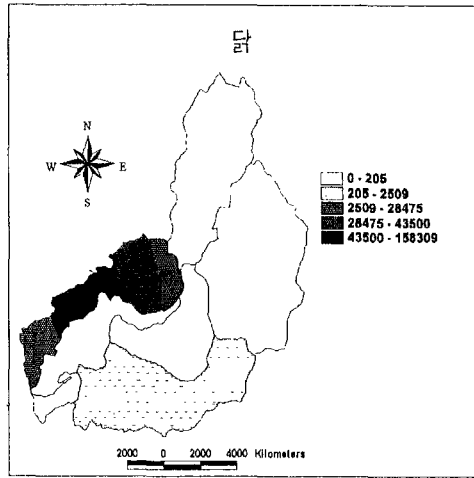


(b) 젖소

<그림 8-39(a)> 보령유역의 소유역별 가축사육 현황 (한우, 젖소)

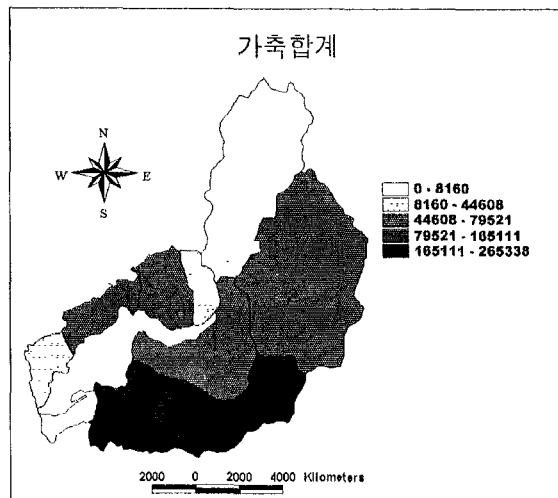


(a) 돼지



(b) 닭

<그림 8-39(b)> 보령유역의 소유역별 가축사육 현황 (돼지, 닭)

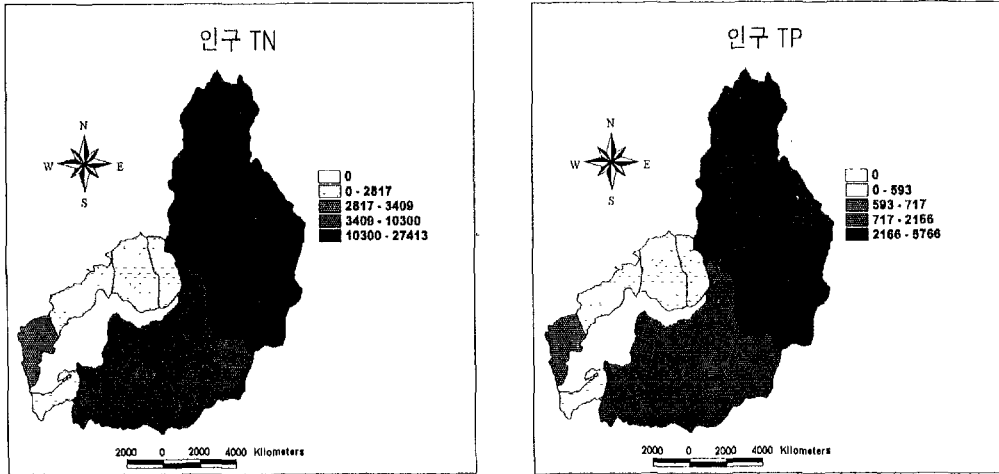


<그림 8-39(c)> 보령유역의 소유역별 가축사육 현황 (전체)

나. 소유역별 오염 발생부하량도

1) 인구

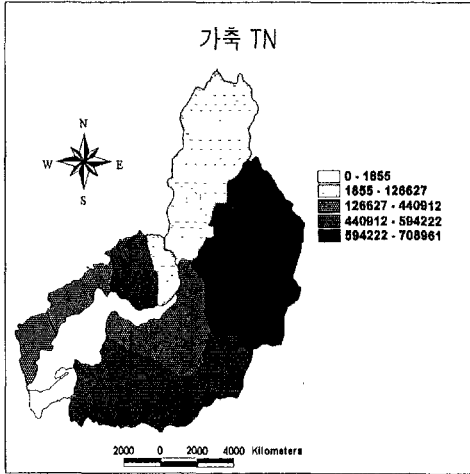
다음은 소유역별 인구에 대한 오염 발생부하량을 나타낸 것이다.



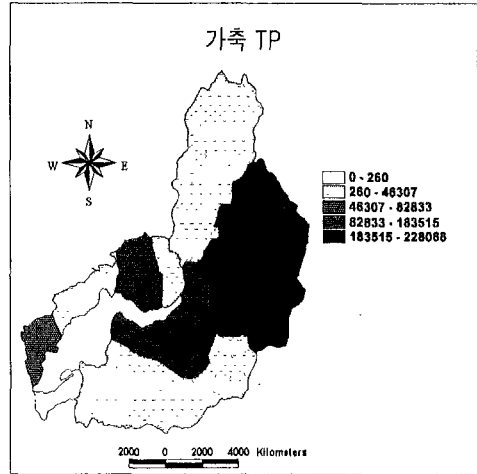
<그림 8-40> 보령유역의 소유역별 인구에 대한 원단위 오염 발생부하량

2) 가축

다음은 소유역별 가축에 대한 오염 발생부하량을 나타낸 것이다.



(a) T-N

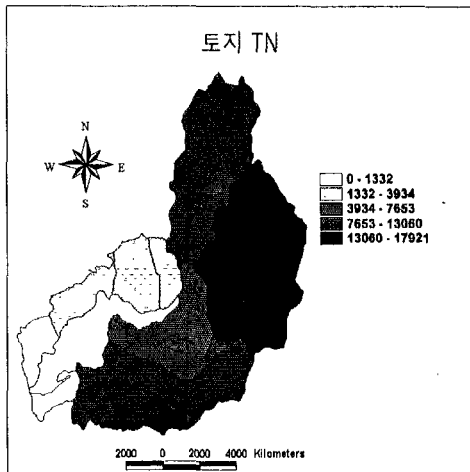


(b) T-P

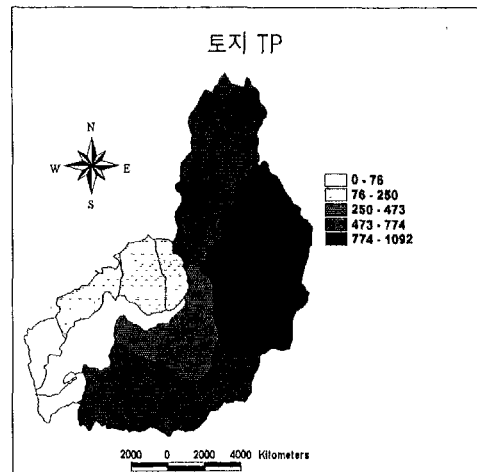
<그림 8-41> 보령유역의 소유역별 가축에 대한 원단위 오염 발생부하량

3) 토지이용

다음은 소유역별 토지이용에 대한 오염 발생부하량을 나타낸 것이다.



(a) T-N

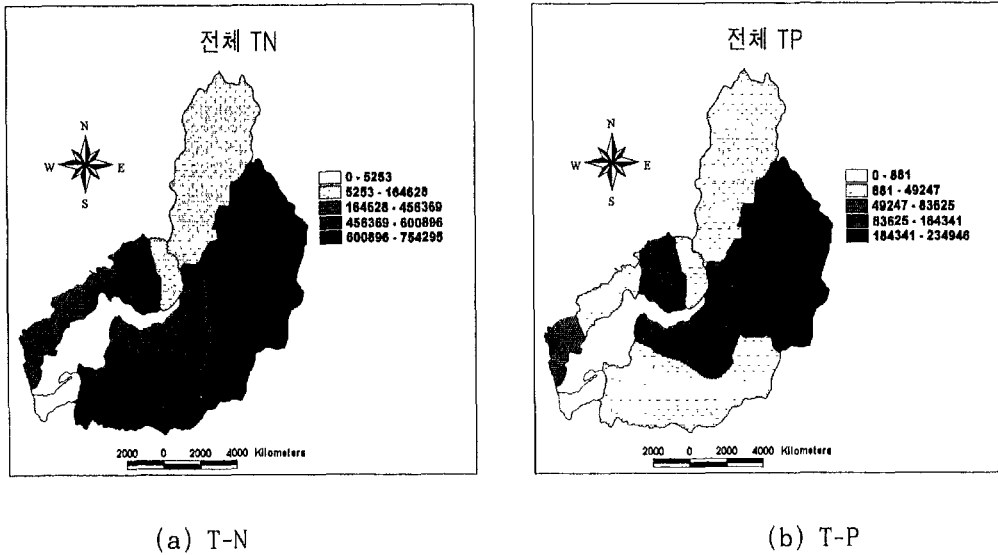


(b) T-P

<그림 8-42> 보령유역의 소유역별 토지이용에 대한 원단위 오염 발생부하량

4) 유역 전체

다음은 소유역별 인구, 가축, 토지이용 등에 대한 총 오염 발생부하량을 나타낸 것이다.



<그림 8-43> 보령유역의 소유역별 원단위 총 오염발생부하량 (전체)

제5절 요약 및 결론

보령 담수호 유역의 수질 오염원은 행정구역별 및 소유역별로 오염원을 구분하고, 오염원에 대한 조사 내용으로는 인구, 가축, 그리고 토지이용 현황을 중심으로 조사하였다. 그리고 행정구역별 및 소유역별 오염부하량을 산정하기 위하여 점오염원으로는 인구에 의한 생활오염원과 가축사육에 의해 발생하는 축산오염원을, 비점오염원으로는 유역별 토지이용에 따라 발생하는 오염원을 대상으로 부하량을 산정하였다.

유역오염부하량 산정을 위해 소유역별 오염원은 인구 구성비율의 경우 WS#6 유역이 전체 유역의 32.4%, WS#5 유역이 30.2%이며, WS#8 유역이 12.2%, WS#7 유역이 9.2%의 순으로 광천읍이 포함된 WS#5 및 WS#6 유역이 인구가 많은 것으로 나타났다.

가축사육 비율의 경우 한우는 WS#6, WS#5 및 WS#7 유역이 각각 전체의 34.7%, 15.4% 와 10.3%, 젓소가 WS#1 유역이 53.1%, 돼지가 WS#6, WS#3 및 WS#7 유역이 각각 30.6%,

25.6% 와 20.9%, 닭이 WS#8과 WS#2 유역이 42.1% 및 25.7%를 차지하고 있었다.

토지이용 면적 구성비율의 경우 광천읍이 있는 WS#6 유역이 전체의 28.7%, 청소면이 있는 WS#8 유역이 22.2%, 그리고 구항면과 광천읍 등이 포함된 WS#5 유역이 20.1% 로 나타났다.

보령담수호 유역의 T-N 및 T-P에 대한 유출 오염부하량을 추정하는데 사용된 원단위법에 의한 발생 오염부하량과 측정된 유출 오염부하량을 전체유역에 대하여 비교하였다. 보령지구 내 원단위법으로 계산된 발생 오염부하량은 전질소 3,553,037 kg/yr, 전인산 809,597 kg/yr로 산정되었으며, 측정된 유출 오염부하량은 1999년의 경우 전질소 252,611 kg/yr, 그리고 전인산 1,339 kg/yr로 나타났으며, 2000년에는 전질소 271,506 kg/yr, 그리고 전인산 3,792 kg/yr로 나타났다.

원단위법에 의한 발생 오염부하량에 대한 측정된 하천 유출 오염부하량을 비교한 결과, 전질소의 경우 전체 원단위 발생 오염부하량의 7.1~7.6%가, 전인산의 경우에는 전체 원단위 발생 오염부하량의 0.17~0.47%가 유출된 것으로 나타났다.

행정구역과 소유역별로 오염원도를 작성하고, 이에 따른 T-N, T-P를 대상으로 하는 오염 분포도를 작성하였다. 따라서, 담수호내의 수질관리에 가장 큰 영향을 미치는 유역의 오염원 현황을 파악할 수 있으므로 수질관리대책을 수립하는데 수질개선공법의 선택 및 적절한 수질 개선시설의 위치를 선정하는데 도움이 되리라 판단된다.

제 8 장

유역 및 담수호의
수문·수질모델 개발

제8장 유역 및 담수호의 수문·수질모델 개발

제1절 유역 수문·수질 모델 (SWMM 적용)

1. 모델의 개요

1969년에서 1971년에 걸쳐 U.S EPA에서 개발된 SWMM(Storm Water Management Model)은 단일 강우 사상을 묘사하여 합류식관로의 유량을 분석하기 위해 개발되었다. SWMM 4.0 Version에서부터는 연속모의가 가능해졌으며 Extran Block에서 backwater, surcharging, pressure flow와 looped connection에 대한 묘사가 가능해졌다. 1994년에 SWMM 4.3 Version으로 개량되어 유역내의 우수관로, 합류식관로, 자연배수로 등에서의 유동, 수위, 오염물 농도 등이 해석가능하며 현재 SWMM 4.4 Version까지 발전되었다.

2. 모델의 입력자료

SWMM모형에서 측정이나 다양한 자료에 의해서 직접 얻을 수 있는 입력자료는 강수자료, 강수자료, 유역면적 및 토지이용, 유역경사, 유역 폭, 수로길이, 수로경사등이 있다.

가. 기상자료

IDRISI S/W로 측후소 위·경도 점 자료를 입력하여 티센망도를 작성하였다. 그 결과 보령측후소가 대상지역을 포함하고 있음을 알 수 있었다. 보령측후소의 연평균 기온은 12°C이고, 연평균 강우는 1,217.8mm이며 대부분이 6-9월 우기에 집중되고 있다. 모형에 적용한 강우자료는 1999년 3월~10월과 2000년 8월 24일 매시간 단위의 강우자료를 이용하였으며, 연속적인 변화를 보기 위해 1달 단위로 시간강수자료를 모델의 입력자료로 사용하였다.

나. 유량자료

연구에 사용한 유량자료는 5번 유역 소룡교와 6번 유역에 설치된 자기수위계를 설치하여 측정된 자료이다. 유역에서 발생한 유출량이 담수호로 유입되는 유입량은 연평균 8,972.7만

m²이며 이중 상당량이 주 하천이 있는 5, 6, 8번 유역에서 유입된다. 유량의 보정을 위하여 1991년 홍보조사보고서의 1990년 9월 11일 덕정교를 검증을 위해 동일 광천교의 유출량 조사자료, 소릉교 유출량 조사자료 및 5, 6번 유역에 설치된 자기수위계 자료를 이용하였다.

다. 수질자료

수질자료는 유역 내 주요지점에서 유역 내 부하량 년 변화를 알아보기 위해 정기적으로 측정된 자료와 모형의 보정을 위하여 2000년 8월 24일에 측정된 시간별 자료를 사용하였다. 수질자료는 미국 EPA에서 유역 유출수의 특성을 잘 나타내주는 것이라 추천한 항목인 SS, COD, TN, TP에 대한 분석 자료를 이용하였다.

라. 유역경사 및 수로경사

지도상의 소유역별 경계를 digitizing하여 홍보지구의 유역경계 vector file을 생성하였다. 이렇게 생성된 vector file과 홍보지구의 DEM을 중첩시켜 화용지구 소유역별 DEM file을 생성하여 유역경사도로 변환시켰다. 소유역의 경사도내 각각의 셀(100m×100m)에 대한 경사도를 나타내기 때문에 식(8.1)과 같이 조화평균을 이용하여 소유역별 평균 경사를 산정하였다. 각 수로경사는 소유역별 경사도에서 수로가 갖는 경사범위를 선별하여 구하였다.

$$S = \frac{S_1 \cdot n_1 + S_2 \cdot n_2 + S_3 \cdot n_3 + \dots + S_i \cdot n_i}{n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_i} \dots \dots \dots (8.1)$$

여기서, S = Average slope

Si = Slop of the cell

ni = Number of cell containing slop Si

마. 유역 면적 및 토지이용

유역면적은 홍보지구를 digitizing한 vector file에 의해 산정 하였다. 토지이용의 경우 위성영상자료를 이용해서 만든 토지 피복도와 통계연보자료를 참고하여 사용하였다. 모형에 필요한 자료를 만들기 위해서 토양 배수별 분포도와 토지피복도의 속성 자료로부터 수리

학적으로 유효한 불투수층을 추출하여 전체 면적에 대한 비율을 산정 하였다. 그리고 토지이용별 면적을 산정하기 위해서 토지 피복도를 이용하였다. 축산 농가의 비율은 1998년 통계연보를 이용하여 각 유역별 가축두수를 조사, 이를 가축 두수 당 면적으로 환산하여 축산 농가의 면적을 산정 하였다(표 8-1). 그 외의 모형에서 사용되는 Manning조도계수, 투수지역·불투수지역의 조도계수, 투수지역·불투수지역의 표면 저류 등은 calibration에 의해 결정하였다.

(표 8-1) Designated area for livestock production per head (unit: m²)

| Dairy cow (per head) | Poultry cow (area per head) | | | | Swine (per 100 head) |
|-------------------------|-----------------------------|---------|---------|---------|-------------------------|
| | 30 head | 50 head | 70 head | 90 head | |
| 8.95 | 19.74 | 18.72 | 17.4 | 17.12 | 427.5 |

바. 유역 폭

SWMM모형에서 지표면 유출은 <그림 8-1>과 같이 개념화된 직사각형 집수유역 수로에 대해 수직하게 흐르는 것으로 가정한다. 유역의 폭은 유출 수문곡선의 형태를 변화시킬 수 있는 중요한 인자인데 유역의 폭이 증가하면 유출은 보다 신속하게 평행상태에 도달하게 되고 지면 저류량을 감소시키게 된다. 그러나 자연상태의 유역은 대칭적이며 균등한 특성을 지닌 직사각형의 형태로 나타낼 수 없으므로 <그림 8-2>과 같은 자연상태에 있는 유역을 식(5.1)과 식(5.2)을 이용하여 직사각형 유역의 폭으로 보정할 필요가 있다.

$$Sk = \frac{(A_2 - A_1)}{A} \dots \dots \dots (8.2)$$

$$W = (2 - Sk) \cdot L \dots \dots \dots (8.3)$$

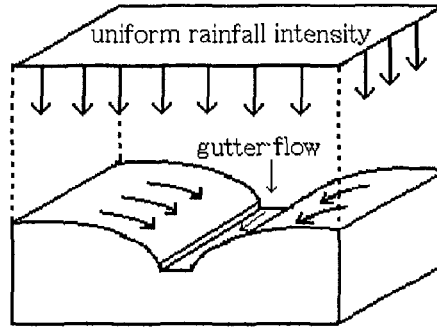
where, W = Subcatchment width

Sk = Skew factor, 0 ≤ Sk ≤ 1

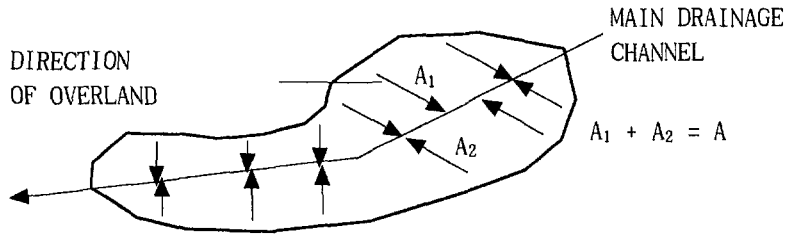
A₁ = Area to one side of channel

A₂ = area to other side of channel

L = Length of main drain channel



<그림 8-1> Idealized subcatchment for SWMM



<그림 8-2> Irregular subcatchment shape for width calculation.

위의 자료를 이용하여 각 유역별 지형정보를 정리하면 (표 8-2)와 같다.

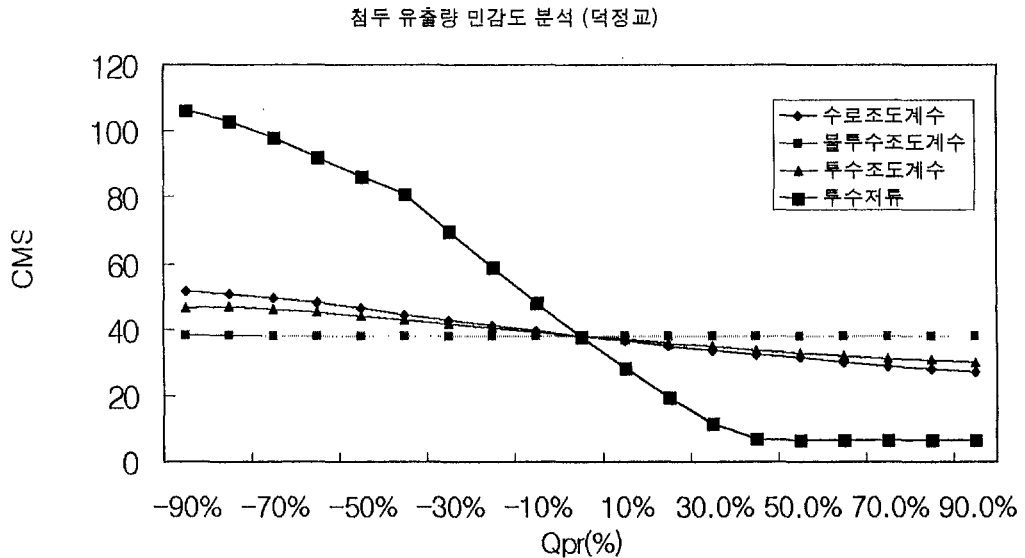
(표 8-2) Configuration Data of Subcatchment

| 유역 | 유역면적 (ha) | 불수투층 (%) | 경작지 (%) | 산림 (%) | 주거지 (%) | 기타이용 (%) | 축산 (%) | 유역 평사 | 하천 경사 |
|----|--------------|-------------|------------|-----------|------------|-------------|-----------|----------|----------|
| 1 | 306.0 | 7.3 | 16.4 | 77.5 | 0.2 | 5.9 | 0.1 | 0.11 | - |
| 2 | 402.5 | 11.9 | 21.4 | 75.7 | 0.2 | 2.7 | 10.6 | 0.06 | - |
| 3 | 458.4 | 1.7 | 14.4 | 83.9 | 0.3 | 1.4 | 3.1 | 0.09 | - |
| 4 | 638.2 | 5.9 | 16.6 | 79.8 | 1.5 | 2.2 | 4.1 | 0.08 | - |
| 5 | 2696.5 | 8.0 | 17.9 | 79.5 | 1.4 | 1.2 | 0.1 | 0.13 | 0.007 |
| 6 | 3727.83 | 6.9 | 19.3 | 76.0 | 3.2 | 1.5 | 0.5 | 0.13 | 0.040 |
| 7 | 1368.6 | 36.7 | 16.1 | 79.8 | 0.6 | 3.6 | 3.0 | 0.14 | 0.039 |
| 8 | 2910.5 | 37.6 | 17.6 | 77.8 | 1.4 | 3.2 | 3.5 | 0.17 | 0.010 |
| 9 | 263.3 | 13.8 | 10.5 | 85.7 | 0.6 | 3.3 | 0.0 | 0.21 | - |

3. 모델의 적용

가. 민감도 분석

민감도 분석은 5번 유역에 있는 덕정교를 중심으로 하는 유역에서 실시하였으며, 수로조도계수: 0.061, 불투수조도계수: 0.02, 투수조도계수: 0.02, 저류깊이: 4를 중심으로 10%씩 가감하여 가장 영향을 많이 미치는 인자에 대해 알아보았다. (불투수층 8.04%, 산림 79%, 주거지 1.4%, 경작지 17.9%, 기타이용 1.2%) 분석결과는 저류깊이가 가장 민감한 것으로 나타났으며, 수로조도계수, 투수조도계수, 불투수조도계수 순으로 나타났다.



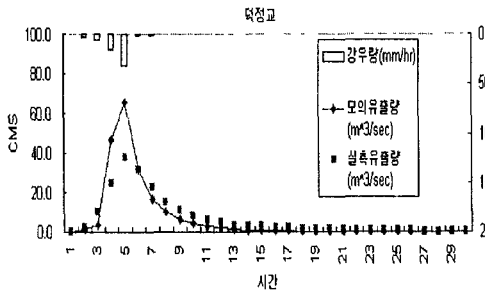
<그림 8-3> 민감도 분석 결과

나. 보정 및 검증

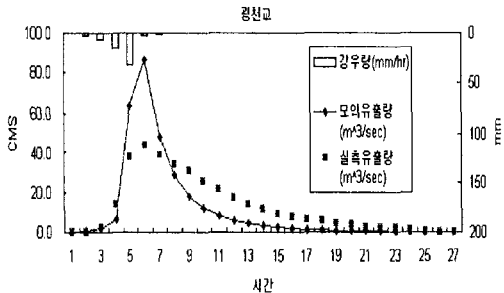
1) 유출량 보정 및 검증

강우시 유출량 보정은 1990년 9월 11일 강우시 덕정교 유출량을 이용하였으며, 검증은 동일 광천교 유출량과 2000년 8월 24일 소룡교 유출량으로 검증하였다. 유출량은 미측정 항목인 수로조도계수와 저류깊이 그리고 유역조도계수를 보정인자로 하였다. 첨두유량과 총유

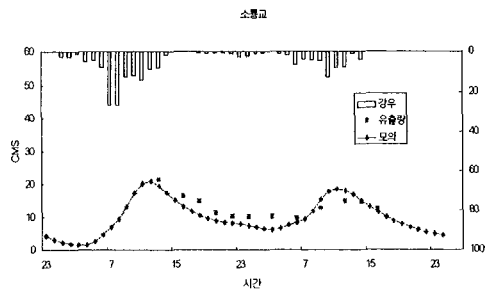
량에 기준을 두어 보정을 시행하였고, 농촌지역의 특성상 침투 유량보다는 총 유량에 가중치를 두었다. 보정 시 저류깊이는 60mm에서 가장 정확한 결과를 보였는데 이는 농촌지역의 토지이용에 있어 특히 논과 산림에서 강우 손실이 크기 때문으로 사료된다. 보정과 검증 결과는 아래 그림 덕정교, 광천교, 소릉교와 같다. 실측과 검증결과를 보면 정확도 88.6%를 나타내었으며, 유출량의 예측은 보정과 검증에 의해 비교적 정확한 예측이 가능하였다.



<그림 8-4> 보정 (덕정교)



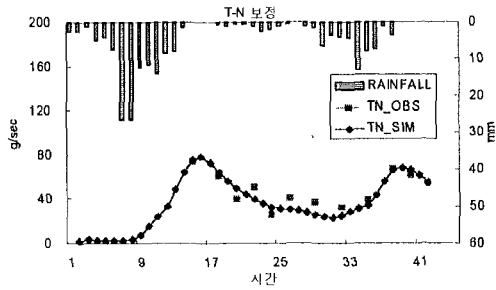
<그림 8-5> 보정 (광천교)



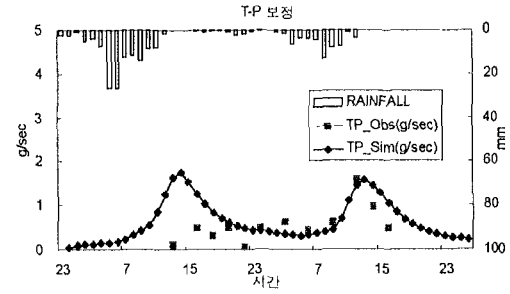
<그림 8-6> 검증 (소릉교)

2) 오염물질 부하량 보정

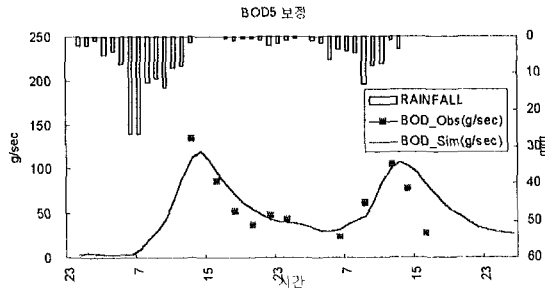
오염 물질 부하량 보정에는 검증자료로 사용되었던 2000년 8월 24일 강우시 측정된 수질 자료를 이용하였다. 오염물질 보정에 있어서 가장 민감한 반응을 보인 유출계수(WASHPO)와 지수(RCOEF)를 보정인자로 이용하였다. 오염 물질 부하량은 경작지, 주거지, 축산 농가, 기타(산림)로 나누어 단위면적당 BOD5, T-N, T-P 오염물질의 유출계수와 지수들을 변화시켜 보정을 실시하였다. 결과는 다음 그림과 같다.



<그림 8-7> 보정 (덕정교)



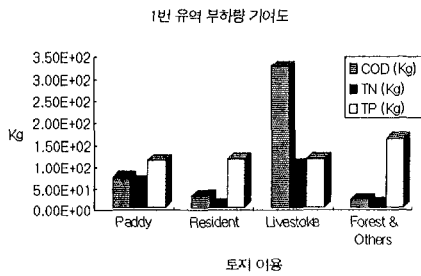
<그림 8-9> 보정 (광천교)



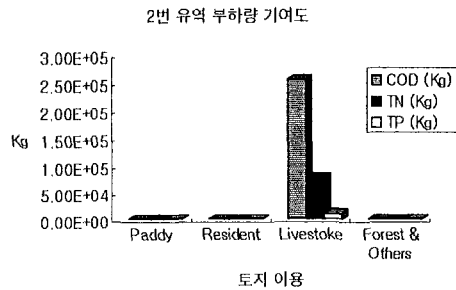
<그림 8-10> 검증 (소룡교)

가. 토지 이용별 부하량 기여도

토지 이용별 오염 부하량 기여도를 알아보기 위해 1번 유역과 2번 유역을 선정하였다. 담수호 유역의 토지 이용을 보면 대부분이 산림으로 이루어져 있으며, 5번, 6번 유역은 도시 지역과 농공단지를 포함하고 있으며, 2번 유역은 축산 농가의 비율이 다른 유역에 비해서 상대적으로 높다. 최근 농촌지역 오염에 문제가 되고 있는 축산농가에서 발생하는 부하량의 기여도를 알아보려고 축산 농가의 비율이 가장 높은 2번 유역과 1번 유역을 선정하여 기여도를 알아보았다. 강우는 보령관측소의 1999년 9월 강우를 적용하였다.



<그림 8-11> 1번 유역



<그림 8-12> 2번 유역

위의 그림을 보면 토지 이용 중 축산농가의 부하량 기여도가 가장 높다는 것을 알 수 있다. 이는 유역을 관리하는데 있어 축산농가의 관리가 중요하다는 것을 알 수 있다. 또한, 그 차지하는 비중에 따라 급격하게 총 부하량 중 기여도가 현저히 높아짐을 알 수 있다.

제2절 GIS 와 WSAP5 연결

1. 대상유역

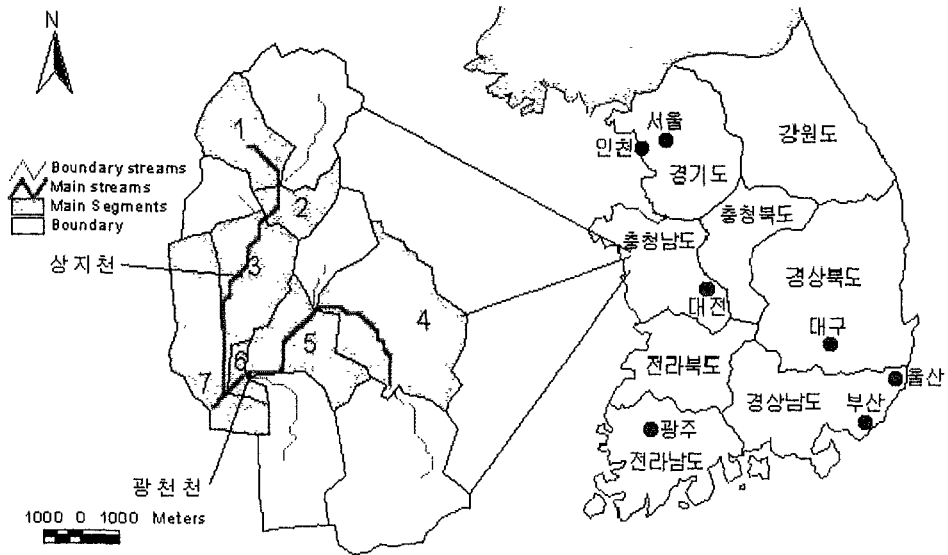
GIS와 WASP5를 연결하기 위해 선정한 유역은 담수호의 지류인 광천천과 상지천 유역이다. 본 유역은 광천시가 있는 관계로 생활하수 및 축산농가로부터 강우시 오염부하량이 다른 담수호유역에 비해 많은 지역이다.

2. 모델의 입력자료

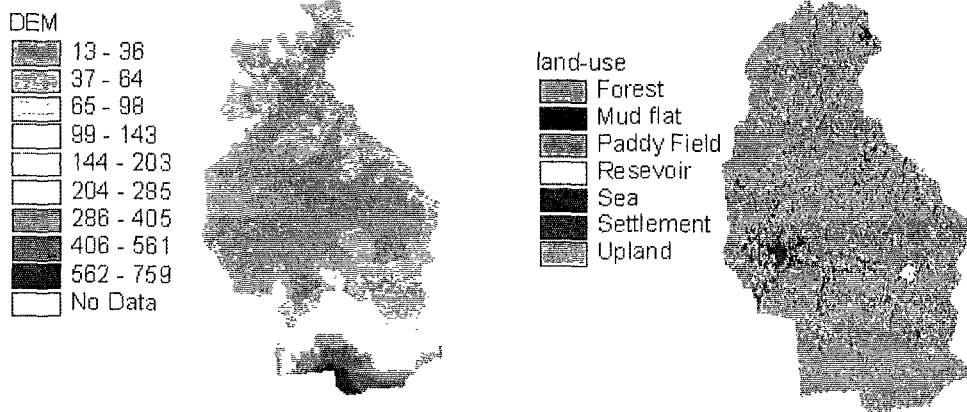
가. 하천 및 유역추출

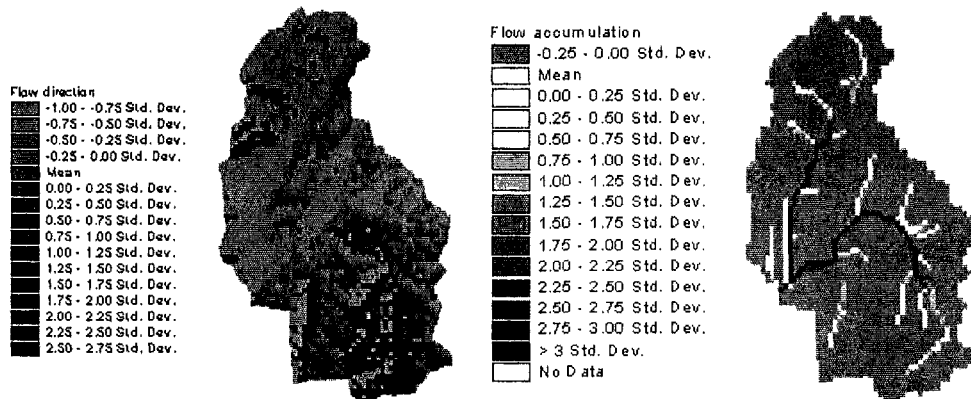
유역 및 하천을 추출하기 위해 DEM을 이용하여 GIS 프로그램인 Arc/Info의 GRID 부프로그램을 이용하여 배수도(flowdirection)와 흐름누적도(flowaccumulation)를 유도한 뒤, 하천도를 추출하여 하천 GRID를 만들었고, 하천 Coverage 및 모델구획(segment) 생성해 냈다. 본 연구에서는 7개로 주 구획(main segments)을 구성하였다. 따라서 7개의 아크(arcs)로 되어 있고, 각각의 아크는 각 구획마다의 속성을 입력하였다. 또한 경계조건으로 5개의

보조구획(boundary segments)아크로 구성하여 각각 주하천 구획에 유출량과 오염부하량이 입력되는 것으로 구성하였다. 일단 GIS에서 구획을 인식하게 되면 각 계수는 속성 테이블(attribute table)에 의해 구성되는데 이것은 모델이 운용되는데 필요한 input 자료로 사용된다.



<그림 8-13> GIS 자료(소유역 분할)





〈그림 8-14〉 GIS 자료(DEM, 토지이용도, 배수도, 흐름누적도)

3. 모델의 적용

가. 유출량 산정

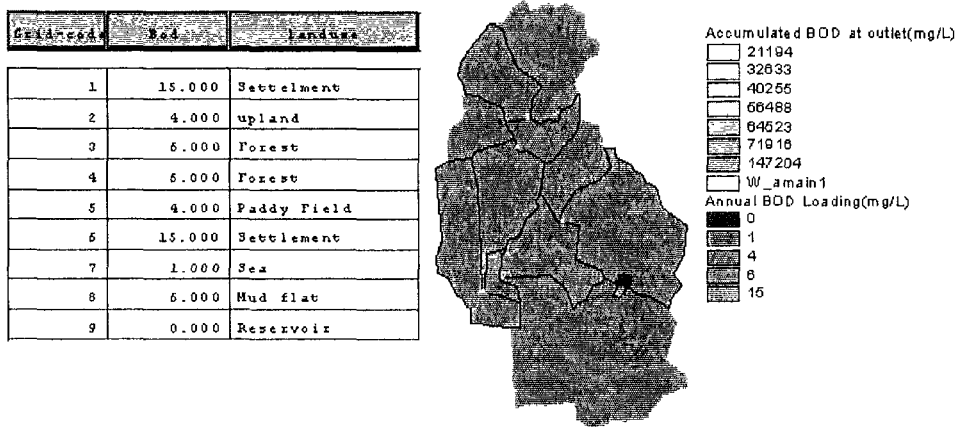
유역자료가 완성된 이후에는 각 셀(cell)로부터 산출되는 평균 유출량을 구하였다. 연평균 유출량을 구하기 위해서 장기 유출모델인 수정 TANK 모형을 사용하였다. 매개변수의 보정을 위하여 30년간의 강우자료를 이용하였고, 본 연구지역의 실측유출량자료와 비교 검증하여 년 평균유출 계수(유출량/강우)를 결정하였다. 그리고 수정 Tank 모형에 입력자료로 사용되는 면적 및 토지 이용비율(논, 밭, 임야)은 landuse Grid를 통해 ArcView의 map query를 이용하여 자료를 획득하였다. 직접유출과 기저유출의 분리는 최소 경사법 개념을 이용하여 갈수시 최저 수위점에서 강우발생후 시간단계(time step)별 직선을 작성하여 최저 경사를 선택하는 방법을 사용하였다.

나. 오염부하량 산정

본 연구에서는 비점원 오염부하량을 산정하기 위해 다음과 같은 기본 방정식을 이용하여 GIS에 적용하였다.

$$\text{Load(mass)} = \text{Concentration (mass/volume)} \times \text{Volume of water (volume)}$$

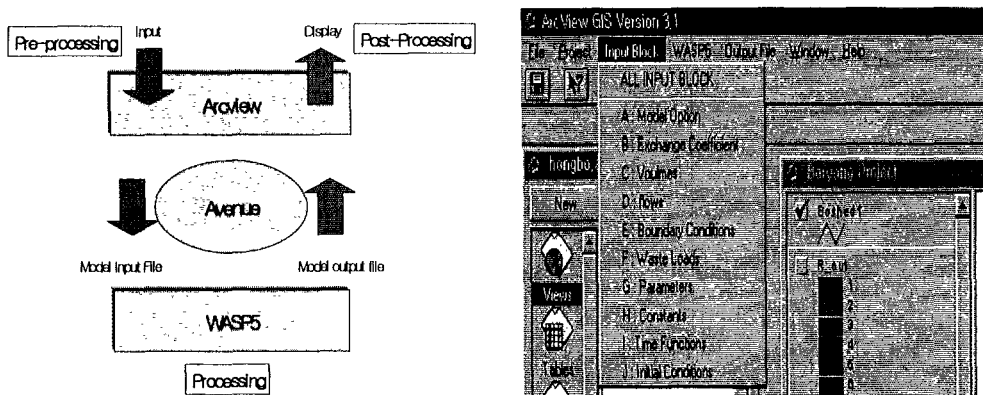
Grid를 기초로한 모델에서 이러한 방법이 만들어졌는데, 본 연구에서는 한 cell의 크기를 155×155m를 기초로 하여 유역의 비점원오염 부하량을 계산하였다. 이 과정에서 사용된 값은 Estimated Mean concentrations(EMC)라고 하며, 이것은 land-use grid를 이용하여 토지이용상태별 부하량을 산정하여 비점원오염 부하량을 산정하였다. 점원오염의 경우는 1998년에 작성한 홍보지구농업개발사업 계획서(변경)을 기초로 현장조사를 통해 산정하였다.



<그림 8-15> 소유역 별 연평균 BOD 농도

다. GIS와 WASP5의 연결

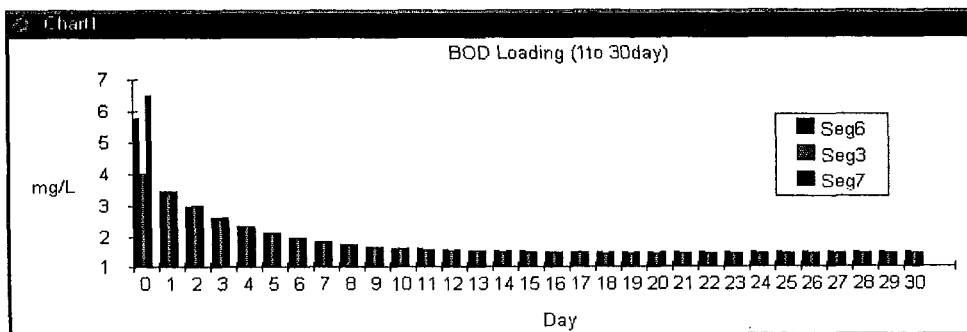
GIS/WASP5의 연결은 다음의 모식도와 같이 모델에서 필요한 자료를 GIS에서 만들어주고 Simulation 결과를 GIS를 통해 그래픽한 출력이 가능하도록 일련의 Pre-Post Processing 과정이다. 여기서 사용되는 입력자료는 ArcView에서 만들어지는 Table과 Coverage등으로 구성하였고, 프로그래밍 언어는 ArcView-Avenue로서 script로 컴파일하고, ArcView에서 메뉴를 추가하여 사용자 인터페이스를 만들어 실행하였다.



<그림 8-16> GIS와 WASP5 연결을 위한 모식도(flow chart) 및 ArcView 사용자 인터페이스

모든 입력자료가 완성된 후, 두 번째 메뉴항에 포함되어 있는 WASP5를 실행하면 모델이 실행되고 출력자료는 ArcView를 통해서 여러 가지 형태(Table, Chart, Coverage)로 화면에 표시된다.

| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0.0000 | 7.8000 | 7.7000 | 7.7000 | 7.7000 | 8.2000 | 8.2000 | 7.4000 |
| 1.0020 | 6.5100 | 6.5000 | 6.5100 | 6.5000 | 6.5400 | 6.5200 | 6.5200 |
| 2.0010 | 5.6400 | 5.5900 | 5.5700 | 5.6500 | 5.6600 | 5.6100 | 5.5900 |
| 3.0000 | 4.9900 | 4.9300 | 4.8900 | 5.0400 | 5.0200 | 4.9400 | 4.9200 |
| 4.0020 | 4.5200 | 4.4400 | 4.3900 | 4.6000 | 4.5600 | 4.4500 | 4.4300 |
| 5.0010 | 4.1800 | 4.0900 | 4.0300 | 4.2800 | 4.2200 | 4.1000 | 4.0700 |
| 6.0030 | 3.9400 | 3.8300 | 3.7600 | 4.0500 | 3.9800 | 3.8500 | 3.8100 |
| 7.0020 | 3.7600 | 3.6500 | 3.5700 | 3.8800 | 3.8000 | 3.6600 | 3.6200 |
| 8.0010 | 3.6300 | 3.5200 | 3.4400 | 3.7600 | 3.6600 | 3.5300 | 3.4900 |
| 9.0030 | 3.5400 | 3.4200 | 3.3400 | 3.6700 | 3.5900 | 3.4400 | 3.3900 |
| 10.0020 | 3.4700 | 3.3500 | 3.2700 | 3.6100 | 3.5200 | 3.3700 | 3.3300 |
| 11.0010 | 3.4300 | 3.3100 | 3.2200 | 3.5700 | 3.4800 | 3.3200 | 3.2800 |
| 12.0000 | 3.3900 | 3.2700 | 3.1900 | 3.5400 | 3.4500 | 3.2900 | 3.2400 |
| 13.0020 | 3.3700 | 3.2500 | 3.1600 | 3.5200 | 3.4200 | 3.2600 | 3.2200 |
| 14.0010 | 3.3600 | 3.2300 | 3.1400 | 3.5000 | 3.4100 | 3.2500 | 3.2000 |



<그림 8-17> Arcview 사용자 인터페이스를 통한 모델 모의결과 출력 (Table, Chart)

제3절 담수호 수질모델(CE-QUAL-W2)

1. 모델의 선정 및 이론

CE-QUAL-W2 모델은 Edinger와 Buchak(1975)에 의해 개발된 LARM(Laterally Averaged Reservoir Model)으로 알려져 왔으며 처음의 적용은 지류가 없는 저수지에 적용하는 모델 이었고, 지속적인 수정을 통하여 지류와 유역의 상태까지 모의 가능한 GLVHT(Generalized Longitudinal - Vertical Hydrodynamics and Transport Model)로 개조 되었으며 US Army Engineering Waterways Experiment Station(WES)의 수질 algorithm이 첨가되면서 CE-QUAL-W2 모델이 만들어졌다. (Environmental and Hydraulic Laboratory, 1985)

2. 모델의 기본식

CE-QUAL-W2 모델은 2차원이며 호수의 장축에 직각방향으로 균일하다고 가정하기 때문에 수평 및 수직적 수질변화가 있는 길고 좁은 수체에 적당한 모델이다. 각 수 질 항목간의 어떠한 결합도 모의 가능하며 segment 길이와 layer의 두께를 다양하게 줄 수 있는 장점이 있어 나뭇가지모양의 복잡한 수체에도 적용이 가능하다. 또한 이 모델은 방류구위치, 방류량의 계산기능이 포함되어 있으며, 수위, 유속, 수온을 예 측할 수 있고, 수질 algorithm은 인산염(P04-P), 용존산소(DO), 조류(algae), Labile DOM, Refractory DOM 등 21개의 수질항목으로 구성되어 있다. 각 항목간의 내부적인 상호작용은 (표 8-3)과 같다.

(표 8-3) 수질인자의 상호작용

| water quality constituents | To | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------|----|-----|--------|--------|-------|----------|---------|-----------|-----------|--------|------------------|------------|----------|------------|---------|
| | Tracer | SS | TDC | DOM(L) | DOM(R) | Algae | Edtritus | Ortho-P | Ammonia-N | Nitrate-N | Oxygen | Inorganic carbon | Alkalinity | Sediment | Total iron | Surface |
| Tracer | F | | | | | | | | | | | | | | | |
| SS | | T | | | | | | | | | | | | | | |
| TDC | | | F | | | | | | | | | | | | | |
| DOM(L) | | | | F | D | | | D | D | | | D | | | | |
| DOM(R) | | | | | F | | | D | D | | | D | | | | |
| Algae | | | | M | | Y | M | R | R | | P | R | | S | | |
| Edtritus | | | | | | | Y | D | D | | | D | | S | | |
| Ortho-P | | A | | | | P | A | F | | | | | | | A | |
| Ammonia-N | | A | | | | P | A | | F | D | | | | | A | |
| Nitrate-N | | | | | | P | | | F | | | | | | | |
| Oxygen | | | | D | D | R | D | | D | | F | | | D | | X |
| Inorganic carbon | | | | | | P | | | | | | F | | | | X |
| Alkalinity | | | | | | | | | | | | | F | | | |
| Sediment | | | | | | | | D | D | | | D | | | D | |
| Total iron | | | | | | | | | | | | | | | Y | |
| Surface | | | | | | | | | | | X | X | | | | |

Notes : SS = suspended solids, D = decay, decomposition, release
 TDS = total dissolved solids, M = mortality
 DOM = dissolved solids, R = respiration
 S = settling (L) = labile, (R) = refractory
 P = photosynthesis F = diffusion and advection
 A = adsorption, Y = settling, diffusion, advection
 X = exchange at air/water interface

(표 8-3) 에서 보면 Algae, 인, 질소, 그리고 DO 등이 다른 수질인자들과의 상호작용이 매우 높은 것으로 나타나 있다. 이들 인자의 알고리즘을 보면 다음과 같다.

가. 무기부유물질(Inorganic Suspended Solids)

무기부유물질은 밀도, 빛의 투과율, 그리고 영양물질의 이용성에 영향을 미치기 때문에 수질모의에 중요한 인자이다. 증가된 물질농도는 수체의 빛의 투과율을 낮추게 되어 수온에 영향을 미치게 된다. 그리하여 변화된 수온으로 인해 영양물질의 생물·화학적인 반응에 영향을 미치게 된다. 영양물질 농도는 또한 흡착과 침전에 통해 생성된 물질에 의해 영향을 받는다. 주로 빛과 영양물질은 조류의 생산을 제어한다. 부유물질의 반응식은 식(8.4)와 같으며 모식도는 <그림 8-18>과 같다.

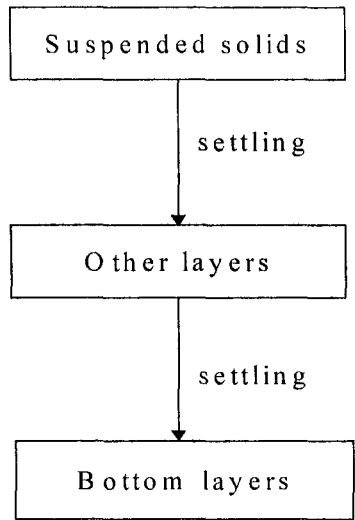
$$\frac{\partial \Phi_{SS}}{\partial t} = - \frac{\omega_{SS}}{\Delta z} \Phi_{SS} \dots \dots \dots (8.4)$$

여기서,

ω_{SS} = settling velocity, m sec⁻¹

Φ_{SS} = suspended solids concentration, g m⁻³

Δz = cell thickness, m



<그림 8-18> Internal flux for inorganic suspended solids

나. 조류(Algae)

CE-QUAL-W2는 조류를 표현하는데 있어 단일 compartment를 사용한다. 따라서 이 모델은 규조류, 녹조류 및 남조류에 대한 조류천이는 모의가 불가능하나, 영양염류, 조류 및 용존 산소(DO)간의 상호작용에 대한 모의는 가능하다. 이 모델에 사용한 조류에 대한 반응식은 식(8.5)와 같으며 모식도는 <그림 8-19>과 같다.

$$\frac{\partial \Phi_a}{\partial t} = K_{ag}\Phi_a - K_{ar}\Phi_a - K_{ae}\Phi_a - K_{am}\Phi_a - \frac{\omega_a}{\Delta z} \Phi_a \dots (8.5)$$

여기서,

Δz = cell thickness, m

K_{ag} = algal growth rate, sec-1

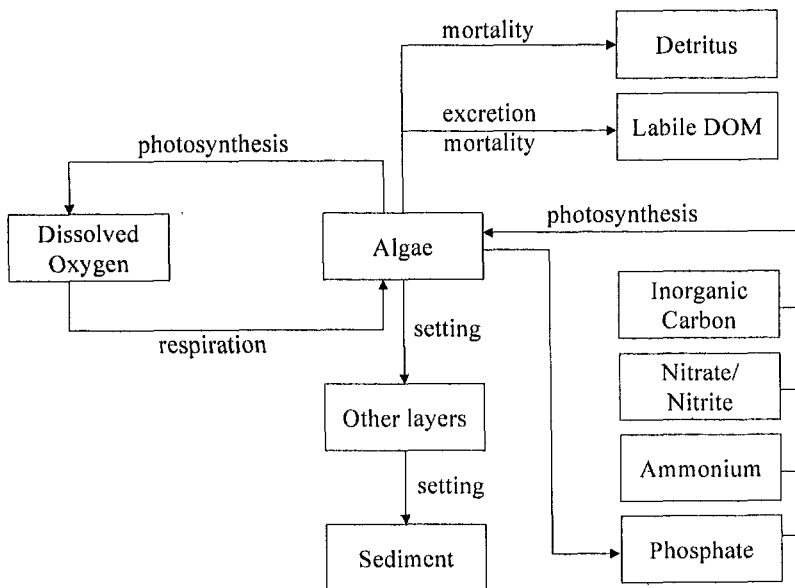
K_{ar} = algal dark respiration rate, sec-1

K_{ae} = algal excretion rate, sec-1

K_{am} = algal mortality rate, sec-1

ω_a = algal settling rate, m sec-1

Φ_a = algal concentration, g C m-3



<그림 8-19> Internal flux between algae and other compartment

다. 인(Phosphorus)

인은 식물플랑크톤의 성장에 있어 중요한 영양염류의 하나로 작용하기 때문에 수생태계에서 중요한 요소이다. 많은 담수에서 인은 식물성플랑크톤의 최대성장을 제한하는 영양염류로 알려져 왔다(Schindler, 1971; Schindler et al., 1973; Volleneider, 1968, 1976). 인의 반응식은 식(8.6)과 같으며 모식도는 <그림 8-20>과 같다.

$$\frac{\partial \Phi_p}{\partial t} = (K_{ar} - K_{ag}) \delta_p \Phi_a + K_{ldom} \delta_p \gamma_{om} \Phi_{ldom} + K_{dt} \delta_p \gamma_{om} \Phi_{dt} + K_{rdom} \delta_p \gamma_{om} \Phi_{rdom} + K_s \delta_p \gamma_{om} \Phi_s + S_{od} \delta \gamma_{om} \gamma_{om} A_s - \frac{P_p(\omega_{ss} \Phi_{ss} + \omega_{dt} + \omega_{FE} \Phi_{FE})}{\Delta z} \Phi_p \dots \dots \dots (8.6)$$

여기서,

Δz = model cell thickness, m

A_s = sediment area, m²

P_p = adsorption coefficient, m³g⁻¹

δ_p = stoichiometric coefficient for phosphorus

γ_{om} = temperature rate multiplier for organic matter decay

ω_i = settling velocities, m sec⁻¹

K_{ar} = algal dark respiration rate, sec⁻¹

K_{ag} = algal growth rate, sec⁻¹

K_{ldom} = labile DOM decay rate, sec⁻¹

K_{dt} = detritus decay rate, sec⁻¹

K_s = sediment decay rate, sec⁻¹

S_{od} = anaerobic sediment release rate, g m⁻³

K_{rdom} = refractory DOM decay rate, sec⁻¹

Φ_{rdom} = refractout DOM decay rate, sec⁻¹

Φ_a = algal concentration, g m⁻³

Φ_{ldom} = labile DOM concentration, g m⁻³

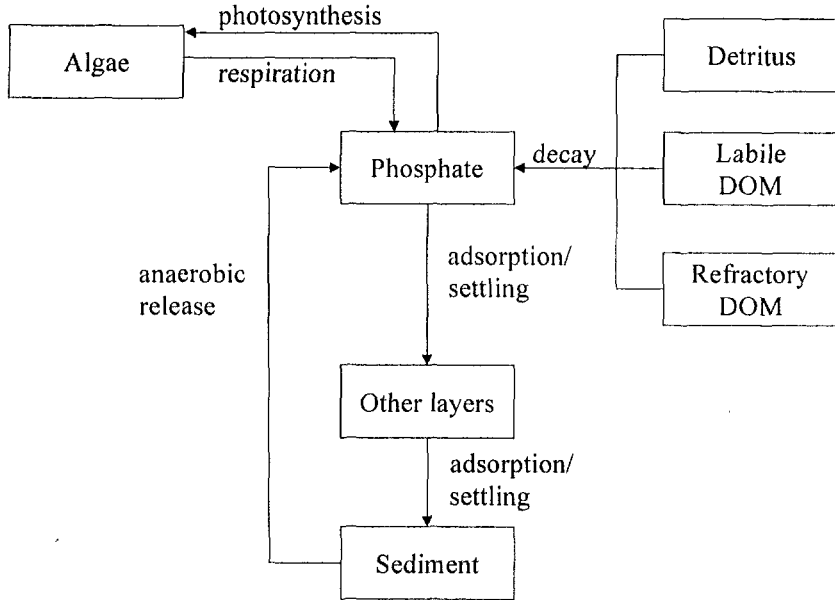
Φ_{dt} = detritus concentration, g m⁻³

Φ_s = organic sediment mass, g

Φ_{ss} = inorganic suspended solids concentration, g m⁻³

Φ_p = phosphorus concentration, g m⁻³

Φ_{FE} = total iron concentration, g m⁻³



<그림 8-20> Internal flux between phosphorus and other compartment

라. 암모니아성질소(Ammonia-Nitrogen)

암모니아성질소는 광합성하는 동안에 조류에 의해 단백질의 형태로 사용된다. 많은 강의 하구에 적용시, 암모니아성질소는 조류생장을 제한하는 영양염류이다. 암모니아성질소의 반응식은 아래와 같으며 모식도는 <그림 8-21>과 같다.

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial \Phi_{NHA}}{\partial t} = & K_{ar} \delta_p \Phi_s - K_{ag} \delta_N \Phi_a \frac{\Phi_{NHA}}{\Phi_{NHA} + \Phi_{NH_4}} + K_{ldom} \delta_{N\gamma_{om}} \Phi_{ldom} \\
 & + K_{rdom} \delta_{N\gamma_{om}} \Phi_{rdom} + K_{dt} \delta_{N\gamma_{om}} \Phi_{dt} + K_s \delta_{N\gamma_{om}} \Phi_s \\
 & + S_{NHA} \gamma_{om} A_s + K_{NO_3} \gamma_{NO_3} \Phi_{NO_3} - K_{NHA} \gamma_{NHA} \Phi_{NHA} \dots (8.7)
 \end{aligned}$$

여기서,

Δz = cell thickness, m

A_s = sediment area, m²

δN = stoichiometric coefficient for nitrogen

γ_{om} = temperature rate multiplier for organic matter decay

γ_{NH_4} = temperature rate multiplier for nitrification

γ_{NO_3} = temperature rate multiplier for denitrification

K_{ar} = algal dark respiration rate, sec⁻¹

K_{ag} = algal growth rate, sec⁻¹

K_{ldom} = labile DOM decay rate, sec⁻¹

K_{rdom} = refractory DOM decay rate, sec⁻¹

K_{dt} = detritus decay rate, sec⁻¹

K_s = sediment decay rate, sec⁻¹

SNH_4 = sediment ammonia release rate, g m⁻³

KNH_4 = ammonia-nitrogen decay rate, sec⁻¹

KNH_4 = ammonia-nitrogen decay rate, sec⁻¹

Φ_{ss} = inorganic suspended solids concentration, g m⁻³

Φ_{ldom} = labile DOM concentration, g m⁻³

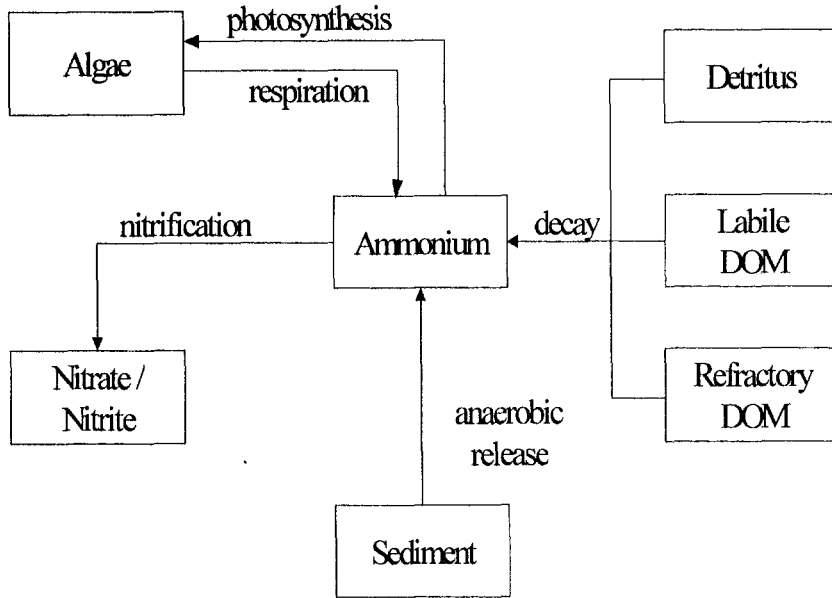
Φ_{rdom} = refractout DOM decay rate, sec⁻¹

Φ_a = algal concentration, g m⁻³

Φ_{NH_4} = ammonia-nitrogen concentration, g m⁻³

Φ_{NO_3} = nitrate-nitrogen concentration, g m⁻³

Φ_s = organic sediment mass, g



<그림 8-21> Internal flux between ammonia-nitrogen and other compartment

마. 질산성질소(Nitrate-Nitrogen)

질산성질소에 관한 compartment는 질산성질소와 아질산성질소를 합한 값을 나타낸다. 아질산성질소는 암모니아성질소에서 질산성질소로 변하는 질산화 과정의 중간 생성물이다. 질산성질소는 조류가 광합성을 할 때 필요한 질소의 형태로 사용된다. 질소는 높은 인부하량이 있는 수계나 강어귀에서 조류를 제한하는 영양염류이다. 어떤 종류의 남조류는 광합성에 필요한 질소를 대기중에서 고정시킬수 있다. 질소고정은 모델에서 고려되지 않았기 때문에, 수질모의를 할 때 남조류에 의한 질소고정에 의한 조류성장에 대해서 세심하게 해석되어야 한다. 이 모델에 사용된 질산성질소에 대한 반응식은 식(8.8)과 같으며 모식도는 <그림 8-22>와 같다.

$$\frac{\partial \Phi_{NO_3}}{\partial t} = K_{NHA} \gamma_{NHA} \Phi_{NHA} - K_{NO_3} \gamma_{NO_3} \Phi_{NO_3} - k_{ag} \delta_N \Phi_a \left(1 - \frac{\Phi_{NHA}}{\Phi_{NHA}} + \Phi_{NO_3} \right) \dots \dots \dots (8.8)$$

여기서,

γ_{NH4} = temperature rate multiplier for nitrification

γ_{NO3} = temperature rate multiplier for denitrification

δn = stoichiometric coefficient for nitrogen

$KN03$ = nitrification rate, sec-1

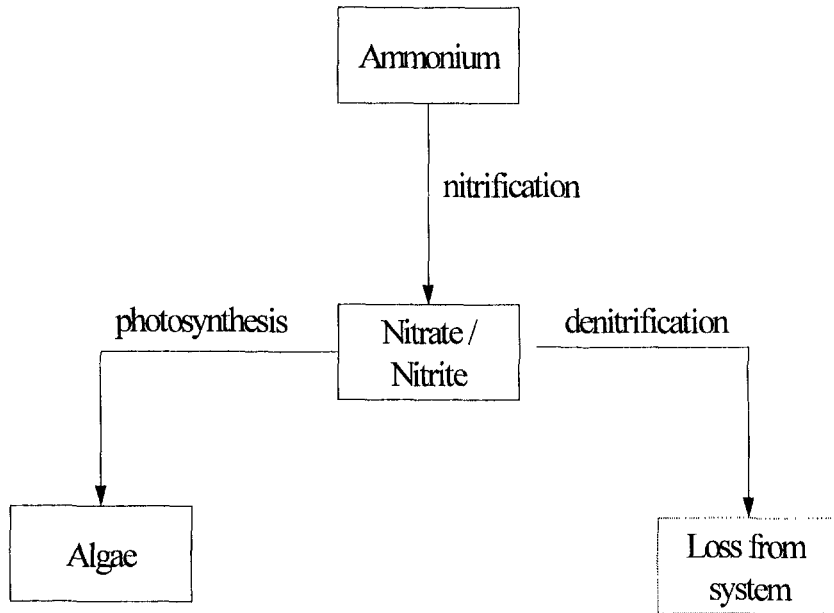
$KNH4$ = denitrification rate, sec-1

Kag = algal concentration, g m-3

ϕ_a = algal concentration, g m-3

ϕ_{NH4} = ammonia-nitrogen concentration, g m-3

ϕ_{NO3} = nitrate-nitrogen concentration, g m-3



<그림 8-22> Internal flux between nitrate + nitrite-nitrogen and other compartment

사. 용존산소(Dissolved Oxygen)

용존산소는 수생태계에서 가장 중요한 요소 중의 하나이다. 이 모델에서는 호기성과 혐

기성 과정 모두를 포함한다. 용존산소는 조류의 광합성에 의해 제공받으며, 조류의 호흡과 암모니아성 질소, 부식질(detritus) 및 용존유기물의 분해에 의해 고갈된다. 용존산소의 반응식은 다음과 같으며 모식도는 <그림 8-22>과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Phi_{DO}}{\partial t} = & K_{ag} \delta_{om} \Phi_a - K_{ar} \delta_{om} \Phi_a - K_{NH_4} \delta_{NH_4} \Phi_{NH_4} \\ & - K_{dt} \delta_{om} \gamma_{om} \Phi_{dt} - K_s \delta_{om} \gamma_{om} \Phi_s - S_{od} \gamma_{om} A_s \\ & - K_{ldom} \delta_{om} \gamma_{om} \Phi_{ldom} - K_r \delta_{om} \gamma_{om} \Phi_{rdom} + A_{kt} E_o (\Phi'_{DO} - \Phi_{DO}) \cdot (8.9) \end{aligned}$$

여기서,

A_s = sediment surface area, m²

A_{kt} = water surface area, m²

δ_{om} = oxygen stoichiometric coefficient for nitrification

δ_{NH_4} = temperature rate multiplier for nitrification

γ_{NH_4} = temperature rate multiplier for nitrification

γ_{om} = temperature rate multiplier for organic matter decay

K_{ag} = algal growth rate, sec⁻¹

K_{rs} = algal dark respiration rate, sec⁻¹

K_a = ammonia decay(nitrification) rate, sec⁻¹

K_{dt} = detritus decay rate, sec⁻¹

K_{ldom} = labile DOM decay rate, sec⁻¹

K_s = sediment decay rate, sec⁻¹

S_{od} = sediment oxygen demand, g m⁻² sec⁻¹

E_o = interfacial exchange rate for oxygen, m sec⁻¹

C_a = algal concentration, g m⁻³

Φ_{ldom} = labile DOM concentration, g m⁻³

Φ_{rdom} = refractory DOM concentration, g m⁻³

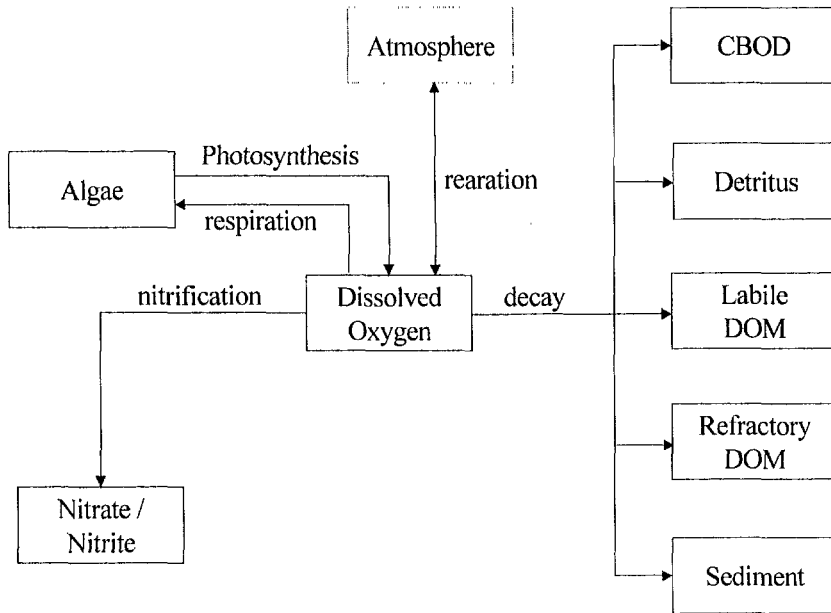
Φ_{dt} = detritus concentration, g m⁻³

Φ_{NH_4} = ammonia-nitrogen concentration, g m⁻³

ϕ_{DO} = dissolved oxygen concentration, g m⁻³

ϕ_s = sediment mass, g

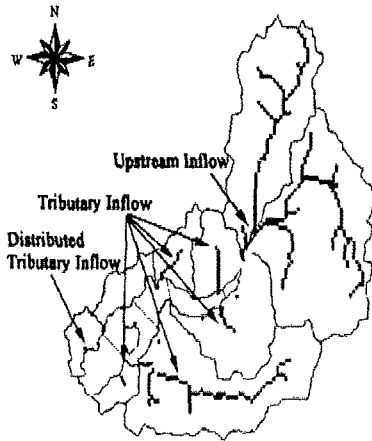
ϕ'_{DO} = saturation DO concentration, g m⁻³



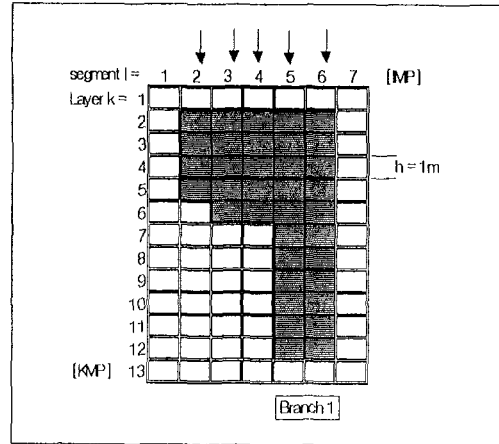
<그림 8-23> Internal flux between DO and other compartment

3. 모델의 입력자료

보령호는 한 개의 main branch로 이루어져 있고 유역은 <그림 8-24>과 같다. 총연장은 10km 이고, 수심은 평균해수면을 기준으로 최저 12m 최고 2m를 기록하고 있다. 길이에 대한 segment 는 7개(I = 1 to 7)로 하였고, 수심에 대한 layer는 최대 13개(k = 1 to 13)로 1 layer당 1m로 하였다. 지류는 총 5개로 각각의 segment로 유입되는 것으로 하였다.



<그림 8-24>보령호의 유역과 지류



<그림 8-25> 보령호 수체 모형

가. 기본조건

- 1) 보령호는 한 개의 main branch 로 이루어져 있고 유역은 <그림 8-24>와 같다. 총연장은 14km 이고, 수심은 평균해수면을 기준으로 최저 9m 최고 2m를 기록하고 있다.
- 2) 길이에 대한 segment는 7개(I = 1 to 7)로 하였고, 수심에 대한layer는 최대 13개(k = 1 to 13)로 1 layer당 1m 로 하였다.
- 3) 지류는 총5개로 <그림 8-25>와 같이 각각의 segment로 유입되는 것으로 하였다.
- 4) 유입량은 모두 유출하는 것으로 가정하였다.
- 5) 빙도에서의 유입량은 없는 것으로 가정하였다.

나. 모델의 input 자료

모델의 input 자료는 <그림 8-24>와 같이 총 9개의 유역을 중심으로 유량과, 오염부하량, 기타 자료를 수집하였다. 기본적인 자료의 입력파일은 다음과 같다:

1) Control File

Control File는 모델을 실행시키는데 사용되는 여러 가지 변수(시간, 위치, 유입, 유출, 기상 등의 전반적인 부분)를 포함한다.

2) Bathymetry File

Bathymetry File은 segment 길이, 수표면의 표고, segment 위치, layer의 높이 그리고 각각의 cell의 평균하폭을 포함한다.

다음은 Bathymetry File의 구성을 나타낸 것이다.

Hongbo Reservoir bathymetry- seg : 7 , lay : 13

Segment length [DLX]

1000.0 2316.0 1951.0 1544.0 1924.0 1829.0 1000.0

Water surface elevation [ELWS]

9.0 9.0 9.0 9.0 9.0 9.0 9.0

Segment orientation [PHIO]

3.14 3.14 3.14 3.14 3.14 3.14 3.14

Layer height [H]

1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0 1.0
1.0 1.0 1.0

Segment 1 - branch 1 upstream boundary

0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0.

Segment 2 - branch 1

0. 477. 177. 61. 24. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0.

Segment 3 - branch 1

0. 762. 703. 508. 267. 44. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0.

Segment 4 - branch 1

0. 460. 329. 271. 193. 45. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0.

Segment 5 - branch 1

0. 1710. 901. 869. 771. 687. 512. 359. 275. 199.
120. 45. 0.

Segment 6 - branch 1

0. 78. 78. 78. 78. 78. 78. 78. 78. 78.
78. 45. 0.

Segment 7 - branch 1 downstream boundary

0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0. 0.
0. 0. 0.

3) Meteorologic File(기상인자)

기상인자로서 Julian date(JDAY), 기상온도(TAIR), 이슬점온도(TDEW), 풍속(WIND), 풍향(PHI), 흐림(CLOUD)정도를 나타내며 다음과 같은 형식으로 구성되어있다.

1999 Hongbo Reservoir meteorology

| JDAY | TAIR | TDEW | WIND | PHI | CLOUD |
|-------|------|------|------|------|-------|
| 0.1 | -1.4 | -6.3 | 2.1 | 3.14 | 9. |
| 30.9 | -1.4 | -6.3 | 2.1 | 3.14 | 9. |
| 31.0 | 0.6 | -4.7 | 2.0 | 3.53 | 3. |
| 58.9 | 0.6 | -4.7 | 2.0 | 3.53 | 3. |
| 59.0 | 5.7 | -0.1 | 2.0 | 3.14 | 5. |
| 89.9 | 5.7 | -0.1 | 2.0 | 3.14 | 5. |
| 90.0 | 10.7 | 3.4 | 1.8 | 3.53 | 8. |
| 119.9 | 10.7 | 3.4 | 1.8 | 3.53 | 8. |

4) Branch Inflow Constituent Concentration File

본류의 유입농도를 나타내며 성분요소로는 유효인(PHOSPH), 암모니아성질소(AMMOUIU), 질산성질소(NITRATE), BOD, 조류(ALGAE)이며 다음과 같은 구성으로 되어있다.

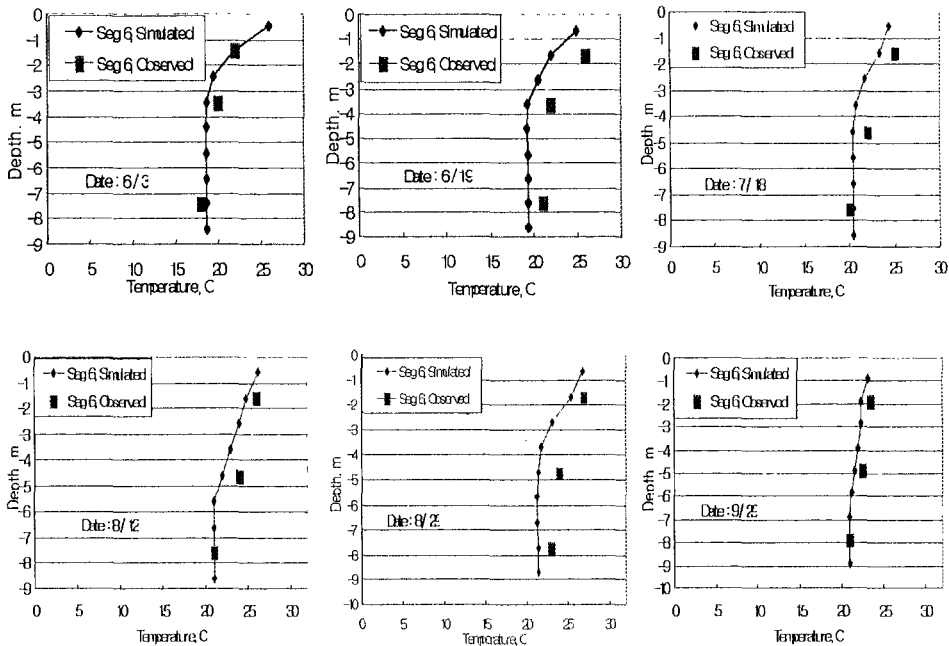
1999 Hongbo Reservoir branch 1 inflow concentrations

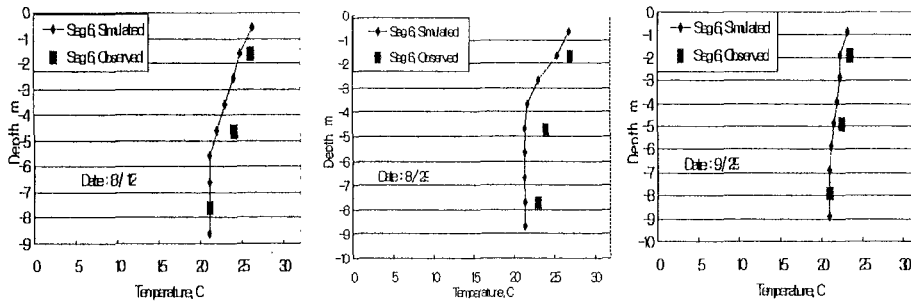
| JDAY | PHOSPH | AMMONIU | NITRATE | CBOD | ALGAE |
|-------|--------|---------|---------|------|-------|
| 30.5 | 0.009 | 0.036 | 0.535 | 10.4 | 0.8 |
| 105.0 | 0.007 | 0.288 | 0.329 | 8.5 | 0.4 |
| 135.0 | 0.008 | 0.324 | 0.432 | 9.4 | 0.3 |
| 300.0 | 0.007 | 0.223 | 0.267 | 8.6 | 0.6 |

4. 모델의 적용

가. 모델의 보정

CE-QUAL-W2 모델에서 보정은 물수지(water budget), 온도, 그리고 수질 순서로 보정을 실시한다. 왜냐하면 수질의 보정인자에 가장 결정적인 역할을 하는 것이 위에서 설명한 물수지와 온도 등과 같은 인자이기 때문이다. 물수지는 농업기반공사에서 측정하고 있는 담수호의 수위 자료를 이용하여 보정하였고, 온도인자는 수위를 보정한 후에 온도에 영향을 미치는 매개변수인 점성계수(eddy viscosity), 확산계수(eddy diffusivity), chezy계수, wind sheltering계수, 태양복사계수 등을 찾아내어 보정하였다. 그 중 가장 민감하게 반응하는 매개변수는 wind sheltering계수이다. 이 매개변수는 기상상태 인자로서 수심에 따른 변화를 크게 보이고 있으며, 매개변수로 보정된 모의 결과는 다음과 같다.





〈그림 8-26〉 관측치와 모의치의 수온비교

제4절 담수호 수질모델(WASP5)

1. 모델의 선정 및 이론

WASP5 모형은 저수지, 하천, 하구, 해양 등에서 수체의 이동과 BOD, DO 등 주요 수질항목, 그리고 부영양화에 관련된 항목과 독성물질의 이동, 상호반응에 대한 모의가 가능하며, 수계에 대해 요소별(element)로 구획(segment)분할이 가능한 Box형 모형으로서, 각 요소를 하나의 Box로 간주하는 요소분할모형이다. 이 모형은 시간에 따른 변화를 고려할 수 있으므로, 연중 변화는 물론 짧은 시간 간격의 수질변화의 분석이 가능하며, 필요에 따라 1, 2, 3 차원 분석이 가능한 모형이다.

미국 EPA의 Great Lake Program의 일부로 Di Toro 등에 의해 처음 개발된 후, 수 차례의 적용을 통한 결과분석을 바탕으로 수정과 보완을 거쳐 온 WASP (Water Quality Analysis Simulation Program)모형은 크게 유체의 거동을 모의하는 DYNHYD부분과 수질성분의 거동과 상호작용을 모의하는 WASP부분으로 나누어진다. DYNHYD모형은 수질예측모형의 수행을 위한 수리학적 입력자료인 수위, 유속, 유량 등을 제공하는 모형으로 개발되어 왔으며, WASP부분은 다시 부영양화 BOD, DO의 변화 등 보편적인 수질오염을 분석하는 EUTRO모형과 유기화합물, 중금속, 퇴적물 등에 의한 독성오염을 분석하는 TOXI모형으로 구성되어 있다. 생태학적 수질모형인 EUTRO5모형은 좁은 의미의 WASPAH형이라고 할 수 있으며, DO, BOD 등 8개의 수질항목을 모의할 수 있으며 15개의 오염원 5개의 경계조건을 고려할 수 있다. TOXI5모형은 수체내에서의 독성물질의 거동을 모의할 수 있다.

2. 기본 수질모형

가. 물질수지식

수체에서 오염이송의 주요 원인이 되는 요소는 유량, 확산, 각 물질간 상호반응 등이며, 유역에 관한 지형, 지질, 토지이용, 수문, 기상 등 광범위한 자료가 요구되고, 예측되는 항목별로 그 반응들을 다 고려해주어야 하기 때문에 확산계수나 물질 상호반응을 구별하기 위한 계수의 산정은 매우 어렵고 중요하므로 수질항목간의 관계를 잘 살펴보아야 한다.

수체에서 오염물질에 대한 질량평형식은 부하량, 이송과 확산이송, 그리고 물리적, 화학적, 생물학적 변형을 통하여 모든 물질의 유출입 양상이 설명되어야 한다. 이제 x , y 좌표가 수평면에 있고 z 좌표가 연직면에 놓여있는 것으로 고려하면 미소체적에 대한 질량평형식은 식(8.10)과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial C}{\partial t} = & -\frac{\partial}{\partial x}(U_x C) - \frac{\partial}{\partial z}(U_z C) \\ & + \frac{\partial x}{\partial t}(E_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial C}{\partial x}(E_y \frac{\partial C}{\partial y}) + \frac{\partial C}{\partial x}(E_z \frac{\partial C}{\partial z}) \dots \dots \dots (8.10) \\ & + S_L + S_B + S_K \end{aligned}$$

여기서, C = 오염물질의농도(mg/L 또는 g/m^3)

U_x, U_y, U_z = 종방향, 측방향 및 연직방향 유속(m/d)

E_x, E_y, E_z = 종방향, 측방향 및 연직방향 확산계수(m^2/d)

S_L = 오염물 부하율($g/m^3/d$)

S_B = 표층수, 저층수 및 하상과 대기를 포함한 경계부하율 ($g/M^3/d$)

S_K = 총 도역학적 변형을; 양이면 생성항, 음이면 소멸항 ($g/M^3/d$)

미소체적을 더 큰 인접한 구간으로 확장하고 적절한 이송, 부하, 변환 매개변수를 지정함으로써 WASP5 모형은 유한차분형태로 구성될 수 있다. 연직과 측면으로 균일하다고 가정하면 y 와 z 에 걸쳐서 평균치를 취하면 식은 식(8.11)과 같이 기술될 수 있다.

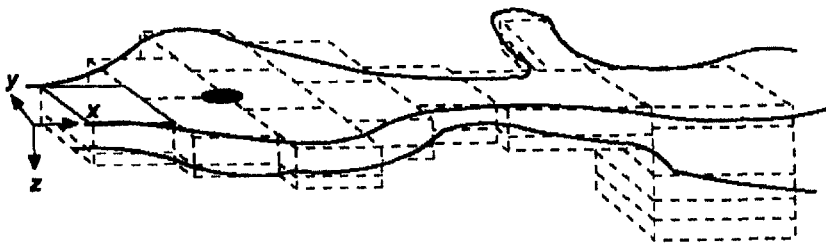
$$\frac{\partial}{\partial t}(AC) = \frac{\partial}{\partial x}(-U_x AC + E_x A \frac{\partial C}{\partial x}) + A(S_L + S_B) + A S_K \dots \dots (8.11)$$

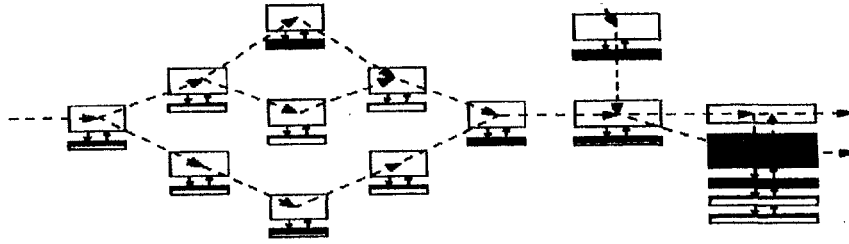
여기서, A= 단면적(m²)이며, 방정식에서 세 가지 주된 수질 과정인 이송·확산과정(우변의 1항), 부하과정(2항), 변환과정(3항)을 나타낸다. 이 지배방정식은 모의하고자 하는 수질항목의 수만큼 형성되며 각각은 모의할 수질항목의 반응식을 포함한다.

나. 구획화(Segmentation)

WASP5모형은 대상 수체의 물리적인 특성을 나타내는 구획(segment)으로 분할하여 물질수지를 계산한다. 구획화는 <그림 8-27>과 같이 수체를 수직, 수평방향의 분할 및 배열, 연결을 이용하여 3차원 모형으로 확장 할 수 있다. 수심방향의 수직 분할은 다음과 같은 4가지 유형으로 구별되며, 수질항목들의 농도는 구획 내에서 계산된다.

- 1) Surface (epilimnion layer, 표수층): 수질
- 2) Subsurface (hypolimnion layer, 심수층): 수질
- 3) Upper bed (upper benthic layer, 저면표층): 하상퇴적물
- 4) Lower bed (lower benthic layer, 저면심층): 하상퇴적물





<그림 8-27> Model segmentation

다. 물질전달

물질전달은 수층의 흐름, 저면에서의 공극수 흐름, 고형물의 침전, 퇴적, 세굴, 강우 및 증발의 6개의 유동장(flow field)을 통해 유체 및 영양염류의 이송과 확산을 모의할 수 있으며 이중 수층에서의 이송과 확산은 다음과 같다.

1) 수층에서 이송 (water column field)

수리모형(DYNHYD5)을 이용하지 않는 경우 유속(V), 유량(Q), 수심(D), 수로폭(B)간 관계는 QUAL2E 모형과 같이 다음 식을 이용하여 표현한다.

$$V = a Q^b, \quad D = c Q^d, \quad B = e Q^f \dots \dots \dots (8.12)$$

여기서, 계수 a, b, c, d, e, f는 수문관측자료로부터 획득되어진다. 유량 및 유속 등 수리측정자료가 미비하거나 없을 경우에는 수리모형(DYNHYD5)을 모의하여야 하며 이 경우는 DYNHYD5의 결과치가 수질모형의 자료로 입력되어진다.

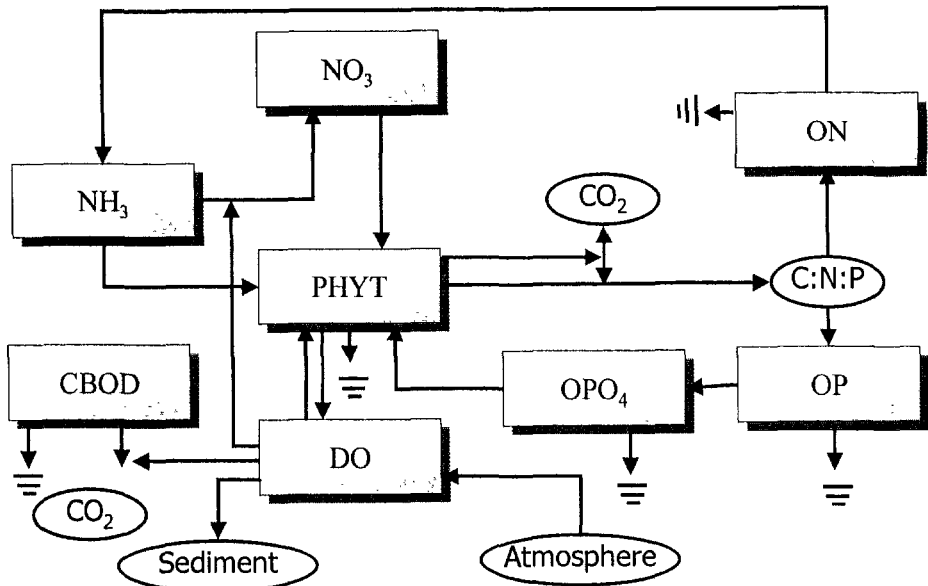
2) 수층에서의 확산(water column dispersion)

요소간 확산이송은 요소간의 농도차와 확산계수, 단면적에 비례하며 하구, 호소, 저수지 등에서 중요한 역할을 한다.

3. 부영양화모형(Eutrophication Model, EUTRO5 Model)

가. 모형의 개요

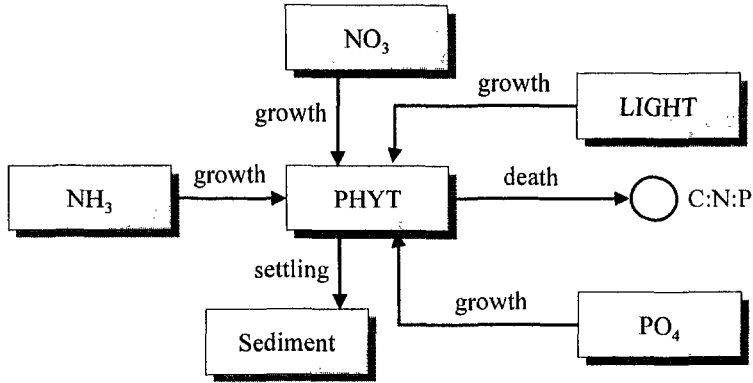
수질을 결정하는 중요한 식물성 플랑크톤의 양은 무기 영양염류의 직·간접적인 영향을 받는다. 이러한 모형은 <그림 8-28>에서 보는 바와 같이 식물성 플랑크톤의 증식을 중심으로 여러 가지 부영양화 현상 및 그와 관련된 많은 인자(수온, 일사량, 영양염류 등)의 생물학적, 화학적, 물리학적 상호관계를 포함하며, 수체 내의 인, 질소 등의 영양염류와 용존산소, 탄소화합물을 주요 인자로 수질변수간의 상호작용을 통한 수질변화를 파악하고, 다음과 같은 복잡도에 따라 6단계로 모의가 가능하다.



<그림 8-28> EUTRO5 모형의 모식도

1) 식물성 플랑크톤의 반응식

식물성 플랑크톤은 광합성에 의한 조류성장, 호흡 및 동물성 플랑크톤에 의한 포식을 주요요소로 수온, 광감도, 감쇄계수, 영양염 농도에 의해 영향을 받는다. 식물성 플랑크톤과 상호 작용하는 수질 인자와의 관계는 <그림 8-29>와 같다.



<그림 8-29> Phytoplankton kinetics

$$\frac{\partial C_4}{\partial t} = G_{pl} C_4 - D_{pl} C_4 - \frac{V_{sl}}{D} C_4 \dots \dots \dots (8.13)$$

여기서, C_4 :식물성플랑크톤탄소

2) 인의 반응식

일반적으로 호소의 제한영양물질로 알려진 인(P)은 담수호의 영양상태를 판정할 수 있는 중요한 수질 변수로 알려져 있다. 호소내에서 인의 변화과정은 식물성 플랑크톤의 사멸, 분해에 따른 유기인의 생성과 유기인의 변화에 따른 무기인의 생성, 그리고 무기인을 이용한 조류의 성장 등이다. 인의 순환과정과 이에 관련된 각 물질들의 반응식을 나타내면 아래 식과 같다.

- 식물성 플랑크톤 인

$$\frac{\partial (C_4 a_{pc})}{\partial t} = G_{pl} C_4 a_{pl} - D_{pl} C_4 a_{pc} - \frac{V_{sl}}{D} C_4 a_{pc} \dots \dots \dots (8.14)$$

여기서, a_{pc} = 인/탄소(mgP/mgC)

- 유기인(OP)

$$\frac{\partial C_8}{\partial t} = D_{pl} a_{pc} C_4 - \theta_{83}^{T-20} X_{PRC} C_8 - \frac{V_{S3}(1-f_{D8})}{D} C_8$$

여기서, $X_{PRC} = \frac{C_4}{K_{mpc} + C_4}$: 식물성플랑크톤의제한 (8.15)

K_{mpc} = 유기물이 무기화되는 과정의 반속도상수

k_{83} = 유기물이 무기화되는 반응의 반응속도상수

- 무기인(OP04)

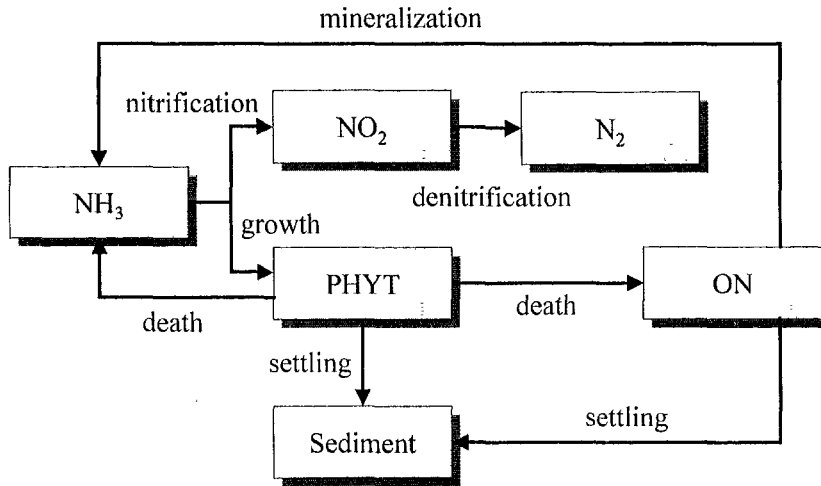
$$\frac{\partial C_3}{\partial t} = k_{83} \theta_{83}^{T-20} X_{PRC} C_8 - G_{pl} C_4 a_{pc} - \left(\frac{V_{S5}(1-f_{D8})}{D} \right) C_3$$

여기서, f_{op} : 식물성플랑크톤인이사멸이나호흡에의해유기인으로되는부분의분율

..... (8.16)

3) 질소의 반응식

여러 형태의 질소화합물이 담수호내에서 순환되는 과정은 식물성 플랑크톤의 사멸, 분해에 따른 유기질소와 암모니아의 생성 및 질산화 과정을 통한 질산염으로의 변환과 이에 따른 조류의 번식으로 알려져 있다.



<그림 8-30> Nitrogen cycle

- 식물성 플랑크톤 질소

$$\frac{\partial (C_4 a_{nc})}{\partial t} = G_{pl} C_4 a_{nc} - D_{pl} C_4 a_{nc} - \frac{V_{S4}}{D} C_4 a_{nc} \dots (8.17)$$

- 유기질소

$$\frac{d C_7}{dt} = D_{pl} C_4 a_{nc} f_{ON} - k_{71} \theta_{71}^{T-20} X_{PRC} C_7 - \frac{V_{S3}(1-f_{DT})}{D} C_7 \dots (8.18)$$

- 암모니아성 질소

$$\frac{d C_1}{dt} = D_{pl} C_4 a_{nc} (1 - f_{ON}) + k_{71} \theta_{71}^{T-20} X_{PRC} C_7 \dots (8.19)$$

$$- G_{pl} P_{NH3} C_4 a_{NC} - k_{12} \theta_{12}^{T-20} \left(\frac{C_6}{K_{NIT} + C_6} \right) C_1 \dots (8.20)$$

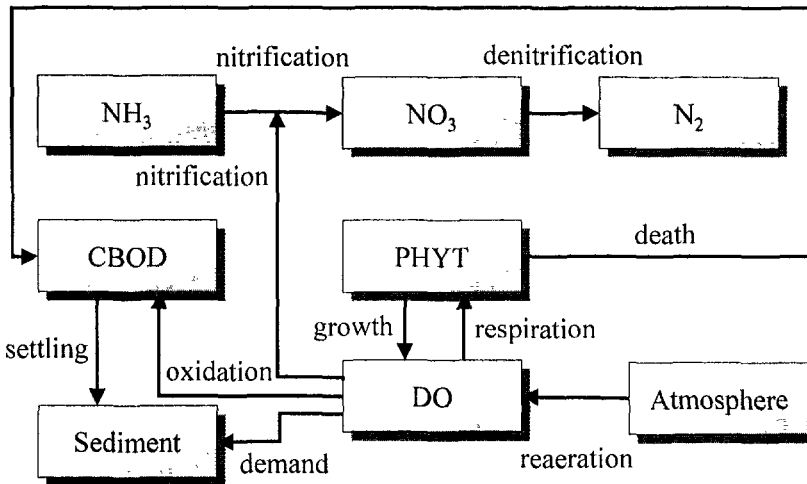
- 질산성 질소

$$\frac{dC_2}{dt} = k_{12} \theta_{12}^{T-20} \left(\frac{C_6}{K_{NIT} + C_6} \right) C_1 - G_{p1} (1 - P_{NH3}) C_4 a_{nc} \quad (8.21)$$

$$- k_{2D} \theta_{2D}^{T-20} \left(\frac{K_{NO3}}{K_{NO3} + C_6} \right) C_2$$

4) 용존산소 반응식

산소평형에는 식물성 플랑크톤 탄소, 암모니아, 질산염, CBOD, 용존산소 등 5개 수질 인자가 관여한다. 용존산소의 감소는 수체내의 호흡에 의한 감소, 오염물의 산화와 하상 침전물의 혐기성 반응에 의한 감소가 주원인이다.



<그림 8-31> Oxygen balance

- 탄소성 BOD

$$\frac{dC_5}{dt} = k_{1D} C_4 a_{oc} - k_D \theta_D^{T-20} C_5 \left(\frac{C_6}{K_{BOD} + C_6} \right) - \frac{V_{S3}(1-f_{D5})C_5}{D} - \frac{5}{4} \frac{32}{14} k_{2D} \theta_{2D}^{T-20} \left(\frac{K_{NO3}}{K_{NO3} + C_6} \right) C_2 \quad (8.22)$$

-용존 산소

$$\begin{aligned} \frac{dC_6}{dt} = & k_a \theta_a^{T-20} (C_s - C_6) - k_D \theta_D^{T-20} C_5 \left(\frac{C_6}{K_{BOD} + C_6} \right) \\ & - \frac{2}{1} \frac{32}{14} k_{12} \theta_{12}^{T-20} \left(\frac{C_6}{K_{NIT} + C_6} \right) C_6 - \frac{32}{12} k_{1R} \theta_{1R}^{T-20} C_4 \cdot (8.23) \\ & - \frac{SOD}{D} + G_{pl} C_4 \left(\frac{32}{12} + \frac{3}{2} \frac{32}{14} a_{NC} (1 - P_{NH3}) \right) \end{aligned}$$

k_{1R} : 식물성플랑크톤의 호흡률(day^{-1})

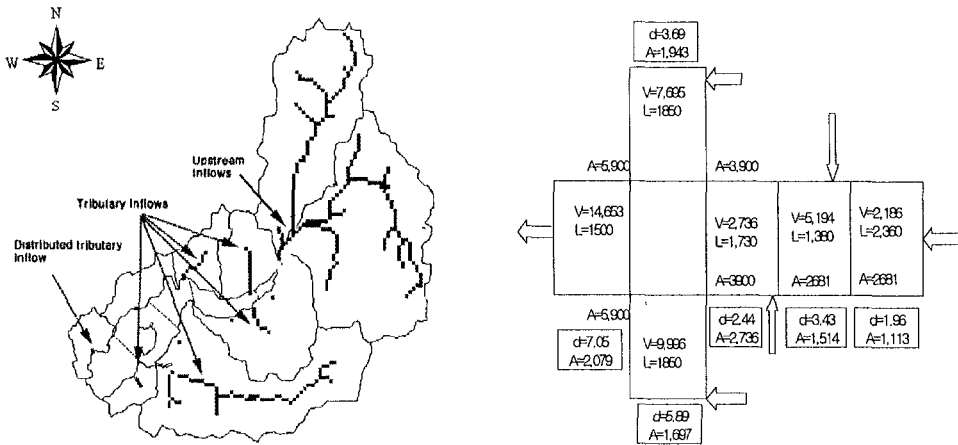
a_{oc} : $mg O_2/mg C$

K_{BOD} : 산소부족에 대한 반포화상수($mg O_2/L$)

G_{pl} : 조류성장률(day^{-1})

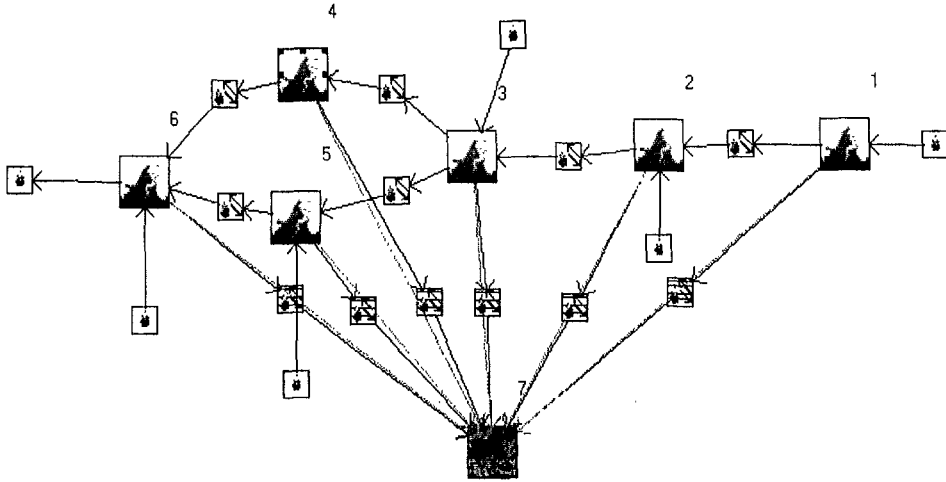
4. 모형의 적용

가. 호내 구역의 구획화 및 연결



<그림 8-32> 호내 구획의 분할

호내 구획분할은 그림과 같이 총 6개의 표수층과 1개의 저면표층으로 구분하였고 이를 토대로 <그림 8-33>과 같은 Graphical representation을 작성하였다.



<그림 8-33> Graphical representation

나. 담수호 수질 모의를 위한 입력자료

부영양화 모델(EUTRO5)을 실행하기 위한 입력자료그룹은 10개로 구성되어 있으며 보령담수호의 수질모의를 위해 입력된 자료는 다음과 같다.

1) 모형개요 및 프로그램 제어(Model Identification and Simulation Control)

모델 수행의 형태 및 입·출력 제어에 관한 자료와 전체 segment의 수 및 모의된 수질항목의 수, 모의시간간격과 출력시간간격 등이 입력되는 자료군으로 입력된 값은 다음과 같다.

- segment의 수 : 7개(표수층 6개 + 저면표층 1개)
- 모의하는 수질변수의 수 : 8개(Chl-a, NH3-N, NO3-N, Org-N, PO4-P, Org-P, CBOD, DO)
- 모의시간간격 : 1일부터 120일까지는 0.01day로 하였고 유입량의 변화가 급격한 120일에서 150일까지는 0.0025day로, 150일에서 250일까지는 0.005day로 하였으며 그후로는 다시 0.01day로 입력
- 출력시간간격 : 30day

2) 교환계수(Exchange Coefficients)

수평층간의 확산과 수직확산으로 나누어지는데, 본 연구에서는 6개 표수층간의 수평확산과 각 표수층과 저면상층간의 수직확산을 고려하였다. 단면적과 특성길이는 농업기반공사에서 제공한 수심분포도와 현장조사를 통하여 산정하였다.

(표 8-4) 확산 계산을 위한 segment 간의 단면적 및 특성길이(수평확산)

| Segment | 단면적(m ²) | 특성길이(m) |
|---------|----------------------|---------|
| 1 - 2 | 2681.0 | 2300.0 |
| 2 - 3 | 2898.0 | 1440.0 |
| 3 - 4 | 3900.0 | 1750.0 |
| 4 - 6 | 5900.0 | 1800.0 |
| 5 - 6 | 5900.0 | 2000.0 |
| 3 - 5 | 3900.0 | 1750.0 |

(표 8-5) 확산 계산을 위한 segment 간의 단면적 및 특성길이(수직확산)

| Segment | 단면적(m ²) | 특성길이(m) |
|---------|----------------------|---------|
| 1 - 7 | 1113300 | 1.96 |
| 2 - 7 | 1514500 | 3.43 |
| 3 - 7 | 2736300 | 2.44 |
| 4 - 7 | 1943300 | 3.69 |
| 5 - 7 | 1697200 | 5.89 |
| 6 - 7 | 2079400 | 7.05 |

다. 체적(Volumes)

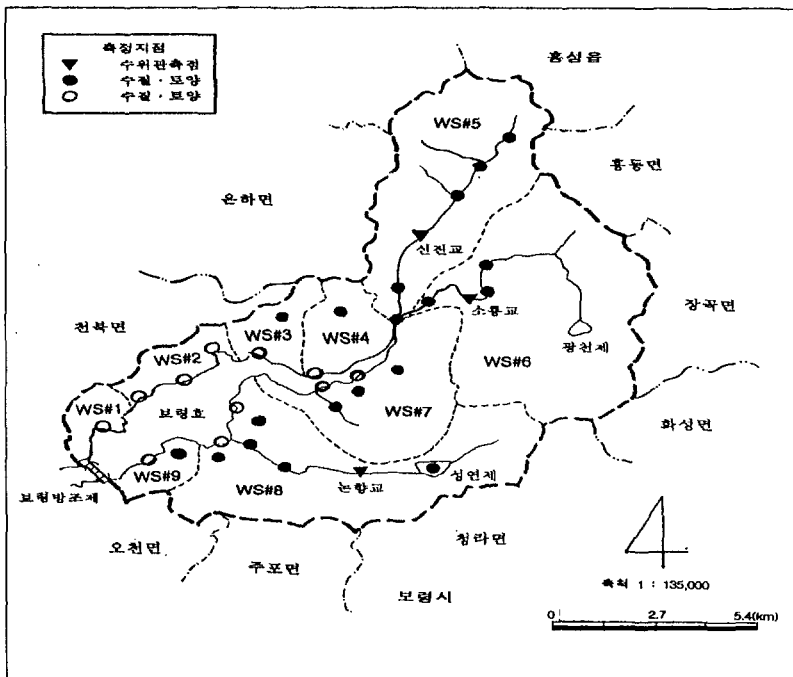
소 구간의 체적과 형태 등 기하학적 정보를 입력하는 자료군으로 WASP5 모델은 수층의 형태를 표수층, 심수층, 저면상층 그리고 저면하층으로 구분할 수 있다.

(표 8-6) 소구간의 체적 및 형태

| Segment | Bottom Segment | Segment Type | Volume(m ³) |
|---------|----------------|--------------|-------------------------|
| 1 | 7 | 표수층 | 2182068 |
| 2 | 7 | 표수층 | 5194735 |
| 3 | 7 | 표수층 | 6676572 |
| 4 | 7 | 표수층 | 7170777 |
| 5 | 7 | 표수층 | 9996508 |
| 6 | 7 | 표수층 | 14659770 |
| 7 | 0 | 저면상층 | 12000000 |

라. 흐름(Flows)

보령호 유역은 <그림 8-34>와 같이 9개의 소유역으로 구성되어있으며, 지류는 총 5개로 각각의 Segment에 유입되는 것으로 하였다. 이중 소유역 #5와 #6에서 유입되는 흐름을 branch 1(본류)로하고, 2번지류는 소유역 #7에서, 3번지류는 소유역 #3에서, 4번지류는 소유역 #8에서 유입되며, 5번지류는 소유역 #9에서 유입되는 것으로 하였다.



<그림 8-34> 보령호의 유역
(표 8-7) 각 유입부의 유량(m³/sec)

| J-Day | 1(본류) | 2(지류) | 3(지류) | 4(지류) | 5(지류) |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | 0.157 | 0.005 | 0.005 | 0.112 | 0.015 |
| 10 | 0.157 | 0.006 | 0.008 | 0.138 | 0.016 |
| 91 | 0.749 | 0.055 | 0.001 | 0.256 | 0.055 |
| 121 | 1.227 | 0.091 | 0.005 | 0.391 | 0.089 |
| 152 | 4.547 | 0.356 | 0.041 | 1.164 | 0.019 |
| 182 | 0.64 | 0.045 | 0.014 | 0.244 | 0.049 |
| 213 | 2.973 | 0.233 | 0.018 | 0.769 | 0.008 |
| 244 | 4.672 | 0.364 | 0.018 | 1.231 | 0.029 |
| 274 | 1.814 | 0.136 | 0.016 | 0.564 | 0.031 |

마. 경계농도(Boundary Concentration)

유입과 유출이 있는 구간과 접하는 구간의 수질항목 농도에 관한 입력자료군으로 각 수질 항목에 대한 지류의 시간별 농도를 입력하였다. 각 수질 데이터는 1999년의 보령담수호 유역의 지류에 대한 실측자료를 기초로 했으며 실측데이터가 없는 Chl-a, OP, ON 등은 화용지구의 자료를 이용하였다.

라. 매개변수(Parameters)

각 소구간의 특성에 따른 매개변수의 변화를 나타내 주기 위한 입력자료군으로서, 총 14개의 매개변수 중 다음과 같이 7개를 기존 문헌 자료와 보령담수호의 상황에 맞추어 입력하였다.

(표 8-8) 모델에 사용된 매개변수

| Parameter Number | ANAME | 정 의 | 단 위 |
|------------------|-------|--|------------------------|
| 3 | TMPSG | 구간의 특성에 따른 온도 배수 $TEMP(STP) = TMPSG \times TEPFN$ | |
| 4 | TMPEN | 시간에 따른 온도함수를 나타내는 표시문자 Group I에서 4개의 정의된 온도함수 선택 | |
| 5 | KESG | 구간의 특성에 따른 광소멸계수의 배수 $KE = KEFN \times KESG$ | (m^{-1}) |
| 6 | KEFN | 광소멸계수의 시간함수 지정 Group I에서 5개의 정의된 광소멸계수 선택 | |
| 8 | FNH4 | 구간의 특성에 따른 평균 암모니아성 질소 용출계수의 배수 | ($mg/m^3 \cdot day$) |
| 9 | SOD1D | 구간의 특성에 따른 저니층의 산소요구율 | ($g/m^3 \cdot day$) |
| 12 | SODTA | 저니 산소요구량에 대한 온도보정계수 | |

바. 화학적 상수(Chemical Constants)

본 연구대상지역은 아직 담수화가 완료되지 않은 관계로 보정과 검증을 실시할 수 없어, 국내 다른 호소에 사용한 자료 및 다른 문헌에 발표된 자료 등을 참고로 하여 매개변수를 추정하였으며, WASP5 manual상의 초기값도 사용하였다.

사. 시간함수(Time Functions)

모의를 하고자 하는 지역의 환경적 특성을 시간에 따라 변화를 줄 수 있는 자료군으로 총 22개의 Time Function이 있다. 본 모의에서는 국내 다른 호소에 사용한 자료 및 다른 문헌에 발표된 자료 등을 참고로 하여 수온, 총 주간 태양복사에너지, 일조율, 풍속, 기온 등을 입력하였으며 광소멸계수, 암모니아 용출율, 인산 용출율 등은 초기값을 사용하였다.

아. 초기조건(Initial Conditions)

각각의 수질항목에 대한 고형물의 형태와 밀도는 기존문헌을 이용하였으며, 초기조건은 현재 담수화가 완료되지 않은 상태이므로 국내 다른 담수호에 사용된 값을 참고로 하여 사용하였다.

(표 8-9) EUTRO5 simulation을 위한 매개변수 적용값

| 수질항목 | ISC | 정의 및 단위 | Manual | 적용값 |
|------------------------|-----|---|-----------|-------|
| Growth | 41 | 조류의 성장률, (day^{-1}) | 2 | 2 |
| | 42 | 상수 41의 온도보정계수 | 1.069 | 1 |
| Light | 43 | 빛에 관한 함수 선택자 1 : Di Toro et al(1971) 이용 2 : Dick Smith's(USGS) 이용 | 1 | 2 |
| | 44 | 최대 양자수득률 (mg C/mole photons) | 720 | 720 |
| | 45 | 클로로필 감소계수 (mg Chl-a/m^3) | 0.017 | 0.017 |
| Nutrient | 48 | 조류성장에 필요한 질소의 반포화상수 (Ly/day) | 0.025 | 0.025 |
| | 49 | 조류의 성장시 인의 반포화상수 ($\text{mg PO}_4\text{-P/L}$) | 0.001 | 0.005 |
| | 57 | 조류내의 인과 탄소의 비율 (mg P/mg C) | 0.025 | 0.025 |
| | 58 | 조류내의 질소와 탄소의 비율 (mg N/mg C) | 0.25 | 0.25 |
| Death | 50 | 20°C 조류의 내생호흡율, (day^{-1}) | 0.125 | 0.125 |
| | 51 | 상수 51의 온도보정계수 | 1.045 | 1.045 |
| | 52 | 동물성 조류에 의한 섭생을 제외한 식물성 조류의 사멸율, (day^{-1}) | 0.02 | 0.02 |
| | 55 | 20°C 저니층에서 조류의 분해 반응율 (day^{-1}) | 0.02 | 0.7 |
| $\text{NH}_3\text{-N}$ | 11 | 20°C 에서의 질화 반응율, (day^{-1}) | 0.09-0.13 | 0.1 |
| | 12 | 상수 11의 온도보정계수 | 1.08 | 1.08 |
| | 13 | 질화반응시 반포화용존산소농도 ($\text{mg/ O}_2\text{/L}$) | 2 | 2 |
| $\text{NO}_3\text{-N}$ | 21 | 20°C 에서의 탈질화 반응율, (day^{-1}) | 0.09 | 0.15 |
| | 22 | 상수 21의 온도보정계수 | 1.045 | 1.045 |
| | 23 | 20°C 저니층에서 무기 질소의 분해 반응율 (day^{-1}) | 0.1 | 0.1 |

(표 8-9) EUTRO5 simulation을 위한 매개변수 적용값(계속)

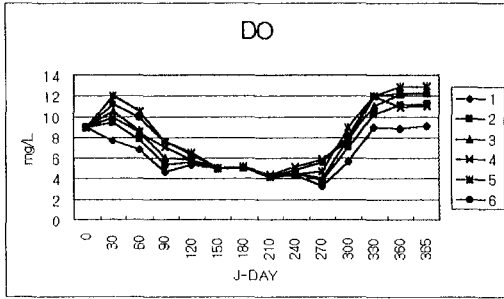
| 수질항목 | ISC | 정의 및 단위 | Manual | 적용값 |
|--------------------|-----|---|-----------|-------|
| Org-0 | 91 | 용존 유기질소의 무기화율, (day ⁻¹) | 0.075 | 0.075 |
| | 92 | 상수 91의 온도보정계수 | 1.08 | 1.08 |
| | 93 | 20°C 저니층에서 유기 질소의 분해 반응율 (day ⁻¹) | 0.0004 | - |
| | 94 | 상수 94의 온도보정계수 | 1.08 | - |
| PO ₄ -P | 57 | 조류내의 인과 탄소의 비율, (mg P/mg C) | 0.025 | 0.025 |
| Org-P | 100 | 용존 유기인의 무기화율, (day ⁻¹) | 0.22 | 0.22 |
| | 101 | 상수 100의 온도보정계수 | 1.08 | 1.08 |
| | 102 | 20°C 저니층에서 유기인의 분해 반응율 (day ⁻¹) | 0.0004 | - |
| | 103 | 상수 102의 온도보정계수 | 1.08 | - |
| O ₂ | 81 | 조류내의 산소와 탄소의 비 | 2.6667 | 2.67 |
| | 82 | 20°C 수체내의 재포기 상수 | - | - |
| | 83 | 상수 82의 온도보정계수 | - | - |
| CBOD | 71 | 20°C에서 CBOD에 의한 산소제거율, (day ⁻¹) | 0.16-0.21 | 0.16 |
| | 72 | 상수 71의 온도보정계수 | 1.050 | 1.05 |
| | 73 | 20°C 저니층에서 CBOD에 의한 산소제거율, (day ⁻¹) | 0.0004 | - |
| | 74 | 상수 73의 온도보정계수 | 1.08 | - |
| | 75 | CBOD 분해 반응시 반포화 용존산소 농도 (mg O ₂ /L) | 0.5 | 0.5 |

제5절 호소수질 모델의 비교

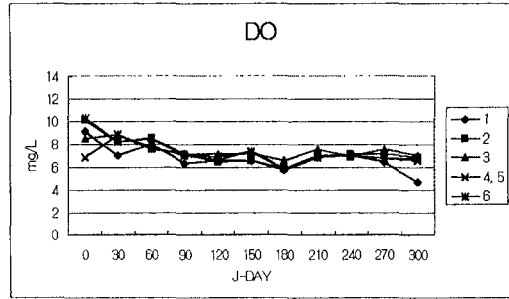
1. 모의 결과

가. DO

DO의 모의 결과를 보면 모두 호소수질기준을 만족하고 있으나 온도가 높은 여름철에 DO가 감소했다 겨울철에 증가하는 우리나라 기후특성을 WASP5모형이 훨씬 잘 나타내고 있음을 보여준다.



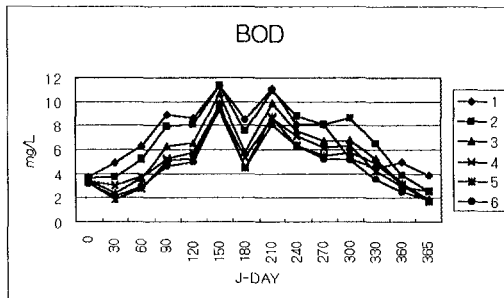
<그림 8-35> WASP5



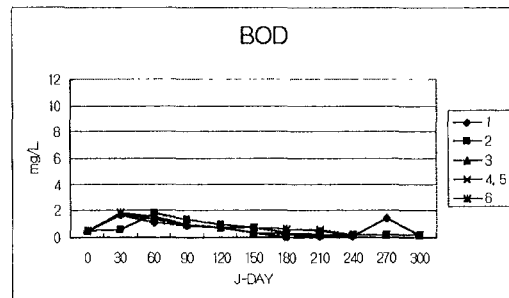
<그림 8-36> CE-QUAL-W2

나. BOD

BOD 또한 WASP5 모형이 여름철에 DO의 감소로 증가하고 겨울철에 DO의 증가로 BOD가 감소하는 양상을 잘 나타내 주고 있다.



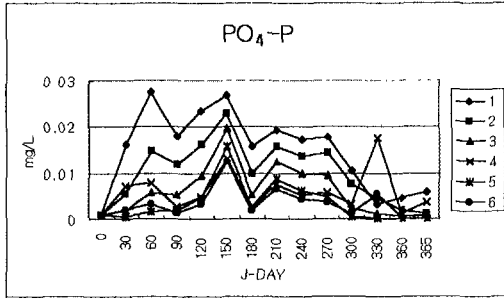
<그림 8-37> WASP5



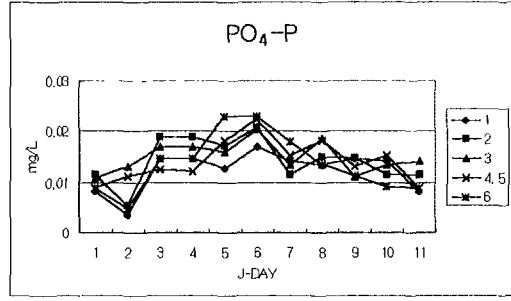
<그림 8-38> CE-QUAL-W2

다. PO₄-P

인은 하천수질기준에는 명시되어 있지 않지만 호소의 부영양화에서 매우 중요한 요소이다. 식물성 플랑크톤이 필요로 하는 영양분은 질소와 인이며 조류의 성장에 필요한 질소와 인의 비율은 15:1이다. 따라서 생물성장은 가장 결핍되는 성분에 의해 지배된다는 Leibig의 최소량의 법칙(Leibig's law of mininum)에 의해 성장제한인자가 결정되며 일반적으로 질소의 경우 대기로부터 유입이 용이하기 때문에 인이 성장제한인자가 되기 쉽다. 그림을 보면 WASP5 모형이 지류의 부하량이 높을 때 더 증가하는 양상을 보이고있어 지류에서의 영향을 잘 반영하는 것으로 나타나고 있다.



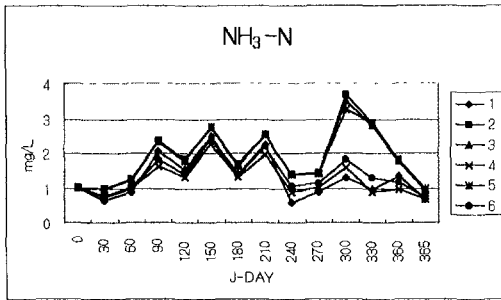
<그림 8-39> WASP5



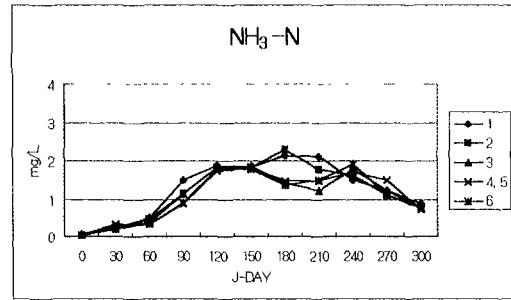
<그림 8-40> CE-QUAL-W2

라. T-N

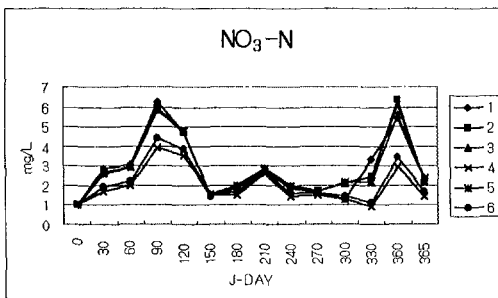
질소의 경우도 인과 마찬가지로 WASP5모형이 각 지류에서의 영향을 더 잘 반영하는 것으로 나타나고 있다.



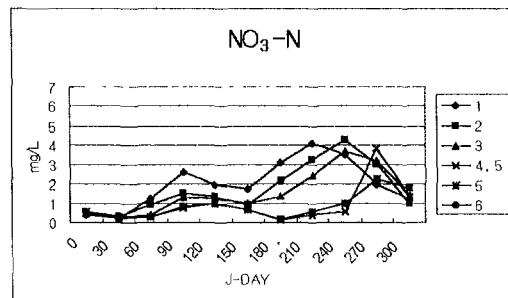
<그림 8-41> WASP5



<그림 8-42> CE-QUAL-W2



<그림 8-43> WASP5



<그림 8-44> CE-QUAL-W2

제6절 요약 및 결론

1. 유역모델

대상유역에서 SWMM을 이용하여 1999년 3월~1999년 10월까지 유출량과 오염 부하량을 산정 하였다. GIS, RS는 SWMM의 적용에 있어 어려움이 있었던 유역특성자료의 획득과 입력 자료의 구축을 용이하게 하였다. 월 평균 부하량은 강우에 따른 유출량에 비례하는 것으로 나타났다. 이는 농촌지역의 오염 부하량이 비점원 형태로 강우에 의한 쓸림에 의한 것이라 판단된다. 이러한 계절별 특성은 우리나라의 강우 특성을 잘 반영하고 있다. SWMM의 경우 실측한 유량과 수질자료를 이용하여 모형을 보정한 후 강우시 유출량을 예측하여 부하량을 구하는 방법으로 유역특성이 비슷한 실측자료를 이용하여 보정과 검증은 한다면, 유량 미측정 지점의 적용시 모형에 의해 유량을 예측하고 토지이용별로 오염물질 부하량을 산정에 있어 적합하다 판단된다.

2. 호소수질모델

호소내의 수질을 예측하기 위하여 CE-QUAL-W2 모형과 WASP5 모형을 이용하여 수질모의를 실시하였다. CE-QUAL-W2 모형은 길이방향과 수심방향의 2차원 모델이다. 그로 인하여 횡방향적 모의는 불가능하다. 보령담수호를 보면 호소내에 빙도라는 섬이 있다. 하지만 CE-QUAL-W2 모델에서는 그 빙도의 모의가 어렵게 되어 빙도를 무시하고 모의를 하여 결과치의 오류가 있을것으로 판단된다. 이에 반하여 WASP5 모형은 빙도에서 두 갈래도 갈라졌다가 다시 합쳐지는 모의가 가능하다. 또한 CE-QUAL-W2 모형은 수심방향모의를 주목적으로 한다. 하지만 보령담수호는 수심이 그다지 깊지 않기 때문에 수심별 오염도도 그다지 차이가 나지 않는다. 두 모델의 모의된 값을 보면 WASP5모형이 CE-QUAL-W2모형보다 우리나라의 계절적 수질 변동 특성을 잘 나타내 주는 것으로 판단된다. 따라서 수질관리시스템의 기본 모델을 SWMM과 WASP5모형으로 하였다.

제 9 장

담수호 수질관리 프로그램

제9장 담수호 수질관리 프로그램

제1절 담수호 수질관리 프로그램의 필요성

최근 들어 농촌지역에서는 생활양식의 도시화로 인한 용수 수요의 증가 및 생활하수의 증가, 농업소득 증진을 위한 축산업의 진흥, 농공단지의 조성 등으로 인하여 수질 악화 문제가 심각하게 대두되고 있어 농촌지역의 수질을 효율적으로 유지·관리하기 위한 대책이 절실히 요구되고 있다. 농촌유역은 오염원이 유역전체에 불규칙적으로 산재해 있고, 점원 및 비점오염이 복합적으로 존재하고 있다. 따라서, 농촌유역에서의 수질보전을 위해서는 하천자체의 수질뿐만 아니라 유역 전체의 수질을 고려하여야 한다. 따라서 농어촌지역을 대상으로 하는 담수호의 효과적인 수질관리를 위해서는 먼저 유역내의 토지이용, 인구와 산업의 입지, 오염물처리 등의 오염원의 현황 및 분포에 대한 세밀한 계획과 검토가 필요하며, 이를 바탕으로 유역의 현재 및 장래의 수질을 예측할 수 있어야 한다.

따라서 농촌유역의 특성을 고려한 담수호 수질관리모델 개발이 필요하다. 담수호 수질관리모델은 정책시행자가 목표수질을 유지하기 위한 수질관리계획을 세우고 검토하는데 그 목적이 있다. 그러나, 담수호 수질관리계획을 세우는 과정에서 정책시행자가 접해야 하는 자료가 매우 방대하고, 담수호 수질관리계획을 모의해 보기 위해 수질예측모델을 이용해야 하는 등의 전문적인 지식과 많은 시간이 필요하게 된다. 효과적으로 정책결정자가 수질관리계획을 결정할 수 있도록 편리한 인터페이스를 제공하는 담수호 수질관리 시스템이 구축되어야 할 필요가 있다.

수질관리 시스템에 대한 연구로서 Srinivasan and Engel(1994)은 비점오염모델(AGNPS)과 지리정보시스템의 구성에 의사결정지원시스템을 도입하여 AGNPS모델의 입력자료형성과 토지이용변화에 따른 수많은 시뮬레이션 소요시간 및 비용의 감소를 도모하였다. 또한 Didan and Yitayew(1999)은 'CropSyst'란 모델을 이용하여 농촌지역에서 토지이용과 작부 방법에 따른 작물생산량과 수질을 내부에 구축된 GIS와 사용자인터페이스를 통하여 손쉽게 모의하여 보고, 통계적 기법을 이용할 수 있도록 개발하여 작물생산량과 수질기준을 만족하는 가장 적절한 작부방법을 도출하였다. Chen et al.(1999)은 다양한 목표수질과 오염원에 따른 일 최대 총부하량을 계산하기 위하여 GIS, Database, 유역 시뮬레이션 모델, 관련 인터페이스,

일최대총부하량 계산 모듈을 포함한 통합의사결정모델을 개발하였다. 국내에서도 연구가 진행되고 있으나 아직까지 수질관리방법에 대한 구체적인 방법이 제시되지 않았다.

본 연구의 목적은 농촌유역을 대상으로 하는 담수호 수질관리를 위하여 유역의 유출, 오염부하량 모델과 담수호내 수질예측모델의 연계 운영이 가능하도록 하는데 있다. 그리고 모델들의 자료와 결과를 DataBase로 구축하고, 편리한 사용자 인터페이스를 개발하므로 모델에 대한 전반적인 지식이 부족하여도 모델을 운영할 수 있으며 결과의 확인이 용이하도록 하는 것이다.

담수호 수질관리를 위해서 유역의 오염원 모의 조작과 배수갑문의 모의 조작이 가능하도록 하였고, 근본적인 원인이 되는 각 소유역 토지이용 형태에 따른 Simulation을 실시하여 담수호의 수질개선을 위한 소유역별 토지이용형태의 변경이나 적합한 수질관리공법을 선택할 수 있도록 한다. 배수갑문의 조작에 따라 담수호내 수체거동을 Simulation하여 저수량에 따른 오염원의 변화를 예측할 수 있도록 하는데 목적이 있다.

제2절 담수호 수질관리 프로그램의 설계

1. 사용 프로그래밍 언어

담수호 수질관리 프로그램은 사용자에게 담수호 수질을 예측하고, 수질 관리에 있어 편의를 제공할 수 있도록 하는데 목적을 두고 있다. 본 연구에서는 컴퓨터의 비전문가도 시스템의 운영이 가능하도록 일반 PC용 프로그램으로 객체지향기법을 사용하고, 시스템의 모의를 위한 입력과 출력을 최대한 단순화 시키고자 하였다.

객체지향기법(Object-Oriented Programming Method)은 내부의 기능을 수정, 보완, 추가할 수 있는 가변성을 포함하고 있으며, 표준인터페이스를 사용하므로 기존의 응용 프로그램의 지원이 가능하다.

객체지향기법은 소프트웨어의 문제영역 또는 대상을 여러 개의 객체로 구분하여 각 객체를 자료(data)와 메소드(method)로 정의한 후, 객체별로 프로그램을 개발하여 연결함으로써 각 객체에 의해 문제의 해답을 얻을 수 있도록 소프트웨어를 개발하는 기법이다.

객체지향기법은 기존의 절차지향기법에서 발생하는 문제를 해결하기 위한 방법이며 절차

지향기법은 다음과 같은 문제를 가지고 있다. 첫째, 기능중심에서 발생하는 문제로, 기능이 컴퓨터상에서 실현단위인 것처럼 분석/설계단계도 기능중심의 문제파악이 사용되지만 현실세계의 문제는 물체의 구조로서 적용하는 것이 자연스럽다. 둘째, 자료와 절차의 분리에서 오는 문제로 절차형 언어에서는 자료에 대한 접근의 제약이 없으므로 프로그래머가 자유로이 자료의 참조나 갱신을 수행할 수 있다. 그러나 이는 프로그래머가 자료에 접근할 때 그 구조를 모두 이해해야 하며, 자료 구조를 변경할 때 그에 따른 절차나 자료구조의 확장은 대단히 번거로운 작업이다. 코드의 일부를 변경하는 것과 같은 확장을 할 때 코드 전체를 복사하고, 복사된 코드에 대해 수정, 추가를 덧붙이므로 유사한 코드를 가진 복수의 절차나 자료구조를 만들어야 하며, 기존의 코드에 에러가 발생하면 확장된 코드에 대해서도 일일이 수정을 해야하는 번거로움이 발생한다. 셋째, 묵시적 이용순서에서 발생하는 문제로 절차지향 언어는 자료와 절차가 분리되어 있고 같은 자료를 이용하는 중복된 절차들이 관련되어 있다는 것을 표시할 방법이 존재하지 않는다.

이런 문제의 해결을 위해 객체지향기법은 추상화(abstraction), 캡슐화(encapsulation), 상속(inheritance), 다형성(polymorphism), 모듈화(modularity), 계층화(hierarchy)개념을 이용한다. 추상화는 현실세계의 물체를 객체에 사상(mapping)할 때, 현실을 그대로 객체로서 표현하는 것이 아니라, 문제의 중요한 측면과 주목하고 싶은 내용을 강조하는 것을 말한다. 이를 통해 실세계를 자연스럽게 표현할 수 있고, 안정된 모델을 구축하며 분석의 초점을 명확히 할 수 있다.

캡슐화는 객체지향 접근이 자료와 절차를 그룹화한 객체를 단위로 소프트웨어를 개발할 때, 객체가 보유하고 있는 자료와 절차에 대해 객체 외부로부터 접근할 수 있는 것은 절차를 통해 간접적으로 자료에 접근하지만, 객체 자료에는 직접 접근 할 수 없는 것을 말한다. 이를 통해 예기치 않은 실수로부터 클래스를 보호할 수 있으며 객체의 재사용성과 안정성을 제공한다.

상속은 기존의 클래스로부터 새로운 클래스를 파생할 경우 새로운 자료나 메소드를 추가하는 것 이외에 기존 클래스의 메소드를 재사용하거나 변경할 수 있는 개념을 말한다. 이를 통해 클래스를 체계화하고 기존의 클래스를 쉽게 확장한다. 다형성은 객체의 메소드를 정의할 때 서로 다른 객체더라도 같은 이름의 메소드가 사용될 수 있는데 같은 이름을 가진 메소드를 이용하더라도 가공의 대상이 되는 자료의 형태가 다르면 가공방법을 다르게 할 수 있는 것을 말한다.

모듈화는 시스템을 밀착되거나 느슨한 모듈로 분해하는 것을 말하며 모듈화를 통해 모듈의 설계와 수정을 독립적으로 행할 수 있으며, 이를 통해 소프트웨어 개발비용을 절감할 수 있다. 계층화는 추상화의 순위나 순서를 말한다.

객체지향 기법을 사용하므로 기존에 사용해 왔던 절차지향 기법의 단점들을 보완할 수 있다. 우선 프로그램의 범용화를 가져올 수 있다. 모듈로 구성되어 있으므로 프로그램들의 확장이나 재사용면에 있어 기존의 프로그램과는 다른 뛰어난 이식기능을 수행할 수 있고, 프로그램의 조작면에 있어서도 간단하면서도 편리한 기능을 제공한다.

2. 담수호 수질 관리 프로그램 설계

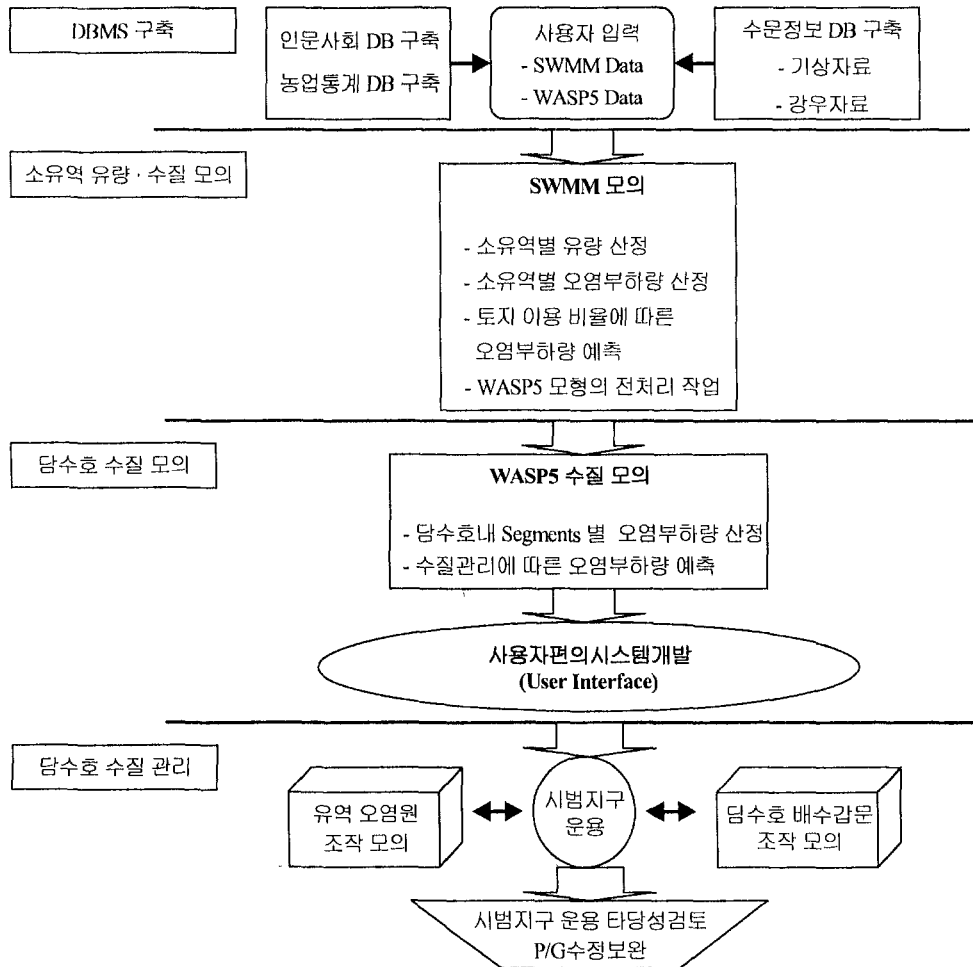
유역에서 유입되는 오염물질은 강우-유출과정에서 지표유출로 용해되거나, 토사에 부착되어 유실토양과 함께 하천이나 호소로 유입된다. 유역은 여러 종류의 토지이용이 결합된 모자이크 형태로 이루어져 있으며, 토지이용의 구성형태에 따라 오염물질의 발생 및 유출특성도 달라진다. 특히 일부 비점오염원의 농도는 토지이용의 고도화에 따라 점오염원의 농도보다 높은 항목도 존재하며, 강우시 유입량도 막대하여 수질환경에 큰 영향을 끼치게 된다.

한편, 본 연구의 대상인 홍보지구는 주변지역에 농·축산업이 발달하여 오염원이 많고, 수계의 경사가 완만하여 자정능력이 약하다. 상류지역의 하수처리율 또한 아직까지는 미흡한 실정이어서 호소의 수질과 담수화 과정이 늦어지고 있는 실정이다.

본 연구에서는 홍보지구에 대한 점오염과 비점오염의 유출특성을 SWMM 모형을 이용하여 파악하고, SWMM의 결과를 이용하여 분산형 수질모형인 WASP5로 모의함으로써 담수호, 즉 보령호의 오염부하량을 산정하였다.

또한 홍보지구 보령담수호의 호내 수질관리대책의 하나로서 각 소유역별 수질 오염원의 모의 조작과 담수호 배수갑문의 모의 조작에 따른 Simulation이 가능하도록 하였다.

<그림 9-1> 는 담수호 수질 관리 시스템의 전반적인 흐름도를 나타낸다.



<그림 9-1> 담수호 수질 관리 시스템의 흐름도

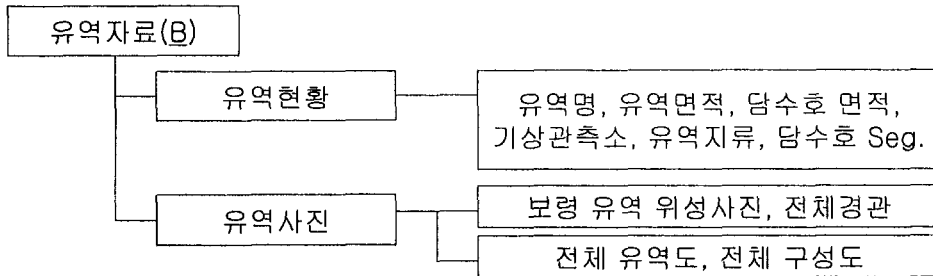
가. 유역 일반 자료

1) 유역자료 설계

본 연구에서 충남 보령군의 보령 유역을 대상으로 보령담수호에 대한 담수호 수질관리 프로그램이다. 보령유역을 9개의 소유역으로 구성하였으며, 지류는 총 5개로 각각의 Segment로 유입되는 것으로 하였다. 이중 소유역 #5와 #6에서 유입되는 branch 1(본류)과, 4개의 tributary(지류)를 모델링의 대상으로 하였다. 담수호내는 6개의 Segment로 구성하였고,

기상관측소는 보령관측소 자료를 사용하였다. 유역의 지형자료와 Simulation에 필요한 매개 변수는 GIS와 RS를 통해 추출하였다.

유역자료에서는 보령유역과 보령담수호에 대한 일반적인 자료를 제공한다.



<그림 9-2> 유역 일반 자료 설계

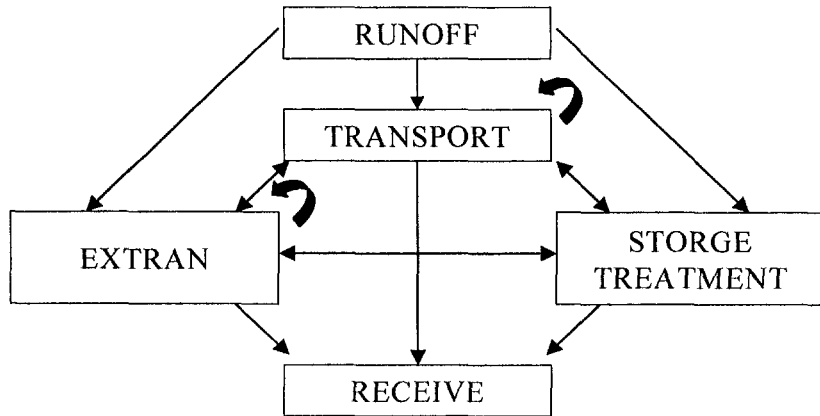
나. 소유역별 유량·수질 모의

1) 소유역 유량·수질 모의 설계

유역에서의 유출량과 오염부하량을 산정하기 위해 오염부하 유출모형 중 적용사례가 많은 SWMM(Storm Water Management Model)을 적용하여 1999년 3월에서 10월 동안의 보령호 유역에서 유출되는 오염 부하량을 산정 하였다. SWMM은 타 모형과 비교하여 최소의 보정으로 비교적 정확한 유출유량을 산정 할 수 있고 다양한 오염물질을 모의함에 있어 토지이용상태를 고려할 수 있기 때문에 모형의 적용성이 높다.

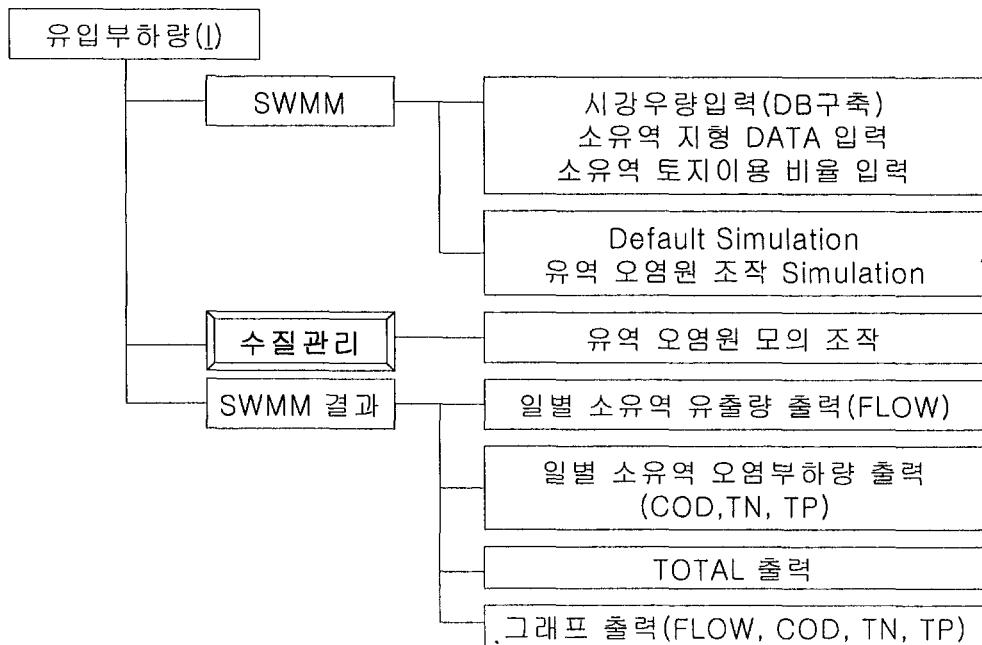
본 연구에서는 SWMM의 입력자료 생성에 있어 GIS를 적용하였고, 유역의 모의 과정에 필요한 정보의 공간적 위치, 지형정보, 토지 이용도등의 유역특성자료의 입력, 저장, 갱신, 해석에 있어 GIS, RS를 적용하였다. 따라서, GIS, RS와 비점원 모델의 결합을 통해서 자연현상의 모의에 있어 발생할 수 있었던 문제점을 최소화 할 수 있다.

<그림 9-3> 는 SWMM 모형의 구조와 각 Block간의 상호작용을 보여주고 있다. 본 연구에서는 유출수의 수량과 오염 부하량을 구하기 위해 Runoff Block만을 사용하였다.



<그림 9-3> SWMM 모형의 구조

<그림 9-4>는 담수호 수질관리 프로그램의 소유역 유량·수질 모의 설계를 나타낸다.



<그림 9-4> 소유역 유량·수질 모의 설계

2) 수질관리 설계

유역에서 발생하는 오염원은 점오염과 비점오염원으로 구분될 수 있다. 공장, 하수종말처리장, 분뇨처리장 등과 같이 오염발생원이 점의 형태로 존재하면서 그 배출 위치도 정확히 파악할 수 있는 것을 점원오염이라고 하며, 이에 대하여 비점오염원은 시가지, 농경지, 산림, 습지 등 넓은 지역에서 면형태로 발생하는 오염부하원을 비점원오염이라 한다. 그러나 소규모측사, 가정의 정화조나 잡배수의 배출원은 유역내에 면의 형태로 넓게 분포하여, 그 위치나 배출실태의 파악이 용이하지 않기 때문에 비점원오염으로 분류되기도 한다.

보령지구의 경우 대부분이 축산농가에 해당되며, 하수처리장, 오수처리시설과 축산폐수처리시설의 미흡으로 방류수 기준이 호소 수질기준을 초과하고 있는 실정이다.

따라서 담수호의 수질개선을 위해서는 유역내의 점오염원의 대책 뿐만 아니라 환경 기초시설의 방류수와 담수호 유역의 비점원오염을 처리할 수 있는 대책이 필요하다.

담수호의 수질개선대책은 오염발생원의 대책, 유입하천에서의 대책, 유입된 내부에서 행해지는 호소내 대책으로 나눌 수 있다. 홍보지구의 경우 오염원의 상당부분이 비점오염원 형태로 유입되고 있어 이들의 처리는 많은 비용이 소요되고, 장기간의 시간이 소요되나 가장 효과적인 발생원 대책을 세워야 하고, 더불어 유입하천과 호소에서 수질을 정화하는 방안이 검토되어야 한다.

본 연구에서는 현재 보령 담수호 유역에 수질관리를 위한 시설들이 미흡한 관계로 발생원 대책을 중심으로 수질관리를 실시하였다. 따라서 유역 오염원에 가장 큰 영향을 미치는 토지이용현황을 각 소유역에 해당하는 지류별로 입력이 가능하도록 하여 소유역 토지이용현황에 따라 담수호의 오염정도를 Simulation하도록 하였다. 따라서, 토지이용형태의 변경이나 담수호수질개선방법의 선택 등 수질관리대책수립을 결정하는데 편의를 제공하도록 한다.

3) 소유역 유량·수질 모의 Input

SWMM 모형은 단일 강우 사상에 대한 모형이나, 연속강우에 대한 Simulation도 가능하므로 결과의 변화 추이를 볼 수 있도록 본 연구에서는 월단위의 Simulation을 실시하였다. 따라서 사용자는 월강우를 입력하여 사용하거나 DB로 구축되어 있는 1998년부터 2001년 까지의 월강우를 선택하여 사용할 수 있다. 그 밖의 유역의 지형·인문 자료는 DB에서 관리하도록 하였고, 지형의 변화나 대상지구가 변경될 경우 DB에서 Input 자료의 수정이 가능하도록 하였다.

(표 9-1) 소유역 유량·수질 모의 Input 구성

| 구 분 | DATA | |
|-------------|--|---|
| 사용자 Input | 시 강우량(DB 사용도 가능) 소유역 토지이용율(DB 사용도 가능) | |
| DB 관리 Input | 수로 자료 | 수로폭, 수로길이, 수로경사 |
| | 유역 자료 | 유역폭, 유역면적, 불투수층면적, 유역경사 |
| | 소유역 자료 | 소유역번호, 소유역면적, 논비율, 밭비율, 주거지비율, 축산농가비율, 기타 |

4) 소유역 유량·수질 모의 Output

소유역 유량·수질 모의 결과는 화면에 테이블로 출력되고, 그래프 출력도 가능하므로 결과의 비교 검색이 용이하도록 하였다.

소유역 유량·수질 모의 결과는 담수호 수질예측을 위한 입력 자료로 사용된다.

(표 9-2) 소유역 유량·수질 모의 Output 구성

| 구 분 | DATA |
|-------|--|
| Table | 일별 유출량, COD, TN, TP(각 지류별) 월간 총 유출량, COD, TN, TP(각 지류별) |
| Graph | 일별 유출량, COD, TN, TP(각 지류별) |

다. 담수호 수질예측

1) 담수호 수질예측 설계

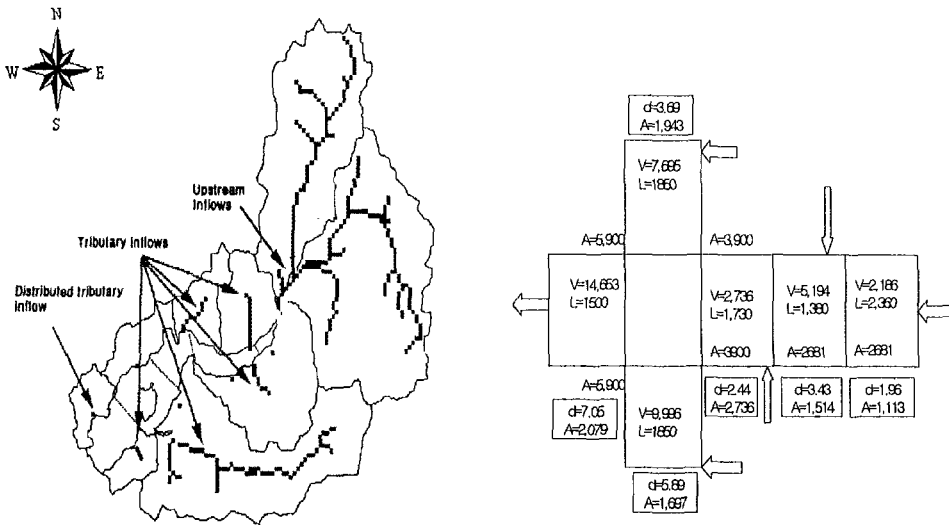
WASP5 모형은 저수지, 하천, 하구, 해양 등에서 수체의 이동과 BOD, DO 등 주요 수질항

목, 그리고 부영양화에 관련된 항목과 독성물질의 이동, 상호반응에 대한 모의가 가능하며, 수계에 대해 요소별(element)로 구획(segment)분할이 가능한 Box형 모형으로서, 각 요소를 하나의 Box로 간주하는 요소분할모형이다. 이 모형은 시간에 따른 변화를 고려할 수 있으므로, 연중 변화는 물론 짧은 시간 간격의 수질변화의 분석이 가능하며, 필요에 따라 1, 2, 3 차원 분석이 가능한 모형이다.

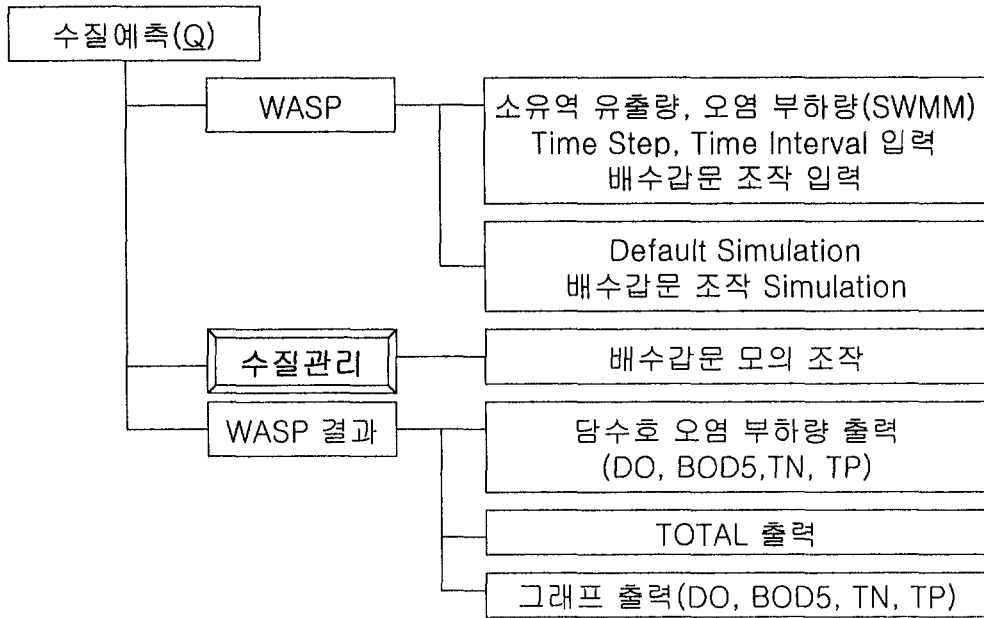
본 연구에서 보령호의 유역은 9개의 소유역으로 구성하였으며, 지류는 총 5개로 각각의 Segment로 유입되는 것으로 하였다. 이중 소유역 #5와 #6에서 유입되는 branch 1(본류)과, 4개의 tributary(지류)를 모델링의 대상으로 하였다. 2번지류는 소유역 #7에서, 4번지류는 소유역 #8에서 유입되며 유입량이 가장 많이 발생하고 있다.

담수호내 구획분할은 <그림 9-5>과 같이 총 6개의 표수층과 1개의 저면표층으로 구분하였다.

<그림 9-5> 은 담수호 수질관리 프로그램의 수질예측 설계이다.



<그림 9-5> 보령호 유역과 담수호내 Segment 분할



〈그림 9-6〉 담수호 수질예측 설계

2) 수질관리 설계

담수호의 담수화를 위해 조위에 따라 배수갑문을 개폐하게 되고, 개폐정도에 따라 저수율과 담수호내 수질 변화를 분석할 수 있도록 한다.

담수호내 집중 호우에 의한 홍수량이 유입 될 경우나, 유입량이 거의 존재하지 않는 갈수기 경우 배수갑문 조작에 따른 담수호 수질관리를 위해 담수호내 가상의 지류를 두고 배수갑문의 방류량 조작이 가능하도록 하였다. 따라서 배수갑문 조작을 통해 담수호내의 수체거동에 따른 오염부하량 변화를 예측할 수 있으므로 배수갑문 조작 지침을 결정하는데 편의를 제공할 수 있다고 판단된다.

3) 담수호 수질예측 Input

담수호내의 수질예측을 위해 본 연구에서는 WASP5모형을 사용하였고, 모형의 Simulation을 위해 (표 9-3)에서 와 같이 Group A-J까지의 입력 자료가 필요하다.

Group A는 전체적인 프로그램의 제어를 나타내므로 프로그램의 입력값을 사용자가 직접 입력할 수 있도록 하였다.

Group E의 경우는 전 단계인 소유역 유량·수질 모의 부분의 결과를 DB를 통해 입력이 가능하도록 하였다.

나머지 Group은 보령지역에 대한 연구를 통해 보정 및 검증이 이루어진 WASP5 모형의 최적화 매개변수들을 프로그램 내부에서 사용하도록 하므로 사용자로 하여 복잡한 작업을 최소화 하였다.

(표 9-3) WASP5 Input의 구성

| 구 분 | DATA | |
|----------------|--|--|
| 사용자 Input | 담수호내 유입량, 오염부하량(DB 사용) Time Step, Time Interval 배수갑문 방류량 | |
| DB 관리 Input | Group A Model Identification | 전체적 프로그램 제어 |
| | Group B Exchange Coefficients | Segments의 특성길이, 단면적, 확산계수 |
| | Group C Volumes | Segments의 체적, 물리적 특성, 제폭기와 증발량 계산을 위한 수리학적 계수 |
| | Group D Flows | 유량, 유기물, 무기물, 조류의 침전에 관한 Data |
| | Group E Boundary Concentrations | 경계지점 외부 농도 |
| | Group F Waste Loads | 점오염과 비점오염원에 의한 유입부하 |
| | Group G Parameters | Time function에 입력되는 항목들의 공간적인 변 화에 관한 입력자료(총 12개) |
| | Group H Constants | 모의되는 8개 수질항목의 반응을 나타내는 계수 (총 42개) |
| | Group I Time Function | 각종 매개변수 또는 상수들의 시간에 따른 변화 특성 (총 22개의 Time function) |
| | Group J Initial Condition | Segments의 초기 수질항목 농도, 고형성분형태, 용존율 |

4) 담수호 수질예측 Output

담수호 수질 예측 결과는 사용자가 입력화면에 입력한 Time Step에 따라 농업용수 수질 기준에 포함된 DO, BOD5, TN, TP 순으로 출력이 가능하도록 하였다.

담수호 수질 예측 결과는 화면으로 출력되고, 그래프로 출력이 가능하도록 하여 결과의 비교 검색이 용이하도록 하였다.

(표 9-4) 소유역 유량·수질 모의 Output 구성

| 구 분 | DATA |
|-------|-----------------------------|
| Table | DO, BOD5, TN, TP(각 Segment) |
| Graph | DO, BOD5, TN, TP(각 Segment) |

라. Data Base Management System(DBMS)

DBMS의 주 역할은 모형을 Simulation할 때 반복해서 입력해야 하는 수고를 덜 수 있도록 WASP5와 SWMM의 Input Data중 대상유역에 최적화 시킬 수 있는 자료는 모두 DB로 구축하였다. 따라서 담수호 수질관리 프로그램을 Simulation 할 경우 가장 필수적인 강우자료만의 입력으로 가능하고, 수질관리를 위해서 유역의 토지이용율과 배수갑문조작에 따른 방류량을 선택적으로 입력할 수 있다.

DBMS의 모형 Input 자료는 대상지역의 지형 및 조건의 변화에 따라 자료의 수정이 가능하도록 하며, 또한 모형의 Simulation 결과를 모두 축적 할 수 있도록 하므로 기존의 수질 변화자료를 통해 통계분석을 실시할 수 있고, 수질 변화를 예측할 수 있도록 한다.

제3절 시스템 사용자 지침서

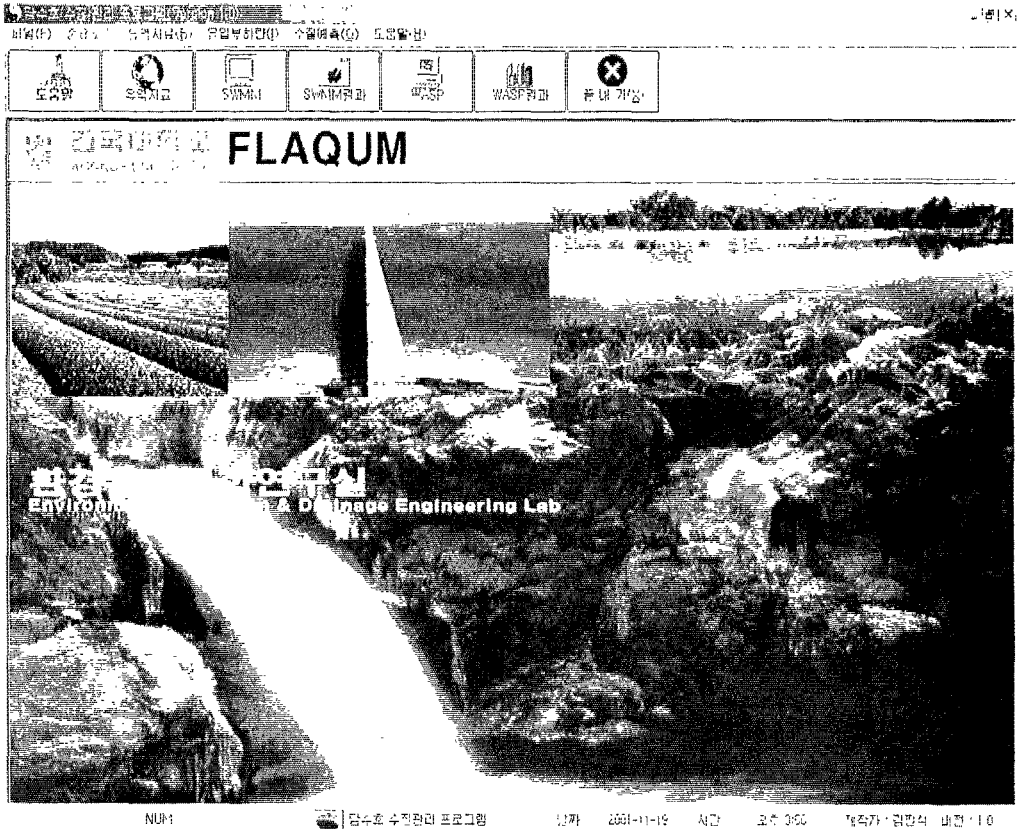
1. 담수호 수질관리 프로그램(FLAQUM)의 시작 및 종료

<그림 9-7>은 담수호 수질관리 프로그램(FLAQUM : Freshwater Lake Quality Management Program)의 로고 화면을 나타내는 것으로 Windows 프로그램 그룹의 FLAQUM 아이콘을 클릭하므로 시작되며, 가장 먼저 FLAQUM로고 화면이 나타나고 로고 화면이 사라진 후 <그림 9-8>와 같은 초기 화면이 나타난다. 초기화면의 메뉴에는 파일, 유역자료, 유입부하량, 수질예측, 도움말로 구성되어 있고, 선택 버튼으로 도움말, 유역자료, SWMM, SWMM결과, WASP, WASP결과, 종료로 구성되어 있다.

FLAQUM을 종료하기 위해서는 파일 메뉴의 종료를 클릭 하거나, 종료 버튼을 클릭하면 된다.



<그림 9-7> FLAQUM의 로고 화면

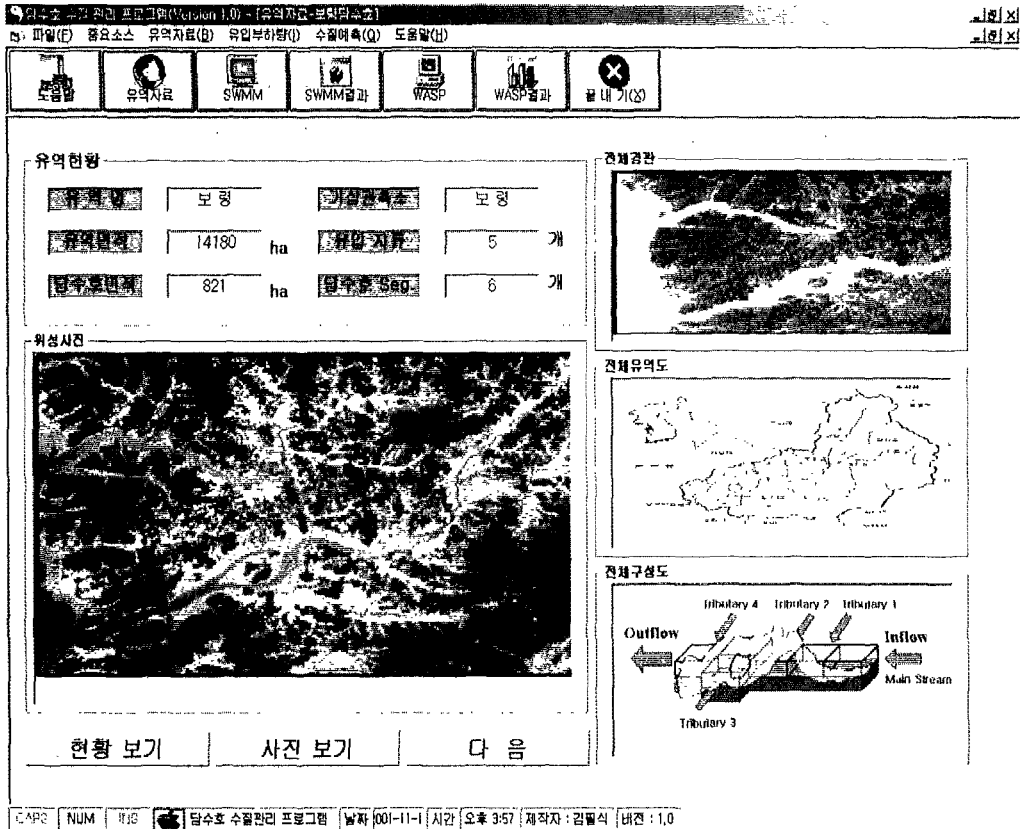


<그림 9-8> FLAQUM 의 초기 화면 및 메뉴

2. 담수호 수질관리 프로그램(FLAQUM)의 적용 및 기능

가. 유역자료

<그림 9-9>는 유역자료로 보령 유역의 유역면적과 담수호면적 등 일반 현황을 볼 수 있다. 위성사진과 전체경관을 제공하며, 유입부하량과 수질예측을 위한 유역 및 담수호내의 전체 구성도를 볼 수 있다.

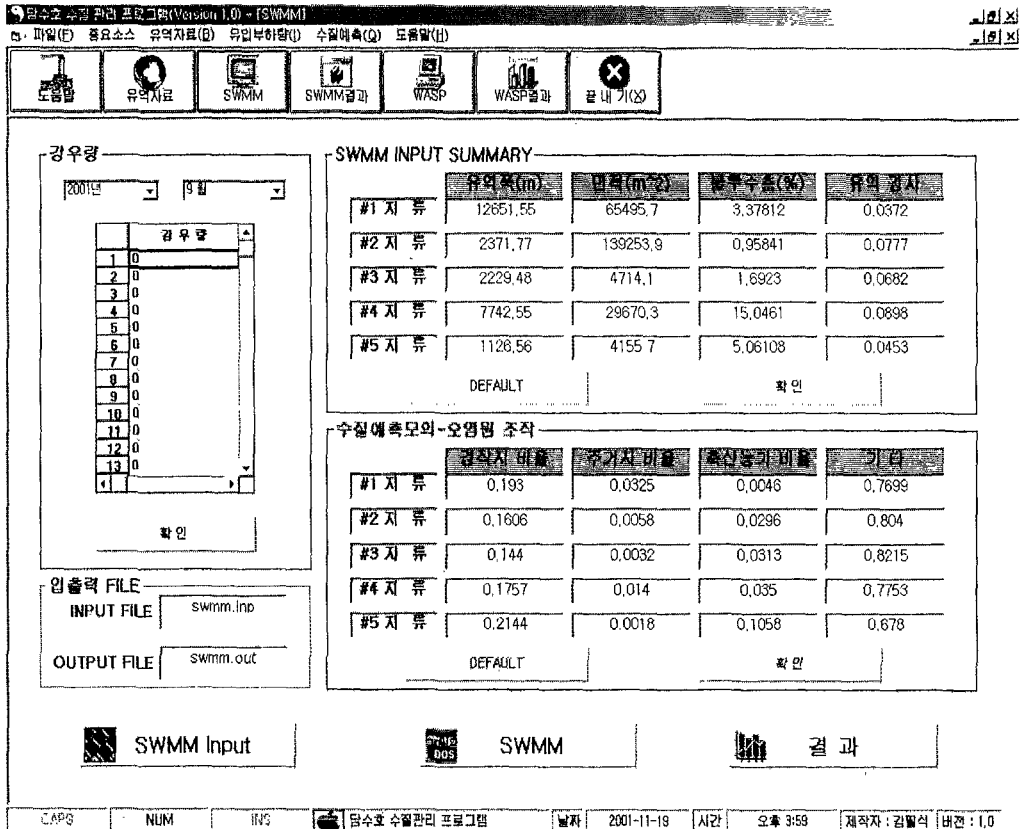


<그림 9-9> 유역자료 화면

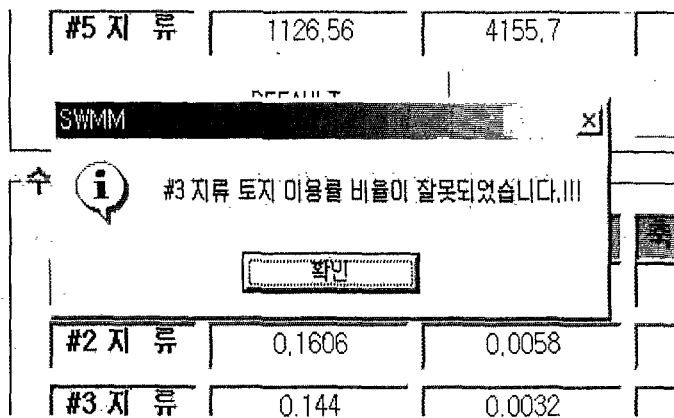
나. 유입부하량

소유역 유량·수질 모의를 위한 유입 부하량 산정은 SWMM 모형을 사용하였다. <그림 9-10>은 SWMM 입력 화면으로 먼저 DB로 구축되어 있는 월단위의 시강우량을 선택하거나 사용자가 직접 입력이 가능하다. 지류별 유역폭, 면적, 불투수층면적, 유역경사는 검증이 이루어진 매개변수를 사용하고, 수질관리를 위한 붉은색의 오염원 조작 부분은 DB의 결과를 사용하거나 사용자가 임의로 입력할 수 있다. 여기서 주의하여야 할 점은 각 지류별 토지이용 비율이 1이 되어야 하고 그렇지 못할 경우 <그림 9-11>과 같은 오류 메시지가 화면에 나타나게 된다.

마지막으로 INPUT FILE와 OUTPUT FILE을 입력하고, SWMM Input 버튼을 클릭하면 SWMM 모형의 입력 파일이 작성된다. 그리고, SWMM 버튼을 클릭하면 앞에서 작성한 입력 파일로 SWMM 모형 Simulation이 실행되고, 결과 버튼을 클릭하게 되면 Simulation 결과를 볼 수 있다.

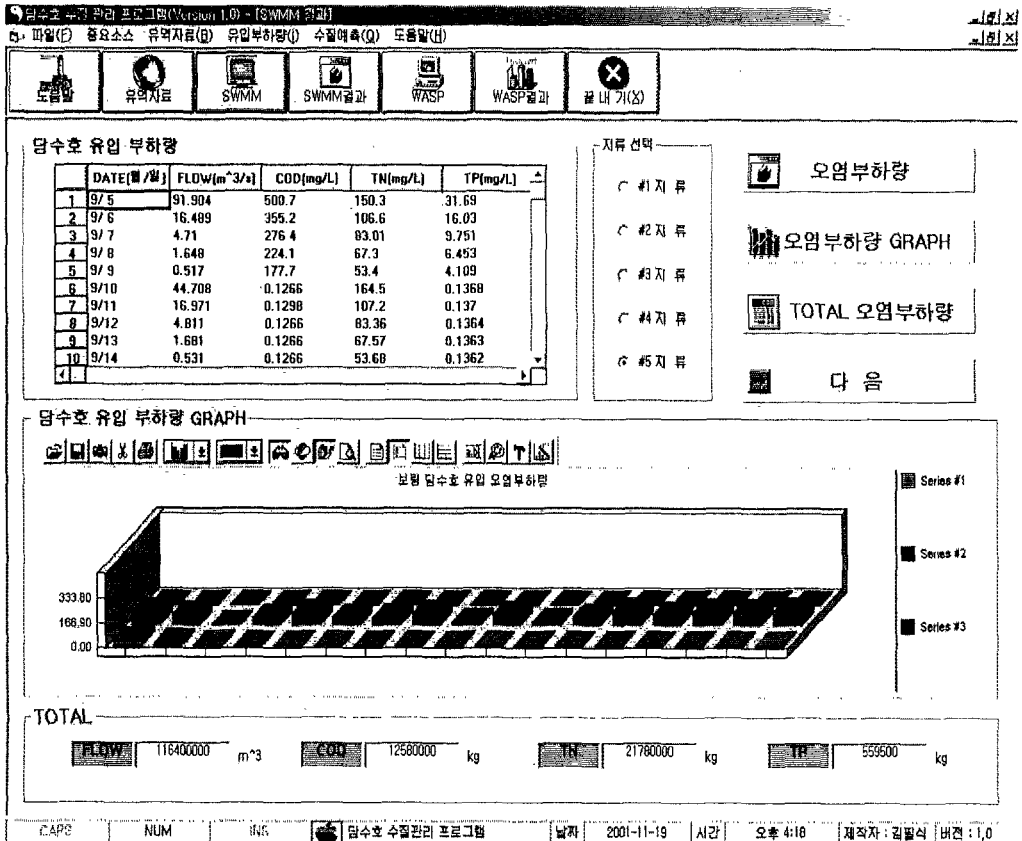


<그림 9-10> SWMM 입력 화면



<그림 9-11> 지류별 토지 이용률 오류 메시지

<그림 9-12>는 SWMM의 결과를 나타내는 화면으로 각 지류를 선택한 후 오염부하량, 오염부하량 GRAPH, TOTAL 오염부하량 버튼을 클릭하면 결과를 확인할 수 있다. 이 결과는 DBMS에 저장되며 수질예측의 입력값으로 사용된다.



<그림 9-12> SWMM 결과 화면

다. 수질예측

담수호 수질예측을 위한 Simulation은 WASP5 모형을 사용하였다. <그림 9-13>은 WASP5 입력 화면으로 먼저 DB로 구축되어 있는 지류별 면적과 유입부하량 Simulation의 결과인 유입량(FLOW), 오염부하량(COD, TN, TP)의 월 총량을 나타낼 수 있다. 사용자는 각 지류별 면적과 월 총량을 수질관리를 위한 배수갑문 조작의 기초자료로 사용할 수 있다.

J-DAY와 Time Step 입력 부분은 월을 기준으로 10회의 Time Interval을 갖을 수 있도록 하였고, Time Interval은 규칙성 없이 입력하여도 가능하나, 유입량에 따라 Time Step과의

조절이 필요하다.

마지막으로 INPUT FILE와 OUTPUT FILE을 입력하고, WASP Input 버튼을 클릭하면 WASP5 모형의 입력 파일이 작성된다. 그리고, WASP 버튼을 클릭하면 앞에서 작성한 입력 파일로 WASP5 모형 Simulation이 실행되고, 결과 버튼을 클릭하면 Simulation결과를 볼 수 있다.

The screenshot shows the 'WASP INPUT SUMMARY' window. It contains a table of input data for five segments, followed by 'WASP INPUT' parameters for J-DAY, Time Step, and pollutant coefficients. At the bottom, there are fields for input and output files and buttons for 'WASP INPUT', 'WASP', and '결과'.

| | 입력(m ²) | FLOW(m ³) | COD(Kg) | TN(Kg) | TP(Kg) | |
|-------|---------------------|-----------------------|----------|----------|---------|-----------|
| #1 지류 | 65495.7 | 182600000 | 10650000 | 13870000 | 741800 | 유입량 TOTAL |
| #2 지류 | 13953.9 | 389000000 | 14100000 | 19960000 | 663700 | |
| #3 지류 | 4714.1 | 132600000 | 4751000 | 6338000 | 228900 | |
| #4 지류 | 29670.3 | 839300000 | 57140000 | 63830000 | 2760000 | |
| #5 지류 | 4155.7 | 116400000 | 12580000 | 21780000 | 559500 | |

| J-DAY | 248 | 251 | 254 | 257 | 260 | 263 | 266 | 269 | 272 | 275 | Default |
|-----------|---------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| Time Step | 0.00001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.0001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 확인 |

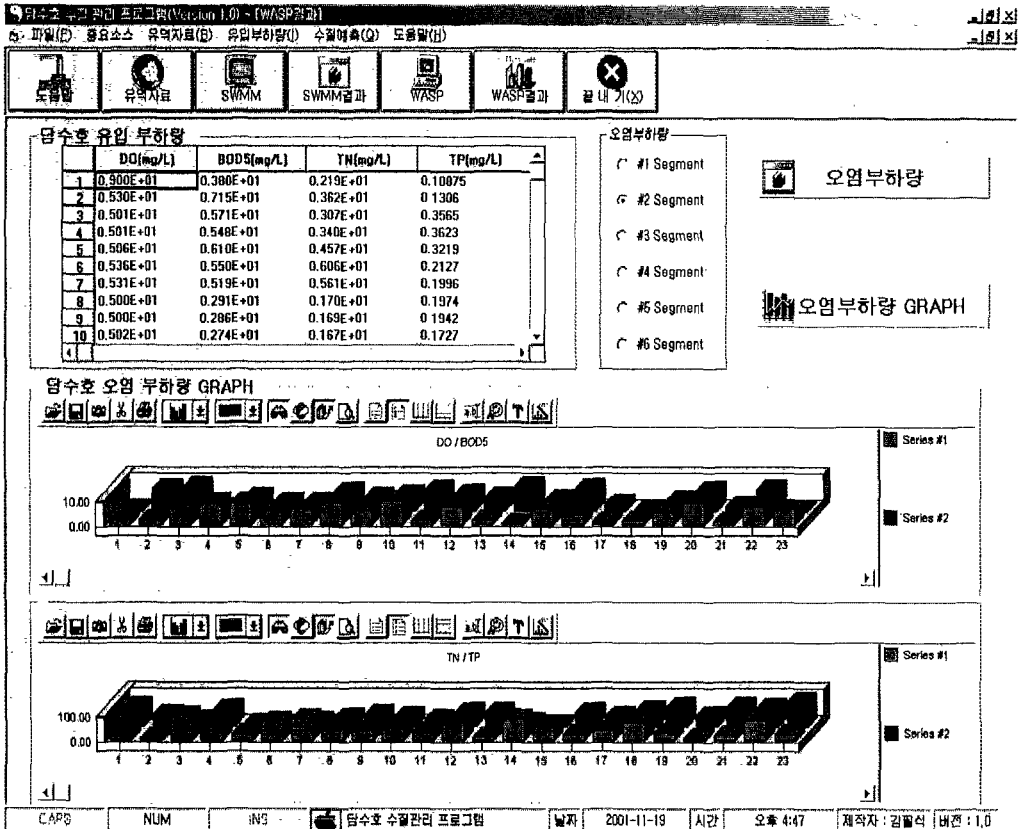
| 모의 양류량 | 0.0 | 0.2 | 0.3 | 0.0 | 0.015 | 0.023 | 0.015 | 0.007 | 0.03 | 0.1 | Default |
|--------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|------|-----|---------|
| | | | | | | | | | | | 확인 |

입출력 FILE
 INPUT FILE: wasp1.inp
 OUTPUT FILE: wasp1.out

Buttons: WASP INPUT, WASP, 결과

<그림 9-13> WASP5 입력 화면

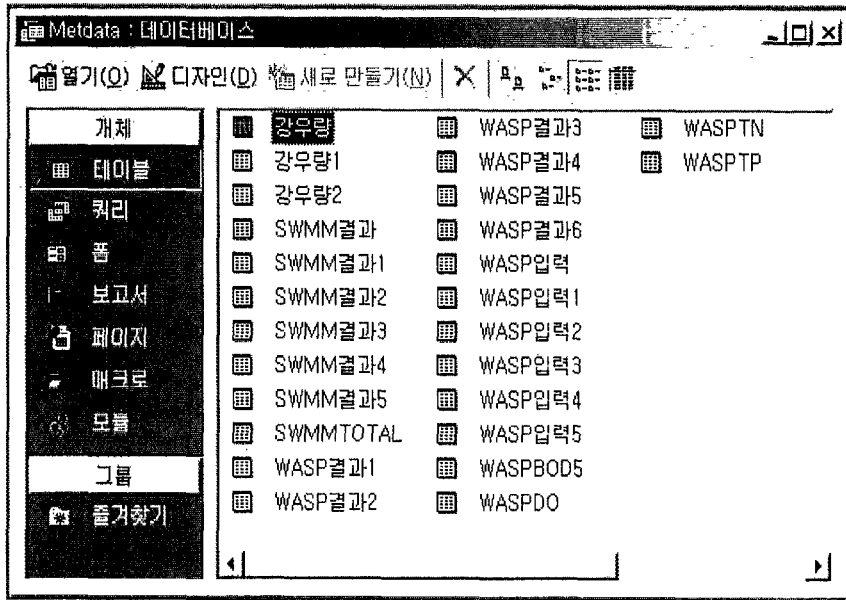
<그림 9-14>는 WASP5 모형의 결과를 나타내는 화면으로 각 Segment를 선택한 후 오염부하량, 오염부하량 GRAPH 버튼을 클릭하면 결과를 확인할 수 있다. 오염부하량은 DO, BOD5, TN, TP의 항목이고, 그래프 결과는 2개 항목씩 오염부하량을 출력하므로 그 결과값의 비교 검토가 용이하도록 하였다.



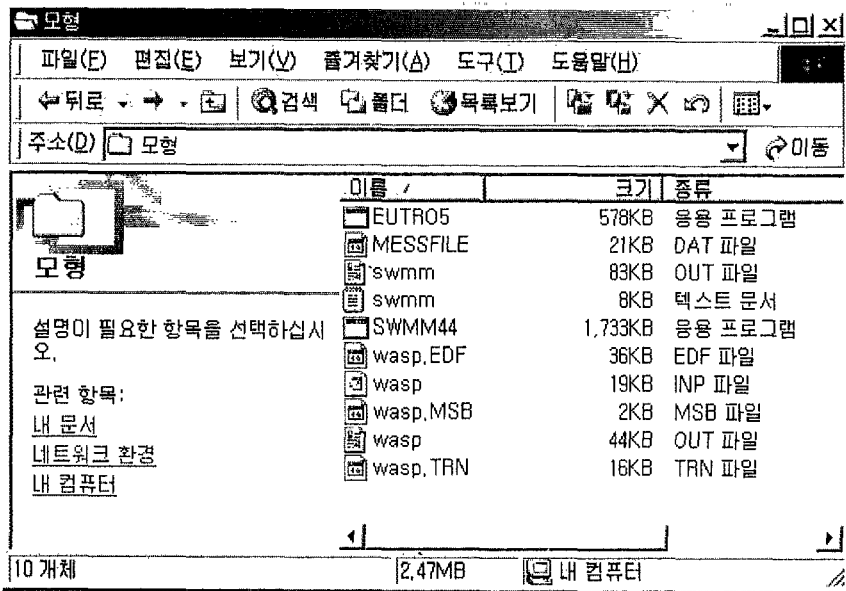
<그림 9-14> WASP5 결과 화면

라. 결과 출력

결과는 <그림 9-15>와 같이 DataBase로 구축이 되도록 설계하였고, FLAQUM 프로그램의 Sub 폴더로 모형이라는 폴더를 만들어 SWMM의 입·출력 파일과, WASP5의 입·출력 파일이 저장되도록 하였다. 입·출력 파일은 <그림 9-16>과 같이 사용자가 INPUT FILE와 OUTPUT FILE 에 입력한 파일명으로 저장된다.



<그림 9-15> FLAQUM 결과 DataBase 구축



<그림 9-16> FLAQUM 결과 파일 저장

제4절 FLAQUM의 수질관리 적용

본 연구에서 FLAQUM의 수질관리 적용은 현재 보령 담수호 유역에 수질관리를 위한 시설들이 미흡한 관계로 담수호의 수질개선을 위하여 유역의 발생오염원 대책과 담수호내의 수체 거동에 따른 오염부하량의 변화를 분석할 수 있는 배수갑문 조작을 중심으로 실시하였다.

발생오염원 대책으로는 유역 오염원에 가장 큰 영향을 미치는 토지이용현황을 각 소유역 별로 변경하면서 발생오염량 변화를 Simulation하고, 여기서 산정된 발생오염량이 담수호내로 유입되어 호내에 미치는 영향을 분석하도록 하였다. 따라서, 토지이용현황의 변경이나 적절한 담수호수질개선방법의 선택 등 수질관리대책수립을 결정하는데 편의를 제공하도록 한다.

배수갑문 조작에 따른 대책으로는 담수호내 집중 호우에 의한 홍수량이 유입 될 경우나, 유입량이 거의 존재하지 않는 갈수기등 배수갑문 조작에 따른 담수호내 오염부하량의 변화를 Simulation한다. 따라서 배수갑문 조작을 통해 담수호내의 수체거동에 따른 오염부하량 변화를 예측할 수 있으므로 배수갑문 조작 관리를 하는데 편의를 제공할 수 있다고 판단된다.

1. 발생오염원 관리

가. 발생오염원 모의 및 기본 자료

모형에 적용한 강우자료는 보령관측소의 1999년 9월 매시간 단위의 강우자료를 이용하였으며, 연속적인 변화를 보기 위해 1달 단위로 입력 하였다.

소유역 지형은 인위적 변경이 어려우므로 토지이용현황을 변경하여 발생오염원 모의 조작을 실시하였다. 토지이용현황은 경작지, 주거지, 축산농가, 기타로 분류하였고, 홍보유역 중 많은 비율을 차지하는 임야는 오염부하량에 큰 영향을 미치지 않는다고 가정하고, 기타로 분류하였다.

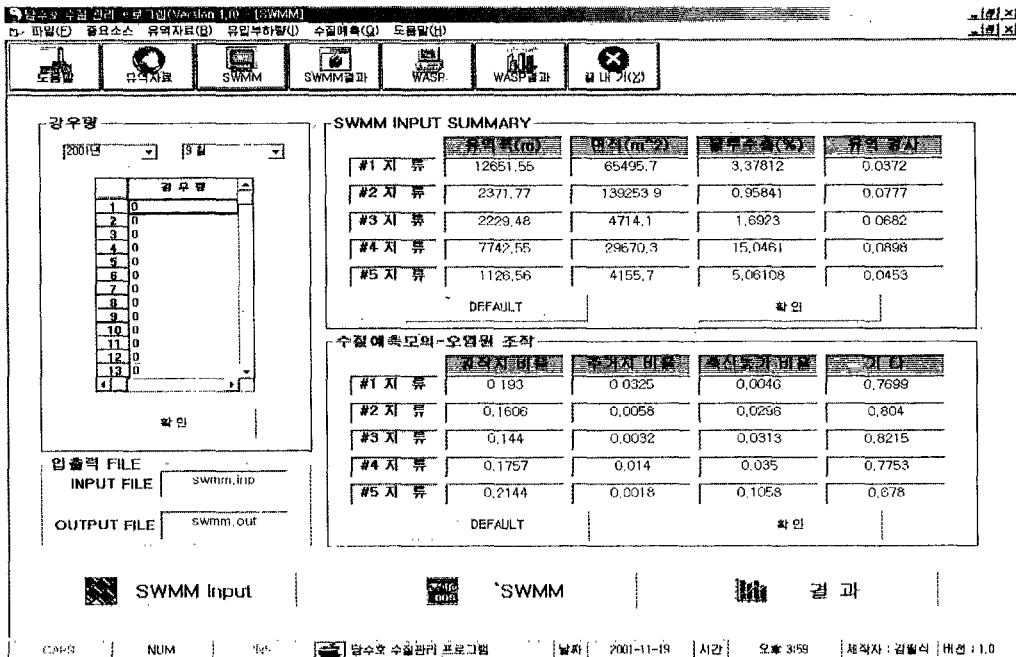
토지이용현황을 대상으로 FLAQUM의 적용은 각 소유역별 경작지, 주거지, 축산농가의 비율을 변화시키면서 발생오염량과 이로 인한 담수호내 오염부하량의 변화를 Simulation하였다.

(표 9-5)는 홍보유역의 각 소유역별 지형 및 토지이용현황 자료로 FLAQUM을 모의하는데 기본 Input Data로 사용되었다.

(표 9-5) 소유역 지형 및 토지이용현황

| 유역 | 유역면적 (ha) | 불수투층 (%) | 경작지 (%) | 산림 (%) | 주거지 (%) | 기타이용 (%) | 축산 (%) | 유역 경사 | 하천 경사 |
|----|-----------|----------|---------|--------|---------|----------|--------|-------|-------|
| 1 | 306.0 | 7.3 | 16.4 | 77.5 | 0.2 | 5.9 | 0.1 | 0.11 | - |
| 2 | 402.5 | 11.9 | 21.4 | 75.7 | 0.2 | 2.7 | 10.6 | 0.06 | - |
| 3 | 458.4 | 1.7 | 14.4 | 83.9 | 0.3 | 1.4 | 3.1 | 0.09 | - |
| 4 | 638.2 | 5.9 | 16.6 | 79.8 | 1.5 | 2.2 | 4.1 | 0.08 | - |
| 5 | 2696.5 | 8.0 | 17.9 | 79.5 | 1.4 | 1.2 | 0.1 | 0.13 | 0.007 |
| 6 | 3727.83 | 6.9 | 19.3 | 76.0 | 3.2 | 1.5 | 0.5 | 0.13 | 0.040 |
| 7 | 1368.6 | 36.7 | 16.1 | 79.8 | 0.6 | 3.6 | 3.0 | 0.14 | 0.039 |
| 8 | 2910.5 | 37.6 | 17.6 | 77.8 | 1.4 | 3.2 | 3.5 | 0.17 | 0.010 |
| 9 | 263.3 | 13.8 | 10.5 | 85.7 | 0.6 | 3.3 | 0.0 | 0.21 | - |

<그림 9-17>은 발생오염원 조작에 따른 Simulation을 하기 위한 FLAQUM의 유입부하량 산정 화면으로 붉은색 표시의 수질예측모의 입력란에 각 지류별 토지이용현황을 조절하면서 입력을 실시한다. 각 지류에 해당하는 토지이용비율이 100%가 되지 않을 경우에는 오류 메시지가 발생하도록 하였다.



<그림 9-17> 발생오염원 조작 관리 화면

나. FLAQUM 적용

1) 경작지

경작지 대상 적용은 소유역 9개에 해당하는 토지이용비율중 경작지 면적을 2%씩 변화하면서 해당 지류의 발생오염량을 Simulation 하였다. (표 9-6)은 유역면적과 유출량이 가장 많은 1번과 4번 지류의 결과를 나타낸다. 1번과 4번 지류 오염부하량의 변화는 각각 10% 면적 비율의 감소에 TN 경우는 0.050mg/L, 0.060mg/L이고, TP의 경우는 0.020mg/L, 0.018mg/L 감소하였다.

(표 9-6) 경작지 감소율별 오염부하량

| 감소율(%) | 지류 | COD(mg/L) | TN(mg/L) | TP(mg/L) |
|--------|----|-----------|----------|----------|
| 0 | #1 | 27.397 | 40.772 | 1.534 |
| | #4 | 188.212 | 171.850 | 11.478 |
| 2 | #1 | 27.387 | 40.762 | 1.530 |
| | #4 | 188.206 | 171.840 | 11.475 |
| 4 | #1 | 27.378 | 40.752 | 1.526 |
| | #4 | 188.190 | 171.820 | 11.471 |
| 6 | #1 | 27.369 | 40.742 | 1.522 |
| | #4 | 188.184 | 171.800 | 11.467 |
| 8 | #1 | 27.360 | 40.732 | 1.518 |
| | #4 | 188.178 | 171.790 | 11.464 |
| 10 | #1 | 27.351 | 40.722 | 1.514 |
| | #4 | 188.163 | 171.790 | 11.460 |
| 12 | #1 | 27.341 | 40.712 | 1.510 |
| | #4 | 188.157 | 171.770 | 11.455 |
| 14 | #1 | 27.332 | 40.703 | 1.506 |
| | #4 | 188.151 | 171.770 | 11.452 |
| 16 | #1 | 27.323 | 40.693 | 1.502 |
| | #4 | 188.145 | 171.770 | 11.446 |
| 18 | #1 | 27.306 | 40.683 | 1.498 |
| | #4 | 188.139 | 171.760 | 11.444 |
| 20 | #1 | 27.297 | 40.673 | 1.438 |
| | #4 | 188.113 | 171.750 | 11.439 |

2) 주거지

주거지 대상 적용은 소유역 9개에 해당하는 토지이용비율중 주거지 면적을 2%씩 변화하면서 해당 지류의 발생오염량을 Simulation 하였다. (표 9-7)은 유역면적과 유출량이 가장 많은 1번과 4번 지류의 결과를 나타낸다. 1번과 4번 지류 오염부하량의 변화는 각각 10% 면

적 비율의 감소에 TN 경우는 1.589mg/L, 2.000mg/L이고, TP의 경우는 0.095mg/L, 0.039mg/L 감소하였다. 경작지의 감소율에 따른 변화보다 발생오염량에 미치는 영향이 크게 나타났다.

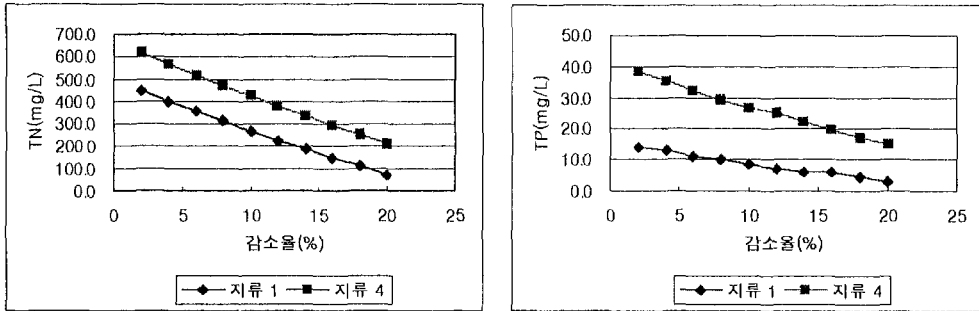
(표 9-7) 주거지 감소율별 오염부하량

| 감소율(%) | 지류 | COD(mg/L) | TN(mg/L) | TP(mg/L) |
|--------|----|-----------|----------|----------|
| 0 | #1 | 29.868 | 43.854 | 1.729 |
| | #4 | 190.336 | 175.740 | 11.562 |
| 2 | #1 | 29.611 | 43.536 | 1.710 |
| | #4 | 190.119 | 175.340 | 11.553 |
| 4 | #1 | 29.355 | 43.218 | 1.691 |
| | #4 | 189.900 | 174.950 | 11.546 |
| 6 | #1 | 29.097 | 42.901 | 1.672 |
| | #4 | 189.681 | 174.540 | 11.538 |
| 8 | #1 | 28.840 | 42.582 | 1.653 |
| | #4 | 189.463 | 174.150 | 11.530 |
| 10 | #1 | 28.583 | 42.265 | 1.634 |
| | #4 | 189.235 | 173.740 | 11.523 |
| 12 | #1 | 28.325 | 41.945 | 1.615 |
| | #4 | 189.016 | 173.350 | 11.514 |
| 14 | #1 | 28.068 | 41.628 | 1.596 |
| | #4 | 188.787 | 172.950 | 11.507 |
| 16 | #1 | 27.811 | 41.310 | 1.577 |
| | #4 | 188.560 | 172.550 | 11.499 |
| 18 | #1 | 27.554 | 40.992 | 1.557 |
| | #4 | 188.331 | 172.150 | 11.491 |
| 20 | #1 | 27.297 | 40.673 | 1.438 |
| | #4 | 188.113 | 171.750 | 11.439 |

3) 축산농가

축산농가 대상 적용은 소유역 9개에 해당하는 토지이용비율중 축산농가 면적을 2%씩 변화 하면서 해당 지류의 발생부하량을 Simulation 하였다. (표 9-8)은 유역면적과 유출량이 가장 많은 1번과 4번 지류의 결과를 나타낸다. 1번과 4번 지류 발생오염량 변화는 각각 10% 면적 비율의 감소에 TN 경우는 220.430mg/L, 231.990mg/L이고, TP의 경우는 6.910mg/L, 13.510mg/L 감소하였다. 경작지나 주거지의 감소율에 따른 변화보다 발생오염량에 미치는 영향이 월등히 크게 나타났고, <그림9-18>에서와 같이 축산농가의 비율에 민감하게 발생부

하량이 감소하고 있다.



<그림 9-18> 축산농가 감소율별 오염부하량

(표 9-8) 축산농가 감소율별 오염부하량

| 감소율(%) | 지류 | COD(mg/L) | TN(mg/L) | TP(mg/L) |
|--------|----|-----------|----------|----------|
| 0 | #1 | 286.653 | 447.138 | 14.177 |
| | #4 | 670.548 | 613.420 | 38.532 |
| 2 | #1 | 257.234 | 401.169 | 12.991 |
| | #4 | 618.231 | 565.580 | 35.389 |
| 4 | #1 | 228.345 | 356.046 | 11.326 |
| | #4 | 566.718 | 518.440 | 32.306 |
| 6 | #1 | 200.025 | 311.885 | 9.918 |
| | #4 | 515.912 | 472.030 | 29.288 |
| 8 | #1 | 172.373 | 268.731 | 8.446 |
| | #4 | 466.031 | 426.330 | 26.955 |
| 10 | #1 | 148.246 | 226.708 | 7.267 |
| | #4 | 416.977 | 381.430 | 25.022 |
| 12 | #1 | 122.227 | 185.954 | 6.292 |
| | #4 | 368.813 | 337.420 | 22.243 |
| 14 | #1 | 97.011 | 146.636 | 6.142 |
| | #4 | 321.700 | 294.340 | 19.886 |
| 16 | #1 | 72.293 | 109.031 | 4.398 |
| | #4 | 275.748 | 252.280 | 17.160 |
| 18 | #1 | 48.765 | 73.483 | 2.840 |
| | #4 | 231.136 | 211.370 | 15.217 |
| 20 | #1 | 27.297 | 40.673 | 1.438 |
| | #4 | 188.113 | 171.750 | 11.439 |

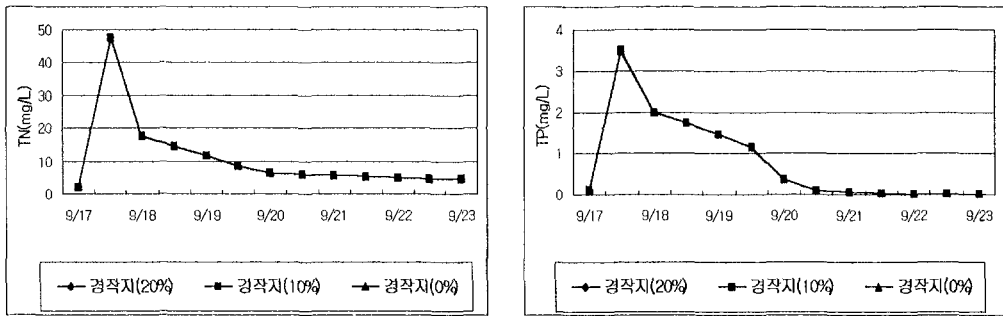
다. 담수호내 오염부하량

소유역별 토지이용비율을 변화하여 얻은 발생오염량을 입력 자료 FLAQUM으로 Simulation

한 결과 담수호내 오염부하량의 변화는 <그림 9-19, 20, 21>과 같다.

<그림 9-19>는 경작지 10%, 20% 감소율에 따른 담수호내 오염부하량의 변화를 나타내는 것이다. (표 9-9)를 보면 강우발생 이후 경과 일수에 따른 담수호내의 오염부하량은 경작지의 변화에 거의 반응하지 않는 것으로 나타났다.

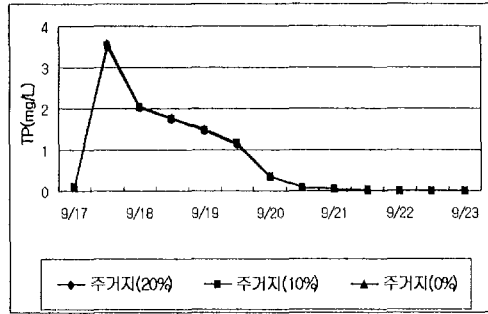
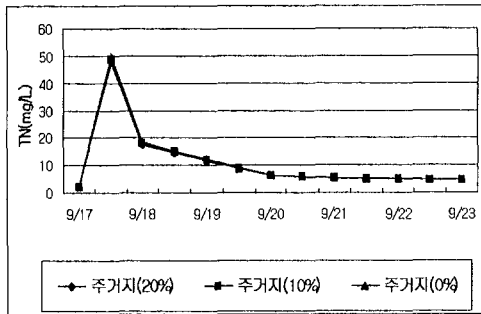
(표 9-10)은 주거지 감소에 따른 담수호내의 오염부하량으로 차이가 발생하고 있고, (표 9-11)의 축산농가 감소에 따른 담수호내의 오염부하량의 차이는 발생오염량에서와 마찬가지로 큰 변화를 나타내고 있다.



<그림 9-19> 경작지 감소율별 담수호 오염부하량

(표 9-9) 경작지 감소율별 담수호 오염부하량

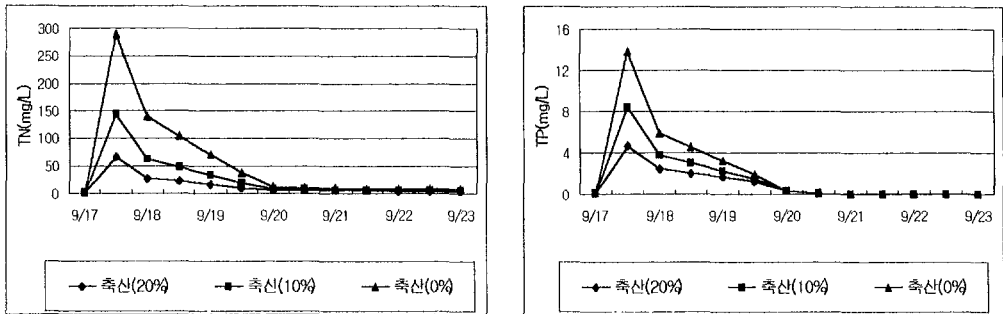
| 항목 | 증가율 | 초기값 | 1일 경과 | 2일 경과 | 3일 경과 | 4일 경과 | 5일 경과 | 6일 경과 |
|----|---------|-------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| TN | 경작(0%) | 2.190 | 17.700 | 11.600 | 6.270 | 5.540 | 4.860 | 4.570 |
| | 경작(10%) | 2.190 | 17.700 | 11.600 | 6.270 | 5.540 | 4.860 | 4.570 |
| | 경작(20%) | 2.190 | 17.600 | 11.600 | 6.260 | 5.540 | 4.860 | 4.570 |
| TP | 경작(0%) | 0.109 | 1.996 | 1.456 | 0.354 | 0.042 | 0.012 | 0.002 |
| | 경작(10%) | 0.109 | 1.996 | 1.456 | 0.354 | 0.042 | 0.012 | 0.002 |
| | 경작(20%) | 0.109 | 1.996 | 1.456 | 0.354 | 0.042 | 0.012 | 0.002 |



<그림 9-20> 주거지 감소율별 담수호 오염부하량

(표 9-10) 주거지 감소율별 담수호 오염부하량

| 항목 | 증가율 | 초기값 | 1일 경과 | 2일 경과 | 3일 경과 | 4일 경과 | 5일 경과 | 6일 경과 |
|----|---------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| TN | 주거(0%) | 2.190 | 18.600 | 12.100 | 6.320 | 5.570 | 4.890 | 4.600 |
| | 주거(10%) | 2.190 | 18.100 | 11.800 | 6.290 | 5.550 | 4.870 | 4.580 |
| | 주거(20%) | 2.190 | 17.700 | 11.700 | 6.270 | 5.540 | 4.860 | 4.570 |
| TP | 주거(0%) | 0.109 | 2.062 | 1.488 | 0.3543 | 0.042 | 0.012 | 0.002 |
| | 주거(10%) | 0.109 | 2.039 | 1.477 | 0.3542 | 0.042 | 0.012 | 0.002 |
| | 주거(20%) | 0.109 | 2.019 | 1.467 | 0.3542 | 0.042 | 0.012 | 0.002 |



<그림 9-21> 축산농가 감소율별 담수호 오염부하량

(표 9-11) 축산농가 감소율별 담수호 오염부하량

| 항목 | 증가율 | 초기값 | 1일 경과 | 2일 경과 | 3일 경과 | 4일 경과 | 5일 경과 | 6일 경과 |
|----|---------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|
| TN | 축산(0%) | 2.190 | 140.00 | 71.500 | 13.200 | 9.750 | 8.300 | 7.810 |
| | 축산(10%) | 2.190 | 61.500 | 33.200 | 8.770 | 7.050 | 6.100 | 5.740 |
| | 축산(20%) | 2.190 | 27.500 | 16.400 | 6.830 | 5.880 | 5.140 | 4.830 |
| TP | 축산(0%) | 0.109 | 5.901 | 3.247 | 0.387 | 0.042 | 0.012 | 0.002 |
| | 축산(10%) | 0.109 | 3.777 | 2.268 | 0.369 | 0.042 | 0.012 | 0.002 |
| | 축산(20%) | 0.109 | 2.404 | 1.644 | 0.357 | 0.042 | 0.012 | 0.002 |

라. 발생오염원 관리

발생오염원의 관리를 위해 홍보구역의 각 소유역별 토지이용비율을 변화시키면서 발생오염원의 변화와 담수호에 미치는 영향을 Simulation하였다.

(표 9-12)에서와 같이 일정한 비율로 토지이용비율을 감소하였을 때 경작지, 주거지, 축산농가 순으로 발생부하량에 영향을 미쳤다. 20%의 축산농가 토지이용비율을 감소하였을 경우

에는 TN, TP 모두 60%이상의 감소율을 보였고, 담수호 오염부하량도 축산농가의 감소에 따라 50%이상의 감소율을 보이고 있다.

(표 9-12) 축산농가 감소율별 담수호 오염부하량

| 감소율 (%) | 발생부하 감소량(mg/L)(%) | | | | 담수호 오염부하량(mg/L)(%) | | |
|---------|-------------------|------|--------------------|-------------------|--------------------|---------------|-----------------|
| | 지 류 | 유 형 | TN | TP | 유 형 | TN | TP |
| 10 | 1 | 경작지 | 0.050 (0.12) | 0.020 (1.30) | 경작지 | 0.0 (0.00) | 0.0 (0.00) |
| | | 주거지 | 1.589 (3.62) | 0.095 (5.49) | | | |
| | | 축산농가 | 220.430 (49.30) | 6.910 (48.74) | 주거지 | 0.5 (2.69) | 0.023 (1.12) |
| | 4 | 경작지 | 0.060 (0.03) | 0.018 (0.16) | | | |
| | | 주거지 | 2.000 (1.14) | 0.039 (0.34) | | | |
| | | 축산농가 | 231.990 (37.82) | 13.510 (35.06) | | | |
| 20 | 1 | 경작지 | 0.099 (0.24) | 0.096 (6.26) | 경작지 | 0.1 (0.56) | 0.0 (0.00) |
| | | 주거지 | 3.181 (7.25) | 0.291 (16.83) | | | |
| | | 축산농가 | 406.465 (90.90) | 12.739 (89.86) | 주거지 | 0.9 (4.84) | 0.043 (2.09) |
| | 4 | 경작지 | 0.100 (0.06) | 0.039 (0.34) | | | |
| | | 주거지 | 3.990 (2.27) | 0.123 (1.06) | | | |
| | | 축산농가 | 441.670 (72.00) | 27.093 (70.31) | | | |

이상의 결과와 같이 본 연구의 FLAQUUM을 통해 각 구역의 발생오염량 부터 담수호내의 오염부하량까지 연계하여 Simulation이 가능하다. 따라서 토지이용비율의 변경이 현실적으로 어렵다할지라도 담수호에 미치는 발생오염량의 정도를 예측할 수 있다면 수질개선방법의 선

택, 정화능력을 산정 및 수질개선시설의 적절한 위치를 선택하는데 도움이 되리라 판단된다.

2. 배수갑문 조작 관리

가. 배수갑문 조작 모의 및 기본 자료

담수호내에서 부하량을 제어하는 방법은 저니처리, 조류의 억제 식생정화 등 여러 가지가 있다. 그 중에서 배수문 조작에 의한 물수지를 이용함으로써 담수호내의 수질오염변화를 Simulation하였다. 강우형태는 단기강우사상을 가지고 FLAQUM을 통해 유역으로부터 유량·부하량을 산정한 후 일정유량을 방류할 때의 호내수질의 변화를 살펴보았다.

<그림 9-22>는 배수갑문 조작에 따른 Simulation을 하기 위한 FLAQUM의 수질예측 산정 화면으로 붉은색 표시의 수질예측모의 입력 화면에 모의 기간동안 Time Step를 10단계로 나누어 모의 방류량을 조절하면서 입력을 실시한다.

WASP INPUT SUMMARY

| 모의 시류 | 유량(m ³ /s) | COD(kg) | TN(kg) | TP(kg) | 유입량 TOTAL |
|-------|-----------------------|-----------|----------|----------|-----------|
| #1 시류 | 65495.7 | 182600000 | 10650000 | 13870000 | 741800 |
| #2 시류 | 13953.9 | 389000000 | 14100000 | 19960000 | 863700 |
| #3 시류 | 4714.1 | 132600000 | 47510000 | 63380000 | 228900 |
| #4 시류 | 29670.3 | 839300000 | 57140000 | 63830000 | 2760000 |
| #5 시류 | 4155.7 | 116400000 | 12580000 | 21760000 | 559500 |

WASP INPUT

| J-DAY | 248 | 251 | 254 | 257 | 260 | 263 | 266 | 269 | 272 | 275 | Default |
|-----------|---------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| Time Step | 0.00001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.0001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 0.001 | 확인 |

수질예측모의-배수갑문 조작

| 모의 방류량 | 0.0 | 0.2 | 0.3 | 0.0 | 0.015 | 0.023 | 0.015 | 0.007 | 0.03 | 0.1 | Default |
|--------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|-------|-------|------|-----|---------|
| | | | | | | | | | | | 확인 |

입출력 FILE
 INPUT FILE: wasp1.inp
 OUTPUT FILE: wasp1.out

WASP INPUT WASP 결과

날짜: 2011-11-18 시간: 오후 4:46 저작자: 김필익 버전: 1.0

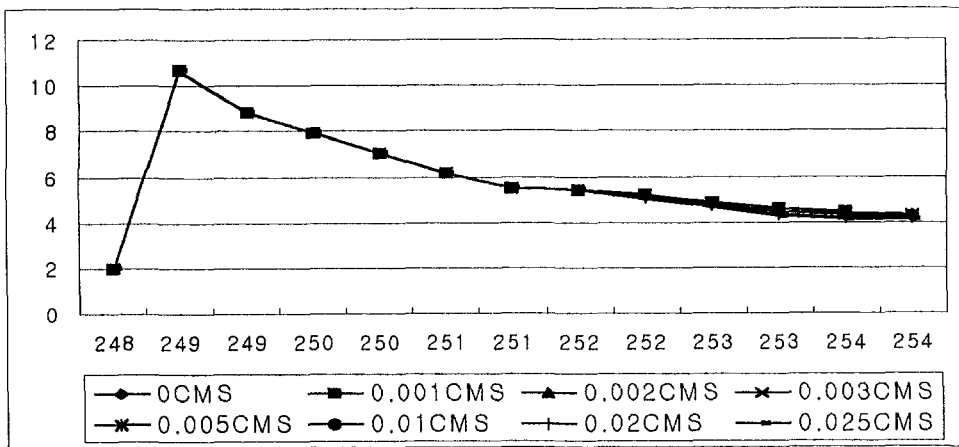
<그림 9-22> 배수갑문 조작 관리 화면

나. FLAQUM 적용

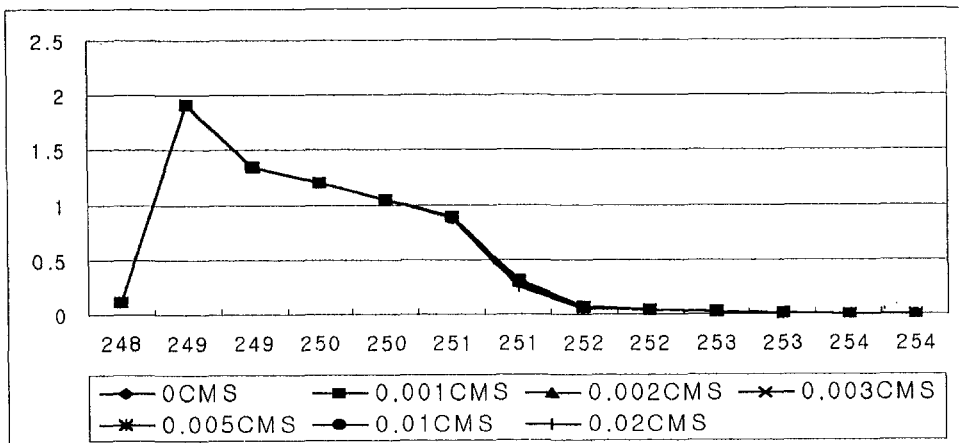
1). 모의시간동안 방류시

〈그림 9-23〉은 단기 강우사상을 가지고 모의시간 동안 일정유량을 방류하였을때의 TP, TN의 농도 변화를 나타내고 있다. 방류량은 방조제 내·외 수위차를 고려하여 가능한 방류량을 구하여 적용을 하였다.

단기강우를 가지고 10일 동안 모의를 하였을 때 TN은 처음에는 거의 변화가 없지만 5일 후부터 약간의 감소현상을 보인다. 마지막 10일 경과후에는 4.35ppm에서 4.11ppm으로 약 0.2ppm의 감소를 보이고 있다. TP의 모의시작일로부터 5일 후에는 0.3ppm에서 0.25ppm으로 약 0.05ppm의 감소를 보여주고 있다.



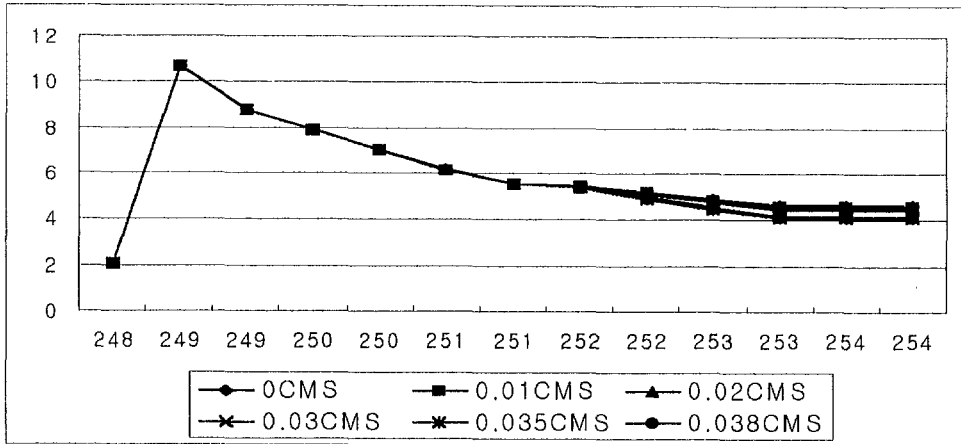
〈그림 9-23〉 일정방류량에의한 TN의 변화



<그림 9-24> 일정방류량에의한 TP의 변화

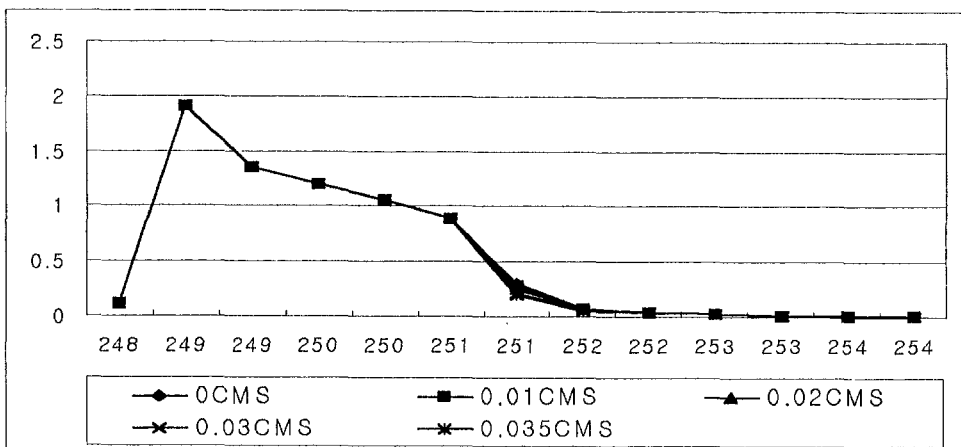
나. 일정기간동안 방류시

<그림 9-25>은 단기 강우사상에대해 강우기간부터 5일동안 방류했을때의 TP, TN의 농도 변화를 나타내고 있다. 0.035m³/s로 5일 동안 방류했을 때 4.35ppm에서 4.12ppm으로 약 0.2ppm의 감소를 보이고 있다.



<그림 9-25> 5일 방류량에의한 TN의 변화

TP의 경우는 <그림 10-13>에 나타나있다. 0.035m³/s로 5일동안 방류했을 때 0.3ppm에서 0.19ppm으로 약 0.1ppm의 감소를 보이고 있다.



<그림 9-26> 5일 방류량에의한 TP의 변화

다. 배수갑문 조작 관리

담수호내의 배수갑문 조절에 의한 수질모의는 모의시간동안 일정량을 방류하는 방법과, 강우시 일정시간동안 방류하는 방법으로 모의를 하였다. 모의결과 TN은 0.19ppm과 0.12ppm으로 2가지 방법 다 비슷한 감소양상을 보이고 있었고, TP의 경우는 0.25ppm과 0.19ppm으로 강우시 일정시간동안 방류하는 방법이 수질제어에 더욱 효과적인 것으로 나타났다. 이는 강우시 비점오염원의 유출이 훨씬 많으므로 부하가 많을 때 많은 양을 방류하는 것이, 조금씩 계속 방류하는 것보다 훨씬 더 많은 오염 물질을 배출하는 것으로 판단된다.

제5절 요약 및 결론

담수호 수질관리모델은 정책시행자가 목표수질을 유지하기 위한 수질관리계획을 세우고 검토하도록 하는데 그 목적이 있다. 그러나, 담수호 수질관리계획을 세우는 과정에서 정책시행자가 접해야 하는 자료가 매우 방대하고, 담수호 수질관리계획을 모의해 보기 위해 수질예측모델을 이용해야 하는 등의 전문적인 지식과 많은 시간이 필요하게 된다. 효과적으로 정책결정자가 수질관리계획을 결정할 수 있도록 편리한 인터페이스를 제공하는 담수호 수질관리시스템이 구축되어야 할 필요가 있다.

본 연구의 담수호 수질관리 프로그램은 환경의 변화로 수질악화 문제가 대두되고 있는 농촌유역을 대상으로 담수호 수질관리를 위하여 유역의 유출, 오염부하량 모델과 담수호내 수질예측모델의 연계 운영이 가능한 프로그램이다. 본 프로그램의 자료와 결과는 DataBase로 구축되고, 편리한 사용자 인터페이스를 제공하므로 모델에 대한 전반적인 지식이 부족하여도 모델을 운영할 수 있으며 결과의 확인이 용이하도록 하였다.

대상지구인 보령지구의 경우 대부분이 축산농가에 해당되며, 하수처리장, 우수처리시설과 축산폐수처리시설의 미흡으로 방류수 기준이 호소 수질기준을 초과하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 담수호의 수질개선을 위해 점오염과 비점오염의 유출특성을 SWMM 모형을 이용하여 파악하고, SWMM의 결과를 이용하여 분산형 수질모형인 WASP5로 담수호내 오염부하량을 Simulation하므로 유역과 담수호의 연계 수질모의가 가능하도록 하였다.

현재 보령 담수호 유역에 수질관리를 위한 시설들이 미흡한 관계로 담수호의 수질개선을

위하여 발생원 대책과 담수호내의 수체거동에 따른 오염부하량의 변화를 분석할 수 있는 배수갑문 조작을 중심으로 수질관리를 실시하였다.

발생원 대책으로는 유역 오염원에 가장 큰 영향을 미치는 토지이용현황을 각 소유역에 해당하는 지류별로 입력이 가능하도록 하여 소유역 토지이용현황에 따라 담수호의 오염정도를 Simulation 하도록 하였다. Simulation 결과 경작지, 주거지, 축산농가 순으로 발생오염량에 미치는 영향이 크게 나타났으며, 축산농가의 경우 비율을 20% 감소하였을 때 발생오염량은 60%이상이 감소하였고, 담수호내 오염부하량은 50%이상이 감소되었다. 토지이용비율의 변경이 현실적으로 어렵다할지라도 FLAQUM을 통해 담수호의 수질에 미치는 발생오염량을 예측할 수 있다면 수질정화방법의 선택, 정화능력의 산정 및 수질정화시설의 위치를 선정 하는데 도움이 되리라 판단된다.

배수갑문 조작에 따른 대책으로는 담수호내 집중 호우에 의한 홍수량이 유입 될 경우나, 유입량이 거의 존재하지 않는 갈수기 경우 배수갑문 조작에 따른 담수호내의 오염부하량을 Simulation할 수 있도록 하는 것이다. 따라서 배수갑문 조작을 통해 담수호내의 수체거동에 따른 오염부하량 변화를 예측할 수 있으므로 배수갑문 조작 지침을 결정하는데 편의를 제공할 수 있다고 판단된다. 배수갑문의 수문조작관리로는 지류제어만큼의 수질 저하효과는 기대할 수 없지만 지류제어와 배수갑문 조절, 이 두 가지를 병행함으로써 좀 더 효율적인 수질관리를 할 수 있을 것으로 기대된다.

제 10 장

담수호 수질개선방안 제시

제10장 담수호 수질개선방안 제시

제1절 농업용수 수질개선

농업용수의 수질개선은 크게 오염물질 발생원 관리대책과 유입되는 오염물질 정화대책으로 분류할 수 있으며, 만족스러운 수질개선을 위해서는 부분적인 대책이 아닌 종합적인 유역 관리대책이 수립되어야 한다.

수질오염에는 1차 오염으로서의 유기물질오염, 중금속오염, 화학물질오염, 세균오염과 2차 오염으로서의 부영양화 등이 있다. 수처리 기술은 처리대상 목적에 따라 상수도의 정수처리 기술과 하수 및 폐수, 분뇨등을 처리하는 하수처리 기술이 있으며, 좀더 세분하여 보면 상수처리의 경우 일반 처리와 고도처리가 있으며, 하폐수처리는 1차처리, 2차처리, 3차처리(고도처리)로 구분된다. 특히 하폐수처리에서 고도처리는 1차처리 또는 2차처리 방류수를 처리원수로하여 최종처리하는 기술이다.

처리대상물질에 따라 유기오염물질처리, 무기오염물질처리, 병원성등 미생물처리로 분류된다. 외국의 경우 정화목표에 따라서 5단계로 구분하는 경우가 있다. 즉 1단계 : 고액분리, 2단계 : 이분해성 유기물제거, 3단계 : 영양염류제거, 4단계 : 난분해성 유기물제거, 5단계 : 세균, 농약성분 등 미량 오염물질의 제거로 정리하고 있다.

1. 수질개선 대책

한편 수질개선대책은 처리위치에 따라 유역 내 대책, 유입하천 내 대책, 호소 내 대책으로 크게 분류되고 있다.

현재까지 개발된 수질개선 기술을 종합하면 (표 10-1)과 같다.

직접정화방법은 하폐수의 물리적, 화학적, 생물학적 처리방법에 의하여 정화시키는 기계적 처리방법과 수체의 자연정화능력을 강화하는 수단을 강구하여 수질개선하는 방법이 있다.

이중 현재 농촌지역 수질오염의 특징, 폐수배출 특성, 처리유량, 현장여건 등과 수질관리 체계를 고려한 농촌지역의 농업용수 수질개선방안은 생물학적 처리공법중의 하나인 자연정화 공법을 이용하는 것이 가장 타당하다고 본다.

자연정화공법이란 수체의 자정능력을 회복 또는 촉진시켜 자연적으로 수질개선을 유도하는 공법으로 자정작용[自淨作用, self purification]이란 하천이나 호소 등 공공수역이 인위적 또는 자연적 요인으로 오염될 경우, 수체(water body) 자체가 시간과 함께 물의 흐름에 따라 오염물질이 이들 수역 속에서 자연히 그 농도가 감소되는 작용이며, 그 작용에는 희석작용, 침전작용, 수중의 용존 산소에 의한 산화 작용, 일광의 자외선에 의한 살균작용 및 미생물의 산화분해 또는 먹이연쇄에 의한 생산자의 감소 등에 의하여 정화되는 과정이 있다. 이들의 작용에 의해 오염물질은 시간과 더불어 침전되거나 또는 유기물질은 산화에 의해 무기화되며, 특히 세균은 부유물질에 부착된 상태, 또는 그 자체로서 침강함으로써 오염물질의 농도가 감소하여 생태계의 균형을 이루게 된다. 이 중 침전 작용은 특히 중요한데, 이로 인한 자정 작용은 하천수보다 호수 쪽이 크며, 이 자정작용의 메커니즘은 다음 3가지로 나뉜다.

- i) 물리적 정화 : 오염물질의 희석·확산·침전 등에 의한 농도의 감소
- ii) 화학적 정화 : 오염물질의 산화·환원·흡착·응집 등에 의한 농도의 감소
- iii) 생물학적 정화 : 생물의 작용에 의한 오염물질 농도의 감소 특히 수중의 유기영양미생물에 의한 유기물의 산화분해작용이다.

자정작용의 구체적인 예로 하천수의 흐름에 따르는 생물학적 산소요구량(BOD)의 저하, 또는 부유물질량(SS)의 감소 등을 들 수 있다.

궁극적으로 자연정화능력을 이용한 수질개선은 자연이 갖는 항상적 정화기능을 그대로 또는 자연에 아주 조금만 손을 대서 사용한다는 것을 의미하는 것이지, 한계에 이르기까지 이 정화기능을 이용한다든지, 에너지를 다량 소비하는 인공 집중형 정화시설에 완전히 의존한다는 것을 의미하는 것은 아니다. 어디까지나 자연에 대한 경외의 뜻을 담아, 자연의 정화기능을 조심스럽게 사용한다는 것이 기본 이념이라 할 수 있다.

자연정화공법의 기본공정은 물리적 과정으로 물질의 분산, 확산, 침강, 여과, 부상 등의 원리에 의하여 혼합과 희석시키는 등의 공학적 운전조작 기법이 도입되어 운용되며 주로 물리력을 이용하는 것이다. 화학적인 과정은 이온교환, 용해, 산화환원, 중화 등의 원리를 이용하여 화학반응, 물질의 상(相)변환을 유도하는 수단으로 수질개선을 실시하는 것이다.

생물학적 과정은 식물을 이용한 광합성 작용, 미생물에 의한 포식, 생물농축 등의 원리에 의하여 무기물의 유기물화, 유기물질의 산화분해 등이 하폐수의 고도처리에 활용되고 있으나 아직 연구개발해야 할 사항이 많은 것이 현실이다.

(표 10-1) 수질개선 원리 및 기술

| 구분 | 원 리 | 수 질 개 선 기 술 |
|---------|---|-------------|
| 유역내 | 입지규제 | 입지제한 |
| | 유역변경 | 유로전환 |
| | 발생부하삭감 | 인세제 사용제한 |
| | | 물 이용 합리화 |
| | 점원배출부하삭감 • 생활계부하 • 관광사업부하 • 사회시설부하 • 광공업부하 • 축산계부하 | 배출규제 |
| | | 하수처리 |
| 하수처리고도화 | | |
| 분뇨처리고도화 | | |
| 면원부하삭감 | 정화조(개별) | |
| | 정화조(합병) | |
| | 농업계 부하삭감 : 시비의 적정성, 작부체계의 전환, 화학계비료의 전환, 퇴비화, 영농법 개량 등 | |
| | 비특정 부하삭감 : 별채제한, 삼림관리, 노면의 청소, first flush 대책 등 | |
| 유입하천내 | 우천시 유출부하유입방지 | 체수지 |
| | 직접정화 | 저습지 도입 |
| | | 토양처리 |
| | | 침투수로 |
| | | 여과 (상향류여과) |
| | | 부유물침전 (DCF) |
| | | 접촉산화수로 |
| | | 직접포기 |
| | 하천처리장 | |
| 오염부하제거 | 하도준설 | |

(표 10-1) 수질개선 원리 및 기술(계속)

| 구분 | 원리 | 수질개선기술 |
|-----|--|--------------|
| 호소내 | 호소 내 발수부하삭감 | 퇴적층준설 |
| | | 퇴적층피복 (호내재료) |
| | | 퇴적층피복 (호외재료) |
| | | 영양염불활성화처리 |
| | | 수산양식업대책 |
| | 부영양화억제 (성층대책) (수리조건변경) (영양염농도저하) (생물상제어) (조류제거) | 河口 처리 |
| | | 호수분리 |
| | | 부엽식물이용처리 |
| | | 조류제거 |
| | | 살조, 제초제처리 |
| | | 생태계제어 |
| | | 정화용수 도입 |
| | | 호수인공순환 |
| | | 심수층포기 |
| | | 호수양수형순환처리 |
| | | 저수층산소주입 |
| | | 지하수유입증가 |
| | 심수층선택방류 | |
| | 호안환경보전 | 수변형 호안 |
| | | 식생호안 |

(표 10-2) 자연정화공법의 기본공정

| | 기본적인 처리공정 | 대상물질 | 공학적 조작 |
|-----------|----------------|--------------|-------------------------|
| 물리적 과정 | 수송 (침투) | 용해성·침강성 물질 | 수송 |
| | 분산 | 용해성·침강성 물질 | 혼합·희석 |
| | 분자확산 | 용해성 물질 | 혼합·희석 |
| | 침강 | 침강성 물질 | 저층·저면에서의 수송 고액(固液)분리 |
| | 여과 | SS, 콜로이드의 일부 | 고액(固液)분리 |
| | 부착 | SS, 콜로이드의 일부 | 고액(固液)분리 |
| | 부상분리 | 부유성 물질 | 고액(固液)·액체분리 |
| | 저질(底質)의 감아 올리기 | 침강성 물질 | 분산·혼합 |

(표 10-2) 자연정화공법의 기본공정(계속)

| 기본적인 처리공정 | | 대상물질 | 공학적 조작 |
|-------------|-------------------|-----------------------|------------------------|
| 화학적 과 정 | 용해 | 입자성 물질 | 상(相)전환(고→액) |
| | 흡탈착 | 콜로이드, 분자, 이온 | 액상에서 고상으로의 수송, 고농도화 |
| | 이온 교환 | 이온성 물질 | 상동 |
| | 기산(氣散)·방산(放散) | 가스화 물질, 취기(臭氣) 물질 | 액상에서 기상으로의 수송 |
| | 산화·환원 | 불활성 물질이외의 물질 | 반응 |
| | 중화 | 산·알칼리 | 반응 |
| | 응석(凝析) | 저용해도 물질 | 상(相)전환(고→액) |
| 생물학적 과 정 | 광합성 (동화) | 실물 (C, N, P, K, H, O) | 탄소고정, 무기물의 유기물화 |
| | 균체증식 (동화, 이화(異化)) | 생물분해성 물질 | 고형화(용해성물질제거), 성분변환 |
| | 자기분해 (호흡) | 생물 | 분해 |
| | 포식 | 미생물 | 제거 |
| | 생물농축 | 중금속, 난(難)분해성 물질 | 농축 |

지금까지 연구개발 되어 활용되고 있는 자연정화공법의 종류 및 각 공종별 설계요소를 종합해 보면 다음 표와 같다.

(표 10-3) 자연정화공법 채용시 설계요소

| 구분 | 공종 | 설계요소 |
|-----------|---|---|
| 하천내 대책 | 유로전환 | •수로, 관로길이 • 방류수량 |
| | 관개법 • 표면유 하법 | • 경사각도(2~4%) 및 사면길이(30~90m) • 살포빈도 • 토양표면상태(식생, 토양성상) |
| | 침투여과법 | • 살포수량 • 살수면적 • 살수빈도 • 토양표면상태(식생, 토양성상) |
| | 트랜치법 | • 트랜치의 개수, 길이 및 깊이 침투수량 • 살수관의 매설상태(사리층, 불투수실트, 불섬포동) • 침투성이 양호한 토양일것 |
| | 중력침강 (보, 부딤, 저류지) | • 하상구배 • 체류시간 • 수면적부하 • 유입수량 • 제방높이(수위) • 부딤저류량 • 유효수심 |
| | 접촉침전 | • 수면적부하 • 체류시간 • 유속 |
| | 스크리닝 | • 수량부하(여과속도) • Mesh size • 여포재질 |
| | 막여과 | • 여과속도 • 여과막성상 |
| | 박층류법 | • 유하거리 • 수심 • 체류시간 |
| | 접촉산화법 | • 체류시간(최저 1시간) • 접촉조형성 • 접촉재재료 • 접촉재표면부하 • 유효수심(포기장치가 없는 경우, 끈상 접촉재료 10cm이하, 플라스틱 접촉재료 30cm이하) • 유속(1cm/sec 정도) • 접촉시간 • 유하거리 • 수심 |
| 역간접촉산화 | • 체류시간 • 조약들의 형상 및 공극율 • 유속 • 유효수심 • 포기공기량 • 자갈표면부하 • 수심 • 공극율 | |
| 회전원판법 | • 체류시간 • 원판면적 | |
| 호소내 대책 | 선택방류 | • 선택방류량 • 취수고표고 • 선택취수량 |
| | 정화용수도수 | • 도수로 길이 • 정화용수량 |
| | 포기순환 | • 공기양수통 혹은 산기식공기장치의 형식, 규모 • 포기공기량 • 토출수량(양수량) • 포기장치형상 ※분수 : • 살수수량 • 살수범위 |
| | 저니처리 (준설, 피복, 불화성화) | • 저니주설공법(굴삭, 운반, 투기) • 저니준설량 • 저니피복투께 • 피복재 재질 • 약제투입량 및 빈도 • 투입약제 • 약제 투입시기 |
| | 조류의 억제 (제거 및 살초제 처리) | 제거 : • 회수수량 • 분리, 농축, 소각방법 살초제처리 : • 살포약제 • 약제 살포량 |
| | 식생정화 | • 체류시간 • 지내수심 • 유하거리 • 생육밀도 • 수면적부하 • 수생식물종 |
| | 생태계제어 | • 이식생물종 • 이식생물량 |
| 물결형호안 | • 호안형상 | |

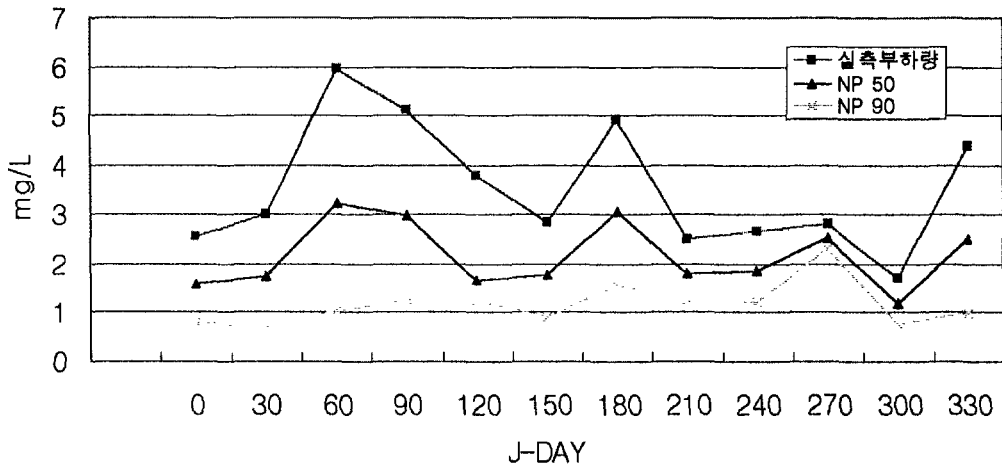
제2절 유역 및 호소내의 오염부하제어

1. 각 지류별 부하량 제어에 따른 담수호의 수질변화

담수호 내로 유입되는 각각의 지류별로 오염원을 제어함으로써 담수호 수질에 미치는 영향을 살펴보았다. 제어한 오염물질은 T-N, PO4로서 각각 50%, 90% 제거하여 호내로 유입시키는 것으로 가정하여 모의했으며, 결과치의 비교는 취수시설이 위치한 최말단 수체(水體)인 6번 Segment의 값을 이용하였다.

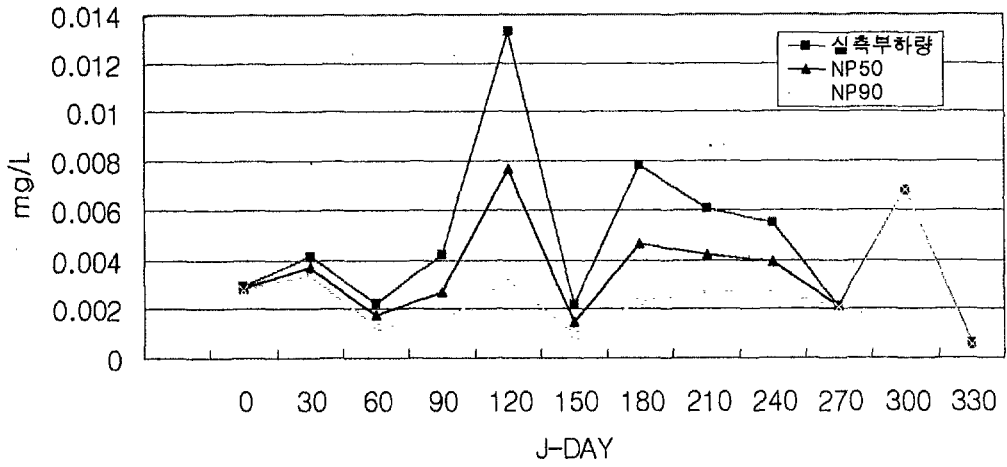
가. branch 1 (본류)의 제어

T-N, PO4 제어



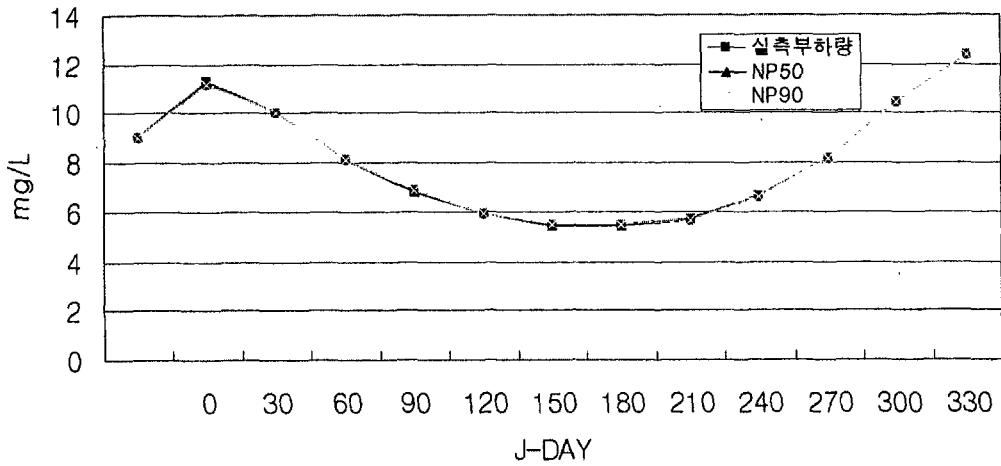
<그림 10-1> T-N의 변화

T-N, PO₄ 제어



<그림 10-2> PO₄의 변화

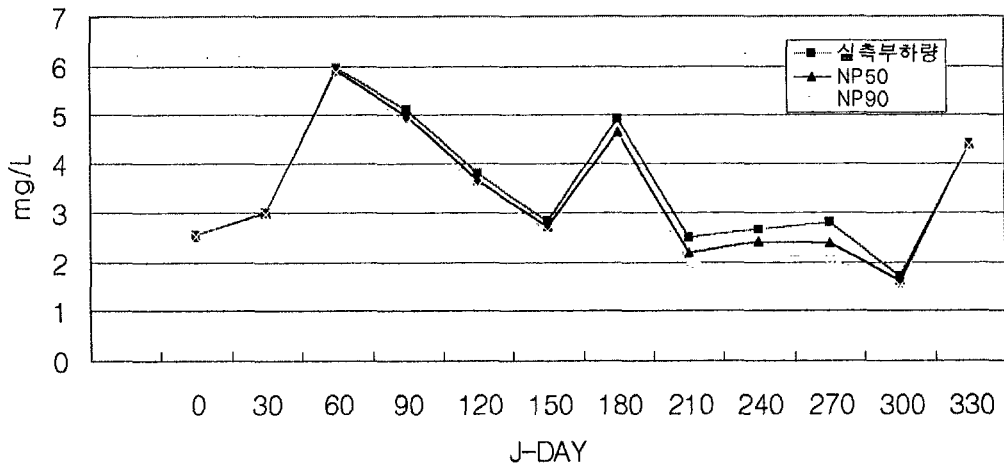
T-N, PO₄ 제어



<그림 10-3> D0의 변화

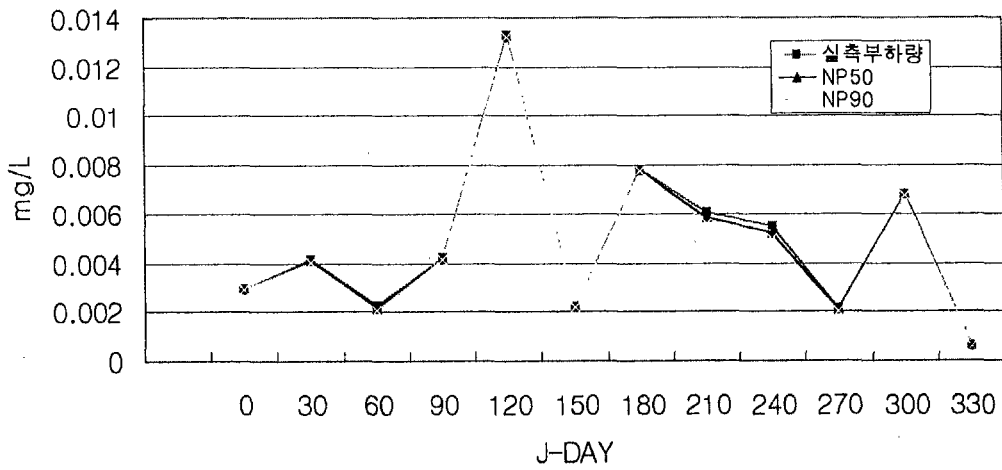
나. Tri-2(지류)의 제어

T-N, PO₄ 제어



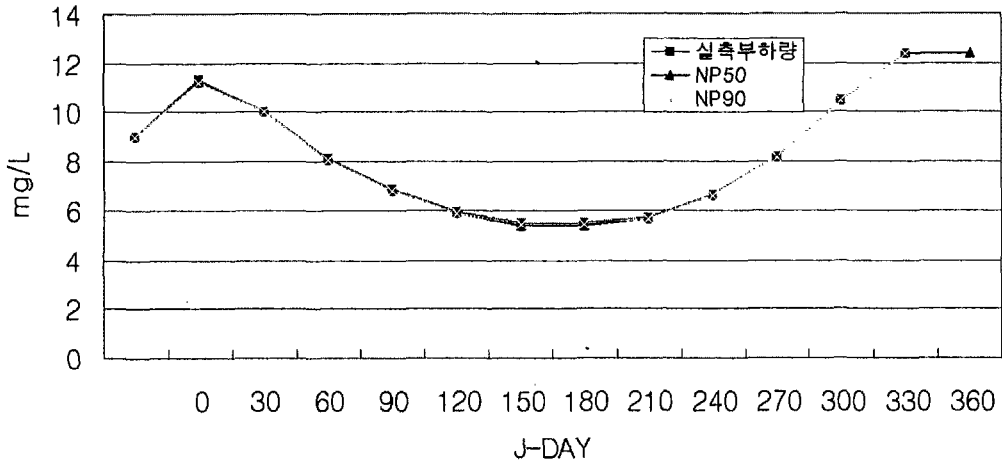
<그림 10-4> T-N의 변화

T-N, PO₄ 제어



<그림 10-5> PO₄의 변화

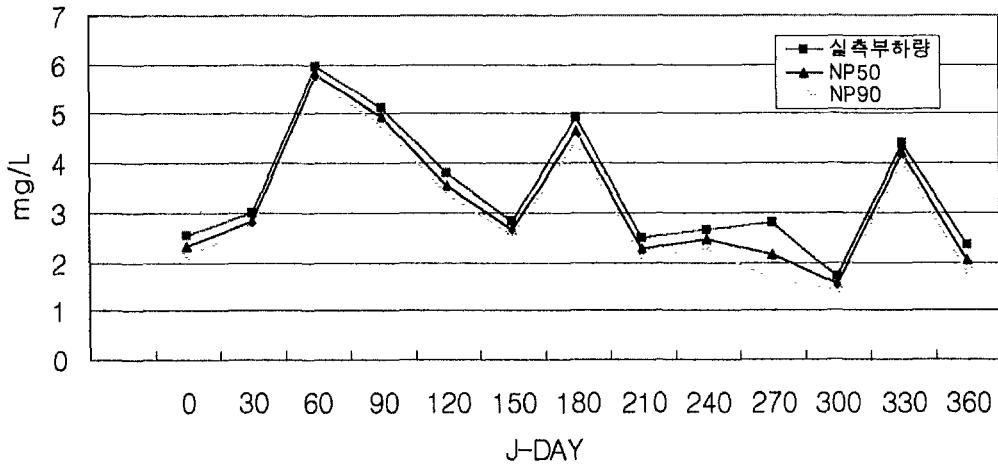
T-N, PO4 제어



<그림 10-6> D0의 변화

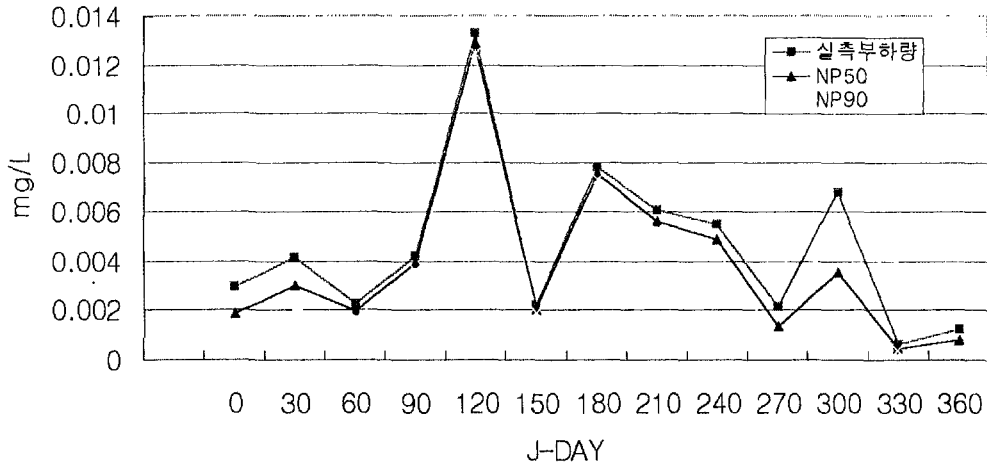
다. Tri-4(지류)의 제어

T-N, PO4 제어



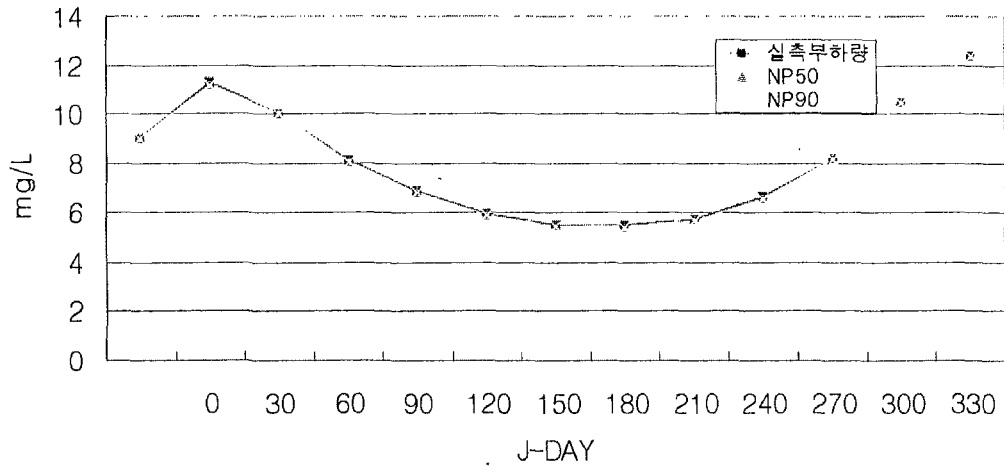
<그림 10-7> T-N의 변화

T-N, PO₄ 제어



<그림 10-8> PO₄의 변화

T-N, PO₄ 제어



<그림 10-9> DO의 변화

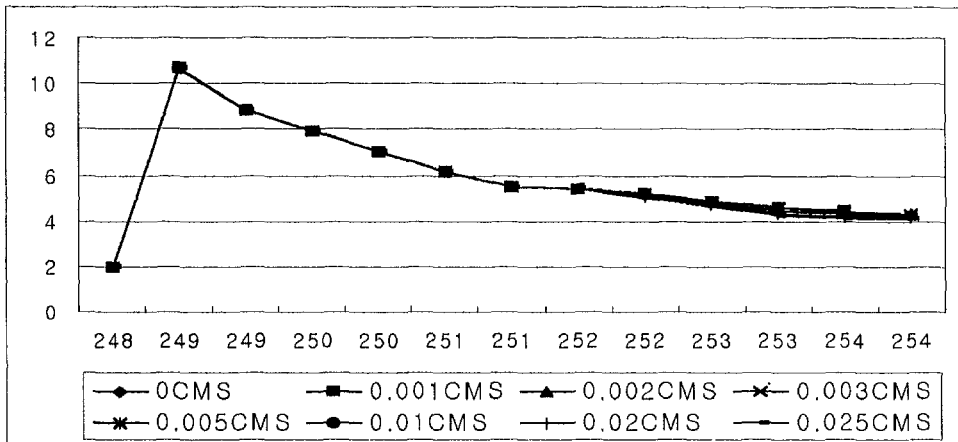
2. 배수문 조작에 의한 수질변화

앞에서 언급했듯이 담수호내에서 부하량을 제어하는 방법은 저니처리, 조류의 억제 식생정화 등 여러 가지가 있다. 그 중에서 배수문 조작에 의한 물수지를 이용함으로써 담수호내의 수질오염변화를 모의하였다. 강우형태는 단기강우사상을 가지고 SWMM모형을 통해서 나온 유량·부하량자료를 WASP5에 적용하여 일정유량을 방류할 때의 호내수질의 변화를 살펴보았다.

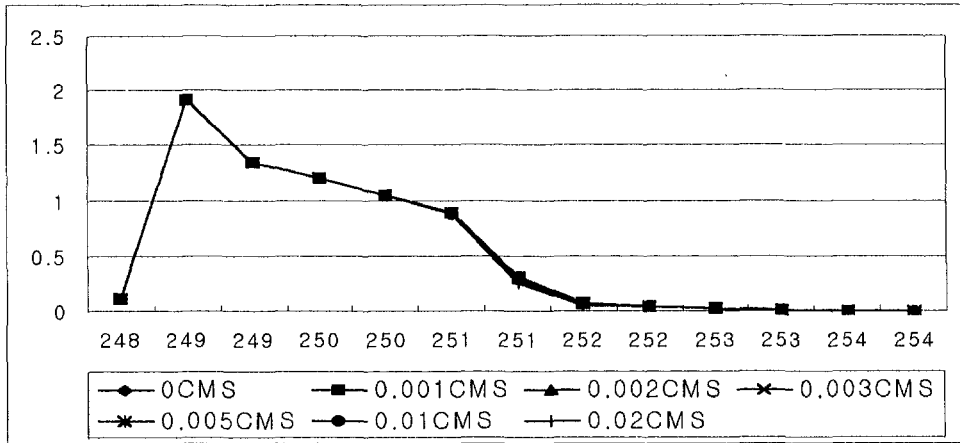
가. 모의시간동안 방류시

<그림 10-10>은 단기 강우사상을 가지고 모의시간 동안 일정유량을 방류하였을때의 T-P, T-N의 농도 변화를 나타내고 있다. 방류량은 방조제 내·외 수위차를 고려하여 가능한 방류량을 구하여 적용을 하였다.

단기강우를 가지고 10일 동안 모의를 하였을 때 T-N은 처음에는 거의 변화가 없지만 5일 후부터 약간의 감소현상을 보인다. 마지막 10일 경과후에는 4.35ppm에서 4.11ppm으로 약 0.2ppm의 감소를 보이고 있다. T-P의 모의시작일로부터 5일 후에는 0.3ppm에서 0.25ppm으로 약 0.05ppm의 감소를 보여주고 있다.



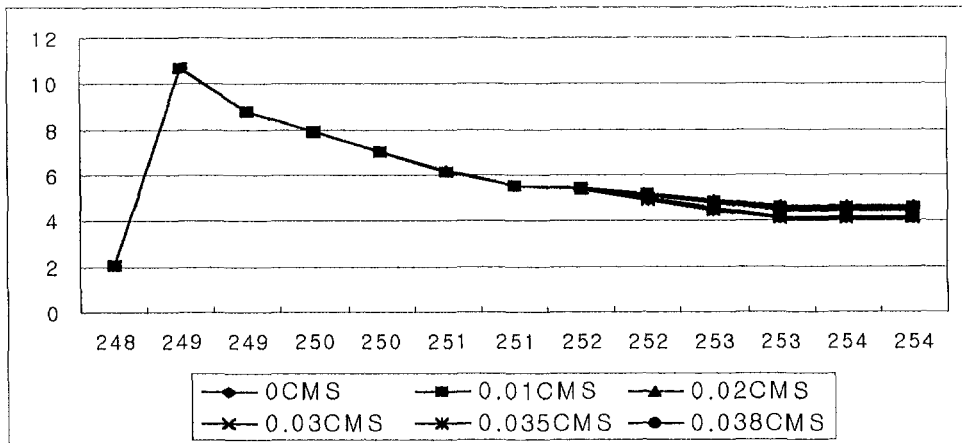
<그림 10-10> 일정방류량에 의한 T-N의 변화



<그림 10-11> 일정방류량에의한 T-P의 변화

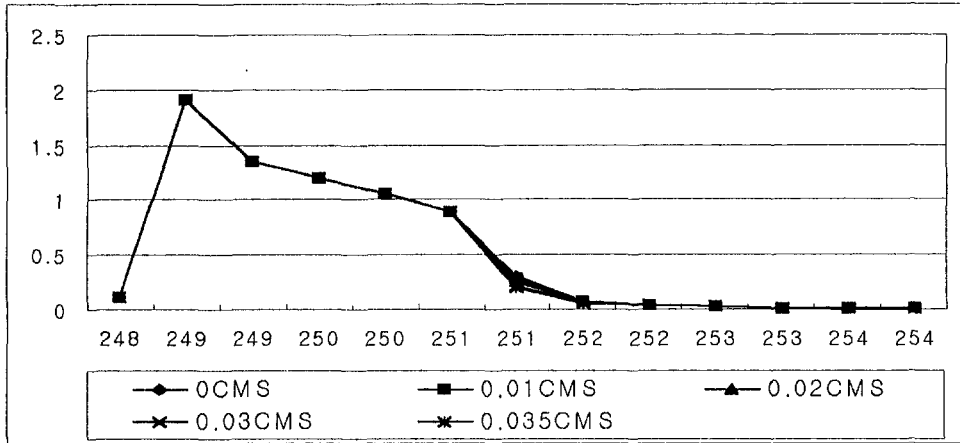
나. 일정기간동안 방류시

<그림 10-11>은 단기 강우사상에대해 강우기간부터 5일동안 방류했을때의 T-P, T-N의 농도 변화를 나타내고 있다. 0.035m³/s로 5일 동안 방류했을 때 4.35ppm에서 4.12ppm으로 약 0.2ppm의 감소를 보이고 있다.



<그림 10-12> 5일 방류량에의한 T-N의 변화

T-P의 경우는 <그림 10-13>에 나타나있다. 0.035m³/s로 5일동안 방류했을 때 0.3ppm에서 0.19ppm으로 약 0.1ppm의 감소를 보이고 있다.



〈그림 10-13〉 5일 방류량에 의한 T-P의 변화

제3절 요약 및 결론

SWMM과 WASP5를 이용하여 유역에서는 각 지류의 부하량을 제어하고, 담수호 내에서는 배수갑문을 조절함으로써 담수호내의 수질 변화를 살펴보았다. 지류에서의 질소와 인을 제어한 모의결과 호소내의 수질변화는 branch 1(본류)의 제어가 가장 크게 나타났으며, 이는 본류가 차지하는 유역면적이 타 지류에 비해 월등히 크고, 또한 유역내에 도심이 형성되어 있기 때문인 것으로 판단된다. 유역면적이 크므로 인해 강우 유출량 또한 타 유역의 유출량보다 월등히 많다. 그러므로 기타 지류에서의 오염부하량 제어보다 본류의 오염부하량 제어가 효과적인 것으로 나타났다.

담수호내의 배수갑문 조절에 의한 수질모의는 모의시간동안 일정량을 방류하는 방법과, 강우시 일정시간동안 방류하는 방법으로 모의를 하였다. 모의결과 T-N은 0.19ppm과 0.12ppm으로 2가지 방법 다 비슷한 감소양상을 보이고 있었고, T-P의 경우는 0.25ppm과 0.19ppm으로 강우시 일정시간동안 방류하는 방법이 수질제어에 더욱 효과적인 것으로 나타났다. 이는 강우시 비점오염원의 유출이 훨씬 많으므로 부하가 많을 때 많은 양을 방류하는 것이, 조금씩 계속 방류하는 것보다 훨씬 더 많은 오염 물질을 배출하는 것으로 판단된다.

T-N, T-P를 수질기준치이하로 낮추기 위해서는 이론상 본류의 부하농도를 90%이상 제어한다는 결론이 나온다. 지금 건설중인 종말처리장의 규모, 운용시간 등을 최대로 늘린다 하더라도 이 하수종말처리장만으로는 오염부하량을 제어하기는 어려운 실정이다. 배수갑문의 수문조작관리로는 지류제어만큼의 수질 저하효과는 기대할 수 없지만 지류제어와 배수갑문 조절, 이 두 가지를 병행함으로써 좀 더 낮은 수질관리를 할 수 있을 것으로 기대된다.

제 11 장
종 합 결 론

제11장 종합결론

본 연구에서는 간척사업으로 조성된 홍보간척지구를 대상으로 하구담수호의 수질보전 및 관리를 위하여 유역의 기상자료, 지형자료 등의 GIS자료를 구축하여 D/B정보화를 하였다. 강우시 지류에서의 실측유량과 부하량을 측정함으로써 유역모델(SWMM)의 보정 및 검증에 이용하였고, 보정 검증된 유역모형으로 유역에서 발생하는 유량 및 부하량을 예측하였다. 그리고 호소의 수질예측은 CE-QUAL-W2와 WASP5모형을 이용하여 수질을 예측하여 그 결과값을 비교 분석함으로써 WASP5모형이 CE-QUAL-W2모형보다 보령담수호에 적합하다는 결과가 나왔다. 그리하여 유역에서는 SWMM모형을, 호소수질예측은 WASP5모형을 이용함으로써 유역과 호소를 연결하는 종합적인 수질예측을 실시하였다. 또한 예측된 수질을 토대로 담수호의 수질관리대책을 수립하였고, 수질예측-수질관리의 일련의 과정을 사용자가 좀 더 쉽게 이용할 수 있도록 사용자 편의 시스템을 개발하였다.

본 연구를 통하여 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 담수호 선정을 위하여 협동연구기관과 협의과정을 거쳐 홍보간척지구로 선정하고, 대상 담수호유역에 대한 GIS자료는 ARC/INFO, IDRISI S/W를 이용하여 구축하였으며, ER-Mapper 영상분석S/W와 SPOT Panchromatic 인공위성영상을 구입하여 토지피복도를 작성하였고, 기존의 보고서, 대상유역 현장답사, 현지 기상관측소, 군청 및 면사무소를 수차례 방문하여 수문·기상자료 및 인문·통계자료를 수집하였으며, 이들을 담수호유역의 수질관리시스템의 구축에 적합하게 GIS/DB 정보화 하였다.

2. 유역에서의 하천수질 측정결과 담수호 오염의 주원인은 천북면에서 발생하는 축산폐수이고, 제반여건 등을 고려할 때 이를 전량 처리한다는 것은 어려운 실정이며, 또한 점오염원의 한정적인 처리로는 담수호의 수질을 크게 향상시킬 수도 없다. 따라서 축산폐수 공동시설의 설치도 시급하지만, 기존 축산단지의 개량 및 가축분뇨의 퇴비화로 담수호로 유입되는 총오염물질 부하량을 원천적으로 제거하여 하천의 수질을 개선시키고 부산물로서 유용한 유기질비료를 생산하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

3. 담수호의 수질측정결과는 호소수질기준에서 농업용수 4단계를 기준으로 했을 때 대부분 수질 기준을 만족하고 있으나 TP, TN, SS등이 호소수질기준을 초과하고 있다.

총인은 0.198mg/L로 기준치 0.1mg/L의 약 1.5배를, 총질소는 2.122mg/L로 기준치 1mg/L의 약 2배를 나타내므로 이로 인해 심한 부영양화가 이루어지고 있음을 알 수 있다. 또한 SS도 37.5mg/L로 기준치인 15mg/L을 초과하고 있다. 이러한 부영양화의 결과로 호수에서 일어나는 생물학적 변화는 유입되는 영양물질의 증가로 인한 조류성장의 촉진처럼 직접적인 영향을 나타내게 되고 침수식물의 경우 부유성 조류와의 빛에 대한 경쟁으로 인해 영양물질의 증가 상태에서도 성장이 억제 될 수 있다. 이로 인해 수생 식물의 사체가 쌓이고 부패됨에 따라 수계의 산소 농도가 낮아져 어패류에 치명적인 영향을 미칠 것으로 판단된다.

아직까지 DO, BOD, COD의 값이 기준치에 합당하여서 TP, TN의 증가→부영양화→조류의 과다성장→DO증가→BOD감소→생태계파괴의 연쇄적인 피해는 없다 할 수 있다. 하지만 이 상태로 호소를 방치할 경우에는 수질도, 수생생물도 큰 피해를 줄 수 있다고 판단된다. 그러므로 이 지역의 주된 오염원을 효과적으로 처리하여 호소로 유출시킬 수 있는 방법이 모색되어야 할 것으로 본다.

4. SWMM모형의 입력자료 중 강우자료는 보령관측소에서 1시간 간격으로 측정된 자료를 사용하였고, 유역경사, 토지피복상태 및 유역형상 등은 GIS자료를 가지고 GIS 프로그램인 Arc/info를 이용하여 산정하였다. 모델매개변수의 보정은 1991년도에 담수호의 지류에 위치한 덕정교에서 측정한 수문자료 및 본 연구기간 중 홍수발생시에 소룡교 및 신진교에서 측정한 유출량 및 오염부하량자료를 이용하여 실시하였다. 또한 각 매개변수의 민감도를 분석하여 매개변수 보정 검증의 기초자료로 사용하였다. 분석결과는 저류깊이가 가장 민감한 것으로 나타났으며, 수로조도계수, 투수조도계수, 불투수 조도계수 순으로 나타났다. SWMM모형에서 월 평균 부하량은 강우에 따른 유출량에 비례하는 것으로 나타났다. 이는 농촌지역의 오염 부하량 대부분이 비점원 형태로 강우에 의한 쓸림에 의한 것이기 때문이라 판단된다. 이러한 계절별 특성은 우리나라의 강우 특성을 잘 반영하고 있다.

5. 호소내의 수질을 예측하기 위하여 CE-QUAL-W2 모형과 WASP5 모형을 이용하여 수질 모의를 실시하였다. CE-QUAL-W2 모형은 길이방향과 수심방향의 2차원 모델이다. 그로 인하여 횡방향적 모의는 불가능하다. 보령담수호를 보면 호소내에 빙도라는 섬이 있다. 하지만

CE-QUAL-W2 모델에서는 그 빙도의 모의가 어렵게되어 빙도를 무시하고 모의를 하여 결과치의 오류가 있을것으로 판단된다. 이에 반하여 WASP5 모형은 빙도에서 두 갈래도 갈라졌다가 다시 합쳐지는 모의가 가능하다. 또한 CE-QUAL-W2 모형은 수심방향모의를 주목적으로 한다. 하지만 보령담수호는 수심이 그다지 깊지 않기 때문에 수심별 오염도도 그다지 차이가 나지 않는다. 두 모델의 모의된 값을 보면 WASP5모형이 CE-QUAL-W2모형보다 우리나라의 계절적 수질 변동 특성을 잘 나타내 주는 것으로 판단된다. 따라서 수질관리시스템의 기본 모델을 SWMM과 WASP5모형으로 하였다.

6. 질소와 인을 제어한 모의결과 호소내의 수질변화는 branch 1(본류)의 제어시 가장 크게 나타났으며, 이는 본류가 차지하는 유역면적이 타 지류에 비해 월등히 크고, 또한 유역 내에 도심이 형성되어 있기 때문인 것으로 판단된다. 유역면적이 크므로 인해 강우 유출량 또한 타 유역의 유출량보다 월등히 많다. 그러므로 기타 지류에서의 오염부하량 제어보다 본류의 오염부하량 제어가 효과적인 것으로 나타났다.

7. T-N, T-P를 수질기준치 이하로 낮추기 위해서는 이론상 본류의 부하농도를 90%이상 제어해야 한다는 결론이 나온다. 지금 건설중인 종말처리장의 규모, 운용시간 등을 최대한 늘린다 하더라도 이 하수종말처리장만으로는 오염부하량을 제어하기는 어려운 실정이다. 배수갑문의 수문조작관리로는 지류제어만큼의 수질 저하효과는 기대할 수 없지만 지류제어와 배수갑문 조절, 이 두 가지를 병행함으로써 좀 더 낮은 수질관리를 할 수 있을 것으로 기대된다.

8. 수질관리시스템의 목적은 농촌유역을 대상으로 하는 담수호 수질관리를 위하여 유역의 유출, 오염부하량 모델과 담수호내 수질예측모델의 연계 운영이 가능하도록 하는데 있다. 그리고, 모델들의 자료와 결과를 DataBase로 구축하고, 편리한 사용자 인터페이스를 개발함으로써 모델에 대한 전반적인 지식이 부족하여도 모델을 운영할 수 있으며 결과의 확인이 용이하도록 하는 것이다. Visual Basic을 이용하여 SWMM과 WASP5 모형의 연계적용을 통하여 종합적인 수질관리방안을 제시하고 수질예측모델을 이용한 사용자 편의 시스템을 구축하여 사용자에게 편의성을 제공하고자 하였다. 수질관리는 유역의 오염원 제어와 배수갑문의 모의 조작이 가능하게 하므로 앞으로 담수호 수질관리 계획을 효율적으로 수립하도록 하였다.

여 백

참 고 문 헌

1. 김형석, 1972. 한강에 있어서 Fecal Coliform과 Fecal Streptococci의 위생화학적 고찰. 한국 육수학회지.
2. 농업진흥공사, 1975, 삼교천지구 농업종합개발 사업기본 계획서
3. 농수산부, 농업진흥공사. 1983, 농지개량사업 설계기준, 관개편
4. 류재근, 이희수, 이원곤, 김태종, 이택중, 이택주, 1986. 축산폐수가 하천오염에 미치는 영향에 관한 연구, -세균학적 조사를 미치는 영향에 관한 연구. -세균학적 조사를 중심으로, 재한수의 사회지. 22(4):238-244.
5. 권순국(1987~1989), “담수호의 환경오염 및 부영양화 방지대책 수립 (I)~(III).” 서울대 농업개발연구소
6. 한국수자원공사, 1987.8, 시화지구 간척지 종합개발사업 환경영향평가서
7. 김시원 김선주, 1988.12, 밭 관개의 계획용수량 및 시설용량의 성립에 관한 연구, 한국농공학회지 제30권 제4호, pp23-43.
8. 조재규, 김복영, 소규호, 1988, 농작물재배에 의한 환경영향평가 연구(농작물 환경오염원 조사), pp46-54, 농업과학기술원 시험연구.
9. 부영양화방지를 위한 인 제거기술. 세계환경의 날 기념학술 세미나 - 하천 및 호수수질의 최적화 관리방안 - 1989, 국립환경연구원, 한국환경과학연구협의회. 정태학.
10. 영농 화학물질의 적정사용 방안에 관한 연구(I) - 비료를 중심으로 - 李昌紀, 李吉哲, 李興在, 柳弘一, 李敏孝, 金盛煥, 金成洙 金基憲, 金三權, 金相敦, 국립환경연구원보, 제11권, pp293-310, 1990
11. 농경지에서의 영양염류의 유출과 대책방안에 대하여 농업환경보전에 관한 심포지움, 1991, Seoul, Korea, 이민호, 53-76
12. 농림부·농어촌진흥공사, 1991-1992, 농어촌용수이용 합리화 계획 자료정보 데이터베이스구조 연구(I , II , III).
13. 윤용남, 1991, 공업수문학, 청문각.
14. 김상문, 1992.3, 연안담수호의 수질예측과 관리방안에 관한 연구-시화지구 담수호를 대상으로-서울대학교 환경대학원.

15. 김효정, 1992.8, 호소수질 예측을 위한 부영양화 모형의 비교·분석에 관한 연구, 서울대학교 환경대학원.
16. 양숙정, 1992, 우리 나라 주요 수계의 영양화 현황에 관한 연구, 전북대학교 환경대학원 석사학위논문.
17. 성기준, 1993.2, 하천 수질 모형의 비교·분석에 관한 연구, 서울대학교 환경대학원.
18. 서울대학교 농업생명과학대학 부속 농업개발연구소. 1993, 농어촌용수 환경관리에 관한 연구(Ⅱ). 농림수산부·농어촌진흥공사.
19. 농어촌진흥공사, 1994-2000 홍보지구 농업종합개발사업 계획서 및 사후영향조사 보고서.
20. 이종호, 1999.4, WASP5에 의한 대청호 수질 모델링, 환경영향평가학회지
21. 김진택(1995), "농업비점원 오염모형을 위한 지리정보시스템 호환모형의 개발 및 적용." 서울대학교 박사학위논문.
22. 이명규·이재일, 1995. 축산분뇨에 의한 환경오염현황과 대책. 상지대학교 이공과대학 환경학과.
23. 농업기반공사(1995), "동북아의 물 2000년 - 농어촌용수 개발과 관리."
24. 농업기반공사(1995), "아시아의 물 2000년 - 농어촌용수 수급과 효율적 관리."
25. 농업기반공사(1995), "한국의 간척."
26. 박영진, 농촌유역 소하천에 대한 WASP모형의 적용, 1995, 서울대학교 대학원 농공학과.
27. 이명규·이재일, 1995, 축산분뇨에 의한 환경오염현황과 대책. 상지대학교 이공과대학 환경공학과.
28. 한국수자원공사, 1995.12, 시화호 담수호 수질보전대책 수립조사보고서.
29. 김성준, 1996, 농촌소유역 하천수질관리를 위한 GIS 응용, 한국GIS학회지, 4(2), pp147-157
30. 서영제(1996), "우리나라 담수호의 개발현황." 한국수자원학회지, 29(5): pp12~39.
31. 최진용(1996), "지리정보시스템을 이용한 장기유출모형에 관한 연구.", 서울대학교 박사학위논문.

32. 환경부(1996), "환경백서."
33. 김규형, 1997. 2, WASP5를 이용한 대전취수탑 유역의 부영양화 및 수질예측에 관한 연구, 대전대학교 대학원.
13. 농업기반공사(1997), "물 2000년 - 담수호의 효율적인 관리와 수계환경."
34. 농업용수 수질관리지침, 1997. 농림부.
35. 최영송, 고익환, 한국수자원학술지, 1997, 바람직한 유역 물관리 시스템 구축방향.
36. 최홍림·한수연, 1997, 구릉지에 밀집한 소규모 낙농가의 축산폐수가 지천의 수질환경에 미치는 영향, 서울대학교 농업생명과학대학 동물자원학과.
37. 황병기, 1997, 수질모델 EUTRO5를 이용한 확산계수 산정법에 관한연구, 한국수질보전학회지, 제13권 3호, pp275-287.
38. 국립환경연구원 수질연구부, 1998. 1, 낙동강 증장기 오염부하량 저감대책 -모델 검증 및 보완 방안-
39. 김성철, 1998, WASP5 모델을 이용한 한강 하류부의 수질모델링, 광운대학교 대학원 환경공학과.
40. 권순국, 김복영, 김진수, 김태철, 윤춘경, 정재춘, 홍성구, 1998, 지역환경공학, 향문사.
41. 과학기술연구원, 1998, 수질오염물질의 모니터링과 모델링 기법 개발.
42. 농업진흥공사, 1998, 소비수량 산정방법 실용화 연구.
43. 농림부, 1998, 농업생산기반 정비사업계획 설계기준(관개편).
44. 박명환, 1998, WASP5를 이용한 동북호 수질분석, 광주대학교 경상대학원 토목공학과.
45. 통계청, 충남 홍성군, 보령시 통계연보, 1998-2000.
46. 한국수자원공사, 1998, 시화호 수질관리대책수립연구.
47. 김선주, 1999-2000, 간척지 담수호의 수질관리시스템 개발 연말보고서.
48. 기상연보, 1998-2000, 기상청.
49. 김시원 외 2인, 농업수리학, 향문사.

50. Metcalf & Eddy, Inc. (1971). Storm Water Management Model, Volume 1 - Final Report, EPA Report 11024DOC07/71, U.S Environmental Protection Agency, Washington, D.C., pp1~204.
51. Allan Olness, E. D. Rhoades, S. J. Smith, and R. G. Menzel. 1980. Fertilizer nutrient losses from rangeland watersheds in central Oklahoma. J. Environ. Qual. 9 : pp81-86.
52. Tate, K. R. 1984. The biological transformation of P in soil. Plant and Soil 76 : pp245-256
53. Rosswall, T. and Keith Paustian. 1984. Cycling of nitrogen in modern agricultural systems. Plant and Soil. 76 : pp3-21.
54. Mahendra Singh, D. S. Yadav and Vinod Kumar. 1984. Leaching and transformation of urea in dry and wet soil as affected by irrigation water. Plant and Soil, 81. pp411-420.
55. Murty, M. G. 1984. Nitrogenase activity(acetylene reduction) associated with leaves of different cultivars of paddy(*Oryza sativa* L.). Plant and Soil. 77 : pp253-261.
56. Mian, M. H. and W. D. P. STEWART. 1985. Fate of nitrogen applied as Azolla and blue-green algae(Cyanobacteria) in waterlogged rice soils : a ¹⁵N tracer study. Plant and Soil. 83 : pp363-370.
57. Sharpley, A. N, S. J. Smith, W. A. Berg, and J. R. Williams. 1985. Nutrient runoff losses as predicted by annual and monthly soil sampling. J. Environ. Qual. 14 : pp354-359.
- Mikkelsen. 1986. Sorption and bioavailability of phosphorus during the drainage period of flooded-drained soils. Plant and Soil. 92 : pp265-278.
58. Sah, R. N. and D. S. Mikkelsen. 1986. Effects of temperature and prior flooding on intensity and sorption of phosphorous in soil. Effects on the kinetics of soluble P in soil. Plant and Soil. 95 : pp163-171.
59. De Datta, S. K. 1987. Nitrogen transformation processes in relation to improved cultural practices for lowland rice. Plant and Soil. 100 : pp47-69.

60. Mikkelsen, D. S. 1987. Nitrogen budgets in flooded soils used for rice production. *Plant and Soil* 199 : pp71-97.
61. Ryu, J.K. (1988~1990). "A comprehensive studies on the Eutrophication of Paldang Reservoir(I)~(III)." NIER.
62. Huber, W. C. and Kickinson, R. E. (1988). *Storm Water Management Model Users Manual, Version 4, EPA/600/3-88/00a*, U.S. Environmental Protection Agency, Athens, GA. ppl-569.
63. Ambrose, R.B et al, 1988, *WASP5 User's Manual, and Programmer's Guide*. U.S EPA.
64. Linnell M. E. and J. R. Burney. 1991. Sediment concentration of interrill runoff under varying soil, ground cover, soil compaction and freezing regimes. *J. Environ. Qual.* 20 : pp403-407.
65. Monika Danecka-bialek, Florian domka. 1991. The effect of heavy metal ions on the activity of denitrifiers from *Bacillus* genus. *Environment Protection Engineering.* 37 : pp75-82.
66. Aulakh, M. S., J. W. Doran, and A. R. Mosier. 1991. Field evaluation of four methods for measuring denitrification. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55 : ppl332-1338.
67. Bijay-Singh, Yadvinder-Singh, C. S. Khind and O. P. Meelu. 1991. Leaching losses of urea-N applied to permeable soils under lowland rice. *Fertilizer Research* 69 : pp179-184.
68. Rossi, N., C. Ciavatta, and L. Vittori antisari. 1991. Seasonal pattern of nitrate losses from cultivated soil with subsurface drainage. *Water, Air, and Soil pollution* 60 : ppl-10.
69. Owens, L. B., W. M. Edwards, and R. W. Keuren. 1991. Baseflow and stormflow transport of nutrients from mixed agricultural watersheds. *J. Environ. Qual.* 20 : pp407-414.
70. Al-Kanani, T., A. F. MacKenzie, and N. N. Barthakur. 1991. Soil water and ammonia volatilization relationships with surface-applied nitrogen fertilizer solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55 : 1761-1766

71. Martin P. Wanielista, Yousef A. Yousef, 1992, Stormwater management, John Wiley & Sons, INC., pp262-292.
72. Ambrose, Robert B. and James L. Martin, 1993, The Dynamic Estuary Model Hydronamic Program, DYNHYD5 Model Docomentation and User Manual. Environmental Research Laboratory, U.S. EPA a
73. Kiuchi, M., R. Horton, and T. C. Kaspar. 1994. Leaching characteristics of repacked soil columns as influenced by subsurface flow barriers. Soil Sci. Soc. Am. J. 58 : pp1212-1218.
74. Daniel V. McCracken, M. Scott Smith, John H. Grove, Charles T. Mackown, and Robert L. Blevins. 1994. Nitrate leaching as influenced by cover cropping and nitrogen source. Soil Sci. Soc. Am. J. 58 : pp76-1483.
75. Wilberforce Kamukondiwa and Lars Bergstrom. 1994. Leaching and crop recovery of ¹⁵N from ammonium sulphate and labelled maize(Zea mays) material in lysimeters at a site in imbabwe. Plant and Soil. 162 : pp193-201.
76. Addiscott, T. M., and D. S. Powlson. 1994. Partitioning losses of nitrogen fertilizer between leaching and denitrification. Journal of Agricultural Science. 118 : pp101-107.
77. Karkowski, R & Walters, M, 1994, Application of linked model to Winter Haven chain of lakes, Lake and Reservoir Management [LAKE RESERV. MANAGE.], vol. 9, no. 2, pp.86.
78. Kadlec. R. H., Knight. R.L., 1995, Treatment wetlands, Lewis publishers.
79. Lung, Wu-Seng & Larson, CE, 1995, Water quality modeling of upper Mississippi River and Lake Pepin, Journal of Environmental Engineering, vol. 121, no.. 10, pp691-699.
80. ASTM(1995). "ASTM Standards on Environmental Sampling." Phil. PA.
81. Thomas M.C. and M.B. Edward(1995). "CE-QUAL-W2: A Two-Dimensional, Laterally Averaged, Hydrodynamic and Water Quality Model, Ver. 2.0." USCOE. Washington DC.

82. Schnier, H. F. 1995. Significance of timing and method of N fertilizer application for the N-use efficiency in flooded tropical rice. *Fertilizer Research* 42 : pp129-138.
83. Kelley, K. R. and F. J. 1995. Stevenson Forms and nature of organic N in soil. *Fertilizer Research*. 42 : pp1-11.
84. Stenger, R., Eckart Priesack and Friedrich Beese. 1995. Rates of net nitrogen mineralization in disturbed and undisturbed soils. *Plant and Soil*. 171 : pp323-332.
85. Saint-Fort, R., R. M. Raina, and B. Prescott. 1995. Subsurface environmental quality under a cattle feedlot and adjacent cropfield. *J. Environ. Sci. Health*. 30 : pp637-650.
86. APHA, 1995, Standard Methods for the examination of water and wastewater, 19th Edition, American Public Health Association. pp4-65~4-114, 5-2~15.
87. Zanner, C. W., and P. R. Bloom. 1995. Mineralization, Nitrification, and Denitrification in Histosols of Northern Minnesota. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59 : pp1505-1511.
88. Sharpe, R. R., and L. A. Harper. 1995. Soil, plant and atmospheric conditions as they relate to ammonia volatilization. *Fertilizer Research*. 42 : pp149-158.
89. Shad D. Nelson and Richard E. Terry. 1996. The effects of soil physical properties and irrigation method on denitrification. *Soil Sci.* 161 : pp242-249.
90. Singh, V.P.(1996). "Computer Models of Watershed Hydrology." WRP, Colorado. Sah, R. N. and D. S.
91. Hernandez, P, Ambrose, RB Jr, Prats, D, Ferrandis, E & Asensi, JC, 1997, Modeling eutrophication kinetics in reservoir microcosms, *Water Research [WATER RES.]*, vol. 31, no.10, pp2511~2519.
92. Jin, Kang-Ren, James, RT, Lung, Wu-Seng & Loucks, DP 1998, Assessing Lake Okeechobee eutrophication with water-quality models, *Journal of Water Resources Planning and Management [J. Water Resour. Plann. Manage.]*, vol. 124, no. 1, pp22-30

93. 山室成一, 1986. 表層および全層施肥 $\text{NH}_4\text{-N}$ と土壤無機化窒素の有機化, 脱窒および水稻 による 吸収. 日本土壤肥料學雜誌, 57(1) : pp13-22
94. 國松孝南, 1986. 農地からの營養鹽の流出と對策. 水處理技術, 27(10), pp713-720
95. 木村眞人, 1991. 土壤中の微生物とその働き -水田の微生物-. 日本農業土木學會誌, 59(10), pp47-54
96. 田淵俊雄, 黒田久雄, 稻葉 昭, 川野--明, 海老名保孝, 堀角京美, 1991. 非灌漑期の農業集水域 からの流出水の窒素濃度と負荷 -面源主體の農業集水域からの流出負荷に 關する研究(I)-. 日本農業土木學會論文集, 154, pp45-53.
97. 高橋 茂, 山室成一, 1992. 湛水土壤における土壤有機態窒素の無機化と地温との關係. 日本土壤肥料學雜誌, 63(4) : pp463-465.
98. 町 野 彰, --本秀夫, 寺崎 太二郎, 1992. 首都圏の土壤からの温暖化ガス發生狀況調査. 日本大氣汚染學會誌, 27(3) : pp165-173.
99. 今野一男, 平井義孝, 菊地--二, 1992. 綠肥の乾燥および粉碎方法が土壤中での炭素の 分解と窒素 の放出に及ぼす影響 日本土壤肥料學雜誌, 63(4) : pp470-472.
100. 金木荒一, 1993. 炭素源無添加時の土壤の脱窒特性-農地土壤による水質淨化に關する研究. 日本農業土木學會論文集, 168, pp51-57.
101. 金木荒一, 1993. 土壤の脱窒特性 -農地土壤による水質淨化に關する研究(I)-, 日本農業土木學會論文集 163, 1~10.
102. 木方展治, 結田康一, 1993. 扇狀地水田下の土壤水中醋酸態窒素. 日本土壤肥料學會誌, 63(5), pp581-589
103. 稻森悠平, 水落元之, 西村 修, 勝本尚志, 1994. 土壤浸透法お用いた排水處理と窒素負荷量. 環境と測定技術, 21(12) : pp8-18

104. 町野 彰. 1994. 土壌中の亞酸化窒素濃度の測定. 分析化學. 43(11). pp991-994.
105. 川西聰也, 姜 志恒, 林良茂, 1994. 稻わらお利用した脱窒法. ケミカル. 39(6). pp41-44.
106. 西尾 隆. 1994. 耕地土壌の脱窒過程. 日本土壌肥料學雜誌. 65(4). pp463-471.
107. 森田 弘昭. 1994. わが國の地下水汚染の實態と對策. 用水と廢水. 36(5) : pp48-51.
108. 國松孝男, 夢 榮, --戸 幹, 武田育郎. 1994.
非作付期間の田からの水質汚染物質の表面流出 日本農業土木學會論文集
170 pp45-54.
109. 益田 光, 高屋數 將也, 堤 重徳, 國包章一, 眞柄泰基, 田中和博. 1995.
硝酸・亞硝酸性窒素 地下水汚染 多變量 解析. 水道協會雜誌. 64(9) : pp29-37.
110. 酒田直克, 山本一夫, 中原秀雄, 丸本卓哉. 1995.
被覆肥料窒素の土壌中での舉動. 日本土壌肥料學雜誌. 66(3) pp253-258
111. 木方展治. 1995. 地下水 等の硝酸性窒素の分析法と利用. 環境と測定技術.
22(3) : pp41-55.
112. 中西康博, 山本洋司, 朴 光來, 加藤 茂, 熊澤喜久雄. 1995. $\delta^{15}\text{N}$
値による利用地下水 硝酸起源推定法の考案と檢證. 日本土壌肥料學雜誌. 66(5)
: pp544-551.
113. 諸盼敏郎. 1995. 土壌汚染の現状と今後の課題. 環境技術. 24(1). pp39-43.
114. 横田 靜夫. 1995. 汚染土壌および地下水の淨化方法 -真空抽出法について-.
配管技術. 4. pp93-96.
115. 花野義雄, 石原 焼, 井田 明. 1996.
傾斜ライシメータお使つたミカンおよび茶園の 土壌流出と窒素分流出の 測定.
日本土壌肥料學雜誌. 67(2). pp194-197.
116. 戸田任重・日高 伸. 1996.
高濃度醋酸態窒素含有地下水の流入する水田下層土における 脱窒活性.
水環境學會誌 19(2). pp170-175.
117. 黒田清一郎, 田判俊雄. 1996.
醋酸態窒素濃度と負荷量の變動. 日本農業土木學會論文集. 181. pp31-38.

118. 和田信一郎, 古村秀磨. 1996. 1:5
水抽出液の分析に基づく土壤溶液醋酸イオン濃度の推定. 日本土壤肥料學雜誌
67(2). pp180-182.
119. 金木荒一, 汚水の間欠的供給と土壤の脱窒特性 -農地土壤による水質淨化に
關する研究(III)-. 日本農業土木學會論文集. 168. pp59-65.