

# ArcHydro를 이용한 GIS기반의 관개시스템 네트워크 모델링\*

— 안고농촌용수구역을 대상으로 —

박근애<sup>1</sup> · 박민지<sup>2</sup> · 장중석<sup>3</sup> · 김성준<sup>4\*</sup>

## Network Modeling of Paddy Irrigation System using ArcHydro GIS\*

— ANGO Agricultural Water District —

Geun-Ae PARK<sup>1</sup> · Min-Ji PARK<sup>2</sup> · Jung-Seok JANG<sup>3</sup> · Seong-Joon KIM<sup>4\*</sup>

### 요 약

농촌지역의 복잡한 물관리 체계를 정립하고 효율적인 용수관리를 위해서는 하천과 농업용 수리 시설물의 연계를 통한 관개시스템의 네트워크 모델링이 필요하다. 본 연구에서는 수자원분야의 지리정보데이터를 다루도록 개발된 ArcHydro Model을 한국농촌공사에서 개발한 농촌용수수요공급량산정시스템(AWDS: Agricultural Water Demand & Supply Estimation System)과 연계하여 안성천유역내에 위치하는 “안고”농촌용수구역을 대상으로 네트워크 모델링을 구현하였다. ArcHydro Model을 이용하여 유역내의 24개의 저수지, 18개의 양수장, 28개의 취입보 등 총 70개의 수리시설물의 공간객체와 하천망간의 연관성을 부여하여 상호간의 위상관계를 가지도록 네트워크 모델링을 하였다. 또한 농촌용수수요공급량산정시스템에 대한 텍스트 결과를 ArcHydro Model을 통하여 수리시설물의 공간위치를 가지적으로 표현함으로써 특정 시설물의 위치파악이 쉽고, 순차적인 물수지의 체계를 이해하기 쉽도록 ArcGIS의 시스템에 메뉴를 추가하여 개발하였다.

주요어 : 용수관리, ArcHydro 모델, 네트워크 모델링

### ABSTRACT

Network modeling of irrigation system that links irrigation facilities with stream is necessary to establish complicated rural water management system and to manage agricultural water effectively. This study attempted a network modeling for an agricultural water district called “ANGO” located in Anseongcheon watershed by connecting ArcHydro Model developed to control geographical information data in the field of water resources and AWDS(Agricultural

2006년 12월 27일 접수 Received on December 27, 2006 / 2007년 2월 11일 심사완료 Accepted on February 11, 2007

\* 이 논문은 한국과학재단 특정기초연구(R01-2006-000-10343-0)지원으로 수행되었음

1 건국대학교 일반대학원 지역건설환경공학과 Dept. of Rural Engineering, Konkuk University

2 건국대학교 일반대학원 사회환경시스템공학과 Dept. of Civil and Environmental System Engineering, Konkuk University

3 한국농촌공사 대야호관리소 Daeaho Office, KRC

4 건국대학교 사회환경시스템공학과 Dept. of Civil and Environmental System Engineering, Konkuk University

※ 연락처 E-mail : kimsj@konkuk.ac.kr

Water Demand & Supply Estimation System) developed by KRC (Korea Rural Community & Agriculture Corporation). Network modeling was embodied by build topology between spatial objects of total 70 agricultural irrigation facilities (24 reservoirs, 18 pumping stations, 28 weirs) and stream network using ArcHydro Model. In addition, new menus were added in ArcGIS system for query and visualization of text-based AWDS outputs such as irrigation facilities information, water demand and supply analysis.

*KEYWORDS : Water Management, ArcHydro Model, Network Modeling*

## 서 론

농촌지역의 농업생산구조의 변화 등으로 농촌지역의 용수 수요가 늘어나며, 다양화되고 있는 상황에서 농업용수의 효율적 관리는 수자원의 효율적 관리와도 직결된다. 용수지구에서의 다양한 물이용 형태와 관리체계의 복잡성 때문에 용수 수요량 및 공급량의 산정, 용수 관리체계의 개념정립이 매우 어려운 실정이다. 따라서, 정확한 용수의 수요 및 공급량 산정 과정이 선행되어야 하며, 이와 더불어 대상지구에서의 복잡한 물관리 체계를 정립하고 효율적인 용수관리를 위해서 하천과 농업용수리시설물의 연계성에 대한 관개 시스템 네트워크 모델링이 필요한 실정이다. 이를 위해 지리정보시스템(GIS : geographic information system)의 효율적인 활용은 필수적이다.

현재, 수자원분야와 관련된 GIS 프로그램으로 ArcHydro Model이 개발되었으며, ArcHydro Model은 ESRI (the Environmental Systems Research Institute)와 CRWR (Center for Research in Water Resource)에 의해 개발된 것으로 수자원에 관한 시·공간자료를 저장하기 위한 데이터 모델을 기반으로 하여 구축되었다. 이 모델은 ESRI의 응용프로그램에 의해 지형공간 DB로 제공되고 이러한 지형공간 DB는 하천망을 통해 선형참조(linear referencing)가 될 수 있다. 또한, 수리·수문에 관련된 동적인 모델링이 가능하도록 개발되었다(한국수자원공사, 2003).

수자원분야의 지리정보데이터모델에 대한

연구로 김정탁 등(2003)은 지리정보데이터와 관련된 ISO/TC 211 및 OGC 등 국제 표준에 부합하는 수자원 지리정보데이터모델을 정립하기 위해 기존의 국내외 데이터모델에 대한 기존 연구 결과를 분석하여 국내 실정에 맞는 하천망 네트워크를 기반으로 하는 수자원 지리정보 데이터모델을 제안한 바 있으며, 김계현 등(2003)이 하천주제도의 효율적인 구축을 위한 데이터모델 설계에 대한 연구를 수행한 바 있다. 또한 이홍로(2003)는 객체지향 지리정보시스템을 이용하여 지리-객체와 지리-필드를 연결하는 지리-객체 필드 방법을 규정하고, 수계-객체필드를 이용하여 새만금호 수량과 배수갑문수위를 조작하는 새만금수자원관리시스템의 홍수 시뮬레이션을 구현하였다.

본 연구에서는 한국농촌공사에서 구성한 농촌용수수요공급량산정시스템(AWDS: Agricultural Water Demand & Supply Estimation System)을 기반으로 대상지역인 안고농촌용수구역에 대한 정보를 추출하였다. 또한 이를 ArcHydro Model을 이용하여 하천과 농업용수리시설물의 연계성에 대한 관개시스템 네트워크를 모델링하였으며, 이로 상·하류간의 물이용 형태를 가시적으로 파악하고, 용수구역 및 시설물간의 정보를 시설물정보, 수요량분석, 공급량분석을 할 수 있는 메뉴를 구성하여 획득하였다.

## 대상지역 및 자료구축

본 연구의 전체적인 연구 수행체계는 그림 1과 같다. 안고농촌용수구역을 대상으로 유역

경계, 하천망도와 수리시설물 등의 기본공간자료를 구축하였고, 이를 수자원분야와 관련된 GIS 프로그램 ArcHydro Model에 이용될 수 있도록 변환하는 과정을 거쳤다. 또한 하천흐름도를 생성하여 HydroID 및 NextDownID 등을 설정함으로써 하천의 위상관계를 정립하였으며, 이렇게 하여 생성된 HydroJunction을 수리시설물 및 수해구역과 Relationship을 생성함으로써 공간자료의 연계성을 구축하고 수리시설별 수해구역을 추적하도록 하였다. 이 기능의 효율성을 증대시키기 위해 한국농촌공사에서 구성한 농촌용수수요공급량 산정 시스템(AWDS)을 ArcHydro Model과 연계하여 수리시설별 정보와 수요량 및 공급량 분석결과를 메뉴로서 확인 가능하도록 하였다.

1. 연구대상지역

우리나라는 농촌용수구역의 설정기준 및 방법에 의하여 농촌용수구역을 전국 464개소로 설정하였으며, 수계별로는 한강권역 123개소, 낙동강권역 131개소, 금강권역 149개소, 영상·섬진강권역 52개소, 제주도 9개소로 설정

하였다. 그 중 본 연구의 대상지역은 한강권역의 안성천 유역에 속해 있는 9개의 용수구역 중 하나인 안고용수구역이다. 총 면적은 157.52 km<sup>2</sup>이며 용인군 29.95km<sup>2</sup>, 안성군 127.57km<sup>2</sup>로 약 81%가 안성시에 속해 있으며 한천을 주 하천으로 하고 고삼저수지를 포함하고 있다(그림 2).

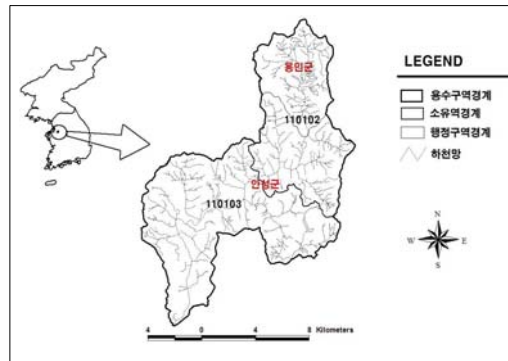


FIGURE 2. Study area

2. 기본공간자료구축

본 연구에서는 안고농촌용수구역을 중심으로 1:5,000 NGIS 자료를 이용하여 하천망을

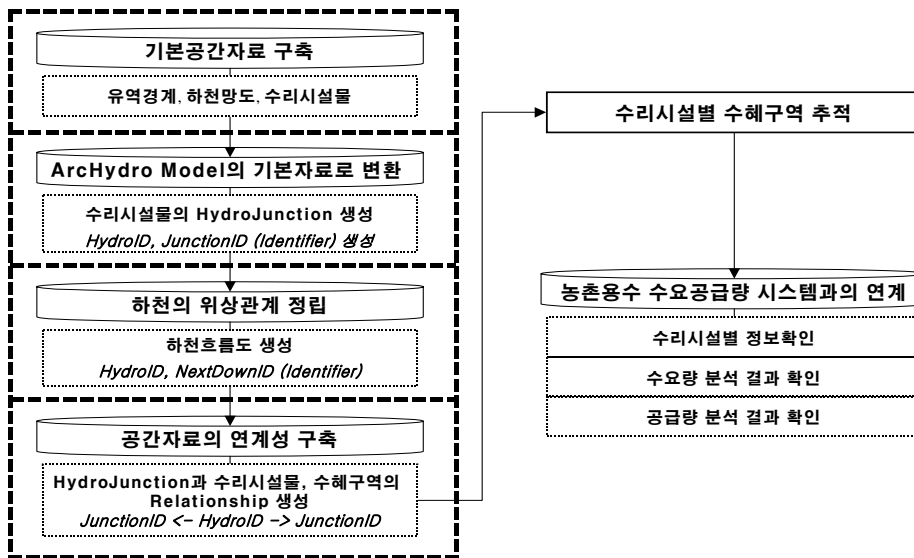


FIGURE 1. The flowchart of this study

추출하였으며, 유역경계 및 수리시설물의 위치도는 한국농촌공사의 자료를 이용하였다. 또한 이 자료들을 ArcHydro Model에서 수자원관련 요소로 인식하기 위해서는 그에 맞는 데이터 형식인 Geodatabase로 변환해 주어야한다. 그림 3은 유역경계, 하천망과 수리시설물의 위치도를 Geodatabase로 변환하여 구축한 기본공간자료들을 보여주고 있다.

### 하천의 위상관계 정립

ArcHydro Model은 구축된 벡터정보를 이용하여 공간 DB를 구축하기 위해 「Network tools」을 제공하고 있다. 「Network tools」에

서는 벡터하천망의 상류에서 하류방향으로 자동으로 방향성을 부여하는 기능을 포함하여, 공간자료의 Node, Reach를 형성하는 기능을 제공한다(김경탁 등, 2004). 그림 4는 이 기능을 이용하여 공간 DB들의 내부적인 연관성을 나타내는 네트워크 구성도이다. 시스템 내에 존재하는 모든 공간객체는 고유한 HydroID를 속성으로 가지고 있다. 벡터하천망으로부터 생성된 하천 네트워크는 HydroLine과 HydroPoint로 구성되어 있다. 이후 유역의 공간객체와 하천 네트워크의 연관성을 부여하기 위하여 각 공간객체에는 HydroID가 부여된다. 이 HydroID는 각 공간객체가 참조하고 있는 하천 네트워크상의 HydroPoint 혹은 HydroLine의 HydroID

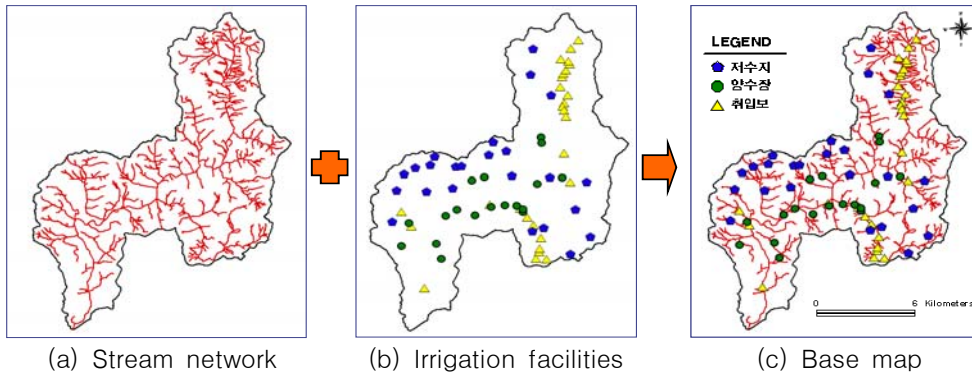


FIGURE 3. Base Map Data

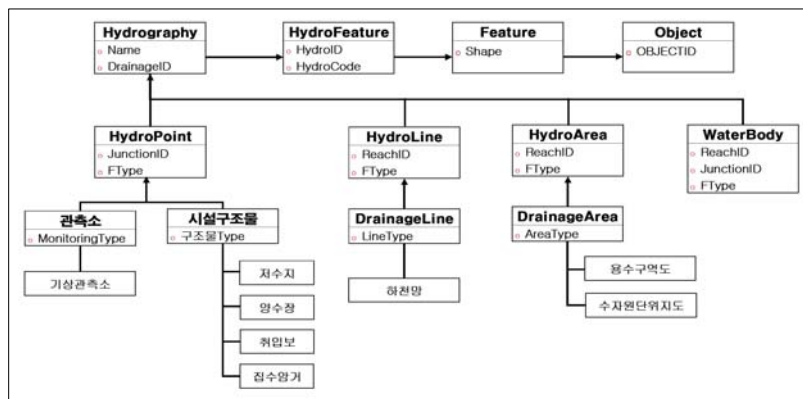


FIGURE 4. Organization of stream network

의 값을 저장함으로써 하천 네트워크가 가지고 있는 연관성을 고려하여 위상관계를 가지게 된다.

따라서, 본 연구에서는 정확한 위상관계가 형성된 하천네트워크를 구성하기 위하여 기본 공간자료를 이용하여 연계성 구축의 기준점인 HydroJunction을 생성하였다. 또한 「Network tools」의 기능을 이용하여 모든 공간객체에 고유한 HydroID를 부여하였고 이와 더불어 From\_node, To\_node, NextDownID를 설정하여 벡터하천망으로부터 생성된 하천 네트워크의 위상관계를 구축하였다. 그림 5는 위상관계 정립의 결과로써 특정지점에 대한 상류 하천을 추적하고자 했을 때 네트워크의 위상관계 정립으로 정확한 상류 하천 부분이 다른 색으로 하이라이트가 되는 것을 보여주고 있다.



FIGURE 5. Networking of stream

## 관개네트워크 모델링

용수구역내의 용수공급량을 산정하기 위해서는 유역 물수지를 통하여 수리시설물(저수지, 양수장, 취입보)의 유입량과 유출량을 산출하여 전체구역에 걸쳐 순차적으로 물수지를 수행하여야 한다. 유역 물수지를 수행하는데 있어 가장 핵심적인 내용은 각 수리시설물별로 산정한 물수지 내역을 유기적으로 연결시키는 데 있다.

수리시설물의 네트워크 구성은 수리시설물

의 위치와 연결된 수계 및 지형학적 조건에 의하여 구성되며 본 연구에서는 안고 용수구역의 수계도를 이용하여 24개의 저수지, 18개의 양수장, 28개의 취입보 등 총 70개의 수리시설물의 네트워크를 구성하였다(그림 6).

### 1. 공간자료의 연계성 구축

본 연구에서는 유기적인 수리시설물별 물수지 상황을 파악하기 위하여 수리시설물에 따른 수계구역을 가지적으로 추적할 필요가 있다. 이를 위해 변환된 수리시설물과 하천네트워크의 HydroJunction, 수계구역도 간의 연관성을 구성하였다. 「Network tools」의 기능을 이용하여 고유한 HydroID를 각 공간객체에 부여하고 수리시설물, 수계구역 공간객체와 하천네트워크의 연계성을 구축하기 위해 하천네트워크의 HydroJunction에 부여된 HydroID를 중심으로 이와 관련 있는 수리시설물과 수계면적 객체에 같은 JunctionID를 저장한다. 이에 JunctionID는 하천네트워크를 중심으로 수리시설물, 수계면적의 연계성을 구축하여 수리시설에 따른 수계구역 추적이 가능하도록 한다.

### 2. 수리시설별 수계구역 추적

위상관계를 이용하여 수계구역도의 위치를 알고자하는 수리시설물(후동저수지)을 선택하게 되면 이 객체의 JunctionID와 위상관계가 성립되어 있는 하천네트워크 HydroJunction의 HydroID가 추적되고 그에 이어 같은 HydroID로 구성되어 있는 수계구역 객체를 추적하게 된다. 따라서 그림 7은 예로써 후동저수지의 수계구역을 추적하는 과정을 보여주고 있다.

## ArcHydro Model과 농촌용수 수요공급량 시스템의 연계

본 연구에서는 ArcHydro Model을 이용하여 수리시설물에 따른 수계구역을 가지적으로

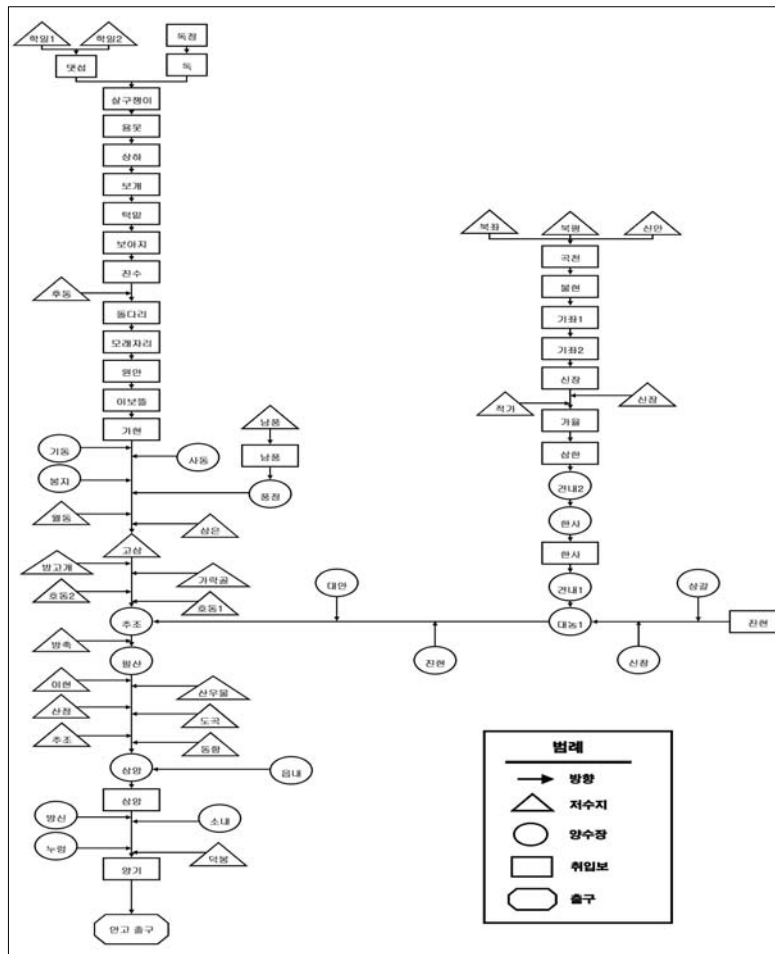


FIGURE 6. Network of irrigation facilities

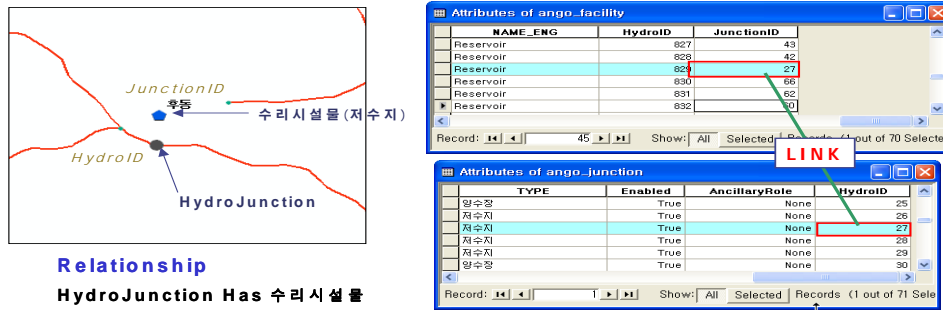
표현하였고, 이와 더불어 수리시설물의 실제적인 시설물정보 및 용수 수요공급량의 정량적인 정보를 획득하기 위하여 농촌용수수요공급량산정시스템(AWDS)과 연계 하였다.

1. 농촌용수수요공급량산정시스템(AWDS)

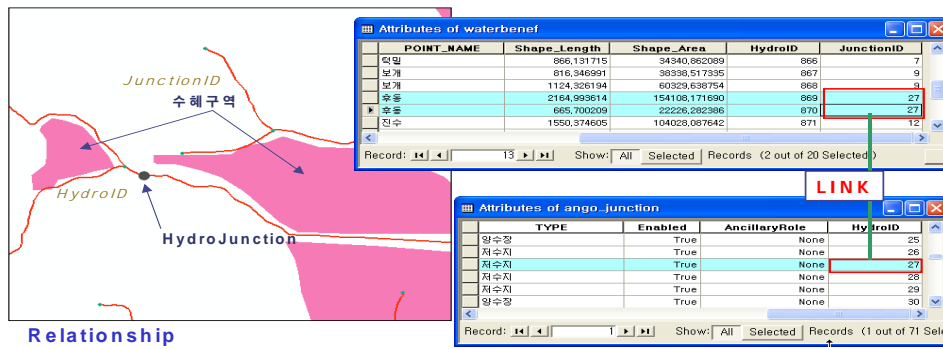
AWDS는 21세기의 농촌용수 수요량 증가 및 한정된 수자원을 효율적으로 활용하기 위한 농업·농촌용수 종합이용계획의 일환으로 계획되었으며, 농촌용수의 합리적인 개발·보전·관리를 위해서는 먼저 농촌용수의 분석기

법을 정립하여 현재의 전국적인 농촌용수 수요량을 체계적으로 분석하고, 농촌용수를 공급하는 수리시설물의 공급량을 산정하므로써 농촌용수의 계획 및 국가 수자원정책의 기본 자료로 사용할 수 있도록 개발되었다.

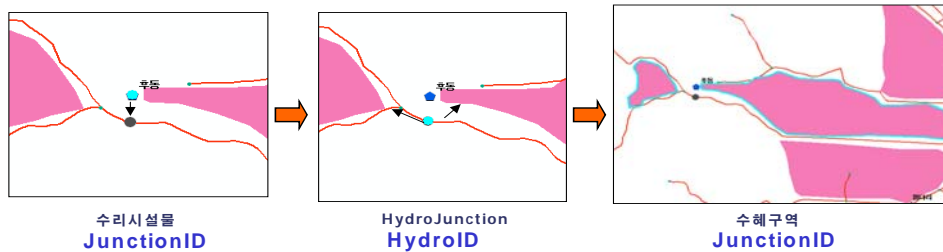
AWDS는 그림 8에서 보는 바와 같이 논용수 수요량 산정, 밭용수 수요량 산정, 축산용수량 산정, 수리시설물의 공급량, 용수구역 및 시설물 네트워크의 다섯 가지의 모듈을 기본으로 구성되어 있다. 그러나 위에 설명된 다섯 가지 모듈은 한 개의 구역, 즉 한 개의 입력단위에 대한 수요·공급량 산정 모듈에 불과하



(a) Relationship of HydroJunction and irrigation facilities features



(b) Relationship of HydroJunction and water benefit district features



(c) Tracing of water benefit district

FIGURE 7. Tracing process of water benefit district according to irrigation facility

며 전체적인 농촌용수 수요·공급량을 생성하는 부분은 전체적인 수요·공급량 입력 자료를 데이터베이스로부터 읽어 들여 계산단위의 자료로 재구성한 뒤 각 산정모듈을 호출하여 수요·공급량을 산정하고 그 결과를 데이터베이스에 출력하는 알고리즘이다. 수요량 산정 알고리즘은 위에서 설명한 논, 밭, 축산용수

수요량 산정 모듈을 호출하여 수요량을 산정하게 되며 공급량 산정 알고리즘은 두 가지로 구분되어 각각의 수리시설물에 대하여 공급량을 산정하는 시설물별 공급량 알고리즘과 각 수리시설물을 연계하여 용수공급능력을 산정할 수 있도록 지원하는 시설물 연계공급량 알고리즘으로 구분된다.



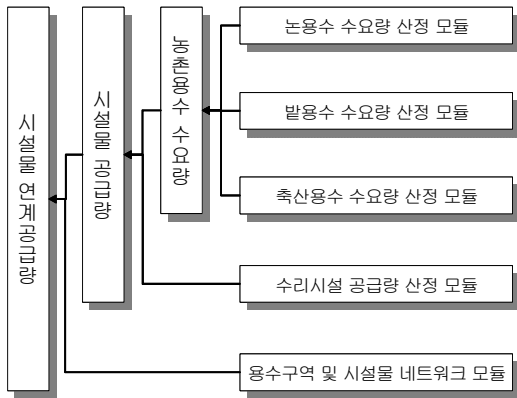


FIGURE 8. Modules and algorithm of demand and supply estimation

전체적인 농촌용수 수요·공급량을 산정하기 위하여 자료들을 체계적으로 정리하고 자료를 효율적으로 관리할 수 있는 시스템이 필요하게 된다. 따라서 농촌용수 수요·공급량 산정시스템에서는 목적에 따른 각 자료들을 독립적으로 유지관리하기 위하여 항목별로 데

이터베이스화하여 구성되었다. 데이터베이스는 수요량, 시설공급량, 연계공급량 산정과 관련하여 각각 독립적인 자료를 가지도록 구성하였으며 항목별로 입력DB, 결과DB, 통계DB를 가진다. 이들 DB는 물리적으로 독립적인 데이터베이스를 사용하게 되지만 공통적으로 사용하는 테이블은 서로 연결되어 직·간접적으로 영향을 주게 된다(그림 9).

2. AWDS와의 연계

본 연구에서는 ArcHydro Model과 AWDS의 연계하여 정량적인 시설물정보 및 수요량, 공급량 분석결과를 보여주기 위해 ArcGIS 프로그램내의 UIControls모듈을 이용하여 Visual Basic 기반의 언어를 코딩하여 연계하였으며, 이로 시설물정보, 수요량분석, 공급량분석이라는 메뉴를 생성하였다. 시설물정보라는 메뉴를 이용하여 연구대상지역의 저수지, 양수장, 취입보에 따른 한발빈도, 준공년도, 유역면적 등

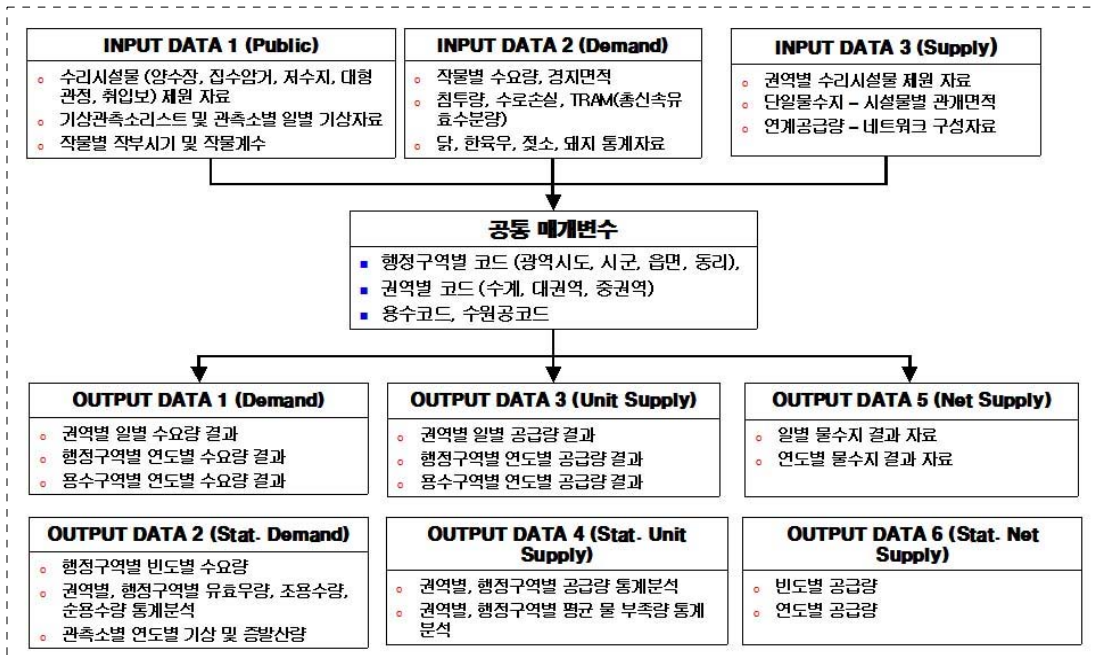


FIGURE 9. AWDS database component



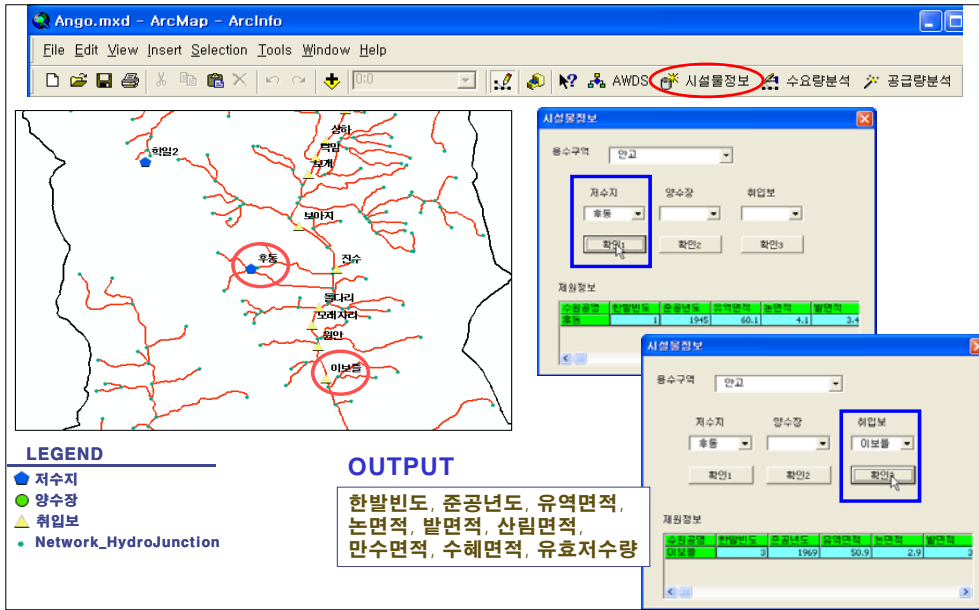


FIGURE 10. Menu of irrigation facilities information

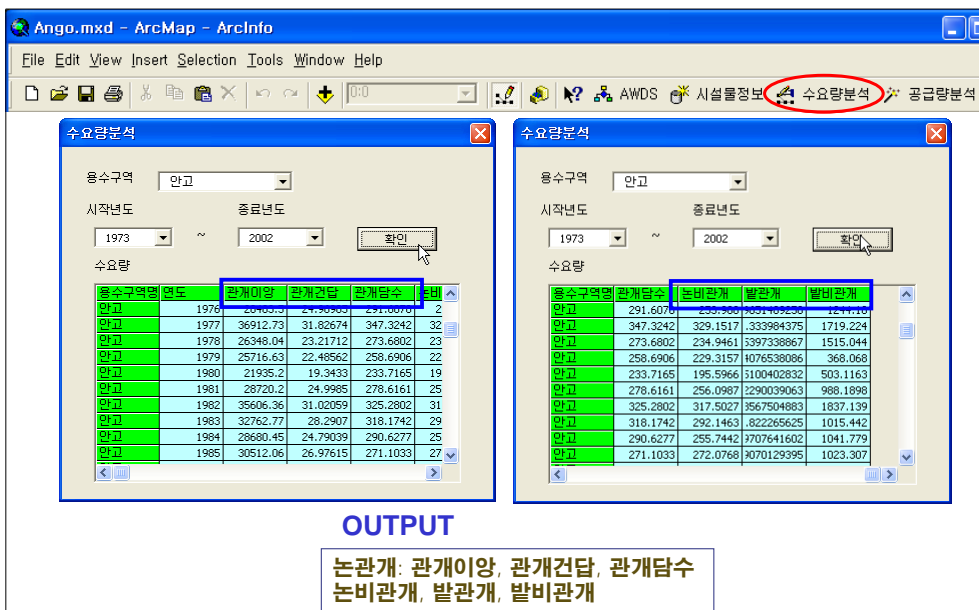


FIGURE 11. Menu of demand estimation

의 제원정보를 확인할 수 있다(그림 10). 또한 수요량 분석이라는 메뉴를 이용하여

대상지구의 연도별 논관개, 밭관개 수요량 정보를 확인할 수 있다(그림 11).

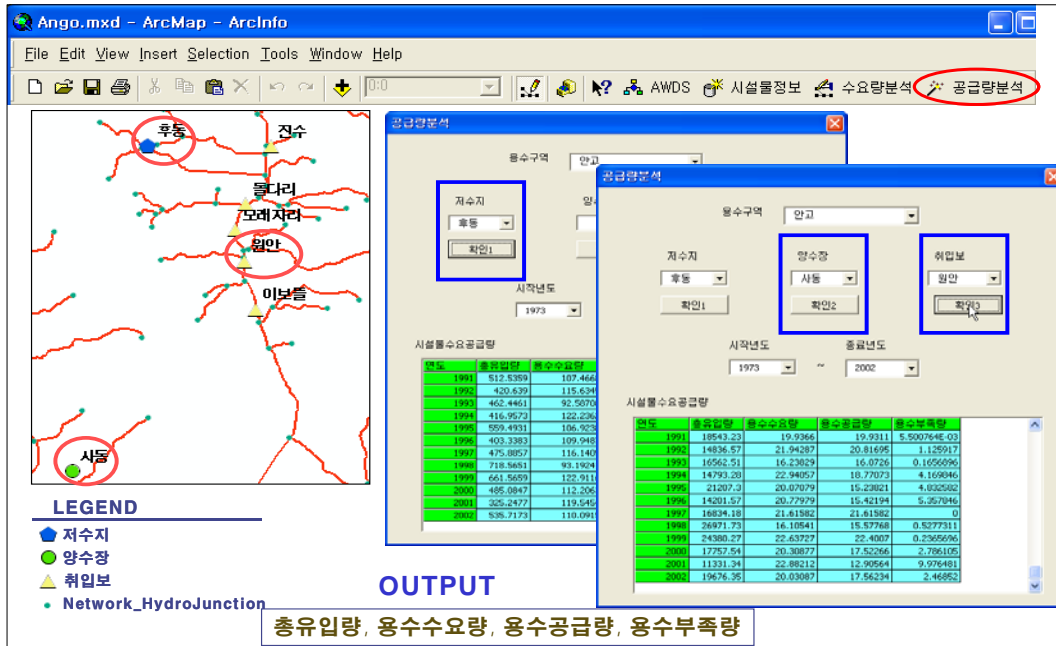


FIGURE 12. Menu of supply estimation

공급량 분석이라는 메뉴를 이용하여 대상지의 저수지, 양수장, 취입보에 따른 연도별 총유입량, 용수수요량, 용수공급량, 용수부족량 정보를 확인할 수 있다(그림 12).

### 요약 및 결론

본 연구에서는 대상지역인 안고농촌용수구역의 물관리 체계와 관련된 정보를 추출하기 위하여 AWDS (농촌용수수요공급량산정시스템)를 이용하였고 이를 ArcHydro Model로 구성하여 하천과 농업용 수리시설물의 연계성에 대한 관계 시스템 네트워크를 모델링하여 상·하류간의 물이용 형태를 가시적으로 파악하기 위해 설계하고 메뉴로서 구성하여 도식화하였다. 본 연구의 결과를 정리하면 다음과 같다.

1. 하천 네트워크의 정확한 위상관계를 형성하기 위하여 HydroJunction을 생성하고 모든 공간객체에 고유한 HydroID를 부여하였고

이와 더불어 From\_node, To\_node, NextDown ID를 설정함으로써 특정지점에 대한 상류 하천을 추적하는 것이 가능하게 되었다.


2. 위상관계가 정립된 하천 네트워크와 수리시설물, 수해구역도 자료들 간의 연계성을 구축하기위해 하천네트워크의 HydroJunction에 부여된 HydroID를 중심으로 이와 관련 있는 수리시설물과 수해면적 객체에 같은 JunctionID를 저장하는데 이는 하천네트워크를 중심으로 수리시설물, 수해면적의 연계성을 구축하여 수리시설에 따른 수해구역 추적이 가능하도록 하였다.

3. ArcHydro Model을 이용하여 수리시설물에 따른 수해구역을 가시적으로 표현하였고, 이와 더불어 수리시설물의 실제적인 시설물 정보 및 용수 수요공급량의 정량적인 정보를 획득하기 위하여 ArcHydro Model에 농촌용수수요공급량시스템(AWDS)을 연계하였다. 이를 위해 ArcGIS 프로그램내의 UIControls

모듈을 이용하였으며, 이로 시설물정보, 수요량분석, 공급량분석이라는 메뉴를 생성하여 많은 정보를 확인할 수 있었다.

4. 향후, 본 연구에서 개발된 ArcHydro Model 기반의 관개 네트워크 기법을 용수구역별 또는 권역별로 점차적으로 확대, 적용하여 궁극적으로 전국적 네트워크 시스템 구현할 수 있을 것이며, 기존의 관개시스템을 효율적으로 관리함과 더불어 신규 관개 시스템 개발에 의한 공간적, 양적 변화를 가시적, 효과적으로 분석할 수 있는 의사결정도구로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 한국농촌공사에서 구축한 AWDS를 이용하였습니다. 이에 감사드립니다. 

### 참고 문헌

- 김경탁, 김주훈, 최윤석, 박동선. 2003. Network 컴포넌트 기반의 수자원지리정보시스템에 관한 연구. 한국지리정보학회지 6(4):122-134.
- 김경탁, 최윤석, 김주훈. 2004. 하천 네트워크 기반의 유역관리시스템 개발을 위한 프레임워크 공간 DB 구축에 관한 연구. 한국지리정보학회지 7(2):87-96.
- 김계현, 김한국, 양수명. 2003. 하천주제도의 효율적 구축을 위한 데이터모델 설계에 관한 연구. 2003 공동춘계학술대회논문집. 한국지형정보학회, 개방형지리정보시스템학회, 한국GIS학회, 대한원격탐사학회. 623-628쪽.
- 이홍로. 2003. 객체-지향 지리정보시스템을 이용한 새만금 수자원 관리 시스템의 홍수방어 시뮬레이션 구현. 한국지리정보학회지 6(2):33-45.
- 한국수자원공사, 2003, 하천주제도 사업계획 수립 보고서. 