

## Evaluating Applicability of Water Balance Analysis System Considering Supply Network of Agricultural Water

Seung Jin Maeng<sup>1#</sup>, Ju Ha Hwang<sup>1+</sup>, Sang Woo Kim<sup>2</sup>, Hyung San Kim<sup>3</sup>, Yong Ho Kang<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Department of Agricultural & Rural Engineering, Chungbuk National University, 1 Chungdae-ro, Seowon-gu, Cheongju, Korea

<sup>2</sup> Koad Rural Community Corporation, 1053, Isunhwan-ro, Seowon-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do, Korea

<sup>3</sup> K-water Institute, 1689 Beon-gil 125, Yuseong-daero, Yuseong-gu, Daejeon, Korea

<sup>4</sup> K-water, 1025, Girin street, Deokjin-gu, Jeonju-si, Jeollabuk-do, Korea

### Abstract

Agricultural water accounts for more than 60 percent of water resources in South Korea. The efficient management of agricultural water requires a system that analyzes the data to improve water efficiency, including water supply and demand throughout the watershed, water supply capacity of each facility in the watershed, water shortage in the watershed, and the possibility of developing additional water supplies. WBSIr, developed in this study, is optimized by applying a multi-purpose genetic algorithm in estimating parameters of the spill model, and the TANK model can be applied to each watershed if actual runoff is measured. Based on the WBSIr analysis of water balance considering an irrigation water supply network in the basin, it is possible to allocate water to each watershed more efficiently than the previous method. In comparison to the conventional water balance method, the water balance analysis considering the irrigation water supply network was found more reliable in the assessment of water supply.

**Key words:** agricultural water, water balance, water supply facilities

### 1. 서론

과거와 달리 현재 우리 주변에서는 자연재해에 대한 사회적 인식과 문제 해결을 위하여 움직임이 활발하게 이루어지고 있다. 이러한 자연재해는 지구 온난화로 인하여 점점 빈번히 발생하고 있으며 집중호우, 이상기온 등을 유발하여 홍수, 가뭄 등의 재해를 발생시킨다. 우리나라도 강원도 폭설, 2002년에 발생한 태

풍 루사, 그리고 2015년에 발생한 중부지방의 극심한 가뭄 등으로 인한 기록적 피해 등 이상기후로 인한 피해 규모가 날로 커져가고 있다. 기후변화로 인한 가뭄 등은 향후 지구적 재앙으로 다가와 이로 인한 피해 증가와 더불어 식량 문제와 물이용 등 자원 부족으로 인한 지역적 갈등을 유발할 수도 있다. 따라서 이러한 문제를 극복하기 위하여 수문현상의 이해를 통한 수자원의 안정적인 확보, 관리, 개발 등이 필수적이다.

<sup>#</sup> The 1st author: Seung Jin Maeng, Tel. +82-43-261-2572, Fax. +82-43-271-5922, e-mail. [maeng@chungbuk.ac.kr](mailto:maeng@chungbuk.ac.kr)

<sup>+</sup> Corresponding author: Ju Ha Hwang, Tel. +82-43-261-2572, e-mail. [ultras3@naver.com](mailto:ultras3@naver.com)

우리나라는 보다 체계적이고 구체적인 대응대책 수립이 요구되며 가뭄에 선제적으로 대응하기 위해서는 우리나라의 현 수자원이용현황을 정확히 진단하고 체계적인 물이용 방안을 수립해 나갈 필요성이 있다. 우리나라의 연평균 이용 가능한 수자원량은 753억 m<sup>3</sup>으로 연평균 수자원총량 1,297억 m<sup>3</sup>의 58%로 나머지는 증발산 및 차단으로 손실된다. 이용가능한 수자원 총량에서 바다로 유실되거나 하천유지용수로 이용되는 양을 제외한 총 이용량(생활, 공업, 농업용수)의 경우 255억 m<sup>3</sup>으로 수자원총량의 26%에 해당한다. 총 이용량 중에서 농업용수는 159억 m<sup>3</sup>으로 62%에 해당한다. 농업용수의 경우 작물의 생육에 직접적인 영향을 주므로 다른 용수들에 비해 가뭄에 더욱 취약할 수밖에 없으며 우리나라 수자원 총 이용량의 절반 이상을 차지하는 만큼 효율적인 관리가 절실히 필요하다(MOLIT, 2011).

본 연구에서 개발된 WBSIr(Water Balance System Irrigation)은 유역물수지 시스템으로써 효율적인 농업용수 관리를 위한 물수지 분석과 관개용수공급 수리시설물 최적운영 방안 수립을 위한 기초 분석데이터를 제공할 수 있을 뿐만 아니라, 향후 중장기적인 기상예보자료와 연계할 경우 가뭄대응능력 분석 및 용수공급 계획수립 등에 활용하여 가뭄으로 인한 자연재해의 국가적인 피해를 최소화 할 수 있는 방재시스템에도 활용 될 수 있을 것으로 기대된다.

## II. 이론적 특성 분석

### 1. 용수 수요량 산정

#### 1) 논 용수

논에서의 용수수요량 산정은 영농방식에 따른 필요수량을 산정하는 것으로 벼의 증발산량, 침투량, 유효수량, 재배관리용수량과 시설관리용수량을 고려하여 산정한다(Ministry of Agriculture, 1998).

증발산량은 당일의 기상상태에 따른 잠재증발산량을 추정하고 작물계수를 통해 이를 보정하여 실제증

발산량을 산정한다. 침투량은 재배토양조건, 지하수위 등의 영향을 받으며, 유효수량은 포장조건 등의 제반인자 및 강우량에 따라 결정된다. 생육기별 물관리방식을 고려하여 수요량을 결정한다(Lee, 2000).

논에서 필요한 순 용수량은 증발산량에 침투량과 재배관리용수량을 더하고 유효수량을 감하여 산정한다. 순 용수량을 산정할 때 재배관리용수량은 영농방식에 따라 다르게 적용한다. 조용수량은 순 용수량에 시설관리용수량을 더하여 산정한다.

#### 2) 밭 용수

밭은 논에 비해 작물의 종류가 많고 논벼에 비해 수요량 산정에 대한 연구사례가 적어(Noh, 1996) 수요량의 산정방법을 정의하기 어렵다. 하지만 작물의 생장에 필요한 용수를 공급한다는 측면에서 벼와 동일한 소비기구를 가지고 있으므로 논과 밭의 특성 차이를 합리적인 방법으로 산정할 필요가 있다.

밭은 논과 달리 담수재배를 하지 않으므로 침투량을 고려할 필요가 없지만 강우에 의한 토양수분의 변화 및 강우가 실제 밭작물에 이용된 유효수량을 정확하게 산정하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 밭 용수 수요량의 산정에 세계식량기구(Food and Agriculture Organization, FAO), 국제관개배수위원회(International Commission on Irrigation and Drainage, ICID), 세계기상기구(World Meteorological Organization, WMO) 등에서 추천하는 Penman-Monteith식을 증발산량 산정방법으로 채택하였으며 토양의 특성에 따른 전용이 유효수분량(Total Readily Available Moisture, TRAM)값을 포장용수량으로 밭 토양내 수분을 추적하는 물수지 방법을 이용하여 유효수량과 밭작물의 필요수량을 산정하였다.

밭작물은 노지재배와 시설재배로 구분할 수 있으며 노지재배의 경우 자연강우를 직접 유효수량으로 사용하나, 시설재배의 경우 비닐하우스 등 시설물에 의하여 차단되므로 유효수량은 별도로 고려하지 않는다.

<Figure 1>은 일반적인 밭작물에 대한 수요량을 산

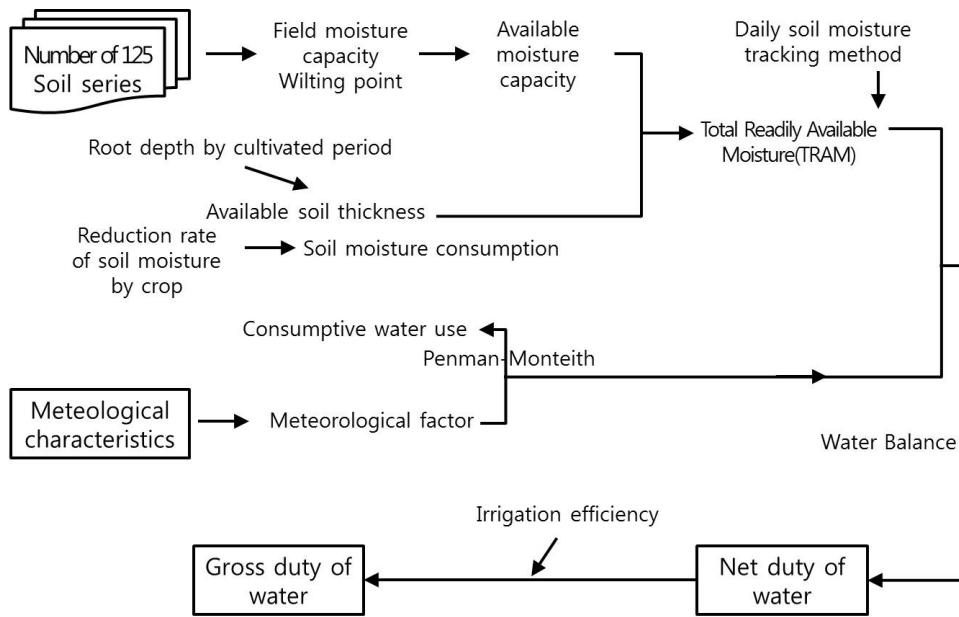


Figure 1. Flowchart for estimating of upland water demand

정하는 흐름도를 나타낸 것이다.

## 2. 유출량산정

유역의 유출량 산정을 위해 확정론적 수문모형을 검토하였다. 확정론적 수문모형은 하천유역에서의 물의 순환, 여러 가지 유출성분, 각종 유출현상이 확정성 법칙에 따라 발생하며 이들 현상간의 상호작용을 수학적 관계로 표시하는 모형으로서, 하천유역에 내린 강우량으로 인해 발생하는 하천유출량을 모의하는데 사용된다.

1960년대부터 최근까지 개발되어 온 확정론적 수문모형 중 대부분은 총괄형 수문모형이다. 총괄형 모형에 의한 수문모의 과정은 다음의 <Figure 2>와 같다.

본 시스템에서 유역의 장기유출량을 산정하는 수문모형 선택은 일반적인 유역특성 뿐만 아니라 Dawdy & Lichty(1968)이 제시한 4가지 기준을 고려하여 TANK 모형을 기본적인 모형으로 선정하였으며 무게측 유역에도 적용이 가능하도록 DIROM 모형도 병행하여 사용할 수 있도록 하였다.

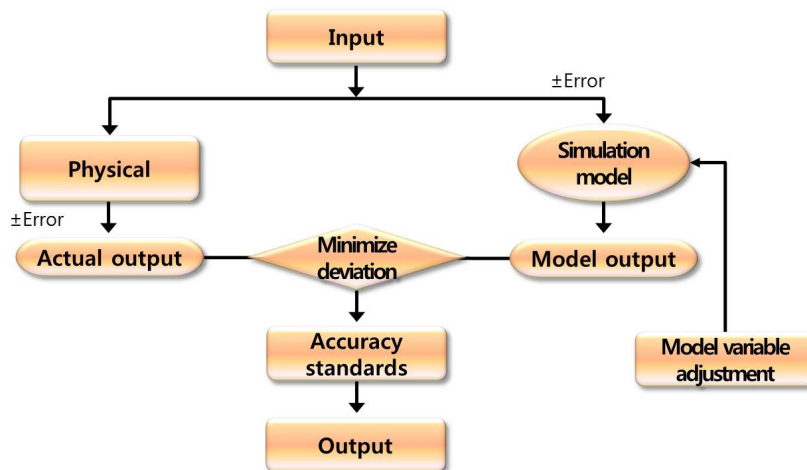


Figure 2. Application flowchart of hydrological simulation method by lumped model

### 3. 유역 물수지

유역물수지라 함은 하천의 입의 지점에서 하천유출의 시간적, 공간적 해석을 위하여 대상하천 유역을 여러 개의 소유역으로 구분하고 각 소유역의 유입량과 유출량(공급수량)을 산출하여 전체유역에 걸쳐 순차적으로 물수지를 행하는 것을 의미한다.

<Figure 3>은 일반적인 하천의 입의 지점에서의 물수지 요소를 개념적으로 나타낸 것이다.

그림에서  $Q_i$ 는 하천의  $i$ 유역에서 유입, 유출의 물수지 결과로 나타나는 잉여량으로 하류유역  $i+1$ 로의 유입량이 되며,  $Q_{i-1}$ 은  $i-1$ 유역에서의 물수지 결과로서  $i$ 유역의 상류측 유입량이 된다.  $L_i$ 는  $i$ 유역의 횡유입량으로 상류측  $i-1$ 유역으로부터의 유입량 이외에 측방에서 유입되는 모든 유입성분을 나타낸다.  $D_i$ 는  $i$ 유역 내에서 용수 공급되는 취수량으로서 농업용수, 생활용수, 공업용수 등이 도수되거나 또는 양수되어 사용되는 양이다.

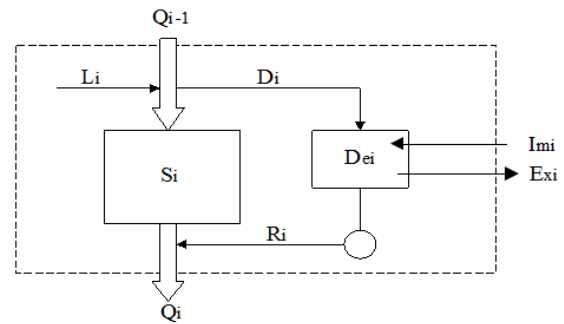


Figure 3. Water balance factor of river section

- 결과물 출력의 다양화(Graph, Text, Data Sheet)

<Figure 4>는 시스템의 전체적인 흐름을 도식화하였으며, <Figure 5>는 시스템을 처음 실행한 경우 나타나는 프로젝트 관리모델의 메인화면을 나타낸 것으로 화면구성은 화면의 최상단으로부터 메인메뉴, 도구모음, 시스템 작업영역, 시스템 상태설명 등 4개로 나누어져 있다.

## III. 시스템 개발

### 1. 시스템 구성

본 시스템은 유역특성자료, 기상자료, 작물특성자료 등의 기본 자료를 데이터베이스로 구성하고 일관된 절차에 따라 작물 필요수량, 유역유출량 등을 산정하여 순차적으로 물수지 분석을 수행한다. 본 시스템은 Windows 환경에서 구동되며 프로그램 개발언어는 Visual BASIC 6.0, 데이터베이스는 MS Access2010 DB를 사용하였다. 시스템의 개발 방향은 다음과 같다.

- 사용자 편의를 위한 GUI(Graphic User Interface) 환경 채택
- 입·출력 자료의 데이터베이스화에 따른 자료 관리
- 시스템의 보완 및 갱신을 위한 프로그램 모듈화
- 처리속도의 개선을 위한 반복계산, 입·출력의 함수화 및 서브루틴화

### 2. 데이터베이스 구축

분석결과 등의 효율적인 자료 관리를 위하여 프로젝트 파일은 개별 파일로 작성하고, 분석에 상시 적용되는 기상자료는 데이터베이스로 관리한다. 데이터베이스는 크게 기상자료 관련 테이블과 작물의 필요수량을 산정하기 위한 테이블로 구분하였다.

기상자료 관련 테이블은 기상관측소의 시설정보를 나타내는 Station테이블과 기상관측자료를 가지고 있는 MetData테이블로 구성되며, 작물의 필요수량 산정을 위한 테이블은 작물의 파종과 성장기, 수확기를 나타내는 CropPlan 테이블과 작물의 증발산량을 보정하기 위한 작물계수 테이블인 CropCoef 테이블로 구성되어 있다.

### 3. 유역 물수지 시스템

유역 내 다양한 용수공급시설물과 복잡한 하천망 등 유역내부에서의 물이동이 많고 여러 지점의 유출량을 파악하기 위해 각각의 하천망 및 수리시설물 위치에 따라 소유역으로 구분하고 상류부에서부터 하류

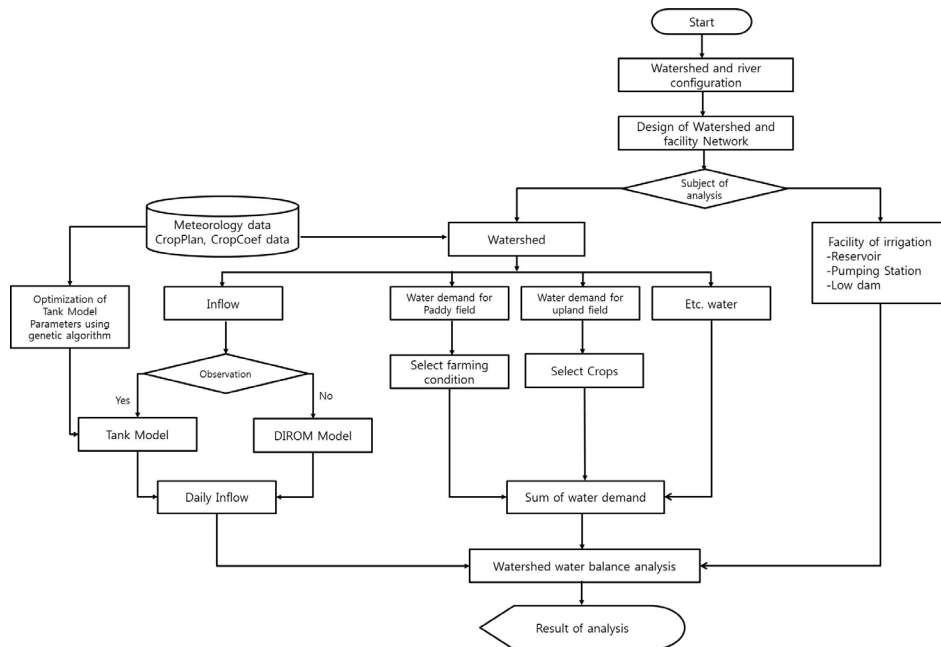


Figure 4. System flow chart

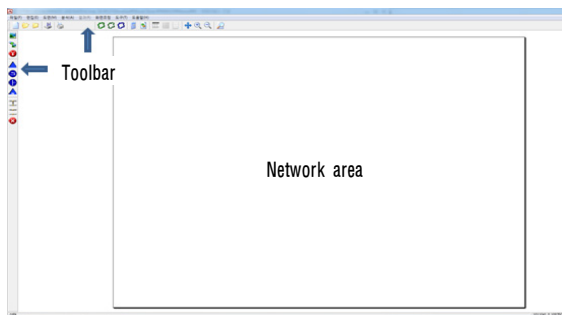


Figure 5. System main screen

| CropPlan | Crop | CropCoef | Station |
|----------|------|----------|---------|
| 2년       | 논    | 0.00     | 0.00    |
| 3년       | 논    | 0.00     | 0.00    |
| 4년       | 논    | 0.00     | 0.00    |
| 5년       | 논    | 0.00     | 0.00    |
| 6년       | 논    | 0.00     | 0.00    |
| 7년       | 논    | 0.00     | 0.00    |
| 8년       | 논    | 0.00     | 0.00    |
| 9년       | 논    | 0.00     | 0.00    |
| 10년      | 논    | 0.00     | 0.00    |
| 11년      | 논    | 0.00     | 0.00    |
| 12년      | 논    | 0.00     | 0.00    |
| 13년      | 논    | 0.00     | 0.00    |
| 14년      | 논    | 0.00     | 0.00    |
| 15년      | 논    | 0.00     | 0.00    |
| 16년      | 논    | 0.00     | 0.00    |
| 17년      | 논    | 0.00     | 0.00    |
| 18년      | 논    | 0.00     | 0.00    |
| 19년      | 논    | 0.00     | 0.00    |
| 20년      | 논    | 0.00     | 0.00    |
| 21년      | 논    | 0.00     | 0.00    |
| 22년      | 논    | 0.00     | 0.00    |
| 23년      | 논    | 0.00     | 0.00    |
| 24년      | 논    | 0.00     | 0.00    |
| 25년      | 논    | 0.00     | 0.00    |
| 26년      | 논    | 0.00     | 0.00    |
| 27년      | 논    | 0.00     | 0.00    |
| 28년      | 논    | 0.00     | 0.00    |
| 29년      | 논    | 0.00     | 0.00    |
| 30년      | 논    | 0.00     | 0.00    |

Figure 6. Database configuration

부 방향으로 소유역별 물수지 분석을 순차적으로 수행하는 것이 필수적이다.

WBSIr에서는 유역그리기 도구모음을 이용하여 유역네트워크를 작성하고 작성된 네트워크에 포함된 모든 개체들을 제어할 수 있도록 구성되었다.

편집 메뉴를 통하여 작성된 유역도에 유역개체 그리기 도구모음을 통하여 구분된 직접유역, 간접유역, 합류점 등과 저수지, 취입보, 양수장 등 용수공급 시설물 등을 추가한 뒤 각 개체를 연결하도록 하였다.

네트워크 개체는 편집메뉴나 화면 좌측 도구모음의 유역개체나 시설개체를 클릭하여 유역네트워크 화면부분의 적당한 위치에 개체를 생성한다.

필요한 네트워크 개체가 생성되면 편집메뉴의 요소편집 기능을 선택하여 네트워크를 구성한다.

<Figure 7>은 윈도우 상에서 네트워크 설정을 위한 화면을 나타냈다.

#### IV. 대상유역 및 연구방법

##### 1. 대상유역 선정

본 연구를 수행하기 위해 현재 진행 중이며, 간척지에 농업용지를 개발하고 있는 새만금 유역을 대상유역으로 선정하였다. 새만금 유역은 만경강과 동진강 두 개의 하천으로 구성되어 있다. 하천을 따라 농지가 넓게 분포하고 있으며, 농업용수 공급에 대한 물 스트

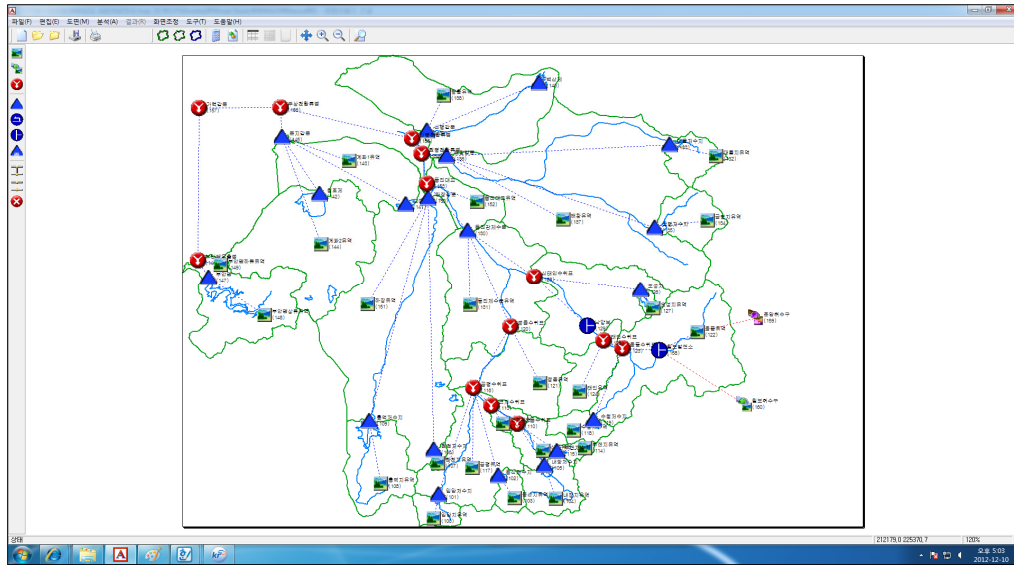


Figure 7. Watershed network configuration

레스가 매우 높은 유역으로 용수계통이 매우 복잡하고 물이용에 대한 효율 또한 매우 높다.

또한, 비교적 장기간의 관측 자료를 보유한 수위관측소가 유역 내에 산재해 있어 유출량 파악 및 강우-유출 모형의 검·보정이 용이하다.

### 1) 유역개황

새만금유역은 만경강 및 동진강 유역과 여기에 포함되지 않는 서해안 일부유역, 직소천 유역 그리고 간척개발지로 구분된다. 유역의 주하천인 만경강은 전북 완주군 동상면에서 발원하여 소양천, 전주천 등의 지류와 합류한 후 서해로 유입하는 국가 및 지방하천으로 구성되어 있으며 국가하천 구간은 전북 완주군 고산면 고산천 합류점에서 전북 김제군 진봉면 국사봉 산정에서 북15°서로 그은 선까지이다.

유역의 형상을 살펴보면 동진강 상류부 산악지대의 하천경사는 1/10, 중류부는 1/500, 하류부는 1/10,600의 경사도를 이루고 있어 유역의 하류부는 평야지임을 알 수 있다.

동진강 신태인 수위표 지점에서 동진대교 지점까지 하천폭은 약 270m~430m 정도, 180m~190m 폭의 홍수터를 농지로 활용하고 있다.

### 2) 유역특성

새만금 유역은 총 면적 3,319km<sup>2</sup>로서 만경유역이 1,570.9km<sup>2</sup>, 동진유역이 1,347.1km<sup>2</sup>를 차지하며 간척으로 개발되는 부분이 401km<sup>2</sup>를 차지한다. 행정구역상 전주시를 비롯한 5개 시 3개 군으로 구성되며 완주군과 정읍시가 유역의 47%인 1,381.1km<sup>2</sup>를 차지하고 있다.

유역의 토지이용현황을 살펴보면 총 면적 3,319km<sup>2</sup> 중 경지가 1,314.4km<sup>2</sup>로 전체면적의 39.6%를 차지하고 있다. 임야가 1,070.7km<sup>2</sup>로 32.3%, 대지, 도로 및 호수 등 기타 용도의 면적이 28.1%를 차지하고 있어 경지의 비율이 높은 편이다.

또한, 유역의 하천은 만경강 및 동진강수계를 주축으로 국가하천, 지방하천 등 총 160개로 구성되어 있으며 하천의 연장으로 보면 국가하천이 7개소에 137.0km, 지방하천은 153개소 948.12km로 전체 연장은 1,085.12km이다. 이 중 본류의 총길이는 124.70km로 전체 하천연장의 11.5%를 차지하고 있으며, 제1지류는 449.01km, 제2지류 375.66km, 제3지류 109.47km, 제4지류 25.28km, 그리고 제5지류는 1.0km로 구성되어 있다.

하천을 수계별로 살펴보면 만경강이 72개, 동진강이 88개로 구성되어 있으나 하천연장은 만경강이 592.19km로 전체의 54.57%이며, 동진강은 492.93km로

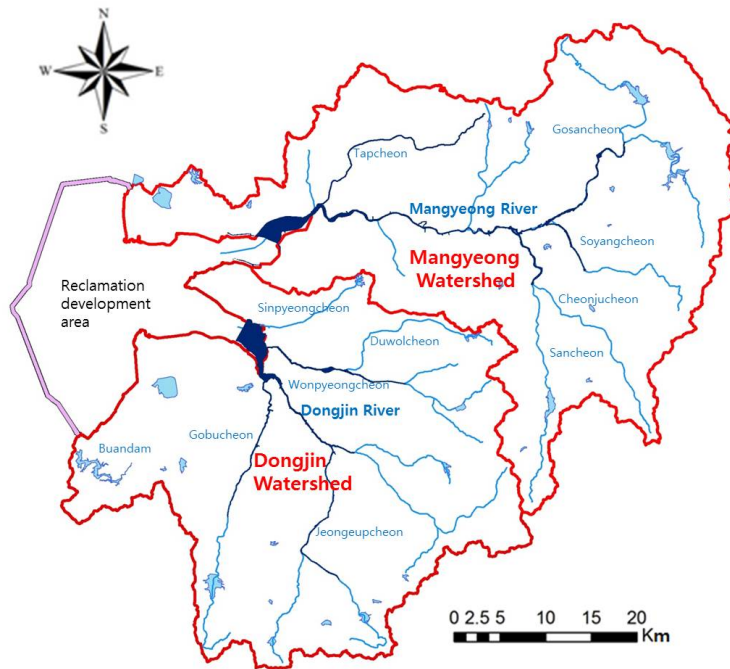


Figure 8. Saemangeum watershed

45.43%를 차지하고 있다. 만경강은 본류를 중심으로 제4지류까지 구성되어 있고 동진강은 제5지류까지 구성되어 있다.

### 3) 기상현황

본 연구에서는 유역의 장기유출량과 농업용수 필요수량을 산정하여야 하므로 관측기간이 장기적이고 종합기상관측을 실시하는 기상청 관할의 4개 관측소에 대해 기상자료를 수집하고 분석하였다.

분석 결과 새만금 유역은 우리나라의 전반적인 기상현상과 대동소이한 대륙성 계절풍 지역으로 여름철에는 해양성 기후의 영향으로 고온다습하고 겨울철은 대륙성 기후로 한랭 건조한 것으로 나타났다. 6월 중순부터 남풍과 함께 고온다습한 기단이 한반도를 통과하므로 이 기간 중에 강우가 잦고 강우량도 많은 편이다. 8월말부터 9월중에는 기후상태가 건조해지고 풍향도 북풍으로 바뀌며 강우발생 빈도도 낮아진다. 이 기간중에는 태풍이 잦은 편이다. 10월과 11월에는 맑아지면서 기온이 떨어지고 12월까지 기온이 낮아지며 건조하다. 1월, 2월중 대륙성 기후로 변하면서 기온

이 상승하고 4~5월을 지나 6월부터 다시 강우가 잦아지는 기상을 나타낸다.

### 4) 주요 수리시설물 및 용수공급 현황

새만금 유역에는 유역내의 수리시설물 뿐만 아니라 외부유역에서 도수 유입되어 용수를 공급받고 있다.

만경강 수계는 금강하구에서 나포와 서포양수장을 통해 연평균 약 53백만  $m^3$ 과 46백만  $m^3$ 의 농업용수를 공급받으며 용담댐에서 유역변경을 하여 발전용수 및 하천유지용수를 연평균 약 150백만  $m^3$  등 총 249백만  $m^3$ 의 용수가 도수유입 되고 있다.

동진강 수계에서는 섬진강댐에서 연평균 약 790백만  $m^3$ 의 용수가 칠보발전소와 운암취수구를 통해 동진강으로 도수유입 되고 있다.

새만금 유역의 주하천인 만경강과 동진강 수계별로 농업용수 공급체계를 살펴보면 만경강은 고산천의 상류 고산면 어우리에 위치한 어우로부터 대야, 동상, 경천 저수지 등 3개 저수지에서 방류되는 물과 용담댐에서 도수 유입되는 물을 취수하여 제1도수로를 통해 봉동 및 삼례읍 일대 23.8km를 급수한 후 삼례읍

삼례보에서 만경강 하천수를 보충 취수하는 대간선과 삼례읍 후정리에서 합류하여 완주, 춘포, 익산, 오산, 옥구, 대야, 옥산을 거쳐 옥구읍 어은리의 옥구저수지에 이르는 약 125.0km를 급수하고 있다.

2. 연구방법

본 연구에서는 농업용수 수리 시설물 등 관개용수 공급 네트워크를 고려한 유역 물수지 시스템 개발을 위해 다음과 같은 절차를 통해 연구를 수행하였으며, <Figure 9>와 같다.

- 대상유역 선정 및 기초자료 구성
- 농업용수 수요량 산정 모듈 개발 및 수요량 산정
- 유출량 산정 모듈 개발 및 유역 유출량 산정
- 유역물수지 분석 모듈 개발 및 분석

V. 시스템 적용 및 분석

1. 유역유출량 산정

새만금 담수호로 유입되는 유역의 유출량 산정 및 물수지를 수행하기 위해 유역 특성 및 광역용수간선 등을 고려하여 유역을 48개로 분할하였다.

소유역은 하천현황, 수리시설물 및 용수이용현황을 고려하여 모식화하고 유역을 네트워크화 하였으며, 아래의 <Figure 10>은 WBSIr에서의 유역을 네트워

크화한 것을 나타낸다.

새만금 유역의 경우 농업용수 공급과 발전 등의 목적으로 외부 유역에서 도수 유입되는 용수가 많아 유역의 유출량 및 물수지 결과에 영향을 주므로 WBSIr에서는 외부도수유입량도 고려할 수 있도록 하였다.

타 유역에서 도수 유입되는 용수로는 만경수계로 유입되는 용담댐 용수와 서포 및 나포 양수장에서 공급되는 용수가 있으며, 섬진댐으로부터 관개용수 및 발전을 위한 용수가 동진 유역으로 유입된다.

2. 농업용수 수요량 산정

본 연구에서는 새만금호에서의 물수지 분석을 통해 모형의 적용성을 검토하였으며 물수지를 위한 농업용수 수요량은 내부개발지와 유역 내에 위치한 농업용지로 구분하여 산정하였다.

농업용수 수요량은 내부간척지는 새만금종합개발 계획(Prime Minister’s Secretariat, 2011)과 새만금 농업용지 토지이용계획 보완연구(MAFF, 2012)에서 제시한 면적 및 조건을 적용하였으며, 유역 내에 위치한 농업용지의 침투량 및 수로손실은 수자원장기종합계획(MOLIT, 2011)에서 적용한 값을 인용하였다.

새만금 내부개발지의 농업용지 중 논 용수는 새만금 종합개발계획에서 산정한 방식을 적용하여 영농방식은 담수직파재배 방식을 적용하였고 수로손실은 10%를 적용하였다. 침투량은 농업 토양기본조사 시험보고

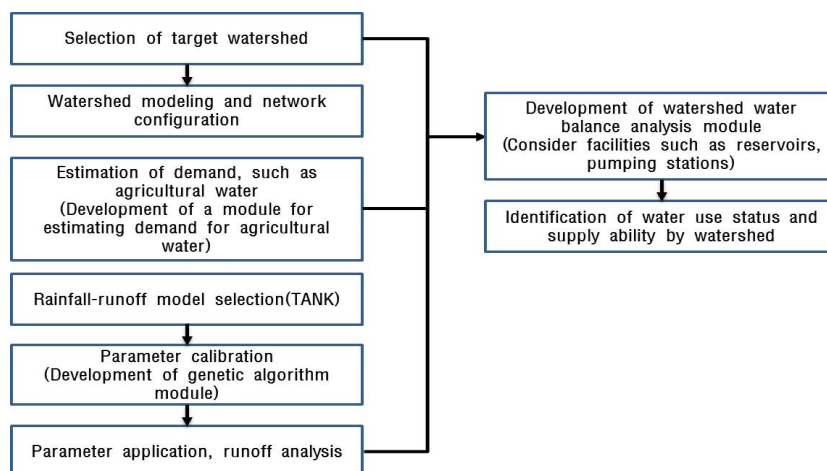


Figure 9. Flowchart of study

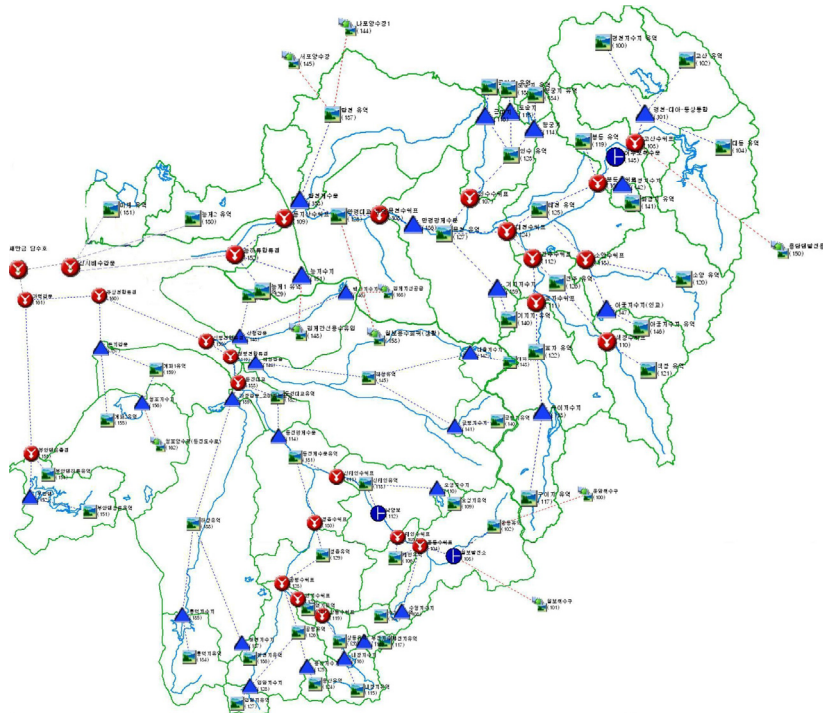


Figure 10. Saemangeum watershed network

서(Korea Rural Community Corporation, 2009)에서 새만금지역을 대상으로 실험한 결과인 9.1mm를 적용하였다.

벼의 경우 유모기까지는 염해에 취약한 점을 고려하여 재염화방지용수를 고려하였으며 간척지 세사토양 중염담에서 벼 생육초기 적정 환수간격(RDA, 2007)연구에서 제시한 1회 관개량 30mm, 환수관개 간격 3일, 횡수 15회로 총 450mm를 5월부터 6월 중순까지 공급하는 것으로 적용하였다.

### 3. 기존 물수지 모형 비교

농업용수 수요량을 고려한 물수지 모형으로는 한국농어촌공사에서 개발한 WWASS, HOMWRS 모형 등이 국내 실무에서 많이 적용되고 있다. 본 연구로 개발된 WBSIr은 유역 전반의 물수급 현황과 유역내의 각 시설물의 용수공급 능력 분석이 가능함으로써 유역 내 용수의 과소, 과대 및 분배 등에 따른 용수이용의 효율적 계획수립이 가능하다. 유역 내에 산재해 있는 저수지, 양수장, 취입보, 양수저류지 등 용수공급시설을 사용자 편의성을 고려한 유역 네트워크 구성을 위한 작부시기, 영농방식별, 작물별 작물계수 등 작물

특성 자료를 데이터베이스화 하여 입·출력 자료에 대한 효율적인 관리가 가능하다. WWASS, HOMWRS, WBSIr과의 비교 결과는 <Table 1>과 같다.

WBSIr은 강우-유출모형에 4단 TANK 모형을 적용하였으며 모형의 매개변수 추정에 다목적 유전자 알고리즘 기법을 적용하여 실측 유출량 자료를 사용하여 유출모형을 보정함으로써 분석 결과의 신뢰도를 높일 수 있다. 또한 논 작물계수 이외에도 42종의 밭작물과 시설재배용수 산정이 가능하여 복합영농방식을 고려한 수요량 분석을 할 수 있으며 텍스트, 스프레드시트, 그래프 형식 등 다양한 형식의 분석결과 출력이 가능하여 결과분석의 활용성을 향상하였다.

### 4. 유역 물수지 분석

새만금유역의 물수지 요소는 크게 유역 유출량과 유역외의 도수유입량으로 나뉜다. 유역 내의 부족한 용수는 섬진강댐과 용담댐에서 유역변경으로 유입되고 주요 간선수로 및 광역상수도망을 통해 농업용수 및 생·공용수를 공급하고 있다. 유역 유출량과는 달리 유역외 유입량의 경우 시·공간적 제약조건에 따라 유입량

Table 1. Comparison with existing water balance model

|                                |   |   |  |
|--------------------------------|---|---|--|
| Sort                           | WWASS   | HOMWRS  | WBSIr  |
| Basin                          | Saemangeum  | Medium and small reservoir basin below 100km <sup>2</sup>                             | Unlimited  |
| Runoff Model                   | 3th TANK model(DIROM)<br>Parameter estimation by regression equation by land use area | 3th TANK model(DIROM)<br>Parameter estimation by regression equation by land use area | 4th TANK model<br>Parameter optimization by applying multi-purpose genetic algorithm(Based on actual data)     |
| Agricultural Water Demand      | paddy water   | paddy water<br>field water(18species)   | paddy water<br>field water(42species)<br>Consideration of complex farming including facility cultivation water |
| Analytical hydraulic structure | Reservoir (not considering flood level management)                                    | Reservoir (not considering flood level management)                                    | Reservoirs (possible to consider flood level management),<br>Pumping station                                   |
| Watershed network              | Possible  | Impossible  | Possible   |
| Operating system               | DOS   | Windows   | Windows  |
| Development language           | FORTRAN   | Visual BASIC  | Visual BASIC   |
| Interface                      | TUI<br>(Text User Interface)  | GUI<br>(Graphic User Interface)   | GUI<br>(Graphic User Interface)  |
| I/O data                       | Text  | MS-Access   | MS-Access  |
| Basic data                     | Text  | MS-Access   | MS-Access  |
| Output                         | Text  | Text  | Text, Spreadsheet, Graph   |

의 편차가 발생하며 또한 수리시설의 조작유무에 따라 유량의 변동성이 크게 나타난다. 따라서 본 연구에서는 유역 유출량과 유역 외 도수유입량을 구체화·정량화 하기 위해 <Figure 11>과 같이 광역 용수공급원과 자체 공급원을 분리하여 네트워크를 구성하였다.

새만금호로 유입되는 유역유출량과 새만금 농업용지 토지이용계획에 따른 농업용수 수요량을 고려하여 새만금호의 연도별 물수지 분석을 한 결과는 <Table 2>와 같다. 여기서 총 유입량은 새만금유역에서 유출되는 유출량과 새만금호에 직접적으로 내리는 수면강우량이 포함되어 있으며, 총 공급량은 담수호에서 새만금 토지이용계획안에 따른 농업용수 공급량과 담수호에서 증발되는 수면증발량이 포함되어 있다.

농업용수 공급 이외에 생·공용수 및 기타용수의 공급 가능량 파악을 위해 즉, 새만금호의 용수공급능력을 검토하기 위해 앞서 새만금 농업용지의 관개면적을 고정시키고 물수지 분석을 실시하였다.

물수지 분석결과 연간 총유입량이 연간공급량보다 월등히 많으며 연도별로 2003년 유입량과 공급량의 차이가 3,942백만 m<sup>3</sup> 발생하였으며 1995년 1,138백만 m<sup>3</sup>로 차이가 가장 적게 발생하였다.

Table 2. Analysis result of saemangeum water balance  
(Unit : 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>)

| Year    | Total Inflow | Total Supply | Water balance | Low water level |
|---------|--------------|--------------|---------------|-----------------|
| 1991    | 2,491,194    | 194,216      | 2,296,979     | -1.57           |
| 1992    | 1,900,823    | 211,801      | 1,689,021     | -1.81           |
| 1993    | 3,194,339    | 182,777      | 3,011,563     | -1.55           |
| 1994    | 1,439,001    | 225,307      | 1,213,695     | -1.70           |
| 1995    | 1,365,562    | 227,018      | 1,138,544     | -1.76           |
| 1996    | 1,958,633    | 217,612      | 1,741,020     | -1.65           |
| 1997    | 2,810,786    | 223,180      | 2,587,607     | -1.60           |
| 1998    | 3,507,391    | 189,238      | 3,318,154     | -1.53           |
| 1999    | 2,717,010    | 202,354      | 2,514,657     | -1.58           |
| 2000    | 3,379,813    | 191,224      | 3,188,588     | -1.55           |
| 2001    | 1,862,265    | 220,943      | 1,641,323     | -1.69           |
| 2002    | 2,121,660    | 194,215      | 1,927,446     | -1.60           |
| 2003    | 4,112,415    | 170,240      | 3,942,176     | -1.53           |
| 2004    | 2,963,198    | 194,646      | 2,768,551     | -1.62           |
| 2005    | 3,065,195    | 186,084      | 2,879,113     | -1.60           |
| 2006    | 2,388,442    | 197,672      | 2,190,772     | -1.55           |
| 2007    | 3,488,276    | 178,016      | 3,310,260     | -1.62           |
| 2008    | 1,963,034    | 200,578      | 1,762,454     | -1.59           |
| 2009    | 2,091,358    | 205,539      | 1,885,820     | -1.60           |
| 2010    | 2,973,031    | 190,178      | 2,782,854     | -1.64           |
| 2011    | 3,467,469    | 196,875      | 3,270,595     | -1.62           |
| 2012    | 3,158,427    | 198,569      | 2,959,857     | -1.67           |
| Mean    | 2,655,424    | 199,922      | 2,455,502     | -1.81           |
| Maximum | 4,112,415    | 227,018      | 3,942,176     | -1.53           |
| minimum | 1,365,562    | 170,240      | 1,138,544     | -1.81           |



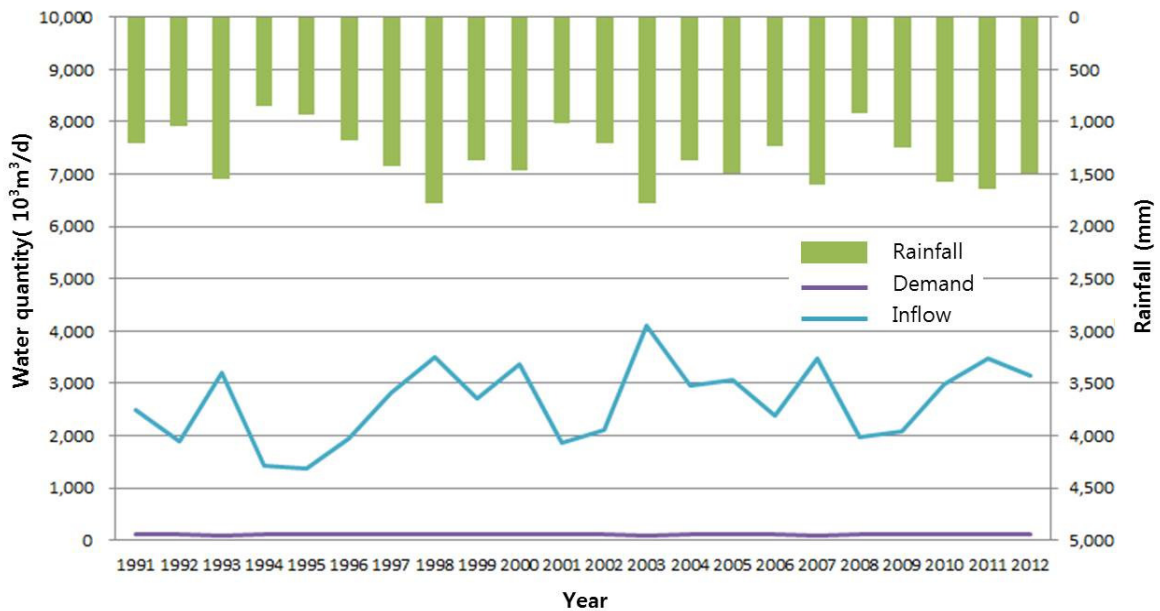


Figure 12. Analysis result of saemangeum water balance

Table 3. Result of the saemangeum water supply review

| Sort                                     | Contents                   | Calculation result                        |
|--|----------------------------|---|
| Agricultural water demand                | Mean                       | 112 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>        |
|  | 10-year frequency          | 124 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>        |
| Average annual inflow of freshwater lake | Saemangeum watershed       | 2,505 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>      |
|  | Water surface rainfall     | 150 10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>        |
| Water balance analysis result            | Freshwater low water level | EL. -1.81m                                |
| Review water available                   | Based on 10-year frequency | 3,960 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /day |
|  | Based on low water level   | 3,440 10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> /day |

하여 새만금 유역을 대상으로 적용성을 평가하였다.

본 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

관개용수 공급 네트워크를 고려한 물수지 분석을 수행하기 위하여 실측자료를 바탕으로 한 유출 모형과 농업용수 수요량 산정 모형을 탑재하고 저수지, 양수장, 취입보 등 관개용수 공급시설물 간의 연계분석 및 유역 간 용수이동을 고려한 유역물수지 분석 시스템을 개발하였다.

장기유출 분석을 위해 4단 TANK 모형의 매개변수를 유전자 알고리즘을 적용하여 매개변수를 최적화하였으며, Penmann, Penmann-Monteith 식을 적용하여 논용수 수요량 뿐 아니라 42종의 발작물과 시설재배

를 고려할 수 있는 농업용수 수요량 산정 모형을 개발하였으며 관개용수 공급시설물 간의 연계분석 및 유역 간 용수이동을 고려한 물수지 분석이 가능하도록 시스템을 구성하였다.

새만금 내부개발지의 농업용지에 대해 논용수, 밭용수, 원예용수 수요량을 산정한 결과 10년 빈도 한발년을 기준으로 총 123,715천 m<sup>3</sup>/년으로 분석되었으며 평균적으로 논용수 수요량이 전체 농업용수 수요량의 약 65%로 가장 많은 양을 차지하였고 첨단원에 용수 수요량 27.4%, 밭 용수수요량 3.4%순으로 나타났다.

WBSIr을 적용하여 유역의 관개용수 공급 네트워크를 고려하여 물수지를 분석한 결과, 기존의 방법에 비해 보다 효율적인 소유역별 용수배분이 가능하였으며 취입보, 양수장 등 용수공급 시설물의 연계분석으로 유역전체의 통합적인 관리가 가능하게 되었다.

WBSIr은 효율적인 농업용수 관리를 위한 물수지 분석과 관개용수공급 수리시설물 최적운영 방안 수립을 위한 기초 분석데이터를 제공할 수 있을 뿐만 아니라, 향후 중장기적인 기상예보자료와 연계할 경우 가뭄대응능력 분석 및 용수공급 계획수립 등에 활용하여 효율적인 의사결정 및 방재시스템에도 활용 될 수 있을 것으로 기대된다.

## References

- Bae, Deg Hyo, Il Won Jeong, Tae Ho Kang, and Joon Woo Noh. 2003. Automatic Parameter Estimation Considering Runoff Components on Tank Model. *Journal of Korean Water Resources Association*. 36(3): 423-436.
- Dawdy, David R. and R. W. Lichty. 1968. Methodology of Hydrologic Model Building. *IAHS Publ.* 81: 347-355.
- Hwang, Ha Sun. 2007. Applicability Study of BASINS/ WinHSPF on TMDL in Korea: Nakdong River Basin Case Study. Ph.D. Dissertation. University of Konkuk.
- Kang, Shin Uk, Dong Ryul Lee, and Sang Ho Lee. 2004. A Study on Calibration of Tank Model with Soil Moisture Structure. *Journal of Korean Water Resources Association*. 37(2): 1226-6280.
- Ko, Jung Hwan, Sun Ju Kim, and Phil Shik Kim. 2005. Enhancement of K-WEAP Application through Calculation of Agricultural Water. Proceeding of the Korea Water Resources Association Conference.
- Korea Meteorological Administration. <http://www.kma.go.kr/>
- Korea Rural Community Corporation. 2009. Agricultural Soil Basic Survey Report.
- Lee, Kwang Ya. 2000. Development of Estimation System for Agricultural Water Demand. Ph.D. Dissertation. University of Konkuk.
- Ministry of Agriculture. 1998. Criteria for Design of Agricultural Production Based maintenance Project: Irrigation.
- Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries(MAFF). 2012. A Study on the Land Use Planning of Saemangeum Agricultural Land.
- Ministry of Land Infrastructure and Transport(MOLIT). 2011. Long Term Comprehensive Plan for Water Resources.
- Noh, Gun Gil. 1996. Field Irrigation Facilities and Water Resource Development. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*. 38(1): 17-23.
- Noh, Jae Kyoung. 2003. Applicability of the DAWAST Model Considered Return Flows. *Journal of Korean Water Resources Association*. 36(6): 1095-1105.
- Prime Minister's Secretariat. 2011. Comprehensive Development Plan for Saemangeum.
- Rural Development Administration(RDA). 2007. Optimum Recovery Interval for Rice Growth in Reclaimed Sesato Soil.
- Ryoo, Kyoung Sik, Man Ha Hwang, Seung Jin Maeng, and Sang Jin Lee. 2007. Analysis of Runoff Characteristics in the Geum River Basin using Watershed Management Model. *Journal of Korean Society on Water Quality*. 23(4): 527-534.
- Water Resources Management Information System. <http://www.wamis.go.kr/>
- Korean References Translated from the English*
- 강신욱, 이동률, 이상호. 2004. 토양수분 저류구조를 가진 탱크 모형의 보정에 관한 연구. *한국수자원학회논문집*. 37(2): 1226-6280.
- 고정환, 김선주, 김필식. 2005. 농업용수 산정을 통한 K-WEAP의 적용성 제고. *한국수자원학회 학술대회논문집*. 781-785.
- 국가수자원관리종합정보시스템. <http://www.wamis.go.kr/>
- 국토해양부. 2011. 수자원장기종합계획.
- 기상청. <http://www.kma.go.kr/>
- 노건길. 1996. 밭 관개시설과 용수원 개발. *한국농공학회지*. 38(1): 17-23.
- 노재경. 2003. 용수수요를 고려한 DAWAST 모형의 적용성 평가. *한국수자원학회 논문집*. 39(11): 1095-1105.
- 농림부. 1998. 농업 생산기반 정비사업 계획 설계 기준. 관개편.
- 농림수산식품부. 2012. 새만금 농업용지 토지이용계획보완 연구.
- 농촌진흥청. 2007. 간척지 세사토양 중염답에서 벼 생육초기 적정 환수간격.
- 류경식, 황만하, 맹승진, 이상진. 2007. 연구논문: 유역관리모형을 이용한 금강유역 유출특성 해석. *수질보전 한국물환경학회지*. 23(4): 527-534.
- 배덕효, 정일원, 강태호, 노준우. 2003. 유출성분을 고려한 Tank모형의 매개변수 자동추정. *한국수자원학회지*. 36(3): 423-436.
- 이광야. 2000. 농업용수 수요량 산정 시스템 개발. 박사학위논문. 건국대학교 대학원.
- 총리실. 2011. 새만금 종합개발계획.
- 한국농어촌공사. 2009. 농업 토양기본조사 시험보고서.
- 황하선. 2007. 우리나라 수질오염총량관리제에 있어 유역특성을 고려한 BASINS/ WinHSPF의 적용성 연구. 박사학위논문. 건국대학교 대학원.

## 농업용수 공급 네트워크를 고려한 물수지 분석 시스템 적용성 평가

**국문초록** 농업용수는 우리나라 수자원 중 60%이상을 차지하는 아주 중요한 수자원이다. 농업용수의 효율적인 관리를 위해서 유역전반에 걸친 물수급 현황, 유역 내 각 시설물의 용수공급능력 분석, 유역 내 물부족 여부 및 추가용수개발 가능량 분석 등 용수이용의 효율성 제고를 위한 자료를 분석할 수 있는 시스템이 동반되어야 한다. 본 연구로 개발된 WBSIr은 유출모형의 매개변수 추정에 있어 다목적 유전자 알고리즘을 적용하여 최적화하고 실측 유출량의 확보가 가능한 경우 각 소유역마다 TANK 모형의 적용이 가능하다. WBSIr을 적용하여 유역의 관개용수 공급 네트워크를 고려하여 물수지를 분석한 결과, 기존의 방법에 비해 보다 효율적인 소유역별 용수배분이 가능하였으며 취입보, 양수장 등 용수공급 시설물의 연계분석으로 유역전체의 통합적인 관리가 가능하게 되었다. 기존의 물수지 방법을 적용한 경우와 비교하였으며, 용수공급량 등의 산정이 보다 신뢰도 높은 결과를 나타냄으로써 관개용수 공급 네트워크를 고려한 물수지 분석 수행이 타당함을 제시하였다.

**주제어** : 농업용수, 물수지분석, 용수공급 시설, 용수공급량

**Profiles** **Seung Jin Maeng** : He received a doctor of agriculture degree in "Estimation of design flood by the determination of best fitting order of LH-Moments" (February, 2002) from Chungbuk National University, currently he is working as professor in Chungbuk National University. The main areas of research are statistical hydrology, development of rainfall-runoff model, and area of hydrological data measurement, current activities include director society of agricultural engineering, the editorial board member in Journal Korea Water Resources Association([maeng@chungbuk.ac.kr](mailto:maeng@chungbuk.ac.kr)).

**Ju Ha Hwang** : He received a doctor of engineering degree in "Sizing Optimal Water Storage Tank for Upland Crops through Greenhouse Rainwater Harvesting" (February, 2019), from Chungbuk National University, currently he is working in Chungbuk National University([ultras3@naver.com](mailto:ultras3@naver.com)).

**Sang Woo Kim** : He received a doctor of engineering degree in "Development of a Basinwide Water Balance System Considering Supply Network of Irrigation Water" (February, 2016) from Chungbuk National University, currently he is working at the Koead Rural Community Corporation([mrkim97@ekr.or.kr](mailto:mrkim97@ekr.or.kr)).

**Hyung San Kim** : He received a doctor of engineering degree in "Estimating probable annual maximum daily streamflow on climate change" (February, 2015) from Chungbuk National University, currently he is working as a researcher at the Korea Water Resources Corporation([hskim@kwater.or.kr](mailto:hskim@kwater.or.kr)).

**Yong Ho Kang** : He received a master of engineering degree in "A Study on Conjunctive Operation of Multi-functional Weirs using Flood Analysis Model for the Yeongsan River Basin" (February, 2015) from Chonnam National University, currently he is working as a Senior Manager at the Korea Water Resources Corporation([hanmirr@kwater.or.kr](mailto:hanmirr@kwater.or.kr)).