

SWMM과 WASP5 모형을 이용한 간척지 담수호의 수질거동 특성 조사

Behavior of Water Quality in Freshwater Lake of Tide Reclaimed Area Using SWMM and WASP5 Models

김 선 주* · 김 성 준* · 이 석 호** · 이 준 우**

Kim, Sun Joo · Kim, Seong Joon · Lee, Suk Ho · Lee, Jun Woo

Abstract

Lake water quality assessment information is useful to anyone involved in lake management, from lakeshore owners to lake associations. It provides lake water quality, which can improve how to manage lake resources and how to measure current conditions. It also provides a knowledge base that can be used to protect and restore lakes.

SWMM was applied to simulate the discharge and pollutant loads from Boryeong watershed, and WASP5 was applied to analyze the changes of water quality in Boryeong freshwater lake. In each model, the most suitable parameters were calculated through sensitive analysis and some parameters used default data. Simulated in SWMM and measured discharge showed the accuracy of 88.6%. T-N and T-P exceeds the criteria in the simulation of water quality in Boryeong freshwater lake, and control of pollutant loads in the main stream showed the most effective way. Integrated water quality management system was developed to give convenience in the operation of SWMM and WASP5 and data acquisition.

Keywords : Freshwater lake, Pollutant load control, SWMM, WASP5, Water quality model

I. 서 론

우리 나라 에서 진행되고 있는 간척사업은 바다를 막아 육지화하고 필요한 수자원을 얻기 위하여

담수호를 건설하는 방식으로 진행되고 있다. 이와 같이 조성되는 담수호는 지리적 특성으로 인해 유역에서 발생된 모든 오염물질이 유입되므로 수질이 오염되기 쉬운 조건을 갖고 있으며, 그로 인해 환경파괴 현상이 심각하다. 또한 최근에는 오염 부하량의 증가로 인한 수질 오염 및 부영양화 현상이 더욱 큰 문제로 대두되고 있다

본 연구대상지구인 보령담수호 유역에서는 축산 폐수 유입과 광천읍 등의 도시지역에서의 생활계

* 건국대학교 생명환경과학대학

** 건국대학교 대학원

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

fax: +82-2-444-0223

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

부하로 인해 담수호내 부영양화가 진행되고 있으며, 농업용수로서의 사용에도 문제가 있을 것으로 우려되고 있다. 담수호의 수질을 관리하기 위해서는 오염원 관리방안의 수립과 목표수질 달성을 위한 처리시설 마련 등 체계적인 수질향상대책의 영향을 파악하는 것이 필요하며, 이를 위해서는 대상 수역의 수질을 효과적으로 재현하고 장래수질을 예측할 수 있는 수질예측모형이 필요하다. SWMM 모형은 단일 강우 사상 및 연속모의가 가능하고 유량, 수위, 오염물 농도 등이 해석가능하다. 또한 WASP5 모형은 지금까지 개발되어온 수질예측모형들을 종합, 보완한 것으로써 시간에 따른 입력치의 변화를 고려할 수 있어서, 연중변화는 물론 짧은 시간간격 사이의 수질성분변화를 분석하는 데에도 유용한 모델이다.

따라서 본 연구에서는 여러 호소수질모형 중 유역모형은 SWMM으로 담수호모형은 WASP5를 이용하여 유역과 담수호를 보령담수호에 적용하였으며, 담수호로 유입되는 각각 지류에서의 오염부하 제어로 인한 담수호의 수질거동 특성을 살펴보았다.

II. 재료 및 방법

1. 모형의 기본이론

가. 유역모형(SWMM)

SWMM 모형은 미국 EPA(Environmental Protection Agency)에서 개발한 것으로, 1971년에 처음 개발되었으며, Version 3부터 연속모의가 가능해 졌고, 현재는 Version 4 (1988)가 사용되고 있다. 도시 및 일반적인 비도시 지역에 적용하여 유출수량 및 유출수질을 예측하는 모형으로 강우 사상별(Event) 및 연속모의가 가능한 모형이다. Fig. 1은 SWMM 모형의 구조와 각 Block간의 상호작용을 보여주고 있다. 본 연구에서는 유출수의 수량과 오염 부하량을 구하기 위해 Runoff block만을 사용하였다. 본 연구에서 사용된 Runoff Block에서 수리적 계산식은 Table 1과 같다.

나. 호소수질모형(WASP5)

WASP5 모형은 저수지, 하천, 하구, 해양 등에서

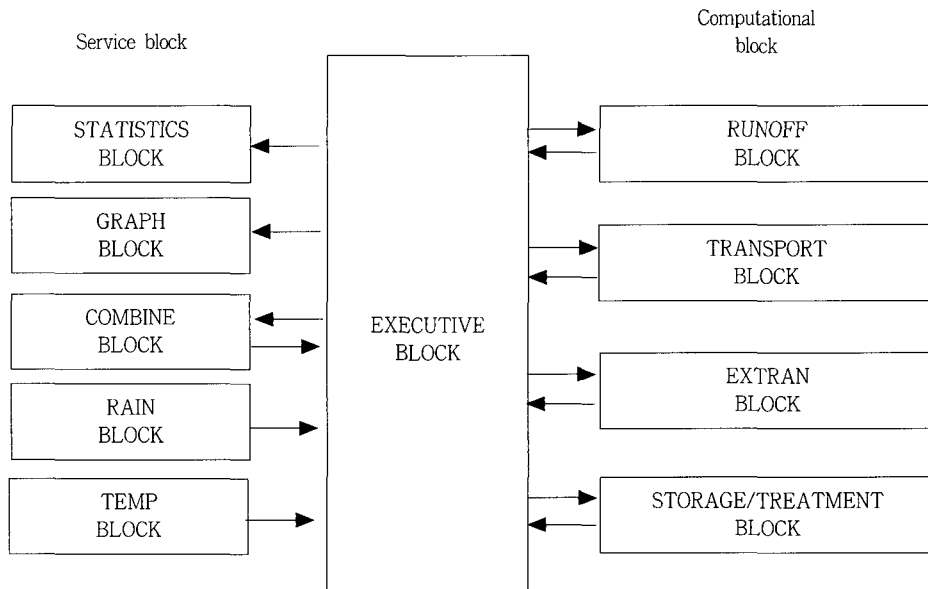


Fig. 1 Structure of SWMM

Table 1 Hydraulic equation

Runoff	Equation of continuity $\frac{dV}{dt} = A \frac{dd}{dt} = A \cdot i^* - Q$	Manning equation $Q = W \cdot \frac{1.49}{n} (d-d_p)^{5/3} \cdot S^{1/2}$
Infiltration	$f_p = f_u + (f_o - f_u) e^{-at}$	
Build up	Exponential : $PSHED = QFACT(1) \cdot (1 - e^{-QFACT(2)})$	
Wash off	Rating curve method : $POFF = RCOEF \cdot WFLOW^{WASHPO}$	

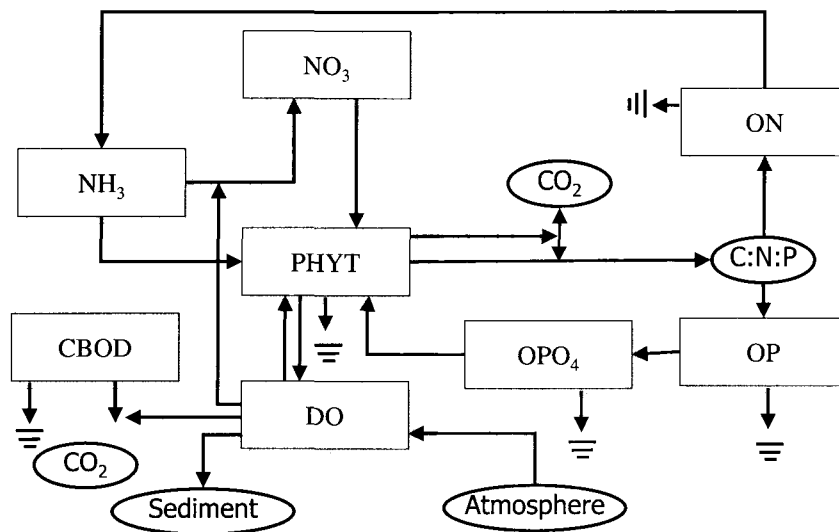


Fig. 2 Flow works of EUTRO5 model

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, 3차원 분석이 가능한 모형이다.

부영양화 과정은 수체내에서 인, 질소 등의 영양염류와 용존산소, 탄소화합물을 주요인자로 물질간의 상호작용을 통한 수질 변화 과정을 포함한다.

Fig. 2는 부영양화 현상의 주요 수질 변수간의 상호 관계를 나타내고 있다. 주요과정을 보면 질산화와 유기질소 화합물의 무기이온화, BOD 물질의 침전 및 분해, 식물성 플랑크톤의 합성, 분해 및 호흡 과정 그리고 변화과정에 참여하고 있는 용존산소의 변환과 인의 순환과정이다. 전체적인 모형의 모식도는 Fig. 2와 같다.

2. 조사 대상구역 및 자료

가. 대상구역

모형의 적용 대상 구역인 보령 담수호 구역은 우

Table 2 Properties of freshwater lake

Section	Unit	Specification	Remarks
Watershed area	ha	14,180	Full supply level
Irrigation area	ha	4,722	
Reservoir capacity	ha-m	1,933	
Equirement storage	ha-m	1,551	
Full water area	ha	582	

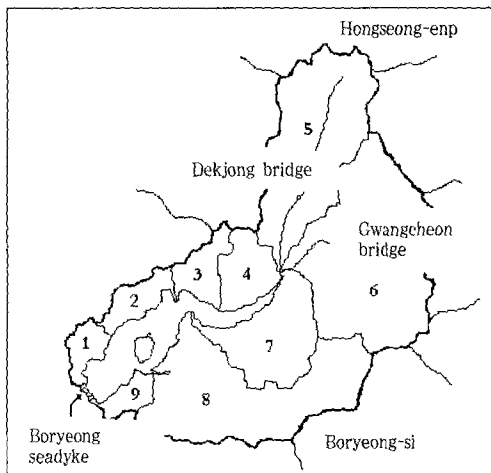
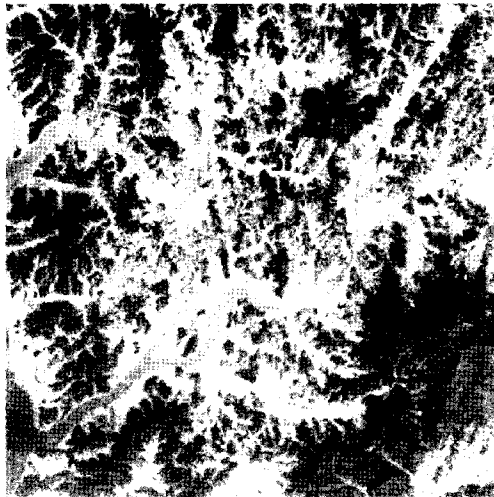


Fig. 3 Location of Boryeong freshwater lake

리 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, 이중 5번과 6번 유역에 전체 60% 이상이 거주하고 있다. 축산 사육두수는 한우 10,978마리, 젖소 3,058마리, 돼지 102,182마리, 닭 635,627마리이다.

본 지구는 홍성과 보령에 각각 방조제를 건설하여 1999년에 완공하였으나, 아직 담수화가 이루어지고 있지 않는 상태이며 보령담수호의 제원은 Table 2와 같다.

3. 모델의 입력자료

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 1,217.8 mm이며 대부분이 6~9월 우기에 집중되고 있다. 모형에 적용한 강우자료는 1999년 전체와 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 실측하였다. 유역에서 발생한 유출량이 담수호로 유입되는 유입량은 연평균 8,972.7만m³이며 이중 상당량이 주 하천이 있는 5, 6, 8번 유역에서 유입된다. 유량의 보정을 위하여 1991년 홍보조사보고서의 1990년 9월 11일 덕정교 자료를 이용하였으며, 검증은 위해 동일 광천교의 유출량 조사자료, 소룡교 유출량 조사자료 및 5, 6번 유역에 설치된 자기수위계 자료를 이용하였다.

다. 수질자료

유역의 수질자료는 유역 내 주요지점에서 유역 내 부하량의 년 변화를 알아보기 위해 정기적으로 측정된 자료와 모형의 보정을 위하여 2000년 8월 24일에 측정한 시간별 자료를 사용하였다. 수질자료는 미국 EPA에서 유역 유출수의 특성을 잘 나타내주는 것이라 추천한 항목인 BOD5, TN, TP에 대한 분석 자료를 이용하였다.

라. 지형자료 및 유역별 인자

기본자료인 DEM(Digital Elevation Model), 토양배수별 분포도, 토지 피복도를 이용하여 모형에 필요한 자료를 생성하였다.

미국 DMA에서 제공한 3초 DEM을 획득하여 IDRISI S/W를 이용하여 구축하였고 (Fig. 4), 구축된 DEM을 이용하여 Arc-view S/W를 이용하여 하천도를 작성하였다. 또한 작성된 DEM과 하천도를 이용하여 모형에서 필요한 소유역별 평균경사 및 하천경사를 구하였다.

토양 배수별 분포도는 농촌 진흥청 1/25,000 정밀토양도 및 1/50,000 개략 토양도를 ARC/INFO로 입력하여 배수분포별로 분류하여 작성하였다 (Fig. 5). 토지 피복도는 원격탐사자료(Landsat TM: 1991년 10월 22일, SPOT Panchromatic: 1997년 11월 15)를 ER-Mapper S/W를 이용하여 감독분류 최대우도법으로 토지피복도를 작성하였다 (Fig 6). 모형에 필요한 자료를 만들기 위해서 토양 배수별 분포도와 토지피복도의 속성 자료로부터 수리적으로 유효한 불투수층을 추출하여 전체 면적에 대한 비율을 산정 하였다. 그리고 토지 이용별 면적을 산정하기 위해서 토지 피복도를 이용하였다. 축산 농가의 비율은 1998년 통계연보를 이용하여 각 유역별 가축두수를 조사, 이를 가축두수 당 면적으로 환산하여 축산 농가의 면적을 산정 하였다 (Table 3). 그 외의 모형에서 사용되는 Manning 조도계수, 투수지역·불투수 지역의 조도계수, 투수지역·불투수 지역의 표면 저류 등은

calibration에 의해 결정하였다.

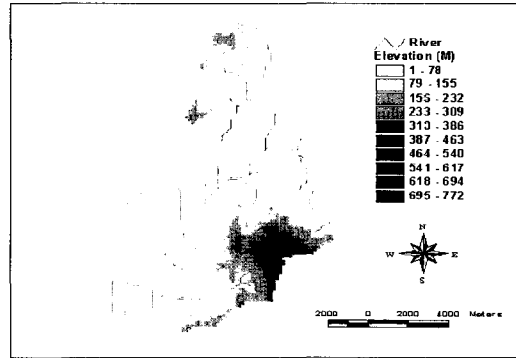


Fig. 4 DEM and river extracting map

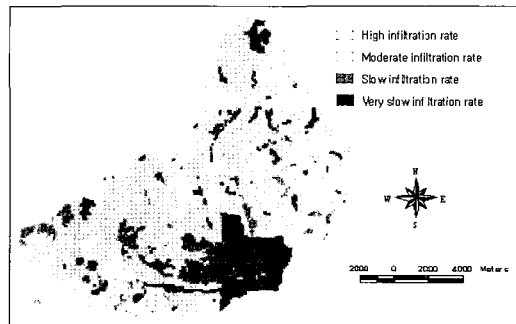


Fig. 5 Soil drainage distribution map

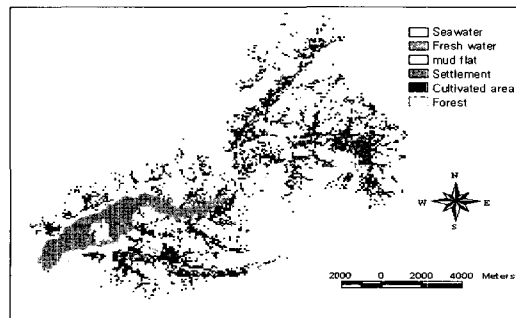


Fig. 6 Land use map

Table 3 A conversion unit area for each animal (unit: m²)

Dairy cow (per head)	Poultry (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

Table 4 Geometry data of each watershed

Basin	Area (ha)	Impervious (%)	Farmland (%)	Forest (%)	Residential (%)	Others (%)	Live stock (%)	Ground slope	Channel slope
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	-

4. 호내 구역의 구획화 및 연결

호내 구획분할은 Fig. 7과 같이 총 6개의 표수층과 1개의 저면표층으로 구분하였고 이를 토대로 그림과 같은 Graphical representation을 작성하였다.

보령호의 구역은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 9개의 소유역으로 구성되어 있으며, 지류는 총 4개로 각각의 Segment에 유입되는 것으로 하였다. 이중 소유역 5와 6에서 유입되는 흐름을 branch 1(분류)으로하고, 2번 지류는 소유역 3, 4, 7에서, 3번 지류는 소유역 8에서, 4번 지류는 소유역 1, 9에서

유입되는 것으로 하였다. 각 지류에서 유입하는 유량·부하량 자료는 SWMM에서의 모의 결과 값을 이용하였다.

5. 매개변수(Parameters)

각 소구간의 특성에 따른 매개변수의 변화를 나타내 주기 위한 입력자료군으로서, 매개변수를 기존 문헌 자료와 보령담수호의 상황에 맞추어 입력하였다. 부영양화 모의를 위한 매개변수의 기본 적용 값은 Table 5와 같다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 유역모델(SWMM)의 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. 분석결과는 저류깊이가 가장 민감한 것으로 나타났으며, 수로조도계수, 투수조도계수, 불투수조도계수의 순으로 나타났다.

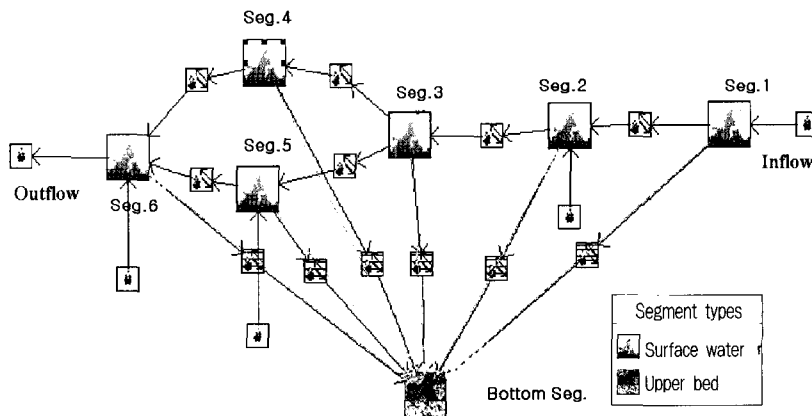


Fig. 7 Graphical representation

Table 5 Basic parameters for the model

Parameters	ISC	Definition and Unit	Manual	Application
Growth	41	Saturated growth rate of phytoplankton. (day ⁻¹)	2	2
Light	43	Light formulation switch 1 : use Di Toro et al(1971) 2 : use Dick Smith's(USGS)	1	2
	44	Maximum quantum yield constant (mg C/mole photons)	720	720
	45	Chlorophyll extinction coefficient (mg chl-a/m ³)	0.017	0.017
Nutrient	48	Nitrogen half-saturation constant for nitrogen for phytoplankton growth (Ly/day)	0.025	0.025
	49	Phosphorous half-saturation constant for phytoplankton growth(mg PO ₄ -P/L)	0.001	0.005
	57	Phosphorus-to-carbon ratio in phytoplankton (mg P/mg C)	0.025	0.025
Death	58	Nitrogen-to-carbon ratio in phytoplankton (mg N/mg C)	0.25	0.25
	50	Endogenous respiration rate of phytoplankton at 20°C. (day ⁻¹)	0.125	0.125
	51	Temperature coefficient for phytoplankton respiration	1.045	1.045
	52	Non predatory phytoplankton death rate. (day ⁻¹)	0.02	0.02

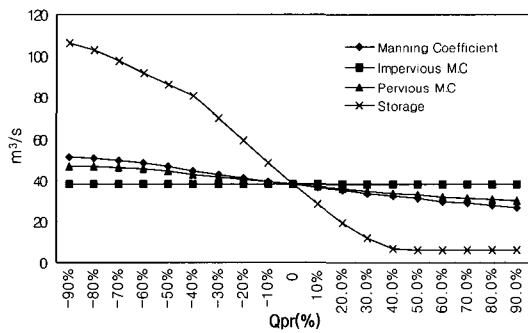


Fig. 8 Result of the sensitive analysis

나. 보정 및 검증

1) 유출량 보정 및 검증

강우시 유출량 보정은 1990년 9월 11일 강우시의 덕정교 유출량을 이용하였으며, 검증은 동일 광천교 유출량으로 검증하였다. 실측과 검증결과를 보면 정확도 88.6%를 나타내었으며, 유출량은 보정과 검증에 의해 비교적 정확한 예측이 가능하였다.

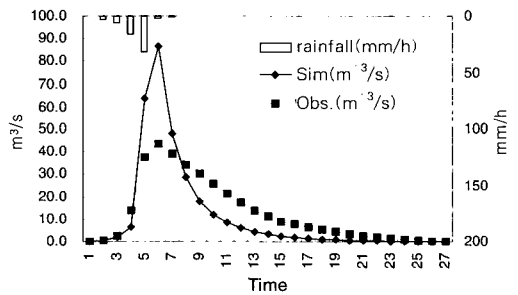
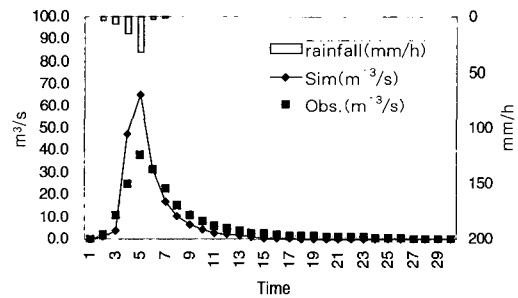


Fig. 9 Calibration and verification of runoff (Deockjeong, Gwangcheon)

2) 오염물질 부하량 보정

오염 물질 부하량 보정에는 검증자료로 사용되었

던 2000년 8월 24일 강우시 측정된 수질자료를 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

Fig. 10과 같다.

2. 담수호 수질모델(WASP5)의 적용

가. 부영양화 인자의 민감도 분석

민감도분석은 1번과 6번 segment를 대상으로 실시하였고 입력변수의 변화폭은 Chemical con-

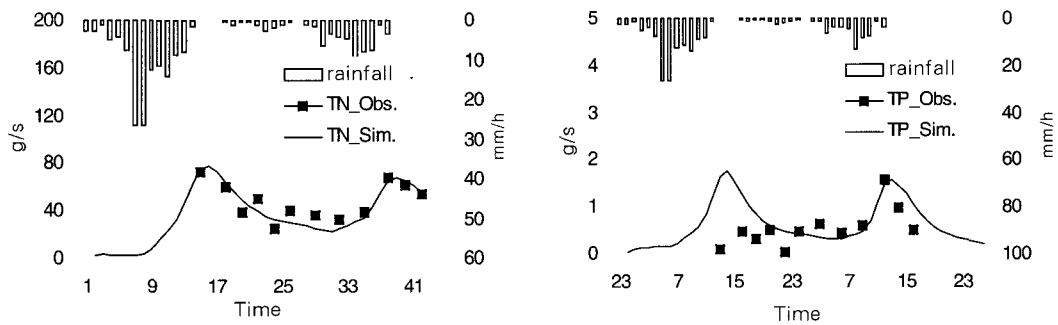


Fig. 10 Calibration of T-N, T-P

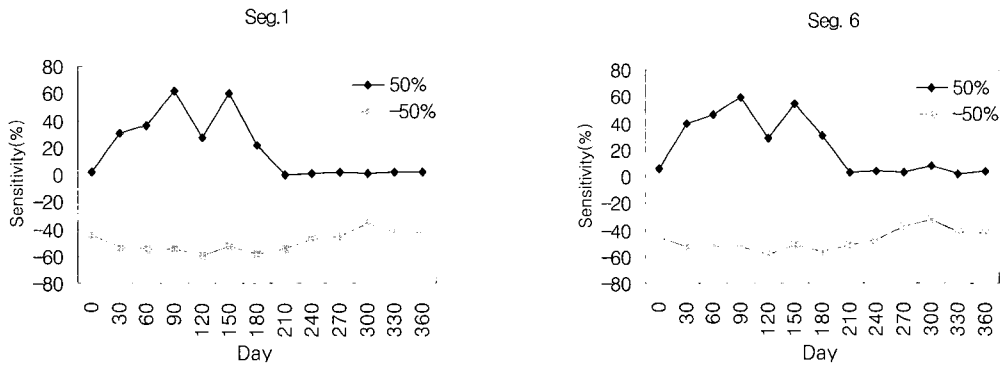


Fig. 11 Sensitivity by variety of KIC

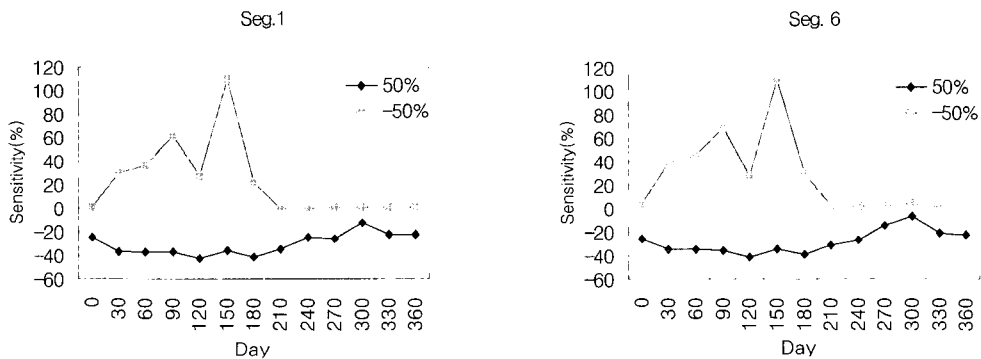


Fig. 12 Sensitivity by variety of PHIMX

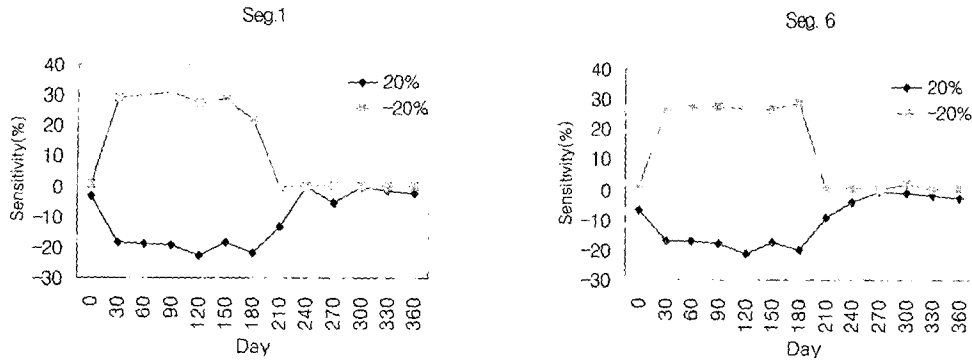


Fig. 13 Sensitivity by variety of ITOT

Reference : KIC (Saturated growth rate of phytoplankton)
 PHIMX (Maximum quantum yield constant)
 ITOT (Total daily solar radiation)

stants와 Boundary concentration에 대해서는 $\pm 50\%$ 로 변화를 주었다. 민감도가 큰 변수는 다음 그림과 같다 (Fig. 11~13).

나. 초기수질모의 결과

1) DO

DO의 총 평균농도는 7.26 mg/L로서 하천 및 호소의 농업용 수질기준인 2 mg/L 이상을 훨씬 상회하는 값을 나타내고 있다. 모든 지점에서 겨울동안 높은 DO를 나타내다가 봄이 되면서 DO값이 저하되는 일반적인 현상이 나타났다. 또한 하류로 내려올수록 작게나마 DO의 값이 증가하는 것으로 나타나고 있다.

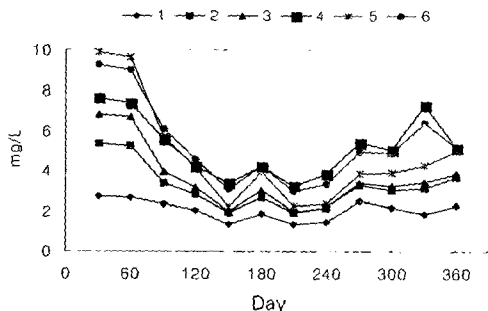


Fig. 14 DO variation each segment

2) BOD

총 평균농도는 5.3 mg/L로서 농업용 하천수질기준(호소수질기준 없음)인 8 mg/L를 대부분 만족시키고 있어 BOD로 인한 수질분해는 크게 없는 것으로 나타났다.

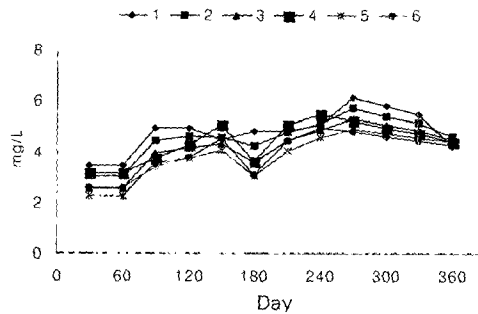


Fig. 15 BOD variation each segment

3) T-P(Total Phosphorus)

TP의 경우 총 평균농도는 0.148 mg/L로 호소수질기준인 0.1 mg/L를 초과하고 있다. 그러나 4월부터 8월 사이의 총 평균농도가 0.2 mg/L을 초과하는 수질기준의 2배 이상의 값을 보이고 있으며, 이는 여름철 부영양화의 원인인 것으로 판단된다.

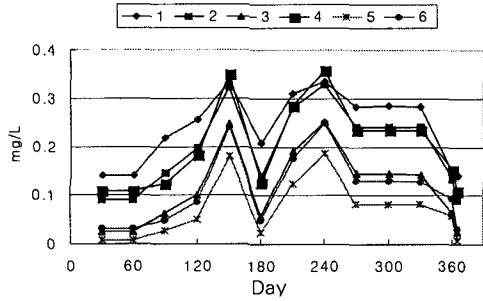


Fig. 16 T-P variation each segment

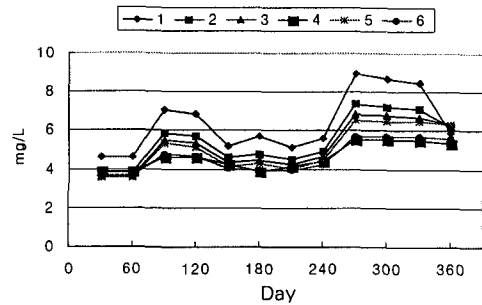


Fig. 17 T-N variation each segment

4) T-N(Total Nitrogen)

질소는 하천수질기준에는 포함되어 있지 않지만 호소의 부영양화에 영향을 주는 중요한 인자이다. 수질환경에서의 질소의 거동은 $Org-N \rightarrow NH_3 \rightarrow NO_2 \rightarrow NO_3$ 로 변하는 질산화 과정을 거쳐 다시 $NO_3 \rightarrow NO_2 \rightarrow NH_3 \rightarrow N_2(gas)$ 의 탈질화 과정을 거쳐 대기 중으로 발산한다. T-N의 경우 총 평균농도는 4.54 mg/L로 호소의 농업용 수질기준인 1

mg/L를 크게 상회하고 있으며, NH_3 와 NO_3 가 대부분을 차지하고 있다.

보령담수호는 아직 담수화가 이루어지지 않은 관 계로 해수와 담수가 주기적으로 섞이고 있다. 하지만 WASP5 모델에서는 해수에서 담수로의 유입에 관한 모의를 할 수 없기 때문에 바다로의 유출량은 고려되나 담수호로의 해수 유입은 고려되지 않고 있다. 따라서 모의를 통해 얻은 값들에 대한 직접

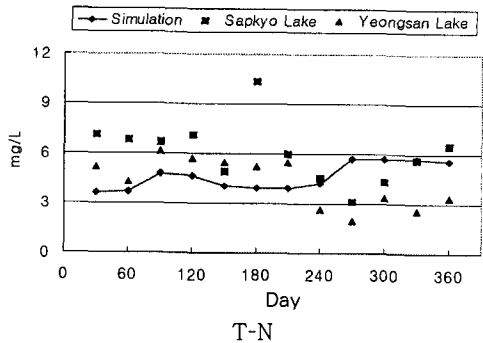
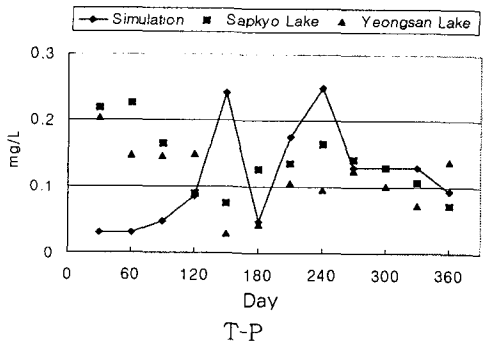
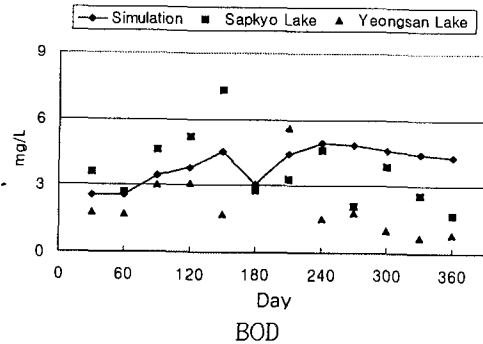
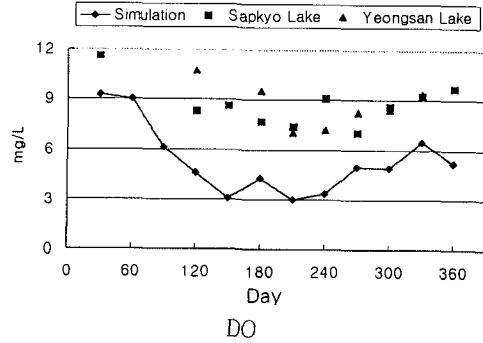


Fig. 18 Comparison of simulation results

적인 검증은 불가능하며, 본 연구에서는 기설 담수호인 영산호와 삽교호의 수질변화를 보령담수호의 모의치와 비교하여 모의결과의 경향을 간접적으로나마 검증해 보았다. 비교에 사용된 자료는 영산호와 삽교호의 2000년 월별 수질자료이며 비교대상 지점은 방조제 앞으로 통일하여 일관성을 부여하였다.

기설 담수호와의 비교결과 보령담수호의 모의치는 BOD, T-N의 항목에서는 삽교호와 유사한 경향을 나타내었으며, T-P의 경우는 기설 담수호의 실측치보다 좋지 않은 결과를 나타내고 있다. 이는 어떠한 수질보전대책도 적용되지 않은 상황에서 모의한 결과이기 때문이라고 판단되며, 다양한 수

1) Tri-1 (본류)의 제어

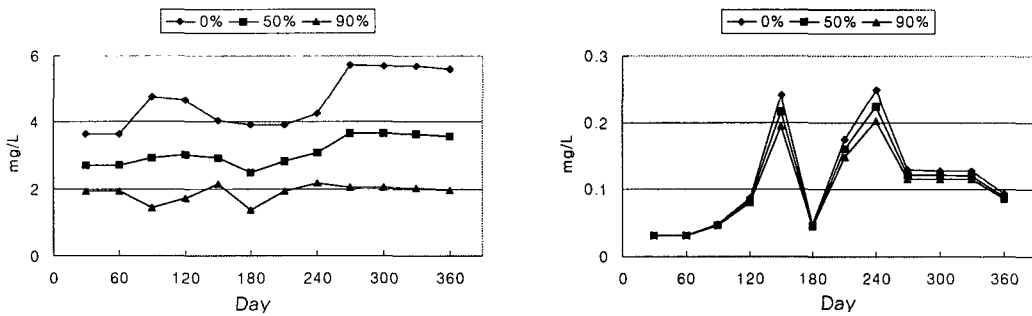


Fig. 19 Variation of water quality (T-N, T-P)

2) Tri-2 (지류)의 제어

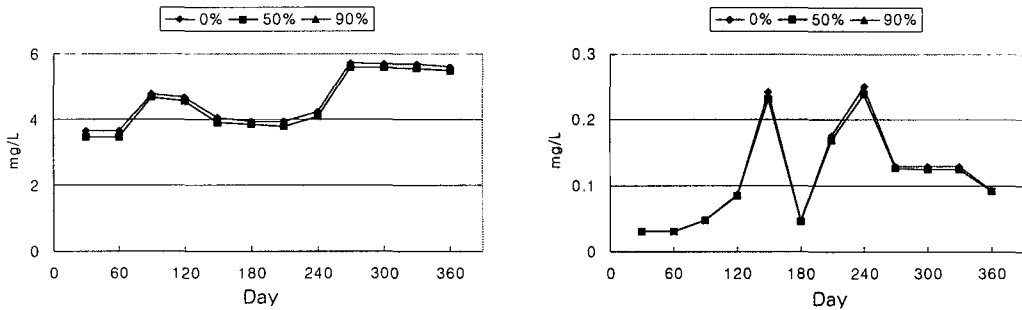


Fig. 20 Variation of water quality (T-N, T-P)

3) Tri-3 (지류)의 제어

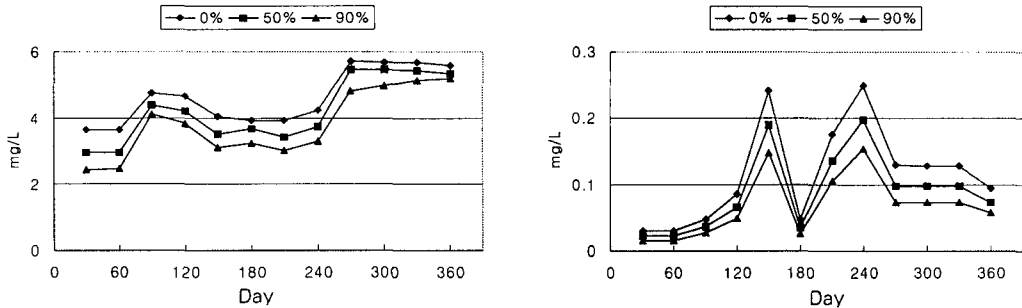


Fig. 21 Variation of water quality (T-N, T-P)

질보전대책이 적용된다면 수질의 개선도 가능할 것이라고 생각된다.

다. 각 지류별 부하량 제어에 따른 담수호의 수질 변화

담수호 내로 유입되는 각각의 지류별로 오염원을 제어함으로써 담수호 수질에 미치는 영향을 살펴본다. 제어한 오염원은 T-N, T-P로 각각 50%, 90% 제거하여 호내로 유입시키는 것으로 가정하여 모의했으며, 결과치의 비교는 취수시설이 위치한 최말단 수체(水體)인 6번 Segment의 값을 이용하였다.

지류에서의 질소와 인을 제어한 모의결과 호소내의 수질변화는 1번 지류(분류)의 제어 시 가장 크게 나타났으며, 이는 분류가 차지하는 유역면적이 타 지류에 비해 월등히 크고, 또한 유역내에 도심이 밀집되어 있기 때문인 것으로 판단된다. 유역면적이 큼으로 인해 강우 유출량 또한 타 유역의 유출량보다 월등히 많다. 그러므로 기타 지류에서의 오염부하량 제어보다 본류의 오염부하량 제어가 상대적으로 효과적인 것으로 판단된다.

IV. 결 론

유역내의 실측된 자료를 이용하여 보정 및 검증된 SWMM 모형을 이용하여 각 지류에서의 유입되는 유량과 부하량을 모의하여 WASP5 모형의 입력자료로 사용하였다.

담수호 내로 유입하는 지류의 실측부하농도를 이용한 모의결과 대부분 농업용수 수질기준을 초과하는 것으로 나타났다. 특히 영양물질인 질소와 인이 수질기준을 크게 상회하고 있어 호소를 담수화 할 경우 부영양화가 나타날 우려가 있는 것으로 예상된다. 실제 담수화를 하지 않은 호 내의 수질은 부영양화에 관여된 수질 항목인 T-P, T-N 기준치에 비해 두 세배의 높은 농도를 보이고 있다.

현재 하천에서의 오염부하농도는 수질기준을 초

과하고 있기 때문에 하천을 통하여 유입되는 유역의 오염부하량을 담수호 유입직전에 하류에서 제어하여 오염도를 저감시키는 방안은 호 내에서의 오염도를 제어하는 방법보다 효과적인 것으로 판단된다.

질소와 인을 제어한 모의결과 호소내의 수질변화는 1번 지류(분류)의 제어 시 가장 크게 나타났으며, 이는 분류가 차지하는 유역면적이 타 지류에 비해 월등히 크기 때문에 유출량이 많고, 그럼으로 인해 기타 지류에서의 오염부하량 제어보다 본류의 오염부하량 제어가 상대적으로 효과적인 것으로 나타났다.

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 하수종말처리장만으로는 오염부하량을 제어하기는 어려운 실정이다. 배수갑문의 수문조작관리로는 지류제어만큼의 수질 저하효과는 기대할 수 없지만 지류제어와 배수갑문 조절, 이 두 가지를 병행함으로써 보다 개선된 수질관리를 할 수 있을 것으로 기대된다.

이러한 여러 가지의 복잡한 상황조건들을 SWMM과 WASP5 모형을 사용하여 그때 그때 적용하기에는 상당한 시간과 노력이 소모된다. 그러므로 여러 지형조건이나 기상조건, 그리고 원활한 SWMM과 WASP5 모형의 연계적용을 통하여 쉽게 수질을 모의할 수 있도록 하여 여러 가지 상황의 수질 변화조건들을 모의하여 오염원을 효과적으로 처리할 수 있도록 하여, 양적인 수자원 확보가 아닌 수질보전적인 수자원 확보를 위해 많은 연구와 노력이 필요할 것이라 생각된다.

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

References

1. Kwun, Soon Kuk, 1998, Regional Environmental Engineering, Hyang Moon Sa
2. Kim, Sun Joo, 1999-2001, Development of Water Quality Management System for Freshwater Lake in Reclaimed Land, Final Report, Ministry of Agriculture and Forestry
3. Kim, Sun Joo, Lee, Suk Ho, and Lee, Chang Hyung, 2001, Characteristics of Water Quality Behaviour in Boryeong Freshwater Lake, Proceedings of the 2001 Annual Conference, The Korean Society of Agricultural Engineers, pp.412~416
4. Kim, Seong Joon, 1996, GIS application for rural water quality management, The J. of GIS Assoc. of Korea, 4(2), pp.147-157
5. Ministry of Agriculture and Forestry, 1997, Guidebook of Agricultural Water Management
6. Rural Development Corporation, 1994-2000, Integrated Agricultural Development Project in Hong-bo Area
7. Park, Young Jin, Application of WASP Model on the Small Streams in Rural Area, 1995, MSc Thesis, Seoul Nat'l University
8. Jeon Ji Hong, 2000, A Comparative Study on the Estimation of Nonpoint Source Pollution loading from Watershed Using SWMM and Rating Curve Method, MSc Thesis, Konkuk University, pp.18-25
9. Choi, Jin Kyu, 2001, Estimation of Runoff Pollutant Loadings in Boryeong Reservoir Watershed, Proceedings of the 2001 Annual Conference, Korean Society of Agricultural Engineers, pp.30-33
10. Ambrose, R.B, 1988, WASP5 User's Manual, and Programmer's Guide. U.S EPA.
11. APHA, 1995, Standard Methods for the examination of water and wastewater, 19th Edition, American Public Health Association. pp.4-65~4-114, 5-2~15.
12. 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. pp.1-569
13. U.S. EPA, 1988, Storm Water Management Model, version 4: user's manual, pp.96-104