

유역과 담수호를 연계한 담수호 수질관리 시스템 개발 및 적용

Development and Application of Freshwater Lake Water Quality Management System(FLAQUM) through the Linkage of Watershed and Freshwater Lake

김 선 주* · 김 성 준* · 김 필 식**

Kim, Sun Joo · Kim, Seong Joon · Kim, Phil Shik

Abstract

A freshwater lake water quality management system(FLAQUM) was developed to help regional manager for the water quality of a rural basin. The integrated user interface system FLAQUM written in Visual Basic, includes three subsystems such as a database management system, basin pollutant loads simulation model using SWMM model and freshwater lake water quality simulation model using WASP5 model.

Pollutant load simulation model was applied to simulate the discharge and pollutant loading from the watershed, and freshwater lake water quality model was applied to analyze the changes in water quality with respect to watershed pollutant loads, and this model could be used in planning to control watershed pollutant source for water quality management. Database management system was constructed for all input and output data processing, and it can be used to analyze statistical characteristics using constructed data. Results are displayed both graph and text for convenience of user.

The results of FLAQUM application to Boryeong freshwater lake showed that the lake was in eutrophic condition. The major contribution of pollution comes from tributary No.1 and No.4, which have a large number of livestock farms. Therefore, water quality management must be focused on appropriate management of the livestock farming in the two branches.

Keywords : Freshwater lake, Water quality management, Pollutant loads control, User Interface system

* 건국대학교 생명환경과학대학

** 건국대학교 대학원

* Corresponding author. Tel.: +82-2-450-3753

fax: +82-2-444-0223

E-mail address: sunjoo@konkuk.ac.kr

I. 서 론

우리 나라에서는 수자원 개발과 토지이용률의 증대를 위해 1970년대 이후 간척사업을 통해 바다를 막아 육지화하고 담수호를 건설하여 왔다. 이와 같이 조성되는 담수호는 유역의 하류라는 지리적 특성으로 인해 유역에서 발생된 모든 오염물질이 유입되므로 수질이 오염되기 쉬운 조건을 갖고 있으며, 그로 인해 환경오염 현상이 심각한 문제로 대두되어 왔다.

또한 최근 들어 농촌지역에서는 생활양식의 도시화로 인한 용수 수요의 증가, 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 담수호자체의 수질뿐만 아니라 유역내 하천 수질도 고려하여야 한다. 그러므로 농어촌지역을 대상으로 하는 담수호의 효과적인 수질관리를 위해서는 먼저 유역 내의 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. 그러나 담수호의 목표수질 달성을 위해 수질예측을 실시하고 수질관리계획을 수립하는데는 담수호의 관리자가 다루어야 하는 자료가 매우 방대하고, 수질예측을 위한 Simulation 과정은 전문적인 지식과 많은 시간을 필요로 하는 어려움이 현존하고 있다. 따라서 Model에 대한 전문적인 지식인 부족한 관리자에 의해 담수호의 수질관리를 위한 사용자 편의시스템이 필요하다고 사료된다.

본 연구에서는 농촌유역의 특성을 고려하여 SWMM 모형과 WASP5 모형의 연계 운영을 통해 담수호의 종합적인 수질관리가 가능하도록 하므로

대상지구인 홍보 지역의 보령담수호를 목표수질로 유지하기 위한 방안을 예측하였고, 담수호 관리자가 이러한 예측을 통해 수질관리계획 수립에 효율성을 제공할 수 있도록 사용자 편의시스템(FLAQUM)을 개발하였다.

II. 재료 및 방법

1. 담수호 수질관리 프로그램의 기본 이론

유역모형은 SWMM의 이론을 사용하였으며, SWMM은 미국 EPA(Environmental Protection Agency)에서 개발한 것으로, 1971년에 처음 개발되었다. Version 3부터 연속모의가 가능해 졌고, 현재는 Version 4 (1988)가 사용되고 있다. 도시 및 일반적인 비도시 지역에 적용하여 유출수량과 유출수질을 예측하는 모형으로 강우 사상별(event) 연속모의가 가능한 모형이다.

담수호 수질 모형은 WASP5 모형을 이용하였으며, WASP5 모형은 저수지, 하천, 하구, 해양 등에서 수체의 이동과 BOD, DO 등 주요 수질항목, 그리고 부영양화에 관련된 항목과 독성물질의 이동, 상호반응에 대한 모의가 가능하다. 수체에 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, 3차원 분석이 가능한 모형이다.

본 연구의 담수호 수질예측·관리 사용자편의시스템 개발을 위해 Kim et al. (2002)⁷⁾이 적용한 유역모형 SWMM과 담수호 수질 모형 WASP5의 이론을 사용하였다.

2. 담수호 수질관리 사용자편의시스템의 개발

가. 사용자편의시스템 개발 사용언어

담수호 수질관리 사용자편의시스템은 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 사용하였다. 프로그램 언어는 Visual Basic을 사용하였고, 시스템의 모의를 위한 입력과 출력을 최대한 단순화시키고자 하였다.

객체지향기법(Object-Oriented Programming Method)은 내부의 기능을 수정, 보완, 추가할 수 있는 가변성을 포함하고 있으며, 표준인터페이스를 사용하므로 기존의 응용 프로그램의 지원이 가능하다.

나. 담수호 수질관리 사용자편의시스템의 설계

담수호 수질관리 사용자편의시스템은 유역의 유출량과 유입부하량 예측을 위해 SWMM 모형 이론을 이용한 유입부하량 예측 모형, 담수호의 수질예

측을 위한 WASP5 모형 이론을 이용한 수질예측 모형과 유역의 지형 및 기상자료와 모형의 입력자료와 출력자료를 관리하는 DBMS(DataBase Management System)로 구성되어 있다. 담수호 수질관리 시스템의 유입부하량 예측모형은 유역의 유출량과 오염부하량 산정을 통해 담수호 수질예측 모형의 입력값을 DBMS에 구축하고, 수질관리를 위해 토지이용비율의 변경이 가능하도록 구성되어 있다(Fig. 1). 수질예측 모형은 유역 오염부하량을 토대로 담수호의 BOD, DO, T-P, T-N에 해당하는 오염농도를 산정한다. DBMS는 대상지역의 자료를 구축하고 있으며, 유입부하량 결과와 담수호 수질예측 결과가 모두 구축될 수 있도록 하여 기존 예측 자료들의 비교가 용이하도록 하였다. 담수호의 수질관리를 위해 오염원의 제어에 따른 시나리오의 적용이 가능하도록 하므로 보령담수호의 장기

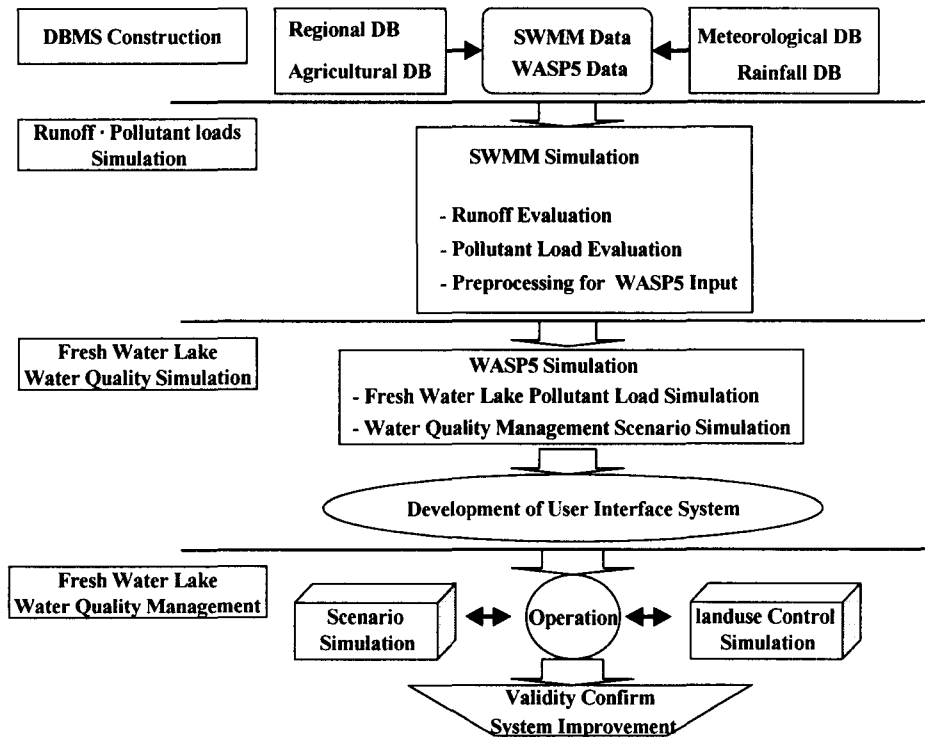


Fig. 1 Flow chart of freshwater lake water quality management system

적인 수질관리대책을 수립할 수 있도록 하였다.

다. 담수호 수질관리 사용자편의시스템의 구성

Fig. 2 는 담수호 수질관리 사용자편의시스템 (FLAQUM; Freshwater Lake Water Quality Management System)의 초기화면을 나타내며 메뉴에는 파일, 유역자료, 유입부하량, 수질예측, 도움말로 구성되어 있다.

그리고 Fig. 3 은 유역자료로 홍보지구의 유역면적과 담수호면적 등 일반 현황을 볼 수 있고, 위성 사진과 전체경관을 제공하며, 유입부하량과 수질예측을 위한 유역 및 담수호의 전체 구성도를 확인할 수 있다.

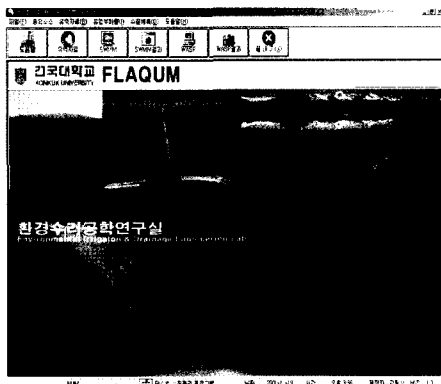


Fig. 2 Start screen and menu of FLAQUM

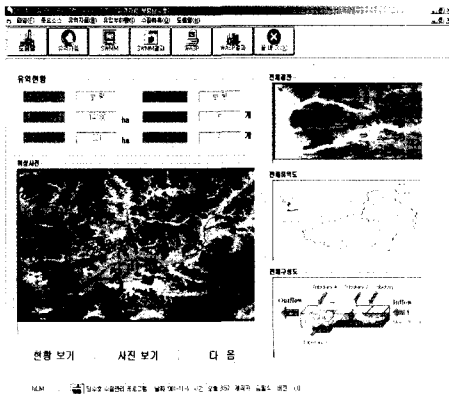


Fig. 3 Screen of Basin data

① 유입 부하량 예측 모형

Fig. 4 는 유입 부하량 예측 모형으로 대상유역의 Simulation을 통해 검증을 실시한 매개변수 및 필요한 Input Data가 DataBase로 구축되어 있고, 사용자가 원하는 Data의 입력도 가능하도록 하였다. 수질관리를 위해 유역 오염원 제어를 통한 담수호내 오염부하량을 예측할 수 있도록 각 소유역별 토지이용비율의 조작이 가능하도록 하였다.

Fig. 5 는 유입부하량의 결과 화면으로 각 지류별 오염부하량을 Text, Graph, Total로 결과를 확인할 수 있고, DataBase에 구축되어 분석자료로 사용이 가능하며 수질예측의 연계 운영을 위한 입력 값으로 사용된다.

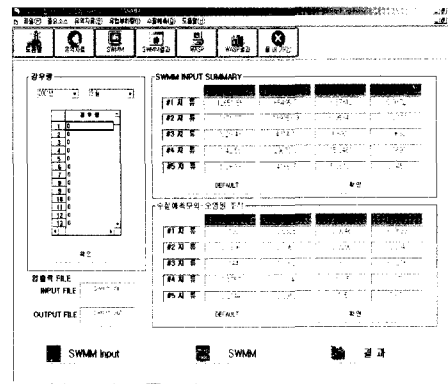


Fig. 4 Input of pollutant loads

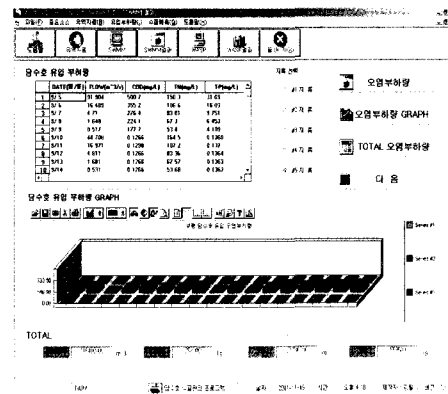


Fig. 5 Results of pollutant loads

② 수질예측 모형

Fig. 6 은 수질예측 모형 화면으로 먼저 Data-Base로 구축되어 있는 지류별 면적과 유입부하량 Simulation 결과인 유입량(FLOW), 오염부하량(COD, TN, TP)의 월 총량을 나타낸다. J-DAY 와 Time Step 입력 부분은 월을 기준으로 10회의 Time Interval을 갖도록 하였고, 규칙성 없이 입력 하여도 가능하나, 유입량에 따라 Time Step과의 조절이 필요하다.

Fig. 7 은 수질예측 결과는 화면으로 담수호의 각 Segment별 DO, BOD, T-N, T-P 항목을 확인할 수 있다.

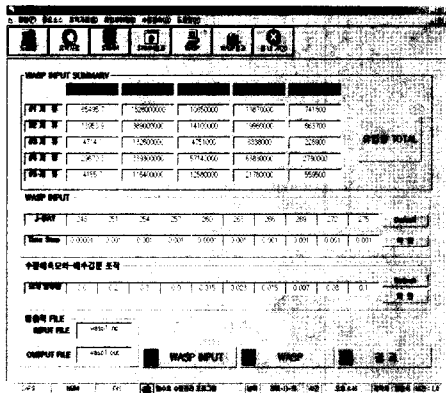


Fig. 6 Input of water quality simulation

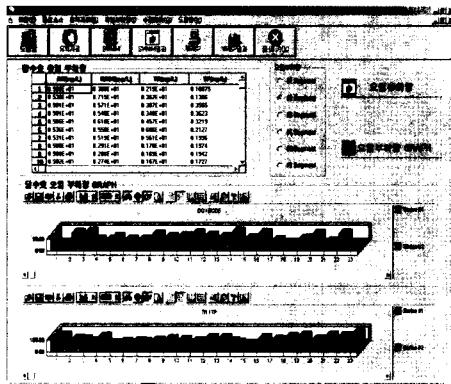


Fig. 7 Results of water quality simulation

3. 조사 대상유역 자료

가. 보령 담수호 유역

모형의 적용 대상 유역인 보령 담수호 유역은 우리 나라 중서부 북위 36° 21' ~ 36° 24' 동경 126° 28' ~ 126° 42' 사이에 위치하고 있다. 행정 구역상 충남 홍성군, 보령시에 걸쳐 위치하고 있으며 유역면적은 128.38 km²이며, 주 하천의 유로 연장은 약 25.3 km에 달한다. 기후는 Monsoon 기후의 영향을 받아 여름에는 고온다습하며 겨울에는 한랭건조한 특성을 나타내고 있다. 유역 평균인구는 30,473명 ('96~'98)이고, 축산 사육두수는 한우 10,978 마리, 젖소 3,058 마리, 돼지 102,182 마리, 닭 635,627 마리이다.³⁾ 홍보지역은 홍성과 보령에 각각 방조제를 건설하여 1999년에 완공하였으나, 아직 담수화가 이루어지고 있지 않는 상태이며 보령담수호의 제원은 Table 1과 같다.

Simulation을 위한 보령호내 구획분할은 총 6개의 표수층과 1개의 저면표층으로 구분하였고, 보령호의 유역은 Fig. 8 에서 보는 바와 같이 9개의 소유역으로 구성되어 있으며, 지류는 총 4개로 각각의 Segment에 유입되는 것으로 하였다. 이 중 소유역 5와 6에서 유입되는 흐름을 branch 1(본류)으로 하고, 2번 지류는 소유역 3, 4, 7에서, 3번 지류는 소유역 1, 9에서, 4번 지류는 소유역 8에서 유입되는 것으로 하였다. 각 지류에서 유입하는 유량·부하량 자료는 유입부하량 예측 결과 값을 이용하였다.

Table 1 Characteristics of the freshwater lake

Items	Unit	Specification	Remarks
Watershed area	ha	14,180	Full water level
Irrigation area	ha	5,145	
Reservoir capacity	ha-m	2,410	
Storage requirement	ha-m	1,963	
Normal management	ha	821	

* Rural Development Corporation, 1998, Integrated Agricultural Development Project in Hong-bo Area.

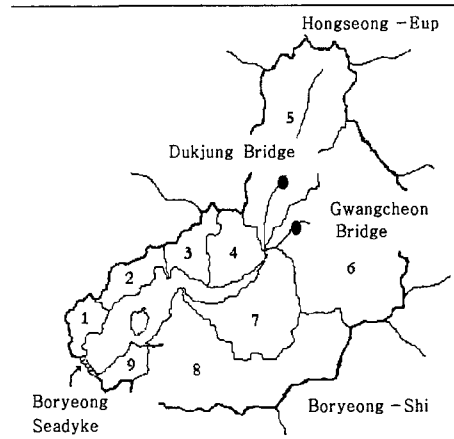
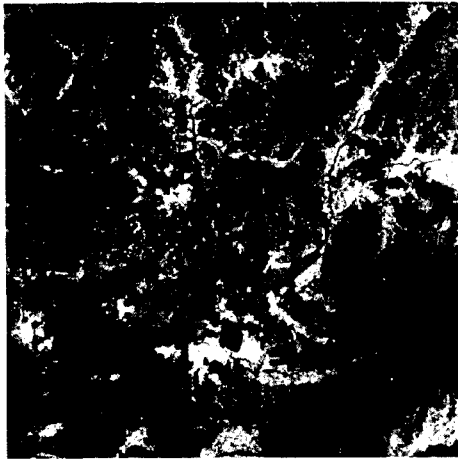


Fig. 8 Aerial view and subwatersheds of Boryeong freshwater lake

나. 유역 면적 및 토지이용 자료

유역면적은 홍보지구의 Digitizing을 통해 Vector file을 생성하여 산정 하였다. 토지 피복도는 원격탐사자료를 ER-Mapper S/W를 이용하여 감독분류 최대우도법으로 작성하였다. 토지이용의 경우 위성영상자료를 이용해서 만든 토지 피복도와 1998년 홍보지구 통계연보⁴⁾ 자료를 참고하였다. 모형에 필요한 자료를 만들기 위해서 토양 배수별 분포도와 토지피복도의 속성 자료로부터 수리학적 으로 유효한 불투수층을 추출하여 전체 면적에 대한 비율을 산정 하였다. 토지이용별 면적을 산정하기 위해서 토지 피복도를 이용하였고, 토지이용 분류는 경작지, 축산농가, 주거지와 이를 제외한 산림을 포함한 기타지역으로 나누었다. 축산 농가의 비율은 1998년 통계연보를 이용하여 각 유역별 가축

두수를 조사, 이를 가축 두수 당 면적으로 환산하여 축산 농가의 면적을 산정 하였다(Table 2).

다. 수질관리를 위한 시나리오 작성

시나리오는 담수호 현재와 같이 수질정화시설이 설치되지 않는 경우로 인구가 축산농가가 증가한다는 가정(시나리오 II), 홍보지구의 오염원이 현재 상태를 유지한다는 가정(시나리오 I), 수질정화시설이 설치된다는 가정에 인구가 축산농가가 감소하는 경우(시나리오 III)로 수질예측을 실시하였다 (Table 3). 각 경우에 대해 유역 오염원 제어 예측 결과(Table 5) 담수호 수질에 가장 큰 영향을 미친 축산농가와 주거지로 수질예측을 실시하였다. 시나리오 II, III의 경우 현재 상태에서 토지이용현황중 주거지와 축산농가를 20%, 40%, 60%로 증

Table 2 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

* Ryu, jae hyun. 1993, livestock business administration, pp. 136~148

Table 3 Design of scenario for water quality management (Unit : ha)

Land use	Scenario II			Scenario I	Scenario III		
	+60%	+40%	+20%	0%	-20%	-40%	-60%
Residential land	336.51	294.45	252.38	210.32	168.26	126.19	84.10
Livestock land	392.88	343.77	294.66	245.55	196.44	147.33	98.22

감시하면서 수질예측을 실시하였다. 토지이용면적의 증감에 따른 토지면적의 변화는 민감도 분석 결과 수질에 가장 적게 영향을 미치는 기타(산림)면적을 사용하였다.

강우에 의한 변화추이를 확인하기 위해 1999년 중 강우가 집중된 6월 7월 강우를 사용하였다. 강우는 15일째 70 mm, 22일째 186 mm, 56일째에 20 mm로 총 276 mm가 발생하였다.

4. 유량 및 수질자료

가. 유량자료

유역의 기상자료는 충남 보령관측소의 일별 기상 자료를 이용하였다. 수위관측을 위하여 5번 유역 소룡교와 6번 유역 신진교에 설치된 자기수위계를 설치하여 실측하였다. 월에 1회 이상 자료 회수를 실시하였고, 수위계는 압력식 수위계(WL-14 Data Logger, Global Water)로 교량에 설치하였고, Staff 수위표는 자기수위계 옆에 부착하여 자기수위계의 기록치와 비교하였다.

유량측정은 평수시와 홍수시 측정으로 구분하여 측정하였고, 평수시에는 유속계(BMF002, Valeport)를 이용하여 측정하였으며, 유속측점은 수심에 따라 1점법, 2점법 등으로 구분하여 측정하였다. 홍수시에는 유속이 빠르고 측정시 안전을 위하여 부자에 의한 방법을 채택하여 표면유속을 측정하고, 그 단면의 평균유속으로 환산하여 이용하였다.

나. 수질자료

유역의 수질자료는 주 유입하천 신진교, 소룡교, 논향교 지점에서 유역 내 부하량의 년 변화를 알아보기 위해 정기적으로 측정된 자료와 모형의 보정을 위하여 2000년 8월 24일에 측정된 시간별 자료를 사용하였다. 담수호의 수질자료는 보령 담수호 내용적과 각 지류의 유입을 고려하여 5개의 관측지점을 선정하였으며, 지점의 수심별 상·중·하를 구분하여 채수기를 사용 샘플링 및 수질분석을

실시하였다. 수질 항목은 수온, pH, DO, BOD, COD, SS, React-P, T-N, T-P, Chl-a 등 총 14개 항목으로 채택하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 담수호 수질관리 사용자편의시스템(FLAQUM)의 적용성 검토

FLAQUM의 적용성 검토를 위해 유입 부하량 예측모형의 민감도 분석 결과를 사용하여 실측자료와 모의자료의 보정 및 검증은 실시하였고, 수질예측 모형의 경우 현재 보령담수호는 담수와 해수의 혼합이 이루어지고 있는 관계로 실측 자료를 통한 보정은 실시하지 못하였으나 검증된 유입 부하량의 자료를 사용하여 담수호 수질 예측의 정확성을 높이고자 하였다.

민감도 분석은 5번 유역에 있는 덕정교를 중심 실시하였으며, 수로조도계수: 0.061, 불투수조도계수: 0.02, 투수조도계수: 0.02, 저류깊이: 4 를 중심으로 10%씩 가감하여 가장 민감한 인자를 결정하였다. 분석결과는 저류깊이가 가장 민감한 것으로 나타났으며, 수로조도계수, 투수조도계수, 불투수조도계수 순으로 나타났다.⁷⁾

가. 유출량 보정 및 검증

강우시 유출량 보정은 1990년 9월 강우시의 덕정교 유출량³⁾을 이용하였으며, 검증은 동일 광천교 유출량으로 검증하였다. 보정결과와 검증결과를 실측과 비교하여 각 상대오차 1.5%와 2.1%를 나타내었으므로 유출량은 보정과 검증에 의해 비교적 정확한 예측이 가능하였다(Fig. 9).^{7),8)}

나. 오염부하량 보정

오염부하량 보정에는 검증자료로 사용되었던 2000년 8월 강우시 측정된 수질자료를 이용하였다. 오염 물질 부하량은 경작지, 주거지, 축산 농가,

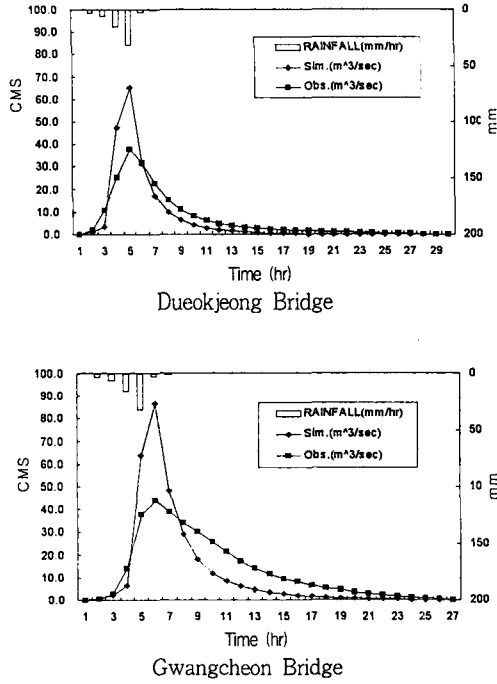


Fig. 9 Calibration(at Dueokjeong bridge) and verification(at Gwangcheon bridge) of runoff

기타(산림)로 나누어 단위면적당 BOD, T-N, T-P 오염물질의 유실계수와 지수들을 변화시켜 보정을 실시하였다. 보정 결과 실측자료와 T-N의 경우 상대오차 0.17%, T-P의 경우 0.37%을 나타내었으므로 보령담수호에 FLAQUM의 적용이 가능하다고 판단된다(Fig. 10).

2. 유역 오염원 제어에 따른 FLAQUM 적용

담수호에 영향을 미치는 하천수의 수질은 해당 유역으로부터 유입되는 유출수의 수질특성에 의해 결정된다. 생활하수나 산업폐수는 처리 여부에 관계없이 대체로 일정한 수질을 가지나 강우로 인한 지표 유출수의 경우 유역의 토지이용에 따라서 크게 영향을 받는다.¹⁾ Park et al. (1997)²⁾은 경기도 안산의 반월저수지 상류유역을 대상으로 수행한 수질 조사결과에서 수질항목에 대한 소유역별 차이를 산술

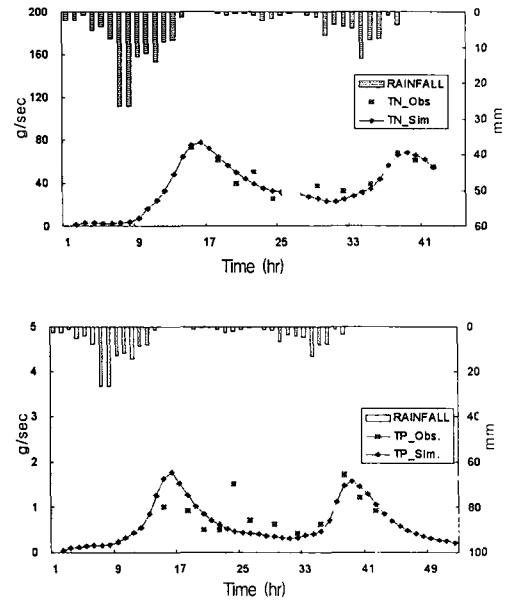


Fig. 10 Calibration of T-N and T-P at the Boryeong lake

적으로 나타내고 그 원인을 유역내 조사된 오염원의 특성과 관련지었다.

본 연구에서는 유역 오염원의 관리를 위해 토지이용별 면적을 사용하여 정량적인 비교를 실시하기 위해 홍보지역의 각 소유역별 토지이용비율을 변화시키면서 담수호 수질에 가장 큰 영향을 미치는 토지이용현황과 유입 하천을 분석하였다.

1999년 9월 총 292.5 mm의 시간당 강우를 사용하여 유출량을 산정 하였고, Table 4 는 9월 10일 117.5 mm의 강우에 대한 결과로 1번과 4번

Table 4 T-N and T-P concentration and runoff in each tributary

Tributary	Area (ha)	Runoff (m³/s)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
1	6,424.33	46.047	15.15	1.09
2	1,368.61	8.918	5.76	0.36
3	458.42	1.473	2.37	0.11
4	2,910.54	10.521	9.31	0.78
5	402.52	2.201	1.07	0.09

Table 5 Change of freshwater lake T-N and T-P concentrations by the reduction rate of land use

Reduction rate(%)	Reduction of T-N and T-P at the pollution sources (mg/L)(%)				Reduction of T-N and T-P in the lake (mg/L)(%)		
	Tributary	Identity	T-N	T-P	Identity	T-N	T-P
20	4	cultivated land	0.002 (0.12)	0.001 (1.30)	cultivated land	0.000 (0.00)	0.000 (0.00)
		residential land	0.037 (2.90)	0.005 (4.59)			
		livestock land	0.401 (31.3)	0.033 (30.04)	residential land	0.183 (3.62)	0.018 (2.71)
	1	cultivated land	0.026 (0.03)	0.001 (0.16)	livestock land	0.954 (19.07)	0.064 (16.99)
		residential land	0.420 (5.25)	0.015 (0.34)			
		livestock land	2.100 (23.82)	0.175 (25.06)			
40	4	cultivated land	0.003 (0.24)	0.005 (4.26)	cultivated land	0.028 (0.56)	0.001 (0.31)
		residential land	0.067 (5.25)	0.015 (13.83)			
		livestock land	0.665 (52.01)	0.059 (50.00)	residential land	0.242 (4.84)	0.013 (3.5)
	1	cultivated land	0.005 (0.06)	0.002 (0.34)	livestock land	2.468 (49.36)	0.101 (29.16)
		residential land	0.183 (2.27)	0.028 (1.06)			
		livestock land	3.684 (46.03)	0.332 (47.31)			

지류가 유량 및 오염 부하량에서 가장 많은 양을 배출하였다. 1번 지류는 보령 담수호의 본류로 T-N 15.15 mg/L, T-P 1.09 mg/L로 나타났고, 8번 소유역에 해당하는 4번 지류는 T-N 9.31 mg/L, T-P 1.09 mg/L를 나타냈다.

Table 5 에서와 같이 20%, 40%의 비율로 토지 이용비율을 감소하였을 때 축산농가가 유역 오염원 및 담수호 수질에 가장 민감한 영향을 미치고 주거지, 경작지순으로 영향을 미치는 것으로 나타났다. 토지이용비율의 감소에 따른 감소량은 민감도 분석 결과 수질에 미치는 영향이 가장 적은 기타(산림) 토지이용비율을 증가하며 실시하였다. 1번 지류의 경우 20%의 축산농가비율을 감소하였을 경우에는 T-N, T-P 각 23.82%, 25.06% 감소율을 보였

고, 40% 감소에 46.03%, 47.31%의 감소율을 나타냈다. 담수호 오염 농도도 각 지류 축산농가의 20%, 40% 감소에 T-N, T-P 각각 19.07%, 16.99%와 49.36%, 29.16%의 감소율을 보이고 있다. 주거지와 경작지의 경우는 20%, 40% 감소에 담수호 수질 5% 미만의 적은 감소율을 보이고 있다.

이상의 결과 FLAQUM을 통해 각 유역의 오염원 으로부터 담수호내의 수질까지 연계하여 예측이 가능하다. 토지이용비율의 변경이 현실적으로 어려워도 담수호에 영향을 미치는 유역으로부터 발생 오염원과 발생 지류를 예측할 수 있다면 수질개선방법의 선택, 정화능력 산정 및 수질개선시설의 적절한 위치 등 결정에 도움이 되리라 판단된다.

3. 담수호 수질관리를 위한 시나리오 적용

효과적인 농촌유역의 수질관리를 위해서는 먼저 유역내의 토지이용, 인구와 산업의 입지, 오염물 처리 등 오염원의 현황 및 분포에 대한 세밀한 파악이 필요하고, 이를 바탕으로 유역의 현재 및 장래의 수질을 예측할 수 있고, 여러 가지 수질관리 방법 중 최적의 방법을 선택할 수 있어야 한다.⁵⁾

본 연구의 FLAQUM은 담수호의 수질예측과 관리가 가능하도록 개발한 사용자 편의시스템으로 토지이용비율을 사용하여 유입하천과 담수호의 수질 예측이 가능하도록 하였다. 홍보지구의 유입하천 수질은 예년에 비하여 다소 악화된 분포를 보이며 이는 축산농가의 축산폐수 무단방류와 생활하수에 의한 영향이 매우 큰 것으로 나타났다. 현재 담수호 수질관리를 위한 하수종말처리장, 축산폐수처리장 등 수질정화시설이 미흡한 실정이다.⁶⁾ 따라서 수질관리를 위해 Table 3 과 같이 세가지 경우의 시나리오를 작성하여 수질 예측을 실시하였다.

간척지 담수호의 수질관리시스템 개발⁹⁾의 1999년도 실측 수질자료에 의하면 BOD 5.77 mg/L, T-P 0.19 mg/L, T-N 3.72 mg/L 로 Table 5 의 시나리오 I 결과와 각 0.08%, 0.11%, 0.21%의 상대오차를 나타내었다.

Fig. 11, 12, 13 에서와 같이 보령담수호는 강우량에 따라 대부분의 수질항목이 거의 흡사한 경향을 보이며 변화하고 있다. 따라서 강우시의 비점원에 의한 오염부하량이 평시에 비하여 매우 크다는 것을 알 수 있어 강우시 비점원오염 부하량의 저감대책에 대하여 많은 검토가 이루어져야 함을 알 수 있다.

BOD의 경우 Table 6 에서 시나리오 I 의 경우 지류에서는 9.43 mg/L로 농업용 하천수질기준⁹⁾인 8 mg/L를 상회 하였으나, 담수호에서는 시나리오 II에 의한 오염원의 40% 증가에도 수질기준을 만족시키고 있어 BOD로 인한 수질문제는 크게 없는 것으로 나타났다. 시나리오 III에서 60%의 오염원 제어에 대해 지류에서는 7.07 mg/L, 담수호내에

서는 3.21 mg/L가 감소하였다.

T-N 경우 시나리오 I에 의해 4.53 mg/L로 호소의 농업용 수질기준 1 mg/L를 크게 상회하고 있고, 시나리오III에 의해 오염원의 60%감소에 지류는 1.39 mg/L, 담수호는 0.95 mg/L로 수질기준에 만족하고 있으므로 오염원 관리가 필요하다고 판단된다.

T-P의 경우 Fig. 13 에서와 같이 시나리오에 따라 저감과 증감 효과가 가장 적게 나타났다. Table 6 에서 시나리오 I의 경우 지류에서 1.67 mg/L, 담수호에서 0.21 mg/L로 농업용수 호소수질기준 0.1 mg/L의 2배 이상 값을 보이고 있으며, 시나리오III에 의한 오염원 60% 감소에 지류는 0.51 mg/L, 담수호는 0.11 mg/L로 수질기준에 0.01 mg/L를 초과하는 것으로 나타났다.

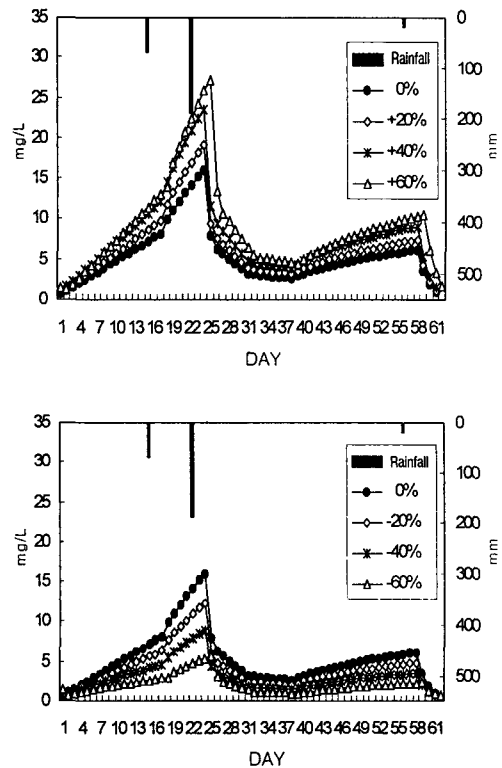


Fig. 11 Change of BOD concentration simulated by scenario I, II, III

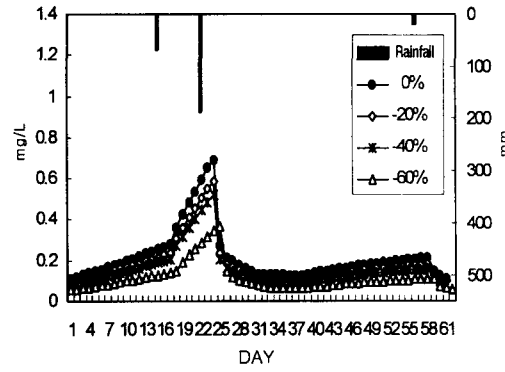
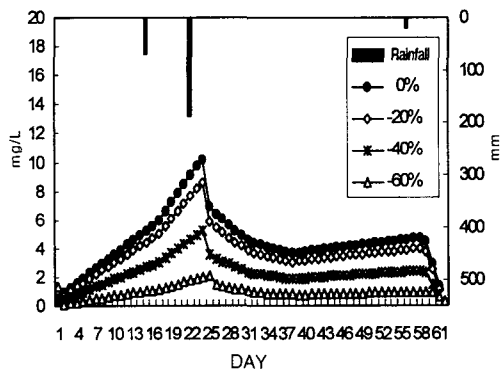
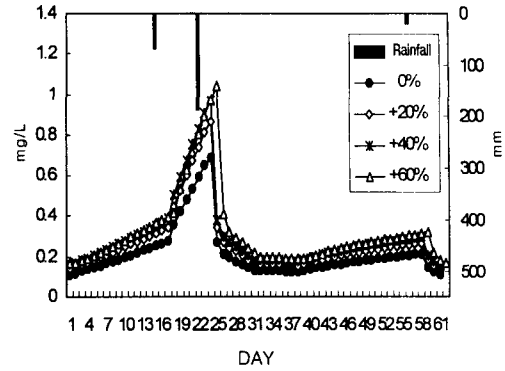
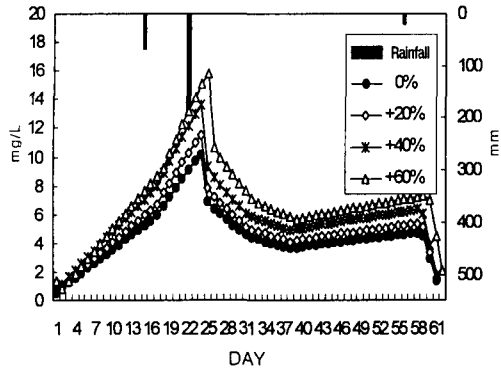


Fig. 12 Change of T-N concentration simulated by scenario I, II, III

Fig. 13 Change of T-P concentration simulated by scenario I, II, III

Table 6 BOD, T-N and T-P concentration simulated by scenario I, II, III

Contral rate (%)	Branch	BOD(mg/L)			T-N(mg/L)			T-P(mg/L)					
		ave.	Lake		ave.	Lake		ave.	Lake				
			Max	Min		Ave.	Max		Min	Ave.			
II	+60	11.36	27.12	1.21	9.03	7.04	15.80	0.84	7.01	2.75	1.04	0.17	0.32
	+40	9.97	23.47	1.05	7.82	6.01	13.66	0.72	6.06	2.42	0.97	0.16	0.30
	+20	8.03	19.03	0.85	6.34	5.06	11.52	0.62	5.11	2.17	0.87	0.14	0.27
I	0	9.43	15.86	0.71	5.28	5.02	10.19	0.54	4.53	1.67	0.69	0.11	0.21
III	-20	4.94	12.24	0.72	4.14	3.08	8.58	0.46	3.81	1.25	0.59	0.10	0.18
	-40	3.50	8.84	0.73	3.07	2.17	5.20	0.28	2.31	0.88	0.52	0.08	0.16
	-60	2.36	5.64	0.67	2.07	1.39	2.13	0.11	0.95	0.51	0.37	0.06	0.11

4. 담수호 수질관리방안

수질관리를 위한 수질예측 결과 시나리오 III을 제외한 시나리오 I, II의 T-N, T-P가 수질기준 IV등급(농업용수)을 만족하지 못하고, 호수의 영양단계 평가 지표¹⁰⁾에 의해 시나리오 I의 T-N, T-P는 각 중영양화, 부영양화를 나타내고, 시나리오 II는 모두 부영양화를 나타내고 시나리오 III만이 빈영양화 단계이므로, 자연수질정화 기법 이외의 관리방안이 필요하다. 또한 기존 간척사업의 경우를 살펴보면 기설 담수호인 아산호나 영산호 등의 경우 이미 부영양화가 상당히 진행되었으며, 건설한 지 오래되지 않은 해남호의 경우도 부영양화가 상당히 진행된 것으로 조사되고 있고,¹¹⁾ 마동과 삼산지구의 간척지 개발사업의 담수호 수질 예측을 통한 영양단계 평가에서도 중영양화~부영양화 단계로 평가되었으며,¹²⁾ 본 연구의 대상지역인 보령담수호의 경우도 현재 부영양화 단계에 있어 담수호의 부영양화가 중요한 관리대상이 될 것으로 판단된다.

앞으로 조성되는 담수호의 수질개선과 부영양화 현상의 방지를 막기 위한 연구가 추후 진행되어야 할 것이다. 본 연구에서는 인과 질소로 인한 보령담수호의 수질악화 및 부영양화 현상이 발생할 것으로 예상되므로 인과 질소에 대한 관리 방안이 필요하다.

보령담수호의 수질은 인구 및 축산농가가 밀집되어 있는 1번 지류에 해당하는 5번, 6번 유역의 신진리와 광천읍 지역에 의해 크게 좌우된다고 볼 수 있다. 따라서 5번 6번 유역의 하류지점의 하수종말처리장 설치가 시급할 것으로 판단된다. 4번 지류에 해당하는 8번 유역 오염의 주원인은 축산폐수로서 시나리오 III과 같이 60% 정도를 처리한다는 것은 처리에 많은 제반여건 등을 고려할 때 어려운 실정이며, 또한 토지이용현황을 볼 때 점오염원의 한정적인 처리로는 담수호의 수질을 크게 향상시킬 수도 없다. 따라서 축산폐수 공동시설의 설치도 시급하지만, 기존 축산단지의 개량 및 가축분뇨의 퇴

비화로 담수호로 유입되는 총오염물질 부하량을 원천적으로 제거하여 하천의 수질을 개선시키고 부산물로서 유용한 유기질비료를 생산하며, 규제미만의 소규모 축산농가에 정화조 및 오수정화시설의 설치를 유도하여 것이 바람직할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

보령담수호의 수질예측과 수질관리를 위해 SWMM 모형과 WASP5 모형을 이용하여 담수호 수질관리 사용자편의시스템(FLAQUM)을 개발하였다. 보령방조제의 체절은 이루어졌으나 광천하수처리장이 완공될 때까지 해수와 담수의 혼합을 통해서 더 이상의 부영양화를 방지하고 있는 관계로 담수호의 수질을 정확히 보정 및 검증을 실시하지 못해 불확실성을 내포하고 있다. 그러나 사용자가 효율적으로 유역과 담수호를 연계하여 수질을 예측할 수 있도록 사용자 편의시스템을 개발하고, 유역 오염원의 제어를 통해 수질예측을 실시하였다는데 의의가 있다. 본 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

담수호수질관리 사용자편의시스템 (FLAQUM ; Freshwater Lake Water Quality Management System)은 농촌유역의 유출량 및 오염 부하량의 예측을 위해 SWMM 모형 이론을 사용하였고, 담수호의 수질예측을 위해 WASP5 모형 이론을 사용하여 담수호수질관리를 위해 개발하였다. 유역 유출량의 보정 및 검증에 상대오차가 1.5%, 2.1%을 나타냈고, 유입 부하량의 경우 T-N, T-P 각 0.17%, 0.37%을 나타냈다. Windows 환경으로 개발하여 편리한 인터페이스를 제공하며, 입력인자를 최소화하고, 결과의 분석 및 관리가 Graph 와 DBMS(Database Management System)의 지원이 가능하도록 하였으므로 전문지식이 부족한 사용자에게 효율성을 제공할 수 있다고 판단된다.

수질관리를 위해 홍보지역의 각 소유역별 토지이용비용을 변화시키면서 담수호 수질에 가장 큰 영

향을 미치는 토지이용현황과 유입 하천의 분석 결과 5번과 6번 소유역의 1번 지류와 8번 소유역의 4번 지류가 가장 민감하게 반응하였다. 1번 지류는 T-N 15.15 mg/L, T-P 1.09 mg/L를 차지했고, 4번 지류는 각각 9.31 mg/L, 0.78 mg/L를 나타냈다. 토지이용비율의 경우 축산농가가 유역 오염원 및 담수호 수질에 가장 민감한 영향을 미치고 주거지, 경작지 순으로 영향을 미쳤다. 담수호 오염 부하량에서 각 지류 축산농가의 20%, 40% 감소에 T-N, T-P 각각 19.07%, 16.99%와 49.36%, 29.16%의 감소율을 보였다. 보령담수호의 수질개선을 위해 1번 지류와 4번 지류를 중심으로 수질정화대책을 마련하여야 하며 주 오염원인 축산농가에 대한 대책 마련이 필요하다고 판단된다.

시나리오별 예측 결과 강우시 비점원에 의한 오염부하량이 매우 크게 나타났고, 시나리오 I 결과 현재 보령담수호는 BOD 9.43 mg/L, T-N 4.53 mg/L, T-P 0.21 mg/L로 하천 및 호수의 농업용수 수질기준을 모두 상회하였고, 시나리오 III을 제외한 시나리오 I 과 II의 경우 T-N, T-P 모두 중영양화~부영양화로 나타났다. 시나리오 III의 결과 오염원 60% 제어시 BOD 3.21 mg/L, T-N 0.95 mg/L, T-P 0.11 mg/L로 농업용 수질기준에 만족하는 결과를 나타냈다. 오염원의 60% 제어가 현실적으로 어려울 수 있으나 축산농가의 지속적인 관리를 통해 T-N, T-P로 인한 부영양화에 대한 관리방안을 중점적으로 고려해야 할 것으로 판단된다.

본 논문은 1998 농림부 농림기술개발사업 “간척지 담수호의 수질관리시스템 개발” 연구 결과의 일부임

References

1. Hong, Seong Gu, Soon Kuk Kwun, 2001, Relationship between rural watershed characteristics and stream water quality, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*. 43(3): 56-65. (in Korean)
2. Park, Seung Woo, Sun Ho Yoo, Moon Seong Kang, 1997, Nonpoint Source Pollution Loadings from Land Uses on Small Watersheds, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*. 39(3): 115-127. (in Korean)
3. Rural Development Corporation, 1998, Integrated Agricultural Development Project in Hong-bo Area.
4. Korea National Statistical Office, 1998-2000, Statistical Year Book of Chung Nam Hong Boryeong.
5. Kwun, Soon Kuk, 2000, Development of Integrated Water Quality Management Model for Rural Basins using Decision Support System, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*. 42(5): 103-113. (in Korean)
6. Rural Development Corporation, 1998, Investigation Report of Environmental Impact for the Integrated Agricultural Development Project in Hong-bo Area, pp. 81-100
7. Kim, Sun Joo, Seong Joon Kim, Suk Ho Lee, Jun Woo Lee, 2000, Behavior of water quality in freshwater lake of tide reclaimed area using SWMM and WASP5 models, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*. 44(2): 148-160. (in Korean)
8. Ministry of Agriculture and Forestry, 2001, Development of water quality management system for freshwater lake in reclaimed land, pp. 261-268.
9. Ministry of Agriculture and Forestry, 1997, A Guide for the Water Quality Management of Agricultural Water, pp. 113-124.
10. Korea Water Resources Corporation, 1998, Investigation Report of Impact for the Integrated Reclaimed Saline Land Development Project in Shi-Hwa Area.
11. Green Korea United, 1999. 5, ECOs
12. Rural Development Corporation, 1997. 11, Rural Water Development Project of Ma-dong Area.