

GIS 기반의 유역물수지 분석모형 개발

황의호^{1*} · 김계현² · 박진혁¹ · 이근상¹

Development of a GIS-Based Basin Water Balance Analysis Model

Eui-Ho HWANG^{1*} · Kye-Hyun KIM²
Jin-Hyeog PARK¹ · Geun-Sang LEE¹

요 약

기존 새만금유역의 물수지분석은 유역전체를 단일유역으로 단순화하여 가지야마식으로 산출한 유출량을 기초로 행해졌으나, 새만금유역은 용수공급체계가 복잡 다양하고 향후 임의의 지점에서 물수지요소가 변경될 때 탄력적으로 적용하기에 어려움이 있다. 본 연구에서는 새만금유역에 적합한 물수지분석모형 적용을 위하여 수개의 물수지 단위소유역으로 구분하고 각각의 소유역별 수자원의 개발과 이용에 대해 물수지를 상세분석할 수 있는 GIS 기반의 유역물수지모형을 개발하였다. 유역의 물수지 상세 분석을 위하여 UML 다이어그램을 이용한 물수지모형의 추상 및 개념 설계, 용수공급체계 반영을 위한 하천망 구성, GIS 기반의 전처리 및 후처리 모듈 개발, 모형 보정 및 검증 등을 포함하는 연구를 수행하였다. 이러한 물수지분석모형은 수자원의 유출과정 해석을 통해 유역내 효율적인 수자원관리 방안을 수립할 수 있도록 지원이 가능하며, 사용자로 하여금 유역의 체계적인 수자원관리에 있어 수작업을 최소화하고 다원화된 모델 분석체계를 지원함으로써 보다 편리하고, 합리적인 수자원관리방안 수립에 지원이 가능할 것으로 사료된다.

주요어 : 유역물수지, GIS, UML, Penman, 유출량

ABSTRACT

Existing Semangeum's water balance analysis simplifies whole basin to single basin and achieved volume of effluence that produce by Kajiyama way to foundation. But Semangeum is complicated and various rice-wine strainer supply system. And there is difficulty to apply as elastic when water balance element is changed at free point. Divided to unit possession station for suitable water balance analysis

2004년 10월 22일 접수 Recievd on October 22, 2004 / 2004년 11월 28일 심사완료 Accepted on November 28, 2004

¹ 한국수자원공사 수자원연구원 Water Resources Corporation, Korea Institute of Water and Environment

² 인하대학교 지리정보공학과 Department of Geoinformatic Engineering, Inha University

* 연락처 E-mail : ehhwang@kowaco.or.kr

model application to Semangeum in this study. And developed basin water balance model of GIS base that can do details analysis is bite about development and transfer of an appropriation in the budget of basin water resources. Achieved study including abstraction and concept design that use UML (unified modeling language) diagram for details analysis, stream network composition for rice-wine strainer supply system application, preprocessing of GIS base and postprocessing module development, model revision and verification etc. Support of this water balance analysis model is available to establish efficient water resources administration plan through outward flow process analysis of water resources. And support is considered to be possible in more convenient and, reasonable water resources administration way establishment by minimizing manual processing in systematic water resources government official to user and support diversified analysis system.

KEYWORDS : *Water Balance, GIS, UML, Penman, Outflow*

서 론

담수호 주변은 인문·자연 환경의 급격한 변화와 인간활동의 증가 그리고 유역으로부터 유입되는 영양염류로 인하여 담수호의 부영양화가 갈수록 심화되고 있다. 호소의 부영양화의 위기를 극복하기 위하여 가장 중요한 것은 수체로 유입되는 오염물질을 근본적으로 제거하는데 있지만 실제로 오염원의 완벽한 차단은 불가능하다. 따라서 유역내 오염물질의 유출과정을 해석함으로써 오염량을 감소시키는 것이 중요하다. 유역에서 발생하는 오염물질은 강우 및 식생변화 등의 유역관련 특성인자에 따라 크게 변화한다. 따라서 유역의 특수한 상황이나 강우유출과정을 서로 연계하여 유역내 오염물질을 해석하는 모델이 필요하다. 유역 물수지분석 모형은 이러한 물의 순환과정을 예측하고 수자원 이용 및 수질관리를 도모하기 위한 모델이다.

1988년 수립한 새만금 기본계획에서 새만금 담수호의 물수지분석은 유역전체를 단일 유역으로 단순화하여 가지야마식으로 산출한 유출량을 기초로 하고 있다. 그러나 새만금유역은 농업용수의 경우 농조별로 각각의 다른 저수지에 의해 공급체계를 가질 뿐만 아니라 하천의 하류부에서는 제수문을 설치하여 양수장을 운영하는 등 용수공급체계를 서로 달리하고 있고, 생활용수

의 경우 유역외 금강 및 섬진강 광역상수도를 통하여 공급받는 등 매우 복잡한 체계를 가지고 있다(농업기반공사, 1999). 또한 새만금지구는 금강, 만경강, 동진강, 부창지구 등 여러 개의 기존 또는 계획사업지구와 수자원이용측면에서 지리적인 불가분의 관계를 가지고 있기 때문에 물수지분석이 기본계획시와 같이 단일유역 개념의 특정수계별로 이루어질 경우 광역적 측면에서 종합적인 계획이 불가능하며 향후 임의의 지점에서 물수지요소가 변경될 때 탄력적으로 적용하는데 어려움이 있다.

본 연구에서는 새만금유역 특성에 적합하고 물수지요소 변경에 따른 탄력적인 적용을 위하여 GIS 기반의 물수지분석 모형을 개발하였다. 이를 위하여 GIS 기반의 단위 소유역별 물수지 상세분석에 필요한 유역특성자료, 기상자료, 도수유입량자료 등의 입력 데이터베이스를 구축하였으며, 유역간의 관계를 정의하기 위하여 유역망을 구축하였다. 또한 모형의 편리한 개발환경 구축을 위하여 UML을 이용한 객체지향시스템을 설계하였고, 모형의 보정 및 검증용을 위하여 실측유출량과 모형에 의한 계산치간의 비교를 통해 적용성을 검토하였다.

연구대상지

본 연구대상지는 새만금유역으로 전라북도의

김제, 군산, 부안 등 5개 시와 3개 군을 포함한 다. 새만금 유역은 총 3,300km²의 면적을 가지고 있으며 크게 만경강권역, 동진강권역, 서해권역, 계화도, 새만금호의 5개 유역으로 나누어지며, 세부적으로는 20개의 소유역과 153개의 세부유역으로 구성되어 있다. 주요 하천으로는 만경강과 동진강 등이 있다(농업기반공사 2002).

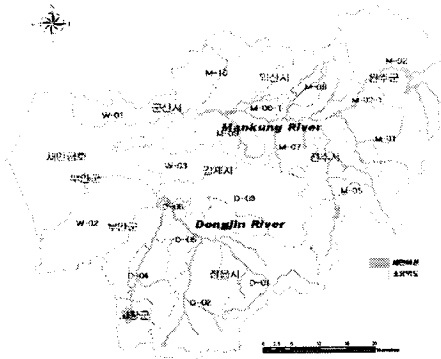


FIGURE 1. Study area

물수지분석모형의 개발

1. 물수지분석모형 구성

유역 물수지는 하천의 임의 지점에서 하천 유출의 시간적, 공간적 해석을 위하여 대상하천 유역을 여러 개의 소유역으로 구분하고, 각 소유역의 유입량과 유출량을 산출하여 전체유역에 걸쳐 순차적으로 물수지를 분석하는 것을 의미한다. 본 연구에서는 식(1)과 같은 물수지분석 모형의 기본식을 이용하여 유역내 물수지를 상세 분석하였다.

$$Q_i = Q_{i-1} + L_i - D_i + R_i - \Delta S_i \quad (1)$$

Q_i : i 유역에서 하류유역으로의 유출량, Q_{i-1} : 상류유역($i-1$)으로부터의 유입량, L_i : 유역내의 횡유입량, D_i : 유역내에서의 취수량, R_i : 취수량으로부터의 회귀수, ΔS_i : 유역내에서의 저류량의

변화이다.

하천 임의 지점에서의 물수지 요소는 유입, 유출 및 저류 요소로 크게 구분된다. 어떤 하천 유역에서 유역물수지를 수행하기 위해서는 이들 각각의 요소를 정확히 추정할 수 있어야 한다. 따라서 유역물수지 모형은 하천의 임의 지점에서 유입, 유출량을 추정할 수 있는 수문모형과 이 결과를 물수지(water balance)하여 저류량의 변화를 추정할 수 있는 수리모형 및 전체유역에 걸쳐서 물수지를 순차적으로 수행할 수 있는 하천네트워크 모형 등으로 구성된다. 유입성분의 산정은 상류유역으로부터의 유입량, 자체유역으로부터의 횡유입량, 각종 용수의 회귀수량으로 구성하여 산정하였으며, 유출성분 산정은 공급요소를 농업용수, 생활용수, 공업용수, 축산용수, 환경용수 등으로 구분하여 산정하였다. 농업용수는 작물의 생산을 목적으로 경지에 인공적으로 물을 공급하는 관개용수를 말하며, 필요한 시기와 필요수량을 정확히 산정하는 것은 용수개발 및 관리계획 수립에 중요한 사항이다. 논의 필요수량은 비의 증발산량과 삼투량, 유효수량의 관계를 이용하여 산정하며 식(2)와 같이 관계를 나타낼 수 있다.

$$REQP_{(t)} = ET_{\mu(t)} \times K_c + I - R_{e(t)} \quad (2)$$

여기서, $ET_{\mu(t)}$ 는 t 일의 잠재증발산량(mm), K_c 는 논비의 작물계수, I 는 삼투량(mm/일) 그리고 $R_{e(t)}$ 는 유효우량(mm)을 나타낸다. 증발산량의 산정방법은 Blanye-Criddle, Penman, Mak kink, Jensen-Haise, Hargreaves, Christiansen 그리고 Pan 증발계법 등 많은 방법들이 제시되어 사용되고 있다. 그러나 위 방법에 의해 산정된 증발산량과 실측된 증발산량과의 비를 가지고 산정되는 작물계수 값에 대한 변이도를 분석한 결과 Penman 방법이 비교적 다른 식들에 비해 변이도가 적게 나타나는 것으로 보고된바 있다(서울대, 1986). 따라서, 본 연구에서는 농업

용수 필요수량 산정을 위한 증발산량 산정 모형으로 Penman식을 적용하였다.

$$ET_{\mu(t)} = W \times R_n + (1 - W) \times F(u) \times (E_a - E_d) \text{ (mm/day)} \quad (3)$$

여기서, $ET_{\mu(t)}$ 는 t일의 잠재증발산량(mm), W 는 기온과 관련한 가중계수, R_n 는 순일사량(mm/일), $F(u)$ 는 풍속과 관련된 함수, E_a 는 포화 증기압 그리고 E_d 는 실제평균증기압이다. 삼투량은 토양의 특성과 포장조건 등에 따라 좌우되며, 눈은 장기간의 담수심을 유지하기 때문에 지하수의 영향을 받게 되므로 시기적으로 변화하는 경향을 나타낸다. 따라서 기존의 실측된 자료를 이용하여 소유역별로 적용토록 하였다.

생활용수는 계절적으로 수요 시간대별로 급수량이 변화되거나 시간대별 급수량의 변동은 급수조에서 조정되는 것으로 간주하여 일단위 1인당 소비수량에 따라 식 4를 이용하여 물수지모형에는 일단위로 입력되도록 구성하였다.

$$REQR = N_p \times (ARQR/1,000) \quad (4)$$

여기서, $REQR$ 는 생활용수 필요수량(m^3 /일), $ARQR$ 는 1인당 평균급수량(l /인·일), N_p 는 급수대상인구수(인)을 나타내며, 인구 1인당 1일 평균급수량은 표 1과 같다.

공업용수는 제품생산과 그 부대시설의 운영을 위하여 필요로 하는 용수로서 필요수량 계산은 제품중량, 종업원수 또는 공장부지 면적에 의한 원단위 추정법이 있다. 본 연구에서는 산업활동 변화의 불확실성을 고려하여 업종별 공장부지 면적에 의한 원단위 추정법을 적용하였다.

$$REQI_j = A_j \times ARQI_j \quad (5)$$

TABLE 1. Average water supply quantity per population scale 1 person 1 day of city waterworks

Year Population (unit: ten thousand)	1991	1996	2001	2006	2011
More than 1 Million	416	466	515	528	538
40 ~ 1 Million	309	353	397	432	452
5 ~ 40	282	316	354	384	403
2 ~ 5	244	260	293	321	340
Less than 2	215	240	269	295	314
Average	350	400	440	467	481

여기서, $REQI_j$ 는 공업용수 필요수량(m^3 /일), A_j 는 업종별 공장부지면적($1000m^2$), $ARQI_j$ 는 업종별 원단위 1일 필요수량($m^3/1000m^2$ /일) 그리고 j 는 업종별 첨자를 나타낸다. 축산용수는 가축의 종류와 두수, 축산시설 및 경영방법 등에 따라 달라진다. 본 물수지모형에서는 가축의 종류별 일별 기준 수량에 사육두수를 곱하여 결정된 값을 입력하도록 하였다.

$$REQL = N \times (ARQ/1,000) \quad (6)$$

여기서, $REQL$ 는 가축별 필요수량(m^3 /일), ARQ 는 두당 소비수량(l /일/두수)이며 N 은 가축수이다.

저류량 산정은 댐 및 저수지 등에서의 저류량, 보에서의 저류량, 하도에서의 저류량 등으로 구분하였으나 보 및 하도에서 저류량은 일별 변화가 크지 않으므로 무시할 수 있다. 따라서 하천 구간의 저류량은 저수지 등의 저류량 변화를 고려하도록 하였으며, 보나 하도에서의 저류량이 클 경우에는 저수지로 가정하여 처리할 수 있도록 하였다.

$$\Delta S_t = Qin_t + R_t - OVF_t - DV_t - LSS_t \quad (7)$$

여기서, ΔS 은 저류량의 변화량, Q_{in} 는 저수지 유입량, R 은 저수지 수면적의 강우량, OVF 는 저수지의 여수토나 수문으로부터 방류량, DV 는 취수량 또는 통관 방류량 그리고 LSS 는 기타 손실량으로서 수면증발량 및 침투량이 여기에 해당된다.

2. 하천네트워크 모형

일반적으로 하천 임의 지점에 대한 물수지 요소의 형태는 그림 2에서 보는 바와 같이 4가지로 구분할 수 있다. 첫째, 저수지가 없는 하천의 상류지점으로서 물수지요소는 강우에 의한 자체유역의 유출량과 각종 용수의 공급량 또는 회귀량, 도수유입량과 유출량 및 기타 손실량 등의 유입, 유출량 등으로 구성된다. 두 번째는

저수지가 있는 하천의 상류지점으로서 물수지 요소는 첫 번째의 경우에서 저수지의 증발량, 발전방류량, 침투량 등이 추가된다. 세 번째는 저수지가 없는 하천의 중류지점으로서 물수지 요소는 첫 번째의 경우와 같으며, 여기에 상류지점으로부터의 유입량이 추가된다. 네 번째는 저수지가 있는 중류지점으로서 물수지 요소는 두 번째 경우와 세 번째의 경우를 합성한 형태이다(농업기반공사, 1997).

이러한 형태의 물수지 요소를 가지는 하천의 임의의 지점을 CP(control point)라 하며, CP를 전체유역에 대해 유출순서에 따라 연결하여 물수지를 수행토록 하는 하천네트워크 모형을 GIS DB를 이용하여 구축하였다. 하천네트워크 모형을 기반으로 물수지분석을 수행하기 위해 새만

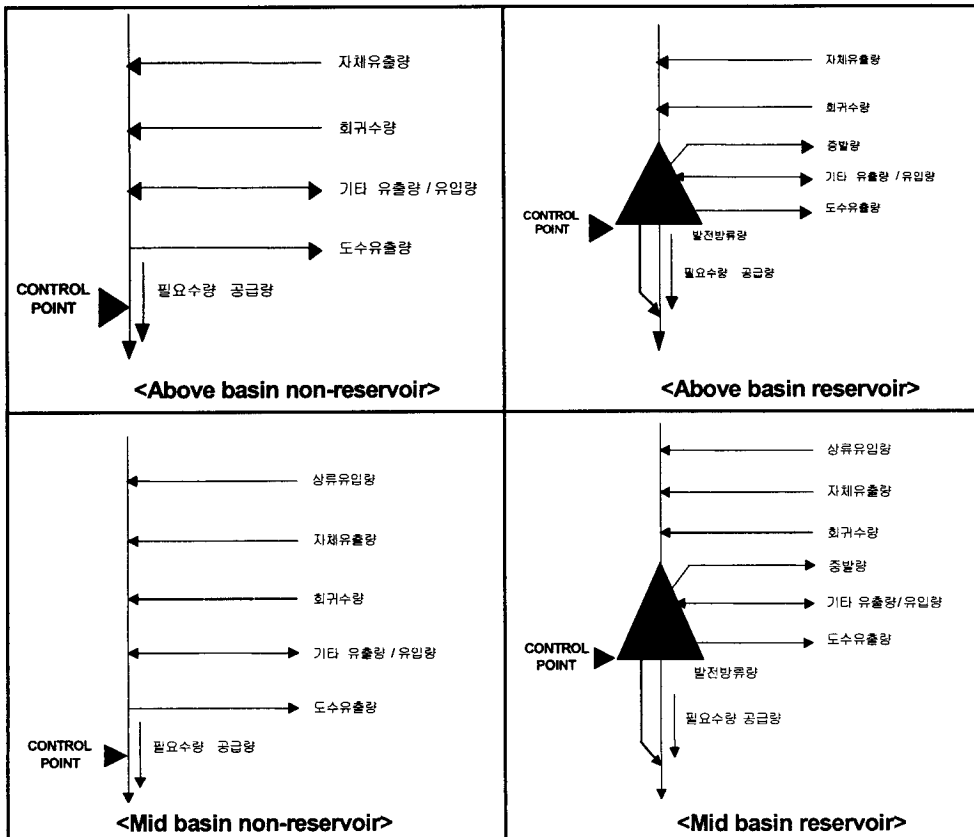


FIGURE 2. Water balance pattern

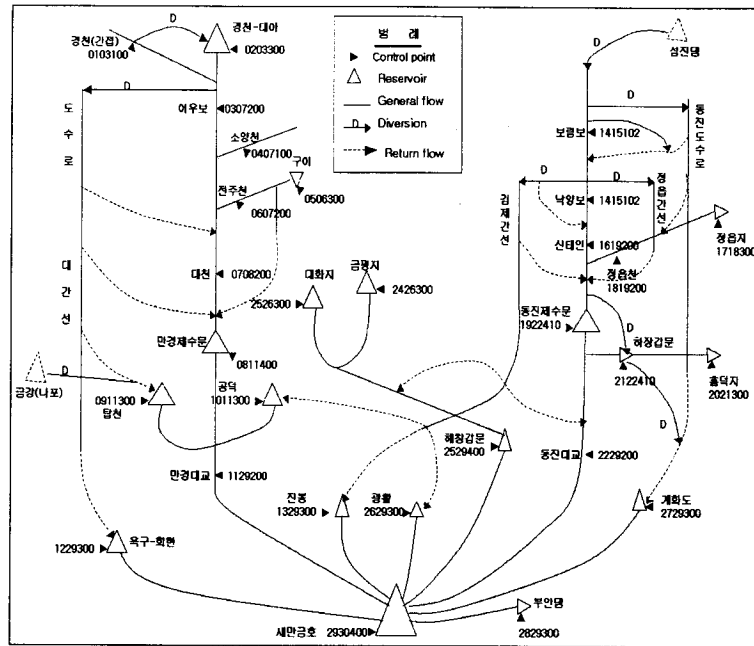


FIGURE 3. Saemankeum watershed network

금유역을 20개의 소유역으로 구분하였으며, 유역의 연결성을 기초로 새만금 유역의 하천망을 구성하여 모형에 적용하였다.

3. 물수지분석모형 설계

물수지분석모형의 효율적인 운영 및 유지·관리체계 지원을 위하여 UML을 이용한 객체지향 모델링을 설계하였다. 모형 설계는 추상설계와 구현설계로 나누어 체계적인 모델링 구현 과정을 정립하였다. 추상설계에서는 유역물수지 분석 기능을 정의하고 수문 데이터 및 처리흐름을 구성하는 개념적인 설계를 UML 다이어그램을 이용하여 설계하였다. 물수지모형 설계시 UML에서 사용되는 다이어그램은 Use Case 다이어그램, Interaction 다이어그램, Class 다이어그램, Activity 다이어그램 등이 있다(이우용, 2002). 모델 설계를 위하여 Use Case 다이어그램을 이용한 Use Case와 행위자의 관계를 도시하고, Interaction 다이어그램 중 Sequence 다이어그램을 이용하여 시간 흐름에 따른 모델링 과

정을 정의하였다. 또한 Class 다이어그램을 이용하여 클래스와 인터페이스, 데이터베이스 등의 개체와 그 개체들간의 관계를 명시하고, Activity 다이어그램을 이용하여 객체간의 통과하는 오퍼레이션을 정의하여 설계하였다.

유역물수지 분석 Use Case는 유역관리자가 실시간으로 유역별 유입량, 관개필요수량 그리고 유출량 분석을 원할 때 수행되는 업무이다. 유역물수지 분석은 각 유역별 유역특성, 기상, 도수유입량, 도수유입량분배율 등을 입력함으로써 각 유역의 용수체계 특성을 고려한 관개필요수량 및 유출량을 산정하게 된다. 이들 각각의 분석 과정을 Use Case로 규정하여 설계하였으며, 세부적으로는 유입량, 관개필요수량, 유출량 산정 Use Case로 나누어 그림 4와 같이 설계하였다. Interaction 다이어그램은 시스템의 동적인 측면을 모델링하기 위해 사용되는 UML 다이어그램 중 하나이며, 객체들과 그들간의 관계로 구성된 교류를 보여주고, 또한 전달되는 메시지를 보여준다. 본 연구에서는 Interaction 다

이어그램의 하나인 Sequence 다이어그램을 이용하여 유역물수지 분석을 수행하기 위한 객체를 모델입력자료 설정 객체, 유입량 산정 객체, 관계필요수량 산정 객체, 유역물수지 분석 객체로 규정하였으며, 그림 5와 같이 유역물수지 분석의 시간 순서에 따라 객체간의 메시지 교환이 수행됨을 볼 수 있다. Class 다이어그램은 클래스와 인터페이스, 데이터베이스 등의 객체와 그 객체들의 관계를 나타내는 그림이다. Class 다이어그램의 객체는 그림 6과 같이 입력자료 설정, 유역면적 산정, 유입량 산정, 관계필요수량 산정, 유출량 산정 그리고 모델링 결과 출력이 있다. 유역물수지 분석을 위해서는 모델링을 위한 입력자료를 설정하여야 한다. 또한 유역면적 산정 객체는 유역물수지 분석에 필요한 요소로 유입량 및 유출량 산정에 필요한 객체이다. 유출량 산정 객체는 초기 모델 입력자료의 설정 값과 유역면적 산정 결과를 이용하여 유역별 유입량을 산정하고, 산정된 유입량을 이용하여 유역별 하천망 구성에 따른 관계필요수량을 산정을 통해 최종적으로 유역별 유출량을 산정 후 모델링 결과를 테이블 및 파일 형태로 출력하게 된다. Interaction 다이어그램이 메시지를 전달하는 객체들을 나타내는 것이라면, Activity 다이어그램은 객체간에 전달되는 오퍼레이션을 나타내는 것이다. 즉 유역물수지 분석을 시작해서 종료할 때까지 수행하는 오퍼레이션들과 그 흐름을 Activity 다이어그램을 이용하여 그림 7과 같이 설계하였다.

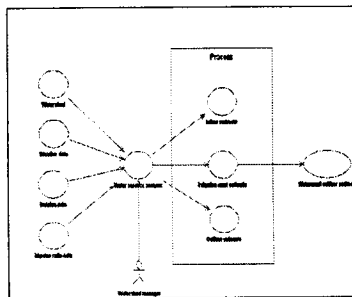


FIGURE 4. Use Case diagram

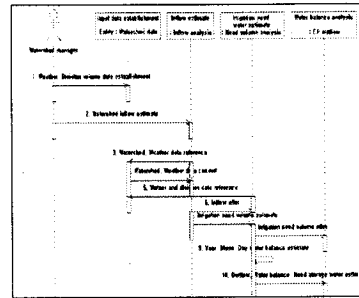


FIGURE 5. Sequence diagram

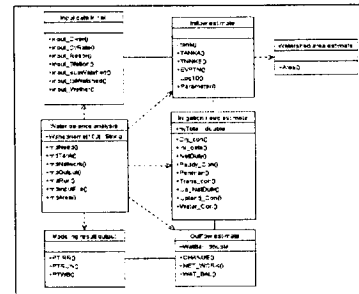


FIGURE 6. Class diagram

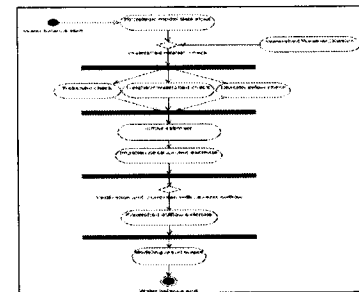


FIGURE 7. Activity diagram

물수지모형 구현을 위하여 추상설계 내용을 보다 상세하게 설계할 필요가 있으며, 물수지모형의 구현설계는 Class 다이어그램, Sequence 다이어그램 등을 보다 구체화하여 클래스 명세서 표 2와 같이 도출하였다. 클래스들은 크게 입력자료를 읽기 위한 클래스, 유입량 산정을

위한 클래스, 관계필요수량 산정을 위한 클래스, 유역물수지 산정을 위한 클래스로 구분되어 있다. 그리고, 유역물수지분석에 필요한 입력자료인 전체유역자료, 소유역자료, 기상자료, 도수유입량자료, 도수유입량분배 및 실측유출량자료 등에 대하여 데이터베이스를 표 3과 같이 설계 구축하였다.

4. 물수지모형 구현

유역물수지를 위한 입력설계는 크게 전체유역, 소유역, 기상, 도수유입량, 도수유입량 분배 및 실측유출량 자료로 구분되어진다. 전체유역

자료는 각 소유역에 대해 공통적으로 적용되는 시뮬레이션의 제어, 출력제어 등의 항목으로 구성된다. 소유역자료는 소유역의 유역특성을 규명하는 자료이며, 기상자료는 소유역의 유입, 유출량 계산을 위해 필요로 하는 자료로 구성된다. 도수유입량 자료는 타 유역으로부터 도수되는 각 소유역별로 유입량을 입력하기 위한 것이며, 도수유입량 분배를 자료는 분배할 소유역의 수, 유입되는 소유역번호 그리고 유입되는 소유역명 등으로 구성된다. 이러한 입력자료를 이용하여 물수지모형을 구현하게되며 유역물수지모형 흐름은 그림 8과 같이 크게 유입량 산정, 관계필요

TABLE 2. Class detail description

No.	Class name	Detail description	No.	Class name	Detail description
1	mdArea	Watershed area estimate	5	mdTank	Inflow estimate
2	mdInputFile	Input data loading	6	mdNeed	Need water estimate
3	mdReadDBGrid	Table management	7	mdNetwork	Water balance estimate
4	mdRun	Model execution management	8	mdOutput	Result output

TABLE 3. Watershed database design

Field name	Data type	Cipher	Contents	Field name	Data type	Cipher	Contents
PRO_NAME	String	10	Project name	JACK_DAY	String	10	Planting period
LOCATE	String	10	Locate	JACK_CO1	Double	15,1	Crops coefficient(early)
PERIOD	String	12	Period	ACK_CO2	Double	15,1	Crops coefficient(middle)
SEG_WATER	Integer	3	Control point number	JACK_CO3	Double	15,1	Crops coefficient(last)
OBSERV	Integer	3	Station number	DAY_SIMU	Integer	2	Daily inflow simulation
INPUT_NUM	Integer	3	Division data number	RESULT_OUT	Integer	2	Inflow result output
VAPOR_NUM	Double	15,1	Evaporation coefficient	INPUT_UNIT	Integer	2	Daily inflow unit
YOUNGSU	Double	15,1	Water capacity volume	NEED_SIMU	Integer	2	Need water simulation
MAX_DEEP	Double	15,1	Maximum depth of water	NEED_OUPUT	Integer	2	Irrigation water output
MIN_DEEP	Double	15,1	Minimum depth of water	DAYWAT_SIM	Integer	2	Daily water balance simulation
MIN_BANG	Double	15,1	Minimum release	DAYWAT_OUT	Integer	2	Daily water balance output
VAPOR_CO	Double	15,1	Pan evaporation coefficient	OUTPUT_STA	Integer	5	Result output start year
MONVAPOR_C	Double	15,1	Monthly evaporation coefficient	OUTPUT_END	Integer	5	Result output end year

수량 산정, 유역물수지 산정 단계로 구성된다.

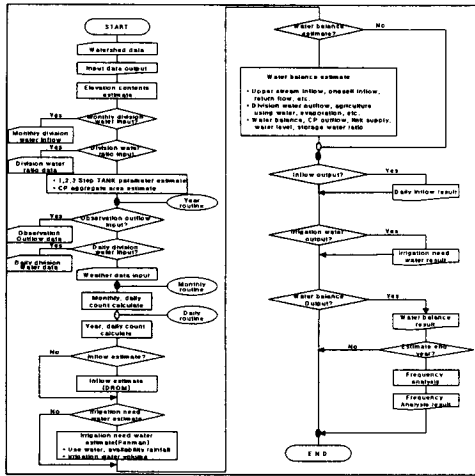


FIGURE 8. Water balance analysis modeling detail process

유역물수지모형의 모델링단계는 크게 전처리 단계, 모델실행단계, 후처리단계로 구분된다. 먼저, 전처리 단계에서는 유역물수지 모의에 필요한 입·출력 파일의 생성 과정을 GIS를 이용하여 자동화하였다. 모델 입력자료는 자료그룹별 관리되며, 입력자료의 생성과 편집은 사용자 편의를 고려하여 모델실행에 필요한 요소를 보다 편리하게 가공할 수 있도록 시스템을 그림 9와 같이 설계하였다.

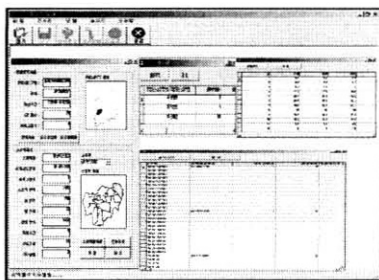


FIGURE 9. Input data editing module

모델실행 단계에서는 입력된 모델링 제어 요

소에 의해 각 소유역별 일별 또는 연별 유역물수지를 DIROM 및 Penman식에 의해 산정하고 물수지 결과를 파일 형태로 출력하게 된다. 모델링 실행 후 결과파일은 TANK.TXT, IRREQ.TXT, WBAL.TXT 파일로 구성된다. TANK.TXT 파일은 TANK 모형에 의해 계산된 일별 유입량 결과가 기록되며, IRREQ.TXT 파일은 Penman식에 의해 계산된 일별 관개필요수량 결과가 기록된다. 그리고 WBAL.TXT 파일에는 유역물수지에 대한 일별 결과가 출력된다. 마지막 후처리 단계에서는 이러한 결과파일을 보다 편리하게 분석 활용할 수 있도록 GUI 기반의 분석 시스템을 개발하였다. 유역물수지 결과를 소유역별로 직관적으로 확인할 수 있도록 GIS와 통합하여 그래프, 텍스트파일, 테이블 형태를 지원하여 다각적인 모델링 결과 자료 활용이 가능하도록 그림 10과 같이 구축하였다.

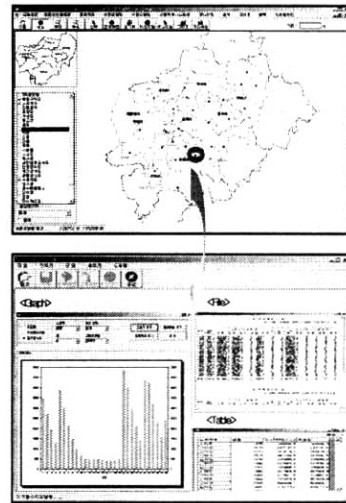


FIGURE 10. Identifying model results using GIS

출력설계는 크게 소유역별 유입량과 유출량 및 물수지 결과를 출력한다. 이는 소유역별, 일별, 월별, 연도별로 출력하며, 유역물수지 분석 결과에 대한 출력설계는 표 4와 같다.

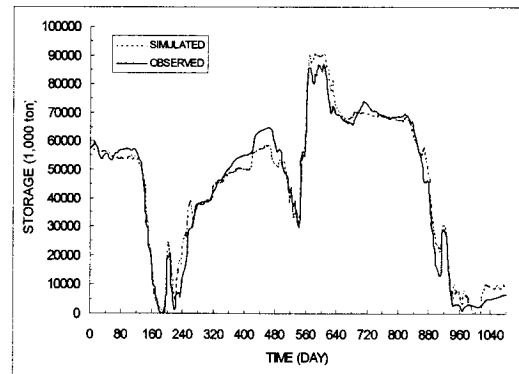
TABLE 4. Hydrologic model output data

Section	Detail contents
Irrigation need water (Penman)	<ul style="list-style-type: none"> ○ Total watershed input data ○ Watershed input data, output year, unit ○ Use water, rainfall, availability rainfall, water capacity and irrigation water volume
Daily water balance	<ul style="list-style-type: none"> ○ Total watershed input data, watershed input data ○ Monthly average division water data, monthly division water ratio ○ Output year, unit <Description> ○ Rainfall, inflow, supply, balance, overflow, need storage water, water depth, storage water ratio <Total output items> ○ Rainfall, upper stream inflow, oneself inflow, division water inflow, return flow, etc. ○ Supply : division water outflow, agriculture using water, evaporation, etc. ○ Water balance, CP outflow, link supply volume ○ Need storage water, water depth, storage water ratio, storage water volume <Frequency analysis> ○ Watershed name, observation station ○ Need storage water, need storage water depth and 10% sediment depth : gumbel, gumbel chow, normal distribution
Daily outflow (DIROM)	<ul style="list-style-type: none"> ○ Project name, location ○ Watershed number, Watershed name, observation station ○ Watershed area, paddy ratio, upland ratio, forest ratio, delay time ○ 1, 2, 3 Step TANK parameter ○ Output year, unit ○ Daily, orderly, monthly outflow ○ CP area, year aggregate rainfall and outflow

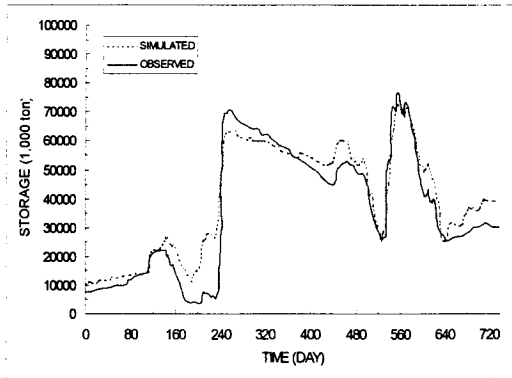
5. 모형의 보정 및 검증

모형의 검보정을 위하여 경천-대아 저수지, 대천수위표, 만경계수문, 동진계수문에서 실측된 자료를 이용하여 모형의 계산결과치와 비교하였고, 실측자료는 관측지점별 1992~1996년까지의 자료를 활용하였다. 그림 10(a)는 1992~1994년까지의 경천-대아 저수지의 계산치와 실측저수량을 상호 비교한 것이며, 이러한 비교 결과를 통해 매개변수를 산정하였다. 이와 같이 얻어진 모형의 매개변수를 사용하여 1995~1996년까지의 분석 결과값에 적용한 결과 그림 10(b)와 같이 계산결과치와 실측치가 유사한 분포특성을 보임을 알 수 있었다. 또한 모형을 1992~1994 자료로 보정한 RMSE값은 4,155천m³/일이고 검증시(1995~1996)는 7,173천m³/일로서, 그 차이는 비교적 적으며 이를 볼 때 모형의 적용성은

높다고 판단된다.



a. 1992~1994



b. 1995~1996

FIGURE 10. Model calibration in Kyungchun-Daea(1992~1996)

대천수위표의 경우 실측치와 모델 계산치를 비교하면 풍수해인 1993년에는 비율이 0.89로 계산치가 낮고 가뭄해인 1994년, 1995년에는 1.48, 1.12로 계산치가 반대로 높게 나타났다. 그러나 94년을 제외하고는 양측의 오차폭이 적었으며, 92~96년까지의 전체기간의 유출량비는 1.03으로 나타났다. 동진제수문의 경우 1996년의 연간 유출량에 대해 실측치와 계산치 간의 비를 계산하면 약 0.90으로 나타났으며, 이것은 상호 편차가 0.10으로 매우 적은 편차를 나타냈다고 볼 수 있어 모형의 적용성은 비교적 양호한 것으로 판단된다.

결 론

기존의 유역관리를 위한 GIS 기반의 유역물수지분석모형은 국내의 경우 최근들어 GIS를 이용하여 수문모델의 연계가 시도되고 있으며, 1999년 농업기반공사의 수질정보종합관리시스템에서는 가지야마 유출공식을 이용한 수문모형이 개발되었으나 단일 유역별 유역특성자료, 강우량 자료 등을 경험식에 입력하여 유역물수지 분석을 수행함으로써 유역내의 복잡한 용수공급 체계 반영이 미흡하고, 향후 임의 지점의 물수

지 요소 변경에 따른 탄력적인 적용에 어려움이 있었다. 국외의 경우 최근 점 및 비점오염원 관리를 위하여 BASINS/HSPF (better assessment science integrated point and nonpoint source /hydrological simulation program- FORTRAN) 모델을 이용하고 있으나 모델 설계 시 대유역에 적합하도록 설계되었으며, 비전문가의 모델링 구현 및 결과 분석을 위한 기반 제공이 다소 미흡한 실정이다. 이에 따라 본 연구에서는 전체 유역을 수 개의 물수지 단위 소유역으로 구분하고 각각의 소유역별 수자원의 개발과 이용에 대해 물수지를 상세 분석할 수 있는 GIS 기반의 유역물수지분석모형을 개발하였다.

기존 수문모델의 경우 독립적으로 실행되고 모델 실행에 필요한 요소는 수작업에 의해 요소를 정리함으로써 모델실행과 모델결과 분석에 많은 시간과 노력이 필요하다. 그러나 GIS 기반의 유역물수지분석모형은 GIS와 모델간의 연계를 위해 모델에 필요한 자료를 GIS로부터 자료를 추출하여 모델의 입력자료그룹에 입력되도록 하였다. 그리고 입력자료를 이용하여 유입 및 유출성분에 대하여 유입량, 관개필요수량, 물수지 등을 산정하였으며, 산정된 결과는 GIS를 이용하여 도식처리하여 모델링 결과분석에 편리성을 제공하였다. 또한, 모형의 보정 및 검증 과정을 통하여 새만금유역에 모형의 적용이 비교적 적합한 것으로 나타났다. 이러한 물수지분석모형은 사용자로 하여금 유역의 체계적인 수자원 관리에 있어 수작업을 최소화하고 다원화된 모델 분석체계를 지원함으로써 보다 편리하고, 합리적인 수자원관리방안 수립에 지원이 가능할 것으로 사료된다. **KAGIS**

참고문헌

- 농업기반공사 농어촌연구원. 1997. 새만금지구 수문조사보고서. 61쪽.
- 농업기반공사 농어촌연구원. 1999. GIS를 이용한 농업용수 수질정보관리시스템 구축(Ⅲ).

73쪽.

- 농업기반공사 농어촌연구원. 2002. 새만금유역 GIS 도입을 위한 환경자료 DB 구축(IV).
- 서울대학교 농업개발연구소. 1986. 작물소비수량 산정방법의 정립. 36쪽.
- 이우용. 2002. UML과 객체지향 시스템 분석설계.
- 황의호, 김계현. 2001. GIS를 이용한 하천수질 모델링 시스템 개발에 관한 연구. 대한환경공학회 추계학술연구발표논문집. 287-289쪽.
- 황의호, 김계현, 이광야. 2002. GIS기반의 수질·수문 모델의 연계시스템 개발에 관한 연구. 대한환경공학회 추계학술연구발표논문집. 259-261쪽. **KAGIS**