

〈2003년 8월 서울대학교 박사학위 논문〉

통합 농업 시스템 모형의 복잡성 해소와 자기조직성 창발의 구현



이 호 재

서울대학교 농업구조 및 시스템공학 연구실

1. 서 론

농업시스템 모형은 여러 연구에 의해 개발되어 왔음에도 불구하고 이질적인 농업 모형의 통합 과정에서 복잡성으로 인하여 통합모형의 규모가 방대하고 복잡하여 농업분야의 의사 결정지원자들이 일상적으로 사용할 수 있는 농업 시뮬레이션 모형을 찾기 어려운 현실이다. 이러한 현상을 극복하기 위해 농업 시뮬레이션 모형에서도 객체지향기법 혹은 소프트웨어 컴포넌트 기법을 도입하고 있으나 이들 역시 연구 성과들이 현실적으로 사용되고 있지는 않다. 본 연구에서는, 이러한 농업 시스템 모형 통합의 어려움은 농업 시스템의 특성으로부터 기인한다고 판단하였다.

따라서, 농업 시뮬레이션 모형의 개발에서 이러한 복잡성을 극복하고, 전체로서의 시스템을 구성하는 과정에서 시스템의 자기조직적인 특성을 구현하기 위해서는 기존의 농업 시스템 모형을 구현하는 프로그래밍 방법론과 다른 접근방법이 필요하다. 특히, 농업 시스템 모형이 실제로 농업의 다양한 의사결정과정에 사용되기 위해서는 농업 시스템 모형의 구성과 이용이 어렵지 않아야 한다.

본 연구에서는 농업 시스템의 내재적 특성인 정보 처리의 복잡성을 해소하고, 자기조직적인 시스템의 특성을 구현할 수 있는 현실적인 방법을 제안하며, 시각 프로그래밍 기술이 접목된 농업 시스템 시뮬레이터를 개발하여 농업 시스템에 적용함으로써 그 유용성을 살펴보고자 한다.

2. 농업 시스템 모형의 통합

가. 농업 시스템 모형 통합과 문제점

기존의 농업 시뮬레이션 환경에서는 유연하게 변화시킬 수 있는 농업 시뮬레이션 모형의 통합 및 구성이 쉽지 않으며, 이로 인해 사용성이 떨어지게 된다. 따라서, 사용자가 새롭게 등장하는 농업의 문제를 반영할 수 있는 모형을 구성하는 것이 어려우며, 이러한 이유로 농업 시스템 모형의 위기가 생겨났다고 할 수 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서 Jones(2001)는 농업 시스템 모형도 소프트웨어 컴포넌트와 같은 높은 수준의 현실적 모듈성이 필요하다고 주장하였다.

농업 시뮬레이션 모형의 개발에서 이러한 복잡성을 극복하고 전체로서의 시스템을 구성하는 과정에서 자기 조직적인 특성을 구현하기 위해서는 기존의 방법과 다른 접근방법이 필요하다. 이와같은 문제를 해결하기 위해서는 농업 시스템 모형을 구성하기 위한 다른 접근 방법이 필요하다. 그러나 농업 시스템 모형 시뮬레이션을 위한 대안적 접근 방법이 농업 시스템 모형 연구에서 많이 연구되지 못한 이유에 대하여

- Jones(2001), McCown(1996), Bouman(1996) 등은 지금까지 농업 시스템 모형에 관련된 수많은 연구가 수행되어, 이들 중에는 다루기 쉽지 않더라도 오랜 연구를 통한 튼튼한 체계를 통하여 구성 요소들의 통합으로 복잡한 농업 시스템 모형의 구성이 가능하기 때문으로 주장하였으며,

- Kropff(2001b)는 농업은 산업의 특성이 강하여 자연 현상뿐만 아니라 사회, 경제적 특성이 주요한 역할을 하고 있기 때문

에 이러한 특성을 반영한 현실적인 시스템을 구성하기가 어렵기 때문이라고 주장하였다.

• 본 연구에서는, 농업 시스템이 생태 모형 등의 다른 모형들과는 달리 다양하고 이질적인 구성 요소들로 이루어져, 기존의 일반적인 농업 시뮬레이션 모형의 구성에서 농업 시스템 구성 요소들 간의 상호작용과정을 명시적으로 표현해야하는 기존의 농업 모형 프로그래밍 방법을 농업 시스템 모형의 복잡성의 원인으로 보았다.

따라서, 본 연구에서는 복합적인 농업 시스템을 구성할 때 생기는 복잡성을 피하기 위해 구성 요소간의 정보 교환이 미리 기술된 순서나 연결 등에 따르지 않고 자동적으로 이루어지도록 하는 것이 가능한 일방향 정보 교환 기법을 제안하고자 한다. 일방향 정보 교환 기법은 시스템에서 창발하는 자기 조직적인 특성을 반영한 프로그램 구성 기법으로, 이를 적용하여, 이질적이고 다양한 구성 요소들을 쉽게 통합함으로써, 실행 가능하고 다루기 용이한 종합적인 농업 시스템 모형을 구성할 수 있도록 하여, 농업에 있어 시스템 공학적 방법을 도입할 수 있는 기초를 제공하고자 한다.

3. 일방향 정보 통신

농업 시스템 모형의 구현에서 복잡성의 근원을 농업 시스템 모형을 구성하고 있는 세부 요소들 사이의 정보 통신으로 분석하였다. 이와 같은 복잡성을 해결하기 위해서는 기존의 프로그래밍 방법론과 같이 명시적으로 정보 교환 방법에 대한 새로운 정보를 추가하지 않고도 이를 가능하게 하는 새로운 기법이 필요하다. 본 연구에서는 그 대안으로 일방향 정보 교환 기법을 제안하고자 한다. 일방향 정보 교환 기법은 하나의 컴포넌트로 표현되는 농업 모형이 기하학적으로 인접한 다른 농업 모형 컴포넌트와 동적으로 정보를 교환할 수 있도록 하는 방법으로 이러한 기능이 가능하도록 하기 위해서 본 연구에서는 Java Bean 컴포넌트 규약을 이용하였다. 즉, 일방향 통신기법을 적용하여 개별 농업 모형 컴포넌트가 다른 임의의 농업 모형 컴포넌트의 구성을 검색하여, 관련된 정보가 있는지를 검색하고 그 결과에 따라, 정보를 이동이 가능하다.

특히, 개체 단위에서 정의되는 일방향의 정보 통신 방법에 대한 정의만으로 구현된 농업 시스템 모형들은, 그 구성 농업 모형 컴포넌트들의 기하학적 접근성에 따라 정보의 교환이 자동으로 구성되고 이루어지므로, 시스템에서 관찰할 수 있는 자기조직성의 창발을 쉽게 구현할 수 있을 것으로 예상된다. 기존의 프로그래밍 방법을 따르면 시스템의 자기조직적 특성을 발현하기 위해

서는 명시적인 방법에 의해서 시스템 요소들 사이의 혹은 시스템과 그 환경간의 정보 교환 및 정보의 되먹임 고리를 정의해야 하므로, 전체로서의 시스템 구성이 어려웠던 한계를 극복할 수 있는 것으로 예상하였다.

4. 범용적 농업 시스템 시뮬레이터; GASS(Generic Agricultural Systems Simulator)

가. GASS의 기본 개념

범용적 농업 시스템 시뮬레이터(Generic Agricultural Systems Simulator:GASS)는 개별적으로 개발된 농업 모형들의 통합을 통한 복합적인 농업 시스템을 구성하고 이를 시뮬레이션하도록 하는 농업 시스템 시뮬레이션 환경이다. 본 연구에서는 GASS의 구현을 통하여 통합 농업 시스템 모형의 개발과 시뮬레이션에서의 세 가지 문제점인 Modularity, Complexity & Self-Organization, Simulation of Complex System을 해결하고자 하였다.

나. 농업 시스템 모형의 모듈성

농업 시스템 모형의 모듈성은 Jones(2001)의 연구에서 밝힌 바와 같이 단위의 농업 모형 소프트웨어를 통합하여 복합적인 농업 시스템 모형을 구성할 수 있도록 하는 소프트웨어적 특성이 다. 소프트웨어의 모듈성은 소프트웨어 컴포넌트 내부의 논리적, 의미적 유의성과 응집도(cohesion)를 높이고 컴포넌트 사이에 발생할 수 있는 유기적 연관성(coupling)을 줄임으로써 높일 수 있다.

한편, 객체지향기법으로 해결하지 못하는 소프트웨어의 재사용과 통합의 문제를 해결하기 위한 방법으로 Lee(2000)는 객체지향 소프트웨어 모듈의 개념을 제안하였다. Lee(2000)는 높은 모듈성을 지닌 실용적인 소프트웨어 컴포넌트의 개발을 위해서는 객체지향기법에서처럼 소프트웨어에서 접근하는 자료를 소프트웨어 컴포넌트의 기능(operation)으로 캡슐화(encapsulation)하여야 한다고 주장하였다. 이를 위하여 객체지향 소프트웨어 모듈은 높은 기능성과 독립성을 갖고 있는 데이터베이스 관리 시스템을 이용하여 소프트웨어 컴포넌트의 자료를 독립적으로 관리하는 기법을 제안하였다. 이상과 같은 개념을 구현하기 위하여 Java Bean 기법을 적용함으로써 농업 소프트웨어 모형의 모듈성 확보를 도모하였다.

즉, 본 연구에서는 프로그램의 개발 및 통합에서 문제가 되는 불규칙적인 자료처리의 문제를 해결하기 위해 객체지향 소프트웨어 모듈의 개념과 시각적 컴포넌트 기법을 이용하여 개발된 개

방향 프로그램 개발 환경인 JAZZ를 기반으로 일반적 농업 모형 시뮬레이터(GASS)를 개발하였다.

다. 통합 농업 모형의 복잡성과 자기 창발성

GASS에서는 일방향 정보 통신 기법을 적용하기 위하여 농업 시스템 모형의 정보를 프로그램의 기하학적 접근성을 검색할 수 있도록 하였다. 그 결과로 간단한 Drag & Drop 작동을 통해 농업 모형 컴포넌트들을 배치하고, 그 기하학적 접근성을 검토하여, 시뮬레이션되고 있는 농업 모형 컴포넌트가 인근의 농업 모형 컴포넌트의 정보에 접근할 지의 여부를 결정하게 된다. 인근에 있는 것으로 판단된 농업 모형 컴포넌트의 정보는 Java Bean이 제공하는 Reflection API 기법을 이용하여 가져오게 되는데, 이렇게 취한 인근 농업 모형 컴포넌트의 정보들을 검색하여, 시뮬레이션되고 있는 컴포넌트가 필요로 하는 정보가 있는지를 판단한다. 만약, 대상 컴포넌트가 필요로 하는 정보가 있다면, 그 정보를 대상 농업 모형에서 정의하고 있는 방법에 따라 취하고, Java Bean의 Introspection 기법을 이용하여, 그 정보의 취한 양에 따른 균형을 맞춘다. 이와 같은 과정을 전체 농업 모형 요소들이 동시적으로 반복함으로써 전체 농업 시스템의 자기 조직적 특성이 창발되도록 한다.

라. 통합 농업 모형의 시뮬레이션

본 연구에서 제안한 일방향 정보 통신 기법은 독립적으로 개발된 다양하고 이질적인 농업 시뮬레이션 모형을 통합하는 과정에서 발생하는 복잡성을 줄이고 자기 조직적인 시스템의 특성을 구현하기 위한 것이다. 일방향 정보 교환 기법에 따라 개발된 농업 시스템 모형들을 통합하여 시스템을 구성하고 이를 시뮬레이션하려면, 전체 시스템을 구성하고 있는 여러 농업 모형들이 독립적으로 실행되는 동시에 서로 간에 정보를 교환할 수 있도록 하여야 한다.

이를 위하여 본 연구에서는 전체 농업 시스템을 구성하는 개별 요소들이 전체를 대표하는 시간의 흐름에 따라 동시적으로 시뮬레이션이 진행되는 병렬적 농업 모형 시뮬레이션 기법을 제안하였다. 이 기법은 하나의 대표 시계가 흘러가면서 전체 시스템을 구성하고 있는 개별 농업 모형들이 각각의 시계를 동기화 하면서 병렬로 시뮬레이션을 진행하는 방식이다.

특히, 이상과 같은 기법을 이용하여 구성된 농업 시스템 시뮬레이션은 사상의 진행이 아닌 시간이라는 균일한 단위를 이용하여 시뮬레이션을 진행하므로 이질적이고 다양한 농업 시스템 모형들을 통합하는 효과적인 도구의 개발이 가능하도록 할 것으로 판단된다. 이를 구현하기 위하여 Java의 다중 쓰레드 기법과

'Serializable' 인터페이스를 이용하여, 각각의 농업 모형 컴포넌트의 시각과 전체 농업 모형의 시각을 병렬적으로 동기화 하도록 하여, 전체 농업 모형을 관할하는 마다 컴포넌트의 시계가 진행함에 따라, 이를 구성하고 있는 다른 컴포넌트들의 시각이 자동적으로 이에 동기화되면서 시뮬레이션이 진행되도록 하였다.

마. GASS의 구현

GASS는 JAZZ와 Yoon(2001)에 의하여 개발된 Integrated Design System for Agricultural Facilities (IDSAF)의 프레임워크를 바탕으로 개발되었다. IDSAF는 농업 시설물 설계를 위한 통합 설계 시스템으로 개발되었다. 농업 시설물들의 체계적 구성을 위해 IDAF는 Bae(2001)가 개발한 Multi-layered Primitive-Composite (MPC)모형을 적용하여 관개 시설물들을 모델링 하였다. GASS의 전체적인 구성은 그림 1에서 보인 것과 같으며, 실제로 GASS를 이용하여 농업 시뮬레이션 모형을 구성하는 방법은 그림 2에 나타나 있다.

GASS를 구현하는데 사용된 농업 모형 시뮬레이션 기법을 GASPanel위에 컴포넌트를 배치함으로써 전체 시스템의 진행과 각각의 농업 모형 시뮬레이션의 진행과 동기화되는 기능에 대한 검증 적용 결과, 개별 객체의 시간은 전체 시스템의 시간과 동기화되며 잘 진행되는 것을 알 수 있었다.

둘째는 제안한 일방향 정보 교환 기법을 검증한 결과, 개별 농

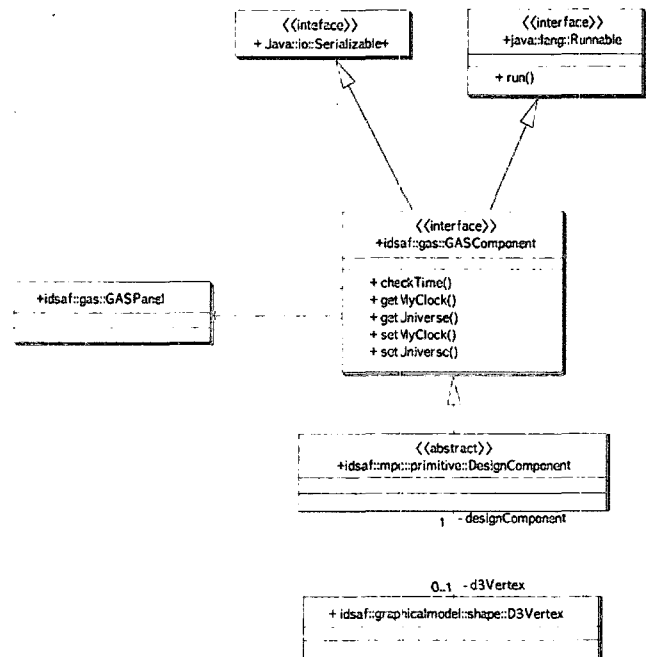


그림 1 Class diagram of core classes of the Generic Agricultural Simulator

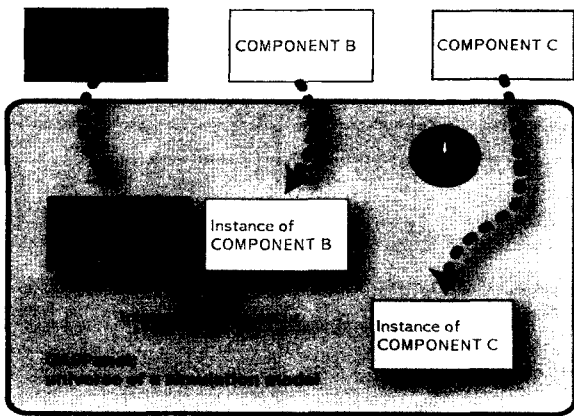


그림 2 Schematic view of construction of simulation model with GASPanel and GASComponents

업 모형들의 연결 관계를 명시적으로 모사하지 않고도 그 정보가 원활히 교환되는 것을 알 수 있었다. 또한, 기하학적으로 인접하지 않은 모형의 경우에는 정보의 교환 없이 자신의 상태를 유지하고 있음을 알 수 있었다.

5. GASS의 적용예

가. 농업생산 시스템 모형의 구성과 시물레이션

GASS를 이용한 복합적 농업 시스템 모형의 예로 저수지, 수로, 논 및 수도 모형으로 이루어진 농업 생산 시스템을 구성하고 이의 시물레이션을 통해 GASS가 현실에 가까운 농업 시스템 모형을 구성하는데 적합함을 검토해 보고자 한다.

IDSFAF를 기반으로 관개 시스템을 구성하는 요소들과 복합적인 수도 생육 모형인 ORYZA2000을 변형한 GASRice를 개발하고, 이들을 조합하여 복합적인 농업 생산 시스템을 구성하고 시물레이션하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- GASS를 이용하여 소비수량을 이용하는 PaddyField와 저수지, 수로 등으로 구성된 농업 생산 시스템을 쉽게 구성할 수 있었으며, 이를 시물레이션 하였다.

- 강우 사상의 변화에 따라 저수량과 이에 따라 논이 담수 상태 및 함수량이 동적으로 변화하는 상황을 시물레이션할 수 있었으며 이로부터 GASS를 이용한 농업 시스템 모형의 구성과 시물레이션이 가능함을 확인할 수 있었다.

- 실제적인 농업 시스템 모형을 구성하기 위하여 복잡한 수도 생육 모형인 ORYZA2000을 변형하여 GASRice 객체를 개발하고 이를 통합하여 복합적인 농업 생산 시스템을 구성하고 시물레이션 하였다.

- 농업 생산 시스템에서 동적 수분 순환 기작을 명시적인 프

그래밍 없이 시각적 프로그래밍에 의하여 구현할 수 있었다.

- 강우 사상에 따른 저수량의 변화에 작물 모형의 생육 시물레이션이 연계되어 올바르게 반응하는 것을 관찰할 수 있었다.

이상의 결과로부터 본 연구를 통하여 개발된 GASS는 기존의 농업 시스템 모델링 방법으로는 구현하기 어려웠던, 개별적으로 개발된 여러 농업 시스템 모형의 통합을 통한 농업 시스템 구현에 유용함을 확인할 수 있었다. 이렇게 구성된 모형을 이용하여 시물레이션을 수행하면, 농업 생산 시스템 전체 혹은 작물 군집을 대표하는 상태 변수로 구성된 농업 시스템 모형으로는 모사할 수 없는 동적인 시스템 시물레이션이 가능한 것으로 판단되었다.

6. 결과 및 고찰

본 연구에서는 개별적으로 개발된 농업 모형들을 통합하여 복합적인 농업 시물레이션 모형을 구성하는 과정에서 발생하는 문제점을 프로그램 구성 과정에서 생겨나는 정보의 교환을 명시적으로 기술하여야 하는 기존의 시물레이션 프로그래밍 방법론의 내재적 복잡성에서 기인한다고 분석하였다. 이를 극복하기 위하여, 본 논문에서는 일방향 정보 통신 기법을 제안하고 객체지향 소프트웨어 모듈 기법을 도입한 시각적 프로그래밍 환경을 적용하여 이를 구현하였다. 또한 복합적인 요소들로 구성된 농업 시스템 모형의 시물레이션을 위하여 각각의 농업 모형 요소들이 병렬적으로 시물레이션을 수행하도록 시간 동기화 기법을 제안하였다.

이상과 같이 제안된 기법을 구현하기 위하여 농업 시물레이션 모형의 모듈성을 확보함으로써 유연한 통합이 가능하도록 객체지향 소프트웨어 모듈 개념을 도입한 시각적 프로그래밍 환경을 적용하여 일반적 농업 시스템 시물레이터인 GASS(Generic Agricultural System Simulator)를 개발하였다. 제안한 기법들의 적합성을 검토하기 위하여 GASS를 이용하여 개별적 시물레이션 컴포넌트로 구성된 간단한 시물레이션 모형을 구성하여 실행하였으며, 시각적 프로그래밍 환경 하에서 간단한 Drag & Drop에 의하여 시물레이션 모형을 구성할 수 있으며 병렬적으로 시물레이션이 진행됨을 확인하였다. 또한 명시적으로 정보 교환 방향과 형식 등에 대하여 프로그래밍으로써 기술하지 않고, 컴포넌트의 시각적 배치만으로 관련된 정보의 통신이 원활이 이루어짐을 확인하여 제안된 일방향 정보 통신 기법의 적합성을 검토하였다.

GASS의 적용성을 검토하기 위하여 저수지와 수로, 논으로 구성된 관개 시스템과 Bouman(2001)의 수도 생육 모형인 ORYZA2000의 일부를 GASS 농업 모형으로 개발하였으며, 이들을 조합하여 수도작 재배를 위한 농업 생산 모형을 구성하고

시뮬레이션 하였다. 이로부터 다음과 같은 시뮬레이션 결과를 얻을 수 있었다.

- 명시적인 세부 요소간의 연결 없이 강우사상과 기상의 변화로부터 저수량의 변화, 관개 및 논의 포장용수량이 모사됨을 확인할 수 있었다.

- ORYZA2000의 수도 생육 모형을 적용하지 않았을 때에는, 일반적인 농어촌용수개발사업 기본계획 수립 시에 예상하였던 현상과 유사하게 관개시스템이 동작함을 확인하였다.

- ORYZA2000의 수도 생육 모형을 적용하였을 때에는 논에서 재배되는 수도의 생육이 기상의 변화와 관개의 변화에 따라 변화하는 것을 확인할 수 있었다.

- 특히 강우가 부족하거나 관개가 이루어지지 않는 경우에는 수도의 생육이 원활하지 못하게 되는 현상을 확인할 수 있었다.

이상의 결과로부터 본 연구에서 개발한 GASS가 복합적인 농업 시스템을 모사할 수 있는 적합성을 갖고 있음을 확인할 수 있었다. 즉, 본 연구에서 제한한 일방향 정보 통신 기법과 이를 적용한 GASS는 콤포넌트로 개별적으로 개발된 농업 모형들을 시각적으로 조합함으로써 복합적인 농업 시스템 모형을 구성하고 시뮬레이션 할 수 있음을 알 수 있었다. 특히, GASS에서 개발된 농업 시스템 모형은 개별적인 농업 모형들을 조합하는 개체단위의 모델링(IBM)의 방식을 따르고 있어, 수학적 모형으로 표현된 상태변수(state variable) 중심의 모형이 모사할 수 없는 복잡한 시스템의 자기조직적 특성을 모사할 수 있는 장점이 있음을 알 수 있었다.

GASS를 적용하여 현실에 가까운 농업 시스템 모형을 쉽게 구성하고 시뮬레이션할 수 있으므로, 적절한 자료와 관련 모형을 이용하여 합리적인 의사결정지원시스템을 구현할 수 있을 것으로 판단되며, 이를 이용하여 보다 합리적인 최적해를 구할 수 있어, 농업 문제에 시스템 공학적 도구와 방법을 이용한 문제의 해결이 가능해 질 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Bae Y., 2001, Implementation and improvement of the p-c model in integrated irrigation facility design system. Master's Thesis, Seoul National University
2. Bouman B., H. van Keulen, H. van Laar, and R. Rabbiange. 1996, The 'School of de Wit' crop growth simulation models: A pedigree and historical overview, *Agricultural Systems*, 52(2/3):171-198
3. Bouman B, M. Kroff, T. Tuong, M. Wopereis, H. ten Berge, and H. van Laar, 2001, ORYZA2000: modeling lowland rice, IRRI
4. Jones, J., B. Keating and C. Porder, 2001 Approaches to Modular model development, *Agricultural Systems*, 57:421-443
5. Kropff, M., J. Bouma, J. Jones, 2001, Systems approaches for the design of sustainable agro-ecosystems. *Agricultural Systems*, 57:369-393
6. Lee, D., 2000, A study on the structural design platform based on database, Master's Thesis, Seoul National University
7. McCown, R., G. Hammer, J. Hargreaves, D. Holzworth, and D. Freebairn, 1996, APSIM: a novel software system for model development, model testing and simulation in agricultural systems research. *Agricultural Systems*, 50:255-271
8. Yoon, S., 2001, An Integrated Design System for Irrigation Facilities using Object-oriented and Evolutionary Structural Optimization Techniques, PhD. Thesis, Seoul National University