

Multiple Box 水質模型에 의한 海南湖 水質豫測 (I)

— 水質副模型의 開發과 適用 —

Prediction of Water Quality in Haenam Estuary Reservoir Using Multiple Box Model (I)

— Development and Application of Water Quality Subroutines —

申 炅 洙* · 權 純 國**
Shin, Kyung Soo · Kwun, Soon Kuk

Summary

A rational management of water resources in estuary reservoirs necessitates the prediction of water quality. In this study, a multiple box model for the water quality prediction was developed as a tool for the purpose of examining an adequate way to improve and maintain the water quality. Some submodels that are suitable for simulating the mixing behavior of pollutant materials in a lake were considered in this model.

The model was applied for predicting water qualities of Haenam Estuary Reservoir.

The result from this study can be summarized as follows :

1. A water quality simulation model that can predict the 10-day mean value of water qualities was developed by adding some submodels that simulate the concentrations of chlorophyll-a, BOD, T-P and T-N to the existing Multiple Box Model representing the mixing and circulating of materials by the hydraulic action.

2. As input data for the model developed, the climatic data including precipitation, solar radiation, temperature, cloudness, wind speed and relative humidity, and the water budget records including the pumping discharge and the releasing discharge by drainage gate were collected. The hydrologic data for the inflow discharge from the watershed was obtained by simulation with the aid of USDAHL-74/SNUA watershed model. Also the water quality data were measured at streams and the reservoir.

* 서울대학교 大學院

** 서울대학교 農科大學

3. As a result of calibration and verification test by using four components of water quality such as Chlorophyll-a, BOD, T-P and T-N, it was found that the correlation coefficients between the observed and the simulated water qualities showed greater than 0.6, therefore the capability of the model to simulate the water quality was proved.

4. The result based on the model application showed that the water quality of the Haenam Estuary Reservoir varies seasonally with the harmonic trend, however the water quality is good in winter and get worse in summer. Also it may be concluded that the current grade of water quality in the Heanam Estuary Reservoir is ranked as grade 4 suitable only for the agricultural use.

I. 緒 論

農業綜合開發事業에 필요한 물공급을 목적으로 1970年初부터 河口에 건설되어진 淡水湖는 앞으로 人間の 삶을 누리는데 필요한 生活用水, 農業用水, 工業用水의 저장기능과 慰樂活動의 터전으로서 중요한 역할을 담당하게될 수자원 중의 하나이다. 이러한 淡水湖의 造成은 국토 자원의 효율적 개발이라는 긍정적 측면과 더불어 생태계변화, 갯벌상실, 담수유출 차단, 조석형태변화등 자연환경에 대한 부정적 측면도 야기시켰다. 현재 淡水湖는 주거 및 공장지역에서 흘러나오는 家庭下水와 産業廢水, 농경지 및 산림유역에서 유출되는 營養物質등으로 인하여 본래목적을 상실한 만큼 수질환경이 크게 악화되었다.

특히, 炭素, 窒素, 磷과 같은 營養物質의 과다유입은 藻類의 과잉번식에 따른 심한 악취와 湖水色の 변화를 일으키는 富營養化現象을 초래했다.

한편, 담수호는 地理的 특성상 지극히 閉鎖的인 성질을 띄고있어 한번 오염이 심화되면 수질회복이 거의 불가능하며 설사 가능하다 해도 엄청난 비용과 시간이 필요하기 때문에 효율적인 담수호관리를 위해선 수질의 악화되지 않도록 미리 예방하는 것이 최선책이다.

담수호는 水質管理를 위해선 현재수질의 정확한 평가와 미래수질변화에 대한 예측이 필수

적인데 數學的 모델링技法의 적용은 매우 복잡한 수질환경의 변화를 일반화, 단순화시켜 줌으로써 수질변화에 영향을 주는 요인들에 대한 이해를 증진시키고 조절방법을 알려줌과 동시에 수질예측을 가능하게 하여 각종대책에 따른 관리효과를 매우 경제적으로 정확히 파악할 수 있는 장점을 지니고 있다.

담수호의 수질변화는 水理·水文學的, 化學的, 生物學的, 地理學的등의 因子와 有機的 關係를 맺고있기 때문에 담수호 수질모형의 구성은 湖内の 수질인자 변화특성뿐 아니라 유역주변의 경제·사회적 변화특성을 고려할 필요가 있다. 따라서 담수호의 수질예측을 위해서는 그 수역의 특성에 적합한 모형의 구성이 요구된다.

淡水湖 水質模型에 관한 研究는 Muraoka등⁹⁾ (1984)이 담수호를 여러개의 수평 1차원 완전 혼합구획으로 분할하여 월별 수질예측이 가능한 Multiple Box수질모형을 구성하고 이를 日本의 가스미가우라湖에 적용한바 있다. 이외에도 Multiple Box수질모형은 헝가리의 Balaton湖, 미국의 Ford湖등 수심이 얇고 수면적이 넓은 호소에 적용된바 있다.⁶⁾

우리나라에서는 1983年 農業振興公社에서 영산강 3단계사업과 관련하여 영산호, 영암호, 금호호등 3개 담수호를 도수로로 연결한후 각각의 호를 한개의 Box로 취하여 Box모형에 의한 수질을 예측한바 있다.¹⁶⁾ 또한 權등(1987)은 Vollenweider모형등 統計的 湖沼模型을 아산호,

해담호에 적용한바 있으며,¹²⁾ 정(1988)은 WQ-RRS모형을 아산호에 적용한바 있다.²²⁾ 그러나 이러한 호소수질모형은 알며 혼합이 활발한 담수호의 호분특성과 수리적특성을 적절하게 나타내지 못하는 것으로 판명되었다. 한편 林(1988)은 담수호내의 수리현상 및 물질전달체계를 해석할 수 있는 Multiple Box수질모형 MB-QER을 개발하여 아산호를 대상으로 모형의 적용성을 검토한바 있다.²⁰⁾

本 研究에서는 Multiple Box수질모형의 水理·水文學의인 기본이론에 입각하여 林이(1989) 개발한 담수호 수질모형 MBQER을 기초로 그 應用性을 확장하여 이를 비교적 최근에 조성된 해담호를 대상으로 적용성을 검토하고 미래수질을 예측하는데 그 目的이 있다.

II. 模型의 構成

1. 水理·水文學副模型

수리·수문부모형으로는 기 개발된 MBQER²⁰⁾을 이용하였다.

담수호는 그 특성상 移流와 擴散이 중요 요소이며 MBQER은 식(1)과 같은 移流分散方程式을 중심으로 구성되었다.

$$V_i \frac{dC_i}{dt} = \sum [(Q_{ij} \cdot C_j - Q_{ji} \cdot C_i) + \frac{E_{ij} \cdot A_{ij}}{l_{ij}} (C_j - C_i)] + S_i \dots\dots(1)$$

- 여기서, V_i : Box i 의 체적
- Q_{ij} : 이류량
- C_i : Box i 의 평균농도
- E_{ij} : 확산계수
- A_{ij} : Box간 경계면적
- l_{ij} : Box 중심간 길이
- S_i : Source와 sink

2. 水質副模型

담수호 수질에 영향을 끼치는 대표적인 要因

으로는 유기탄소, 무기탄소, 유기질소, 암모니아, 아질산, 질산, 용존산소, 인, 식물성 플랑크톤, 원생동물, 동물성 플랑크톤, 고등생물, 박테리아등 13가지를 들수 있는데 이러한 물질들의 物理的, 生·化學的 거동은 매우 복잡하고 상호간에 큰 영향을 미친다. 이러한 물질들의 상호작용을 통한 수질변화과정은 Fig. 1과 같이 나타낼수 있다.

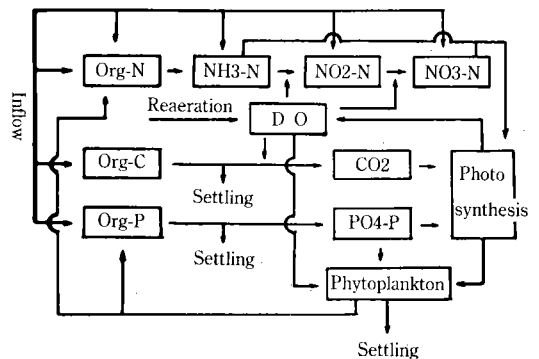


Fig. 1. Interaction of chemical and biological components of estuary reservoir.

한편 水質副模型 構成을 위한 각 수질항목의 이론적 배경은 다음과 같다.

가. 植物性 플랑크톤

식물성 플랑크톤은 광합성에 의한 조류성장, 호흡 및 동물성 플랑크톤에 의한 포식등을 주요인으로 수온, 광강도, 감쇄계수, 영양염농도에 의해 영향을 받으며 그 量은 주로 chlorophyll-a농도로(mg/m^3) 나타낸다. 식물성 플랑크톤의 증감에 영향을 주는 요소는 Fig. 2에 나타나 있다.

한편, 식물성 플랑크톤의 현존량에 대한 변화식은 식(2)와 같다.

$$\frac{dPHYTO}{dt} = (GR - DR - ST - DG) \cdot PHYTO \dots(2)$$

여기서, PHYTO : 식물성 플랑크톤 量($mg\ chl-a/m^3$)

GR : 성장률(1/day)

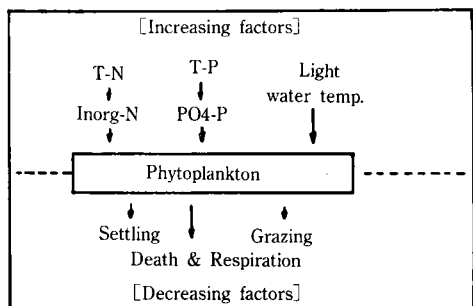


Fig. 2. Major constituent interaction to phytoplankton.

- DR : 호흡 및 자연사에 의한 감쇄율(1/day)
- ST : 침강속도(1/day)
- DG : 포식에 의한 감쇄속도(1/day)

식(2)의 우변항에 대한 각각의 변수를 상세히 설명하면 식(3), (4), (5)와 같다.

$$GR = GRMAX(20^{\circ}C) \cdot F(t) \cdot F(I) \cdot F(N) \dots \dots \dots (3)$$

$$F(t) = K_{t1}^{(t-20)}$$

$$F(I) = \frac{2.718}{K_c \cdot Z} \cdot fD \left[\exp\left\{-\frac{I_0}{I_k} \exp(-K_e \cdot Z)\right\} - \exp\left(\frac{I_0}{I_k}\right) \right]$$

$$F(N) = \text{Min}\left(\frac{DIN}{KMN + DIN}, \frac{DIP}{KMP + DIP}\right)$$

여기서, GRMAX : 최대증식율 (1/day)

- K_{t1} : 온도보정계수
- t : 수온(°C)
- fD : 일조시간 비율
- Z : 수심(m)
- K_c : 감쇄계수(1/m)
- I_k : 포화 광강도(ly/day)
- I_0 : 수심Z에서 광강도(ly/day)
- DIN : 용존무기질소(mg/L)
- DIP : 용존무기인(mg/L)
- KMN : 질소의 반포화농도(mg/L)
- KMP : 인의 반포화농도(mg/L)

$$DR = DR_1 \cdot K_{t2}^{(t-20)} + DR_2 \dots \dots \dots (4)$$

여기서, DR_1 : 20°C에서 내호흡율(1/day)

K_{t2} : 온도 보정계수

DR_2 : 사멸율(1/day)

$$ST = SV/Z \dots \dots \dots (5)$$

여기서, SV : 침강속도(m/day)

나. 燐

인은 Liebig의 最少量法則에 의해 限界營養物 質로 알려져 왔고, Fig. 3에서와 같이 식물성 플랑크톤의 사멸, 분해에 따른 유기인의 생성과 유기인의 변화에 따른 인산염의 생성, 그리고 인산염을 이용한 조류의 성장에 의해 영향을 받는다. 이에 따른 인 함량 변화율은 식(6), (7)과 같다.

$$\frac{dORGP}{dt} = CHLAR \cdot DR \cdot PHYTO \cdot FOP - K_{orgp}(t) \cdot ORGP - S_{orgp}/Z \cdot ORGP \dots \dots \dots (6)$$

$$\frac{dPO4P}{dt} = CHLAR \cdot DR \cdot PHYTO \cdot (1 - FOP) + K_{orgp}(t) \cdot ORGP + 1/1000 \cdot RELP(t)/Z \cdot FRELP - S_{po4p}/Z \cdot PO4P - CHLAP \cdot GR \cdot PHYTO \dots \dots \dots (7)$$

여기서, FOP : 식물성 플랑크톤분해시 발생하는 총인에 대한 유기인 비율

- CHLAP: 단위환산계수(mg P/μg chl-a)
- K_{orgp} : 유기인(ORGP)에 대한 온도보정계수
- S_{orgp} : 유기인(ORGP)의 침강속도(m/day)
- S_{po4p} : 인산염(PO4P)의 침강속도(m/day)
- ORGP : 유기인 농도(mg/m³)
- PO4P : 인산염 농도(mg/m³)
- RELP : 용출률(mg/m²/day)
- FRELP: 용출조정계수

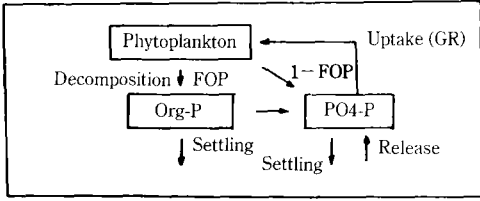


Fig. 3. Schematic diagram of phosphorus submodel compartments and interaction pathways.

다. 窒 素

담수호에서의 질소의 변화과정은 식물성 플랑크톤의 사멸, 분해에 의한 유기질소와 암모니아의 생성 및 질산화과정을 통한 질산염으로의 변환과 이에따른 조류의 번식등으로 알려져 있으며 Fig. 4와 같이 나타낼 수 있다.

이에 따른 여러형태의 질소반응식은 식(8), (9), (10), (11),과 같다.

$$\frac{dORG_N}{dt} = CHLAN \cdot DR \cdot PHYTO \cdot FON - K_{orgn}(t) \cdot ORGP - S_{orgn}/Z \cdot ORGN \dots\dots(8)$$

$$\frac{dNH_3N}{dt} = CHLAN \cdot DR \cdot PHYTO \cdot (1 - FON) + K_{orgn}(t) \cdot ORGN + 1/1000 \cdot RELN(t)/Z \cdot FRELN - CHLAN \cdot GR \cdot PHYTO \cdot APF - K_{nh3n}(t) \cdot NH_3N \dots\dots(9)$$

$$\frac{dNO_2N}{dt} = K_{nh3n}(t) \cdot NH_3N - K_{no2n}(t) \cdot NO_2N \dots\dots(10)$$

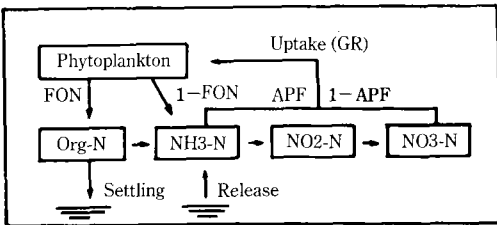


Fig. 4. Schematic diagram of nitrogen submodel compartments and interaction pathways.

$$\frac{dNO_3N}{dt} = K_{no2n}(t) \cdot NO_2N - CHLAN \cdot GR \cdot PHYTO \cdot (1 - APF) \dots\dots(11)$$

여기서, CHLAN : 단위환산계수(mg N/μg chl-a)

$$K(t) : K(20^\circ C) \cdot K_{tn}^{(t-20)}$$

FON : 식물성 플랑크톤 분해시 발생하는 총질소에 대한 유기질소비율

APF : 식물성 플랑크톤이 섭취하는 총무기질소에 대한 암모니아비율

라. 生物化學的 酸素要求量(BOD)

BOD는 호내의 유기물 함유정도를 나타내는 지표로서 수중의 유기물질이 호기성 미생물에 의하여 산화될때 사용되는 용존산소의 양이다. 호내에서의 BOD의 변화과정은 Fig. 5와 같다.

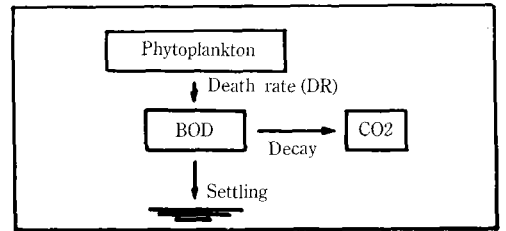


Fig. 5. Schematic diagram of BOD submodel compartments and interaction pathways.

또한 BOD의 변화과정을 식으로 나타내면 식(12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dBOD}{dt} = CHLAC \cdot DR \cdot PHYTO - KBOD(t) \cdot BODU - SBOD/Z \cdot BOD \dots\dots(12)$$

여기서, CHLAC : 단위환산계수(mg BOD/μg chl-a)

KBOD : BOD 온도보정계수

BODU : 최종 BOD(mg/L)

SBOD : BOD 침강속도(m/day)

3. 模型의 構造

Multiple Box 수질모형은 크게 湖 水理現象과 湖内 物質傳達體系를 해석하는 水理·水文部分과 호내의 營養鹽 循環過程 및 流入汚染負荷量에 따른 수질인자 간의 반응을 해석하는 水質部分으로 나누어 진다. 본 연구에서는 각 수질항목 계산과정을 전산프로그램화하여 별도의 부모형으로 개발하였으며 이에따른 각 부모형의 명칭 및 기능은 Table-1과 같고, 모형의 흐름도는 Fig. 6에 나타내었다.

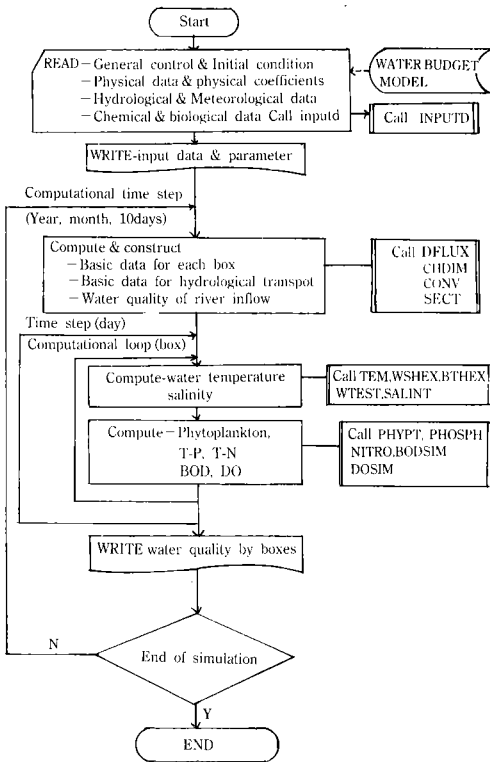


Fig. 6. Flow chart of multiple box model.

모형의 계산과정은 먼저 INPUTD를 호출하여 입력자료를 읽어들이는 다음 CHDIM과 DFLUX에 의해 계산에 알맞는 단위로 조정하고, 수질부모형 PHYTO, BODSIM, PHOSPH, NITRO등을 각각 호출하여 chlorophyll-a와 BOD, T-P, T-

Table-1. List of subroutines of Multiple Box Model.

Name	Function
MAIN	Main program to control all the loops, call subroutines and calculate 10-day water qualities
QMBOX	Subroutine to compute hydrologic mass transfer
BODSIM	Subroutine to calculate BOD
WSHEX	Subroutine to compute water surface heat exchange
BTHEX	Subroutine to compute bottom heat exchange
CHDIM	Subroutine to make some data into dimension
CONV	Subroutine to compute capacity and surface area of each box
DFLUX	Subroutine to converse flux to concentration
DOSIM	Subroutine to calculate DO
INPUTD	Subroutine to read input data
NITRO	Subroutine to calculate T-N
PHOSPH	Subroutine to calculate T-P
PHYTP	Subroutine to calculate phytoplankton
SALINT	Subroutine to calculate salinity
TEM	Subroutine to calculate water temperature
SECT	Subroutine to compute section area between boxes
WTEST	Subroutine to convert rain temperature and inflow temperature to water temperature

N등을 계산하여 출력하도록 되어있다.

Multiple Box수질모형의 운전에 필요한 입력 매개변수는 크게 분류하여 프로그램의 운용방법에 관한 선택매개변수와 유역의 강우량, 운량, 풍속등을 나타내는 기상매개변수 및 담수호로 유입되는 지천유입량, Box간 혼합유량들을 포함하는 수문매개변수, 그리고 각 수질항목의 초기값, 계절별 유출율등에 관한 수질변수 등이 있다.

III. 對象地區 및 資料

본 모형의 適用性檢討를 위해 선정된 海南湖流域은 동경 126°30~126°37, 북위 34°30~34°36에 걸쳐 위치하고 있으며, 행정구역상으로는 全南 海南郡 海南邑의 1個邑과 옥천면, 삼산면, 화산면, 마산면, 황산면등 5個面을 포함하고 있다. 본 유역의 位置 및 地形은 Fig. 7에 나타나 있다.

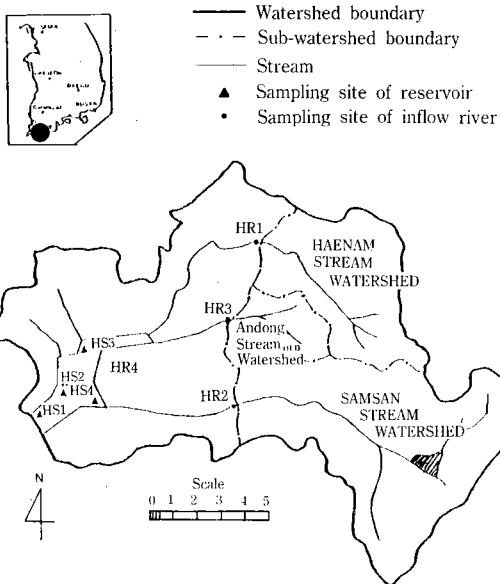


Fig. 7. Watershed of Haenam estuary reservoir and sampling sites.

해남호는 용수원확보, 홍수조절 및 배수개선, 간척농지조성에 의한 농경지 확장과 관개개선을 위한 대단위 농업용수 개발사업의 일환으로 1985. 9월에 착공하여 1987. 5월에 방조제 최종체절이 완료된 인공담수호이다.

1. 水文特性

담수호의 수질은 支川 유입수량, 호의 체류시간특성에 의해서 크게 영향을 받으므로 대상 지구의 수문특성분석은 매우 중요하다.

가. 滯留特性

체류시간($T_r = V/Q$)은 수질변화에 영향을 주는 중요한 요인중의 하나이다. US-OECD부영양화 모형¹⁶⁾에서는 藻類成長이 가능한 체류시간을 2週(0.47月) 이상으로 보고 있으며 이 기준을 고려할때 해남호는 수리적 요인에 의한 조류생장의 제약은 받지 않는 것으로 나타났다.

호의 체류특성을 교환율($R_m = 1/T_r$)로 나타내면 Table-2와 같고 성층기준($R_m < 10\%$)에 의하면 해남호는 성층현상이 거의 나타나지 않는 것으로 밝혀졌다.

Table-2. Monthly exchange rate and flushing time.

Month	(unit : %)			
	1987	1988	Mean	T_r (month)
Jan	-	5.4	5.4	18.52
Feb	-	4.2	4.2	23.81
Mar	-	44.7	44.7	2.24
Apr	-	49.2	49.2	2.03
May	49.8	77.6	63.7	1.57
Jun	53.8	78.5	66.2	1.51
Jul	296.3	46.0	171.2	0.58
Aug	258.6	96.6	177.6	0.56
Sep	127.0	19.6	73.3	1.36
Oct	17.4	-	17.4	5.75
Nov	17.6	-	17.6	5.68
Dec	3.2	-	3.2	31.25
Mean	103.0	46.9	75.0	7.91

나. 淡水湖 流入水量

담수호 유입수량은 각 유입하천별로 전체유역을 소유역으로 분할하여(Fig. 7), 강수량 자료를 부터 각 소유역에 대해 USDAHL-74/SNUA 전산 수문모형을 이용하여 모의발생된 유출량을 합산하여 산정하였다. Table-3은 전산 수문모형에 의하여 모의 시산으로 구한 3個年(1987~1989年)의 각 지천 및 호 주변 유입수량을 나타낸 것이다.

Table-3. Monthly inflow discharge from each sub-watershed.

												(unit : 1000 m ³)	
a) 1987	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
HR-1	1663.	614.	1310.	973.	1874.	1492.	9082.	9881.	6084.	626.	160.	131.	33896.
HR-2	1917.	1111.	2879.	1738.	3174.	2691.	18712.	15862.	9284.	280.	287.	229.	58168.
HR-3	412.	224.	504.	576.	566.	697.	4512.	3234.	1196.	137.	165.	66.	12294.
HR-4	2514.	1465.	3127.	3996.	3353.	4505.	28891.	20990.	7303.	876.	1252.	436.	78713.
Total	6508.	3416.	7821.	7285.	8968.	9386.	61199.	49968.	23869.	1921.	1864.	863.	183073.

												(unit : 1000 m ³)	
b) 1988	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
HR-1	621.	59.	1536.	1606.	2051.	1254.	1623.	1942.	891.	18.	0.	15.	11617.
HR-2	47.	0.	1977.	2213.	3074.	4026.	1168.	5032.	394.	5.	0.	12.	17948.
HR-3	54.	33.	610.	590.	744.	1126.	320.	1188.	202.	1.	0.	9.	4879.
HR-4	324.	214.	3851.	3658.	4792.	7363.	1835.	7562.	1363.	14.	0.	63.	31039.
Total	1064.	306.	7975.	8067.	10661.	13769.	4947.	15724.	2851.	38.	0.	99.	65483.

												(unit : 1000 m ³)	
c) 1989	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
HR-1	2586.	1980.	2186.	89.	336.	3986.	3139.	3954.	-	-	-	-	18255.
HR-2	1979.	3605.	3668.	71.	521.	7676.	5683.	7244.	-	-	-	-	30446.
HR-3	777.	731.	552.	19.	326.	2099.	1615.	1791.	-	-	-	-	7910.
HR-4	4755.	4626.	3609.	208.	2029.	13194.	10445.	11276.	-	-	-	-	50141.
Total	10097.	10942.	10015.	387.	3212.	26955.	20881.	24264.	-	-	-	-	106754.

2. 水質現況

수질자료는 서울대학교 農工學科에서 1987~1989 3個年 간 8회에 걸쳐 측정 한 자료를 사용 하였으며^{12, 13, 14)} 그 실측값은 Table-4에 나타내었다.

해남호의 8차에 걸친 각 지점별 수질분석결과 전반적인 수질이 봄철에 가장 좋고 여름철에 나쁘게 나타나 계절적 주기성을 보이고 있다. 또한 위치별 수질특성은 chlorophyll-a의 경우 호전체가 비슷한 농도를 보였고, BOD는 HS 1 지점이 비교적 낮고, T-P 및 T-N은 하류로 갈수록 낮은 농도를 보여주고 있다.

한편 한국의 하천 및 호소 수질기준²⁸⁾과 미국환경학회(USA NES)에서 정한 호소 영양상태 기준을¹⁴⁾ 적용하였을 경우 해남호는 부영양 상

태로 나타났지만 농업용수 수질등급 IV 등급은 유지하고 있는 것으로 나타났다.

3. 流域의 汚染負荷量

유역의 발생오염부하량은 각 오염원에 오염부하량 原單位를 곱하여 산출한 것으로 1987년 각 유역별 오염원 현황은 Table-5과 같고 적용 原單位는 Table-6에 나타나 있다.

한편, 오염원에 오염물질 원단위를 고려한 각 유역의 총발생오염부하량은 Table-9에서와 같다.

IV. 模型의 適用

Multiple Box 수질모형을 담수호에 적용시키기 위해선 호의 적절한 Box분할이 선행되어야

Table-4. Observed water quality of Haenam estuary reservoir.

Year	Month	Sampling site	Chl-a (mg/m ³)	BOD (mg/L)	T-P (mg/L)	T-N (mg/L)
1987	9(L)	HS-1,2 U	8.27	4.1	0.115	0.718
		HS-1,2 L	—	4.0	0.175	1.187
		HS-3	24.74	4.4	0.146	0.764
		HS-4	40.26	7.9	0.082	0.946
	10(M)	HS-1,2 U	20.50	3.4	0.061	0.437
		HS-1,2 L	—	7.3	0.153	0.689
		HS-3	18.01	2.3	0.086	0.382
		HS-4	32.50	2.8	0.065	0.552
1988	5(L)	HS-1,2 U	5.93	4.4	0.069	1.001
		HS-1,2 L	—	2.6	0.127	1.411
		HS-3	7.10	3.4	0.057	0.924
		HS-4	—	—	—	—
	7(L)	HS-1,2 U	31.67	4.3	0.122	1.145
		HS-1,2 L	—	3.3	0.141	1.141
		HS-3	15.30	4.1	0.045	1.160
		HS-4	—	—	—	—
	9(E)	HS-1,2 U	14.16	4.6	0.060	0.738
		HS-1,2 L	—	4.7	0.182	1.521
		HS-3	15.05	3.6	0.216	0.873
		HS-4	—	—	—	—
	10(M)	HS-1,2 U	15.22	2.3	0.368	0.786
		HS-1,2 L	—	4.1	0.820	0.889
		HS-3	28.75	4.1	0.336	0.772
		HS-4	—	—	—	—
1989	4(E)	HS-1,2 U	6.94	3.9	0.019	0.870
		HS-1,2 L	—	3.3	0.017	0.980
		HS-3	3.57	2.6	0.041	0.912
		HS-4	—	—	—	—
	6(M)	HS-1,2 U	13.15	3.7	0.204	1.463
		HS-1,2 L	—	5.4	0.177	1.203
		HS-3	4.52	3.6	0.227	1.271
		HS-4	—	—	—	—

note) U : Upper layer, L : Lower layer

하고, 실측치와 모의발생치간의 비교에 의한 보정과정을 통해 매개변수의 결정이 필요하다.

Table-5. Pollution sources of each sub-watershed.

Item	Haenam stream	Samsan stream	Andong stream	Others	Total	
Area(km ²)	28.05	57.96	11.51	83.78	181.30	
Land use (km ²)	Upland	3.65	5.78	1.49	8.32	19.33
	Paddy	5.90	13.14	2.41	11.25	32.70
	Forest	15.23	33.15	6.23	27.93	82.54
	Others	3.27	5.80	1.38	36.28	46.73
Popul.(man)	16,228	7,801	6,640	14,277	44,946	
Cattle (head)	Cow	675	1,240	267	1,254	3,445
	Pig	235	142	96	532	1,005
Chic.	6,962	12,182	2,849	9,306	31,299	

Table-6. Unit effluent loadings of each source.

Item	Population (g/man/day)		Cattle (g/head/day)			Land use (kg/km ² /day)		
	Urban	Rural	Cow	Pig	Chic.	Pad.	Upland	Others
BOD	50.0	44.0	640	125	12.5	5.12	7.10	0.96
T-P	1.9	1.9	72	16	1.4	1.20	0.06	—
T-N	10.8	10.8	128	20	1.5	4.35	0.25	—

Table-7. Total effluent loadings into Haenam Estuary.

Sub-watershed	(unit : kg/day)		
	BOD	T-P	T-N
Haenam stream	1336	100	311
Samsan stream	1453	140	335
Andong stream	546	41	127
Others	1791	153	399
Total	5126	434	1172

1. Box 분할

Multiple Box 수질모형의 운용에 적합한 최소의 Box분할수는 Muraoka, Fukushima(1983)의 연구로부터 Fig. 8에 나타난 移流項과 分散項의 比(P_c)와 變化項과 移流項의 比(P_r)와 許容誤差率(e)와의 관계로부터 결정될 수 있고 분할위치는 단면적과 교환율의 값이 적은곳으로 체류시간이 가급적 균등하게 되도록 분할하는

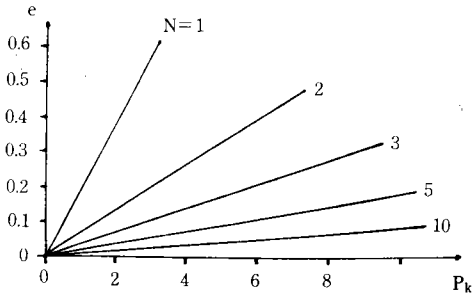


Fig. 8. Relationship between P_k , N , and e in case of $P_e=1.0$.

것이 이상적이다.

해남호의 1987~1988년의 연평균 P_e 수를 계산한 결과는 Table-8에 나타나 있고, P_k 수를 계산한 결과는 Table-9에 나타나 있다. $P_e=1.0$ 일 경우 계절, 기상상태등을 고려하여 $P_k=1.0$ 을 취하면 1 Box 일 경우 모형의 오차는 Fig. 8로부터 5% 이내임을 확인할 수 있어 해남호의 水平方向의 분할은 의미가 없음을 알수있다. 그러나

Table-8. Computation of P_e number during two years.

Year	Inflow (Q_{in}) ($10^6 m^3/year$)	Exchange flow (Q_e) ($10^6 m^3/year$)	Peclet No. P_e No.*
1987	165	0.5×365	0.90
1988	72	0.5×273	0.53
Mean	118.5	159.5	0.72

* P_e No. = Q_{in}/Q_e

Table-9. Computation of P_k number during two years.

Year	Inflow (Q_{in}) ($10^3 m^3/day$)	Reaction coefficient (K) (1/day)	BOX	
			Volume ($10^3 m^3$)	P_k No.*
1987	452	0.01	11,530	0.26
1988	264	0.01	11,530	0.44
Mean	358	0.01	11,530	0.35

* P_k No. = $(Volume \times K)/Q_{in}$

본 유역의 특성상 해남천유역은 도시지역의 특성을 지니고 있는데 반해 삼산천유역은 농촌지역 특성을 띄고있어 유역특성별 수질특징을 파악하기 위해 해남호의 Box분할수를 유입부의 2 Box와 하류부의 상·하층 Box, 총 4 Box로 분할하였고 Box별 분할위치는 Fig. 9에 나타내었다.

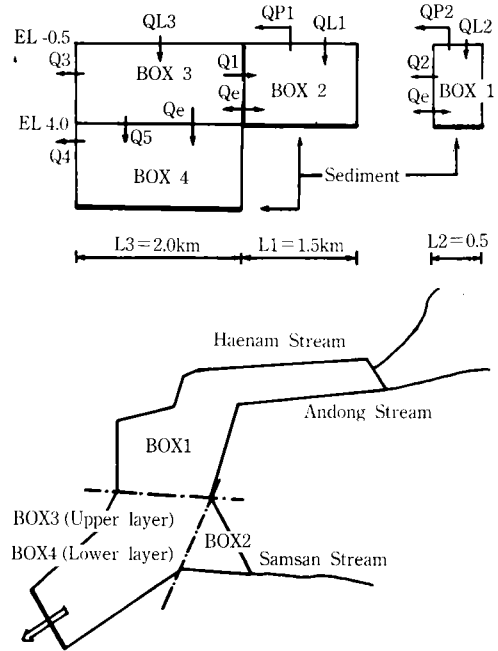


Fig. 9. Segmentation and mass transfer system of multiple box model.

2. 入力資料

모형적용을 위한 입력자료는 크게 기상자료, 수문자료, 수질자료로 구분된다.

氣象資料는 해남관측소 및 목포측후소의 자료를 이용하였으며 강수량, 일사량, 운량, 풍속, 상대습도 등은 순별평균치로 입력하였다.

水文資料는 호수위, 배수갑문 방류량, 양수량, 하천유입량 및 황유입량등이다. 수위자료는 배수갑문 운전기록자료를 기초로 산출하였으며 지천유입량은 USDAHL-74/SNUA 전산수문모형에 의해 모의 발생결과(Table-3)를 순별로 입

력하였다.

水質資料는 초기 수질농도와 유역의 流出負荷量등이다. 수질농도 초기값은 1987年 9월에 실측한 자료를 이용하였고 유출부하량은 발생 부하량에 계절별 유출율을 적용하였다. 또한 모형에 사용된 각 수질항목별 매개변수는 현장 실측값 또는 문헌을 통해 선정하고 보정과 검정을 통하여 그 값을 조정하였다.

3. 補正 및 檢定

모형의 보정 및 검정은 실측값과 모의발생값을 비교분석하여 각 매개변수들을 조정함으로써 실시하였다. 보정 및 검정에 이용된 수질자료는 초기값을 제외한 7회 측정자료이고, 자료수가 적은 관계로 보정과 검정을 구분하지 않고 행하였다. 비교항목은 Box별 chlorophyll-a, BOD, T-P, T-N으로 하였다. 한편 각 매개변수의 변화는 거의 모든 수질항목에 영향을 주기 때문에 매개변수에 대한 보정 및 검정은 꼭 필요하며 Eyefitting method를 사용하며 각 매개변수의 최종값을 확정하였다.¹⁴⁾

또한 실측값과 모의발생값을 비교하여 원점을 지나는 회귀식으로부터 Box별 각 수질항목의 상관계수를 산출한 결과는 Table-10에 나타나있다.

Table-10. Comparison between observed and simulated values in Haenam estuary reservoir and correlation coefficient (R).

Box	Chlorophyll-a	BOD	T-P	T-N
1	0.689	0.991	0.862	0.957
2	-	-	-	-
3	0.876	0.955	0.756	0.934
4	-	0.869	0.650	0.951

한편, Fig. 10, 11, 12, 13은 각각 chlorophyll-a, BOD, T-P, T-N에 대한 실측값과 모형에 의한 모의발생값을 도시한 것이다.

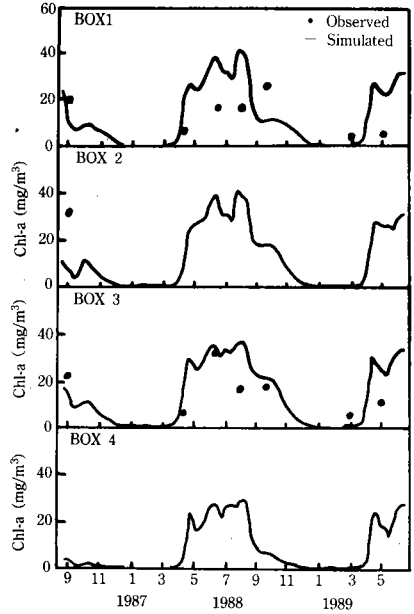


Fig. 10. Observed and simulated chlorophyll-a concentration of each box.

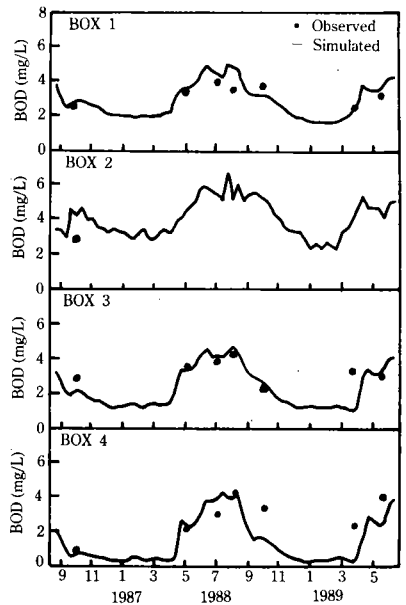


Fig. 11. Observed and simulated BOD concentration of each box.

Fig. 11. Observed and simulated BOD concentration of each box.

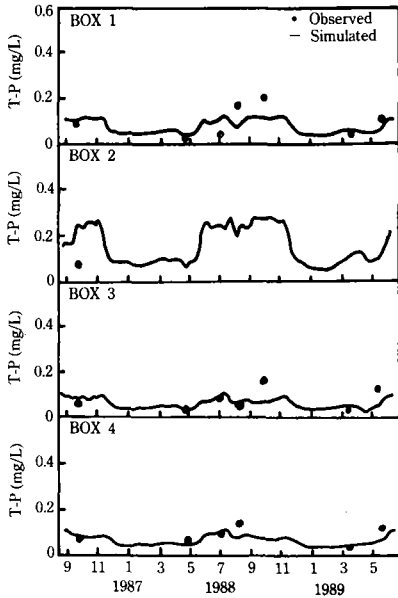


Fig. 12. Observed and simulated T-P concentration of each box.

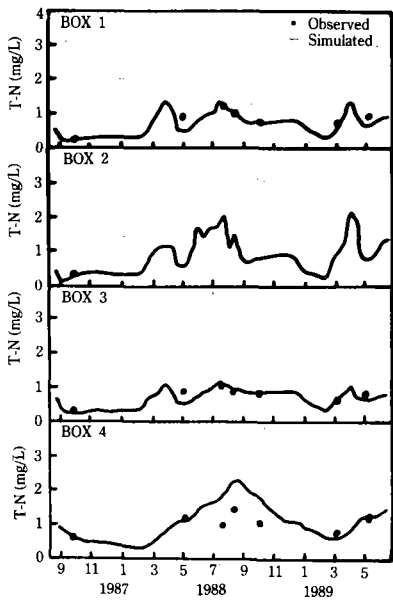


Fig. 13. Observed and simulated T-N concentration of each box.

보정 및 검증결과 chlorophyll-a, BOD, T-P, T-N에 대한 실측치 및 모의발생치간의 상관계수가 모두 0.6이상으로 모형의 수질예측능력을 입증할 수 있었다.

4. 模擬發生結果

본 연구에서 개발한 Multiple Box수질부모형을 이용하여 1987年 10月~1989年 5月까지 각 Box별 수질을 모의발생시킨 결과 전 수질항목이 봄철에 값이 높아지다가 여름철에 최고치를 나타내고 겨울철에 최저값을 나타내는 경향을 보이고 있는데 이것은 계절별 유출오염부하량의 특성에 기인된 것이라 판단된다.

1988년에 모의발생된 월별 평균수질을 보면 chlorophyll-a는 0.05~35.24 mg/m³(연평균 12.97 mg/m³)이며, BOD의 경우 1.6~4.7 mg/L(연평균 2.8 mg/L)이고, T-P는 0.046~0.135 mg/L(연평균 0.093 mg/L), T-N은 0.159~1.282 mg/L(연평균 0.784 mg/L)로서 계절변화폭이 큰 것으로 나타났다.

또한 Box별 특징을 보면 상층 Box인 Box 1, Box 2, Box 3은 그 주기적 경향이 지천의 유출부하 특성에 따라 비슷하게 나타나지만 하층인 Box 4는 지천유입량에 별영향을 받지 않을 것으로 나타났다.

한편, 해남호의 Box별 출력결과는 Fig. 14에 나타내었다.

V. 結 論

담수호 수질의 合理的 水質管理를 위해서 본 연구에서는 혼합이 활발한 얇은 호에 알맞은 Multiple Box수질모형을 개발하였다. 본 모형을 해남호에 적용시킨 결과 모형의 우수성을 입증할 수 있었으며 구체적으로 다음과 같이 요약할 수 있다.

1. 호수리현상 및 호내 물질전달체계를 해석하는 Multiple Box수질모형에 호내의 영양염

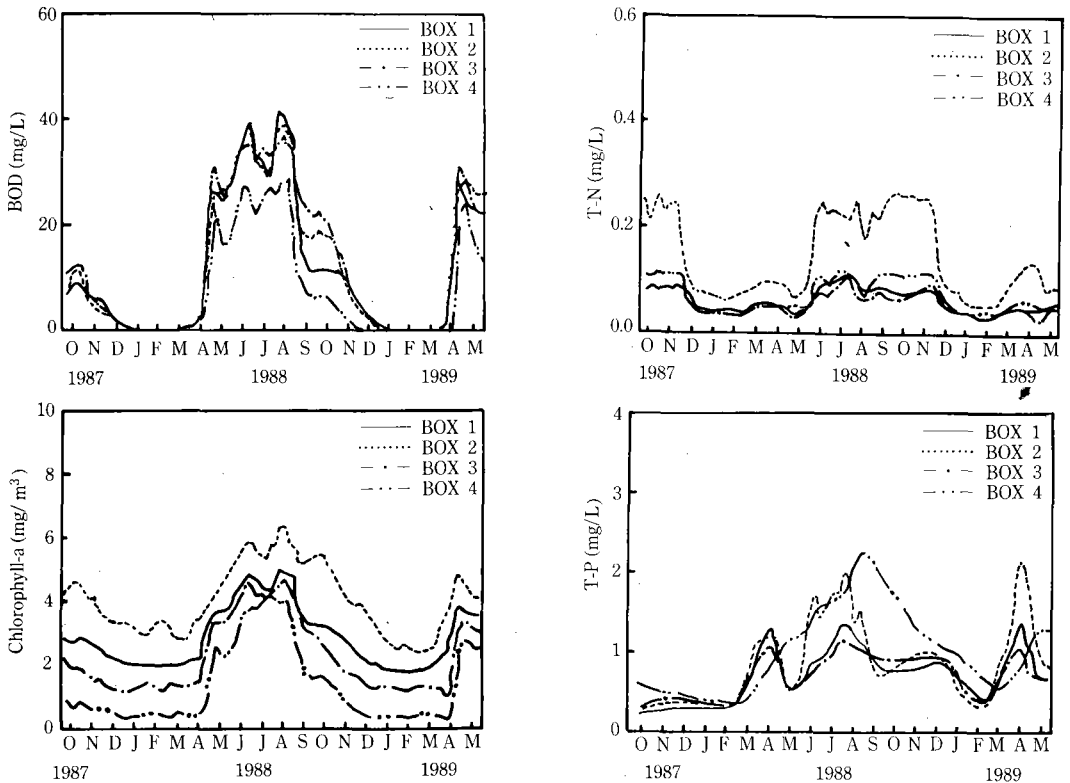


Fig. 14. Comparison of water quality of each box.

순환과정 및 유출오염부하량을 고려하여 chlorophyll-a, BOD, T-P, T-N등을 예측할 수 있는 수질副模型을 개발하여 海南湖의 旬別 平均水質을 예측할 수 있는 수질模型을 구성하였다.

2. 模型適用을 위한 人力資料로서 氣象資料는 海南관측소와 목포측후소에서 측정된 강수량, 일사량, 기온, 운량, 풍속, 상대습도등을 이용하였고, 水文資料는 海南호의 수위, 배수갑문 방류방, 양수량과 USDAHL-74/SNUA 전산수문모형에 의해 모의발생된 하천유입량 및 횡유량등을 이용했으며, 水質資料는 호 및 유입지천에서 측정된 수질농도와 유역오염부하량등을 이용하였다.

3. 모형의 補正 및 檢定결과 chlorophyll-a, BOD, T-P, T-N등 4개의 수질항목에 대한 原點回歸 相關係數가 모두 0.6이상으로 비교적 양

호하게 나타나 모형의 수질예측능력을 입증할 수 있었다.

4. 수질모형의 모의발생결과, 대체로 겨울에는 수질이 양호하고 여름에는 나빠지는 계절에 따른 주기적 경향이 있는 것으로 나타났고, 海南호의 수질등급은 농업용수 수질등급인 IV등급으로 나타났다.

參 考 文 獻

1. Chapra, S. C., 1977, Total phosphorus model for the Great Lakes, J. Env. Eng. Div., ASCE, Vol. 103, No. 2, pp. 147-161.
2. Dillon, P. J., 1975, The phosphours budget of Cameron Lake, Ontario, Limnol. Oceanogr. (20), pp. 28-39.

3. Imboden, D. M., 1974, Phosphorus model of lake eutrofication, *Limnol. Oceanogr.* (19), pp. 297-304.
4. Matine, S. C., et al, 1984, Dissolved oxygen model for a dynamic reservoir, *J. Env. Eng. Div. ASCE*, Vol. 2111, No. 5, pp. 647-664.
5. Rast, W., and G. F. Lee, 1983, Nutrient loading estuaries for lakes, *J. Env. Eng. Div. ASCE*, Vol. 109, pp. 502-517.
6. Shanahan, P. and D. R. E. Harleman, 1984, Transport in lakes water quality modeling, *J. Env. Eng. Div. ASCE*, Vol. 110, No. 1.
7. Goda, T., K. Muraoka, and T. Fukushima, 1984, Kasumigaura 湖의 富營養化現象의 模型化, 國立公害研究所.
8. Goda, T., et al., 1984, Kasumigaura の 營養鹽의 物質收支について, 國立公害研究所 研究報告(55), pp. 51-61.
9. Muraoka, K., and T. Fukushima, 1984, Box model 構築에 關する 水理學的 檢討, 國立公害研究所 研究報告(54), pp. 31-51.
10. Muraoka, K., and T. Fukushima, 1981, 陸水域의 富營養化에 關する 綜合研究(III): Lake current of Lake Kasumigaura, 國立公害研究所研究報告(19).
11. 國土開發研究院, 1983, 2000年을 向한 國家長期發展構想.
12. 權純國, 柳明辰, 1987, 淡水湖의 環境汚染 및 富營養化防止對策樹立 (I), 서울大 農大附屬 農業開發研究所.
13. 權純國, 柳明辰, 1988, 淡水湖의 環境汚染 및 富營養化防止對策樹立(II), 서울대 농대부속 농업개발연구소.
14. 權純國, 柳明辰, 1989, 淡水湖의 環境汚染 및 富營養化 防止對策樹立 (III) 서울대 농대 부속 농업개발연구소.
15. 金東君 外 3人, 1982, 湖沼水의 富營養化 現象에 關한 研究, 國立環境研究所報告(4), pp. 147-154.
16. 金善姬, 1983, 댐湖의 富營養化 水質豫測 및 管理 對策에 關한 研究(Vollenweider-OECD model을 中心으로), 서울大 環境大學院 碩士論文.
17. 農業振興公社, 1981-1986, 農業用水 水質汚染調查 報告書.
18. 東明技術公園, 1986, 海南邑 下水道 整備 基本計劃.
19. 이형진, 1987, 大清湖의 Simple phosphours budget model에 關한 研究, 서울大學校 保健大學院 碩士論文.
20. 林鐘完, 1989, 淡水湖 Multiple Box 水質模型의 開發과 適用, 서울大 農工學科 博士論文.
21. 林鐘完, 權純國, 1989, 淡水湖 Multiple Box 水質模型의 開發과 應用, 韓國農工學會誌, 31 (4).
22. 鄭泰明, 1988, WQRRS 模型을 利用한 將來 水質 管理方案에 關한 研究, 서울시立大 環境工學科 碩士論文.
23. 環境廳, 1985, 邑面 糞尿污水處理施設 設置 事業 妥當性 調查報告書(海南郡).
24. 環境廳, 1986, 西南海圈 環境保全 綜合計劃 事業 水質保全部分 報告書.