한국농공학회논문집
제49권 제1호

JOURNAL OF THE KOREAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, JAN. 2007, pp. 101-109

정보 전달계의 분리를 통한 GASS의 개선

GASS Improvement using Diverse Communication Layers of Material and Information

김 태 곤* · 이 정 재**,†
Tae-Gon Kim · Jeong-Jae Lee

Abstract

The purpose of this study is to improve ability of GASS using diverse communication layers of material and information. GASS is a dynamic system simulator developed for analyzing complex agricultural system. However, it had two difficulties which are inefficient modeling of information transmission and complicated implementation of material transmission. This paper proposes dual communication layers which consist of material and information to overcome the hardship and applies intake tower component which controls amount of irrigation using water requirement in paddy to an irrigation system model. The application focused on available information communication and correctable material communication.

Keywords : GASS, Communication layer, Information, Material, Dynamic System Simulator, Component

I. 서 론

복잡한 농업 시스템을 모의하기 위해서는 시스템을 작은 요소들로 구분한 후, 통합할 수 있어야 한다. 시스템을 통합하는 데 있어서 큰 문제는 요소들 간에 발생하는 복잡한 상호작용에 있으므로, 이 복잡성을 감소시키는 것이 시스템 시뮬레이터에서는 매우 중요하다. 이(2003)는 요소들 간의 복잡성을 최소화할 수 있는 방안으로 단방향 정보전달기법(Unidirectional Information Fetch method; UIF method)을 제안하였다. 단방향 정보전달기법이란 정보를 전달하는 데 있어서 한 요소에서 정보를 다른 요소에 보낼 수는 없고, 취득만 가능하도록 제한함으로써 요소 사이의 복잡성을 낮추는 기법이다. 단방향 정보전달기법을 구현하기 위해서는 시스템을 구성하는 개별 모델들은 자신이 필요로 하는 모든 정보를 정의하고, 시스템 내에서 모델들이 필요한 정보를 제공할 수 있는 동적 시뮬레이터인 범용 농업시스템 시뮬레이터(Generic Agricultural System Simulator; GASS)를 개발하였다. GASS를 사용하기 위해서 연구한 이론적 모델을 GASS

* 서울대학교 대학원
** 서울대학교 조경 · 지역시스템공학부
† Corresponding author. Tel.: +82-2-880-4581
Fax: +82-2-876-4592
E-mail address: ljj@snu.ac.kr

컴포넌트로 개발한다. 그러나 GASS 컴포넌트 사이에서 정보를 주고받는 과정에서 시간의 제약을 받지 않고, 시스템 전체에서 관찰할 수 있어야 하는 속성을 표현하기 곤란하고, 물질이 이동하는 과정에서 시간의 제약을 컴포넌트를 만드는 연구자가 직접 제어해야 함에 따라 모델을 개발하기가 어려웠다.

따라서 본 연구에서는 기존의 GASS 환경에서 가지고 있던 한계를 개선하기 위해, 컴포넌트가 지니고 있는 정보를 물질계 속성과 정보계 속성으로 구분하고, GASS 컴포넌트에서 정보 전달 처리 체계를 규정함으로써 시스템 자체에서 시간의 제약을 가능하도록 하였다. 이를 통해 GASS를 보다 많은 연구자가 손쉽게 사용할 수 있도록 개선하고자 한다.

Ⅱ. GASS란?

1. 구 성

GASS는 단방향 정보전달기법을 활용한 농업 시스템을 모의할 수 있는 시뮬레이터이다. 농업 시스템을 구성하기 위해 구성요소를 독립적으로 수행 가능한 형태를 지닌 컴포넌트로 구성하고, 컴포넌트 사이의 상호작용을 통하여 시스템이 구성되도록 개발되었다. 컴포넌트의 정보는 GASS의 컴포넌트가 기하학적 위치를 이용하여 위상학적 위치인 인접 컴포넌트를 파악한 후, 그들로부터 필요한 정보를 획득할 수 있도록 설계되었다.

시스템을 구성하기 위해 컴포넌트를 연결하는 방식은 실세계에 존재하는 요소를 그대로 모델링할 수 있는 방식으로 채택하였다. 실세계에서 물질의 이동은 바로 인접한 물체 사이에서만 발생하므로, GASS에서는 컴포넌트를 적합한 위치에 배치시키면 현재의 공간 위치와 주위에 존재하는 컴포넌트를 인식하고, 컴포넌트 사이의 위상학적 인접성을 이용하여 정보를 교환할 수 있다. 따라서 GASS 상에서 시스템을 구성하는 것은 실세계의 모델 형상을 최대한 유사하게 모사할 수 있다.

2. 특 징

가. 시간 주도

기존의 많은 농업 시뮬레이션 프로그램은 이벤트 주도적(event-driven)이었다(Gordon, 1897). 이에 반해 GASS는 시간 주도적(time-driven)으로 모델을 구성하여 모형을 만드는 사람이 현실의 모델을 보다 직관적으로 구성할 수 있도록 하였다. 이벤트 주도적 시뮬레이터는 어떤 이벤트가 발생함에 따라 각 요소들이 활성화되어 각 요소들의 스케쥴이 결정되고, 시스템에서 전체 스케쥴을 관리한다. 이벤트에 따라 작업이 진행되므로, 시뮬레이션을 보다 효율적으로 진행할 수는 있다. 그러나 모델을 개발하는 동안 정보의 흐름이나 이벤트를 결정할 수 없는 경우에는 적용할 수 없으며, 시스템을 구성하는 다양한 요소들이 동일한 이벤트 처리 규칙을 따라야 한다. 특히 농업과 같이 자연계와 연관되어 있는 시스템을 다룰 때는 물리적 현상을 서술하는 것이 매우 자연스러운데, 이벤트의 발생에 따라 모델링하기 보다는 시간에 따라 시스템이 어떻게 변해 가는지를 모델링하는 것이 보다 직관적이다. 시간 주도적인 시스템은 사용자가 지정한 단위 시간(틱, tick)이 흘러가면서 시스템 내의 모든 컴포넌트가 이 단위 시간 동안 경쟁을 통해 작업을 수행하고, 모든 작업이 완료되면 시스템은 또 다시 단위 시간이 흐르도록 한다. GASS에서는 시간의 흐름을 표현하기 위해 개별 컴포넌트들이 각각 시계를 가지고 있고, 시스템의 시계에 자신의 시계를 동기화하는 형태로 일치시킴으로써 전체 시스템이 유기적으로 흘러갈 수 있도록 설계하였다. 따라서 모든 컴포넌트는 단위 시간동안 이루어지는 작업을 모델링하게 함으로써 모델의 통합을 가능하게 한다.

나. 정보 전달

시스템은 다양하고 복합적인 서브시스템으로 구성되며, 서브시스템의 상호 작용에서 나타나는 복잡성은 시스템을 개발하는 데 있어 걸림돌로 작용한다(Olson and Sequeira, 1995). 복잡성을 낮추기 위해서는 기존과 다른 접근 방법이 필요한데, 모델 간의 상호 작용이라는 것은 결국 정보를 주고받는 행위 자체를 뜻한다. 따라서 정보를 주고받는 행위를 단순화할 수 있다면 모델 간의 상호 작용을 단순화할 수 있을 것이고, 시스템의 복잡성을 낮출 수 있을 것이다. 이를 위해서 단방향 정보전달 기법을 제안하였으며, 정보를 주고받는 것이 아니라 필요한 정보를 취하기만 할 수 있도록 시스템을 개발하였다. 복잡성을 컴포넌트 간에 정보를 주고받는 연결 개수로 표시한다면, 기존의 양방향 정보전달 기법에서는 각 컴포넌트 사이에 $2\times\left\{\left(\sum_{m=1}^{n} m\right)+n\right\}$ 개의 연결을 고려해야하나, 제안한 단방향 정보전달 기법에서는 n개의 컴포넌트가 존재하고, m개의 컴포넌트를 더할 때, nPm개의 연결만을 더 고려하면 되기 때문에 복잡성을 크게 낮출 수 있다(이, 2003).

컴포넌트는 시스템 내에서 자신과 인접한 컴포넌트의 데이터를 검색하고, 필요한 정보가 있을 경우 일방적으로 가져 갈 수 있도록 구현하였다. 이와 같이 단방향 정보 전달 기법을 활용하면 프로그램 간의 커플링을 기본적으로 배제하고, 연결을 느슨하게 함으로써 모델을 쉽게 결합할 수 있다.

다. 개체 연계

기존의 시스템 시뮬레이션 모델에서는 각 모델을 연결하기 위해서는 메인 모듈에서 연구자가 직접 연결해주어야 하기 때문에, 일반적으로 복잡한 시뮬레이션 모델이 되곤 하였다(van Kraalingen, 1995; McCown et al., 1996). 그러나 실세계에서 물질은 시스템에서 일정한 공간을 차지하며, 중복되거나 누락되는 공간이 없이 연속적으로 존재한다. 따라서 GASS에서는 실세계에 존재하는 요소들을 그대로 모델링하여 반영할 수 있도록 요소들이 공간적 연속성을 갖는 점에 착안하여, 시뮬레이션 환경 내에 존재하는 모델 간의 결합을 모델의 위상학적 인접성을 기준으로 판단하도록 하였다. 예를 들어 물이 흘러가기 위해서는 연결된 수로를 따라서만 흘러갈 수 있듯이, GASS 모델에서도 물이 흘러가기 위해서는 수로 모델을 서로 붙여 놓아야만 물이 흐르는 상태를 모의할 수 있다. 이를 통해 단방향 정보 전달 기법을 보다 효율적으로 활용하고, 모델을 직관적으로 구성하였다.

라. 자기 조직

특정 시스템은 그 시스템을 구성하는 서브시스템 사이에서 일어나는 상호작용에 의해 자기 조직화되어 달성될 수 있다(Jantsch, 1980). 따라서 시스템 시뮬레이터는 시스템을 구성하는 요소를 결합하여 시스템을 조직해야하는데, 시스템을 구성하는 방식에는 하향식 방식(top-down)과 상향식 방식(bottom-up)이 존재한다. 기존의 시스템 모형들은 하향식 방식으로서 모델링을 하는 연구자가 이미 시스템을 정의하고, 정의된 시스템에 맞추어 구성요소를 결정하고 시스템을 조직화한다. 그러나 복잡한 시스템의 경우 서브시스템 간의 상호작용이 복잡하여 이를 정의하기 매우 어려워서 사용하기 힘들다(Jones et al., 2001). 따라서 하향식 방식으로 연구자가 미리 전체 시스템을 정의할 수 없고, 상향식 방식에 따라 시스템을 구성하는 요소와 요소 간의 상호 관계에 의해 시스템이 스스로 조직화되어야만 복잡한 시스템을 개발하고 유지 보수할 수 있다. GASS는 컴포넌트를 정의하고 배치할 수 있도록 하여 시스템을 상향식으로 구성하여, 시스템을 구성하는 컴포넌트들이 위치에 따라 서로 정보를 주고 받으면서 스스로 조직화하고, 시스템의 특성을 발현한다.

3. 적용 사례 및 한계

GASS를 이용하여 물질계 속성의 시스템을 모델링하는 데는 많은 장점을 갖는다. 하지만 정보계 속성을 고려해야 하는 시스템의 경우 모델링하여 시뮬레이션하기 불가능하다. 이(2003)는 GASS를 활용하여 물의 흐름을 중심으로 한 관개시스템을 동적으로 구성하고 모의하였다. 하지만 모의한 관개시스템은 인위적 개입이 없는 자연 현상 그대로만을 모사하고 있기 때문에, 의사결정과 같은 정보계 속성을 반영하지 못하였다. 정보계 속성은 물질계 속성에 비해 시간적, 공간적인 제한이 극히 적다고 할 수 있다. 이에 대해서는 관개 시스템에서 저수지와 수로 사이에 관개량을 조절할 수 있는 취수탑을 설치하며, 취수탑에서는 관개 지역(논)에 물이 얼마나 필요한지에 대한 수요 정보에 의해 운영된다고 가정한다. 취수탑에서 논의 물 수요를 알기 위해서는, 수로가 논에서 발생한 물 수요 정보를 취수탑으로 전달한다. 그러나 수로 컴포넌트를 개발하는 입장에서는 논의 수요라는 정보가 불필요한 정보이기 때문에, 수요 정보를 만든다는 것이 비효율적이다. 특히 이와 같이 불필요한 정보를 전달해주는 방법은 시스템이 커지면서 각 컴포넌트에 많은 불필요한 정보가 추가되므로, 컴포넌트 자체가 의미 없는 데이터를 전달하는 매개체가 되어 시스템이 더 복잡해지는 결과를 초래한다. 또한 논에서 발생한 정보가 취수탑까지 도착하기 위해서는 단위 시간(tick) 당 하나의 컴포넌트만 이동해야하므로, 정보가 이동하는 데 걸리는 시간은 $tick \times (no.\ of\ channel\ components)$로 나타난다. 단위 시간을 짧게 설정함으로써 정보계 속성의 흐름을 표현할 수 있겠지만, 반면 물질계 속성의 이동량을 필요 이상으로 짧은 시간에 대해 모의하게 되므로 비효율적이다. 따라서 수요와 같이 시간적 공간적 제약에서 비교적 자유로운 정보를 GASS 환경에서 구현할 수 없는 한계가 존재한다.

물질계 정보를 표현하는 데 있어서도 시간의 제약 조건이 빠져 있어서 컴포넌트를 설계할 때 주의하여 시간에 대한 제약 조건을 구현하여야만 한다. 시간에 대한 제약 조건은 단위 시간동안 이동하는 정보의 양에 대한 제약뿐만 아니라, 이동하는 정보 자체가 단위 시간동안 이동할 수 있는 거리에 대한 제약을 의미한다. Fig. 1과 같이 저수지 컴포넌트에 3개의 수로 컴포넌트를 붙여서 시스템을 구성하였을 때, 단위 시간을 1초로 설정하고, 초당 흐를 수 있는 물의 양을 10 m^3/s라고 가정하고, 수로의 높이는 A, B, C 순으로서 물이 A에서 C로 흐르는 시스템이라고 가정하면, 3개의 컴포넌트의 계산 순서는 무작위적이므로 A, B, C 순으로 실행될 수도 있다. A, B, C 순으로 수행하게 되면, A가 저수지 컴포넌트로부터 10 m^3의 물을 가지고 오고, B가 A에서 10 m^3의 물을 다시 가지고 오며, 이를 다시 C가 B로부터 10 m^3의 물을 가지고 오게 된다. 따라서 1초가 흐른 후, 시스템의 상태는 A=0 m^3, B=0 m^3, C=10 m^3이 되어 각 컴포넌트에서는 10 m^3/s의 제약 조건을 지켰음에도 불구하고 시스템적으로는 위배하게 된다.

GASS를 이용하여 모의한 농산물 유통 시스템의 경우에도 공간적 제약에 대해 비교적 자유로운 정보계 속성을 잘 반영할 수 없었다. 따라서 시스템을 구성할 때 생산자와 중간 상인, 중간 상인과 소비자와의 상호 작용만을 고려하였다(서 등, 2005). 그리고 실제 농산물이 이동하는 물질계 속성에 대해서는 시간의 제약 조건을 고려하기 위해 중간 상인은 새벽에 구입을 하고, 소비자는 오후에 구입하는 등 컴포넌트를 개발하는 데 있어서 제약 조건에 대해 개발자가 신중히 모델링해야 한다.

기존 GASS에서는 물질계 속성에 대해서만 시스템을 구성할 수 있었기 때문에 정보계 속성에 대해

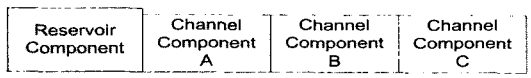

Fig. 1 Example of irrigation system model based on GASS

잘 표현하지 못하는 단점을 지니고 있었다. 그리고 물질계 속성이 이동하는 데에 시스템적으로 시간 제약 조건을 구현하고 있지 않기 때문에 물질계 속성을 모델링하는 데 모델을 작성하는 연구자가 주의해야한다.

Ⅲ. 정보 전달계의 구성과 처리

앞서 기술한 기존 GASS 환경이 가지고 있던 한계를 극복하기 위해서 본 연구에서는 데이터를 정보계 속성과 물질계 속성으로 구분하였다. 그리고 물질계 속성에 대해 시스템적으로 시간 제약 조건을 주기 위해서 GASS 컴포넌트에서 데이터를 처리하기 위한 일련의 실행 과정을 제안하였으며, 정보 처리에 대한 순서를 명확히 하여 연구자가 구현하는 GASS 컴포넌트가 일관된 형태를 갖도록 하였다.

1. 정보 전달계의 구성

기존 적용 사례에서 원거리에 존재하는 모델의 상태를 파악해야하는 문제에서 정보 전달이 불가능하거나 표현하기 매우 어려운 한계를 해결하기 위해 시스템 내에 존재하는 데이터를 크게 물질계 속성과 정보계 속성으로 분류하고, 시스템 내에서 실제로 이동하는 물리량을 물질계 속성, 물리적 형태를 갖지 않아 공간적 제약을 받지 않는 데이터를 정보계 속성으로 정의하였다. 정보계 속성은 실세계에서 물리적으로 실체를 가지지 않는 데이터로서 시스템 내에서 재생산되거나 생성, 소멸될 수 있고, 공간적 제약을 받지 않기 때문에 시스템 내에서 모든 요소가 서로 참조할 수 있다. 반면 물질계 속성은 실세계에 실존하는 어떤 형상이나 형태를 가진 실체를 모델링한 것이기 때문에 연속성을 갖고 있어야 한다. 따라서 일반적으로 물질계 속성은 대상 시스템에서 외부로부터 유입되는 소스(source)나 외부로 유출되는 싱크(sink)를 제외하고 항상 생성, 소멸되지 않고, 시스템 내부에서 항상 보존된다. 예를 들어 관개 시스템의 경우 정보계 속성은 논에서의 물의 수요이고, 물질계 속성은 관개되는 물의 양이다. 물은 소스인 대기로부터 생성되어, 저수지, 수로, 논으로 구성된 관개 시스템을 이동하며, 싱크인 수로 말단과 논을 통해 시스템 밖으로 소멸된다. 분류한 데이터의 특징을 비교하면 Table 1과 같다.

Table 1 Characteristics of information and material

	Information attribute	Material attribute
Reference range	Global	Local (neighboring)
Access auth.	Read only	Read and Write
Restraint condition	-	Satisfy governing Eq.

정보계 속성은 시스템 내에서 어디에서나 참조 가능하지만, 참조만 할 수 있을 뿐 수정할 수 없으며, 수정은 해당 컴포넌트에서만 가능해야 한다. 이는 다른 모델로부터 정보를 취할 수 있지만, 다른 모델에게 명령을 내리거나 정보를 주입할 수 없게 함으로서 단방향 정보 전달 기법을 구현한다. 만약 다른 모델에 명령을 내리려고 하면 다른 모델의 기능을 알고 있어야 하기 때문에 결국 결합하려는 모델과 밀접한 연결 고리를 갖게 되어 기존의 복잡성을 그대로 지니게 된다. 반면 물질계 속성은 인접한 컴포넌트에서만 볼 수 있으며, 물질계 속성을 필요에 따라 가져 올 수 있도록 하여 정보의 흐름을 구현하였다. 물질계 속성은 소스에서 생성되어 싱크에서 소멸하며, 소스나 싱크가 아닌 컴포넌트에서 이동할 경우, 실세계에 존재하는 물질을 모델링하고 있기 때문에 시스템의 지배방정식을 따르게 된다. 시스템 내에 존재하는 물질이 양이 일정하게 보존된다던가, 시스템을 구성하는 요소 간에 안정된 상태를 유지하기 위해 평행 관계를 이루거나, 물질이 연속적으로 존재하는 현상은 현실 세계에서 쉽게 관찰할 수 있는 지배 방정식이다. 따라서 이

를 모사하는 물질계 속성은 시스템 내의 지배 방정식을 따라야 하는 반면 정보계 속성은 실세계에서 존재하는 물질의 특성을 가지지 않기 때문에 지배 방정식을 반드시 만족할 필요는 없다.

2. 정보 전달계의 처리

제안하는 시뮬레이터에서는 시간을 나누어 단위 시간동안 시스템을 구성하는 요소들이 불규칙하게 작업을 진행하도록 설계되었다. 시스템 전체적으로는 시간이 순차적으로 흘러가지만, 단위 시간 내에서 시스템을 구성하는 요소들의 작업 순서는 비순차적이며 결정할 수 없기 때문에 각 요소들이 한 시점을 동일하게 참조하는 것이 중요하다. 기존의 GASS 환경에서는 이에 대한 명확한 언급이 없었으며, 동일한 시점을 참조하지 않을 경우, 물질계 속성이 지배 방정식을 지키지 못하는 경우가 생기게 된다.

기존 GASS 환경에서 불명확했던 부분을 명확히 하여 컴포넌트 개발에 일관성을 유지할 수 있도록 하며, 데이터 처리에 있어서 동일한 시점을 참조하지 않을 수 있는 오류를 개선하기 위해 다음과 같이 3가지 단계로 데이터 처리 단계를 규정하였다. 이 때, 시뮬레이터는 매 단위 시간(tick)마다 모든 컴포넌트가 각 단계를 수행하도록 한다.

가. 데이터 갱신하기(Update data)

데이터 처리에 있어서 첫 번째 단계는 데이터를 적절히 준비하는 단계이다. 물질이 한 컴포넌트에서 다른 컴포넌트로 이동을 하면, 그 물질은 그 시간동안 더 이상 움직일 수가 없어야 한다. 이것을 시뮬레이터에서 표현하기 위해서 데이터를 2가지로 분류해야 하는데, 아직 이동하지 않아서 이동 가능한 데이터를 가동 값(movable value), 이미 이동한 데이터를 부동 값(immovable value)으로 정의하였다. 정의한 가동 값과 부동 값 개념을 이용하여 설명하자면, 첫 번째 단계에서는 부동 값을 초기화하고, 가동 값을 갱신하는 단계이다.

나. 정보 가져오기(Fetch information)

두 번째 단계에서는 필요한 정보를 가져오는 단계이다. 각 컴포넌트는 인접한 컴포넌트로부터 필요한 물질 정보를 가져오는데, 가동 값만을 가지고 올 수 있으며, 가지고 온 값은 부동 값으로 저장된다. 인접한 컴포넌트에서 정보를 가져오기 위해서 기하학적 인접성 계산을 하여 일정 범위(residual) 안에 존재하는 컴포넌트에 대해서만 계산을 하도록 하였다. 필요한 정보는 정보의 이름으로 판단하며, 인접한 컴포넌트 내에 필요한 정보의 이름이 있는 경우, 조건에 따라 정보를 가져오도록 한다. 이를 위해서 인접성을 계산할 수 있는 모듈과 컴포넌트 내부에 어떤 정보가 있는지 검색할 수 있는 모듈을 개발하였다.

다. 모델 계산하기(Calculate model)

마지막 단계에서는 부동 값과 주변에서 가져온 가동 값을 이용하여 각 모델 값을 계산하는 단계이다. 정보 모으기 단계에서 모은 정보와 모델의 속성 값, 그리고 모델 내에서 이용하는 시계열 데이터를 활용하여 모델의 결과 값을 구한다. 구한 결과 값을 저장한다. 저장된 결과 값은 다른 모델에서 가져갈 수 있도록 다시 가동 값으로 변형된다. 또한 데이터베이스에 시뮬레이션한 결과 값을 저장하기 때문에, 저장된 값을 이용하여 각 모델의 모의 결과를 시뮬레이션 시스템 외부에서도 다른 프로그램을 이용하여 분석할 수 있도록 개발하였다.

Ⅳ. 적용 및 고찰

1. 적 용

정보계 속성을 고려한 동적 시스템을 구성하기 위해서 저수지에 취수탑을 설치하여 논의 담수심에 따라 관개량을 조절할 수 있는 관개 시스템을 구성

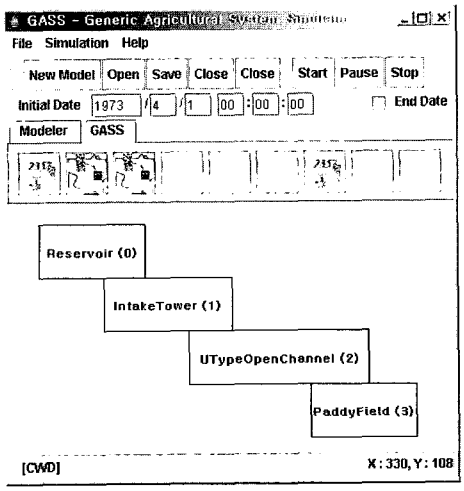

Fig. 2 GASS model for irrigation system including intake tower

하였다. 모형을 단순화하기 위하여 대기에서 일어나는 강우나 증발에 대한 효과는 무시하였으며, 취수탑은 원거리에 존재하는 논의 수요 정보(담수심)에 따라 관개 유무를 결정하도록 하였다. 취수탑 컴포넌트는 논에서의 담수심을 살펴보고, 10 cm 이상이 되어 만수 상태가 된 시점부터 관개를 중단하며, 논의 담수심이 1 cm 이하가 되면 다시 관개를 시작하도록 하였다.

GASS 환경에서 관개 시스템을 구축한 화면은 Fig. 2와 같으며, 기상 요소에 대한 요소를 무시하였기 때문에 대기나 유역 컴포넌트를 추가하지 않고, 저수지에 저수된 물만을 이용하여 관개하는 시스템을 모의하도록 하였다. 기존의 GASS를 이용한 모형과는 달리 본 연구에서 제안한 정보계 속성에 대한 처리부분을 추가하여 취수탑 컴포넌트와 논 컴포넌트가 인접해 있지 않음에도 불구하고, 취수탑에서 필요한 정보를 얻을 수 있도록 구현하였다.

2. 고 찰

본 연구에서는 관개시스템을 정확히 모사하는데 목적을 두는 것이 아니라, 시스템 자체를 어떻게 모델링할 수 있는가에 중점을 두었기 때문에 결과에 대해 경향만을 살펴보았다. 취수탑을 설치한 관개시스템의 저수지에서 저수량 변화와 논에서 담수심 변화에 대한 결과를 살펴보면 Fig. 3과 같이 나타났다. 그림에 나타나는 시점을 살펴보면, A 시점에서는 논이 만수 상태가 되어 관개가 불필요하여 관개를 중단하며, B 시점에서는 논의 수심이 일정 수위 이하로 떨어져서 다시 관개를 시작하며, C 시점에서는 저수지의 유효 저수량을 모두 소비하여 더 이상 관개를 할 수 없는 상태를 나타낸다. 저수지에서는 A 시점이 될 때까지 관개를 하여 저수량이 감소하다가, A 시점에 논에 만수가 된 상태를 확인하고 관개를 중단하여 저수량이 일정하게 유지됨을 보인다. B 시점에서 논의 담수심이 일정 수위 이하가 된 것을 파악하고 관개를 시작하지만, C 시점에 이르러 유효 저수량을 모두 관개하여, 더 이상 관개할 수 없는 상태를 도시한다. 논에서는 관개기간 동안 담수심이 높아지다가 관개를 중단한 기간 동안은 침투에 의해 지속적으로 담수심이 낮아지는 결과를 보여주고 있다. 인접하고 있지 않은 저수지 컴포넌트와 논 컴포넌트 사이에 수요라는 정보계 속성을 통하여 관개량을 조절할 수 있었다. 이와 같은 모의 결과는 기존의 GASS 모형에서는 물질계 속성만을 갖는 정보만을 다루고 있기 때문에 수요와 같은 정보계 속성을 시뮬레이션하기가 어려웠던 점을 보완한 결과라고 판단된다.

그리고 정보 전달의 처리에 대한 규약을 통해 물질계 속성을 처리하는 과정에서 기존의 GASS 모델을 개발할 때 컴포넌트에서 지켜야 했던 시간 제약 조건을, 본 연구에서는 시스템에서 관리하도록 하였다. 수로 컴포넌트는 저수지와 논을 이어주고

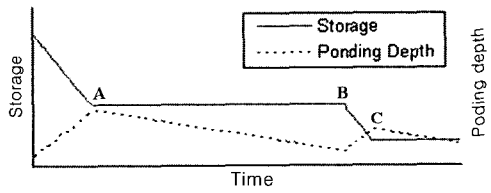

Fig. 3 Result of simulating irrigation system including intake tower

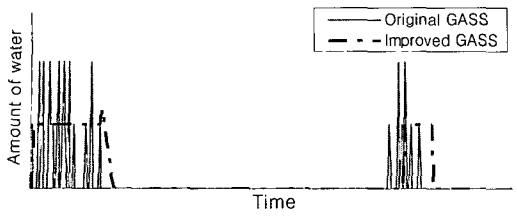

Fig. 4 Water depth in channel using original GASS and improved GASS

있기 때문에 주의 깊게 모델링하지 않을 경우, 시간에 대한 제약 조건을 위배하기 쉽다. 시간 제약 조건에 대해 살펴보기 위해서 구성한 관개 시스템에서 수로 컴포넌트의 상태를 살펴보았다. 수로 컴포넌트에서 유량을 살펴보면, 기존의 GASS를 이용하여 모델링한 결과는 실선으로 나타난 바와 같이 이산적인 분포로 나타난다. 이는 한 단위 시간 동안 논 컴포넌트가 수로 컴포넌트보다 먼저 기동되었을 때는 수로 컴포넌트가 가져온 물을 논 컴포넌트가 다시 가져오게 되어 수로에 물이 존재하지 않거나, 반대로 논 컴포넌트가 먼저 기동되어 수로 컴포넌트가 저수지로부터 가져온 물을 그대로 지니고 있는 경우로 나타나기 때문이다. 그러나 본 연구에서 개선한 GASS를 이용하여 구한 결과를 살펴보면, 굵은 점선으로 표시된 것과 같이 일정한 유량을 모의해주는 것을 확인할 수 있다. 시뮬레이터에서 시간 제약 조건을 지킬 수 있도록 제한하므로 연구자가 물질계 속성에 대한 제약 조건에 대해 고려하지 않고 모델링하더라도 원하는 모의 결과를 구할 수 있도록 도와준다.

GASS의 작업 순서를 명확히 제시해주어 GASS를 구현하는 데 있어서 보다 구체적으로 이해할 수 있도록 도와주었다. 이를 통해 물질계 속성의 전달 역시 보다 쉽게 모델링할 수 있으며, 모델 개발 시 모델 외적인 부분에 대한 처리를 최소화하여 연구자가 모델 개발에 집중할 수 있을 것으로 기대된다.

V. 결 론

본 연구에서는 복잡한 농업 시스템을 구성하고 모의하기 위해 개발된 GASS에 대해서 살펴보고, 기존의 적용 사례에서 드러난 한계를 개선하기 위한 방안에 대해 살펴보았다. 관개 시스템 모의 사례나 농산물 유통 시스템 모의 사례는 매우 동적인 시스템을 손쉽게 모의할 수 있다는 장점을 잘 보여주었으나, 정보계 속성을 잘 모의할 수 없다는 한계와 정보 전달 처리 방법에 대해 명확히 제시되지 않았기 때문에 컴포넌트를 개발하는 연구자가 GASS 환경에 맞추어 모델을 분석하고 설계해야하기 때문에 시간의 제약과 같은 의미상의 오류를 가질 수 있는 한계를 지니고 있었다. 따라서 모델을 구성하는 연구자에 따라 모델이 이질적으로 구현할 수 있으며, 이를 통해 모델 간의 통합이 형태적으로는 가능할 수 있으나, 의미적으로 불가능해 질 수 있다. 이에 정보 전달계를 정보계 속성과 물질계 속성으로 구분하여 정보계 속성을 표현할 수 있도록 하였다. 그리고 정보 전달계를 구현하기 위한 처리 방식 및 순서를 제시함으로써 컴포넌트 개발 시 물질계 속성이 지녀야 하는 시간의 제약을 시스템에서 관리하면서, 생성된 컴포넌트가 일관성을 가질 수 있도록 하였다. 이를 통해 기존 모델이 지닌 한계를 극복하고 통합 가능한 모델을 손쉽게 개발할 수 있음으로 해서 널리 이용 가능하도록 하였다. 추후 보다 많은 연구자가 손쉽게 동적 시스템을 구성하여 시뮬레이션할 수 있도록 컴포넌트를 직접 프로그래밍하지 않고, 그래픽 유저 환경(Graphical User Interface; GUI) 에서 모델을 작성할 수 있는 모델러에 대한 연구가 더 필요할 것으로 판단된다.

본 연구는 농림기술관리센터 '농업시설의 계획·설계를 위한 CAD와 GIS 자료구조 통합 시스템 개발'(과제번호: 203103-03-3)의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

1. Gordon, G. 1987. *System simulation*, second edn. Pretice-Hall, Inc.. Englewood Cliffs, New Jersey, 07632.
2. Jantsch, E. 1980. *The self-organizing universe*, first edn. Pergamon Press, Inc.
3. Jones, J., B. Keating and C. Porter. 2001. Approaches to modular model development. *Agricultural System*. pp. 421-443.
4. McCown, R. L., G. L. Hammer, J. N. G. Hargreaves, D. P. Holzworth and D. M. Freebairn. 1996. Apsim: a novel software system for model development, model testing and simulation in agricultural systems research. *Agricultural Systems*. 50: pp. 255-271.
5. Olson, R. L. and R. A. Sequeira. 1995. Emergent computation and the modeling and management of ecological systems. *Computers and Electronics in Agriculture*. 12: pp. 183-209.
6. Suh, Kyo, Jeong-Jae Lee, Tae-Gon Kim, Ho-Jae Yi. 2005. System simulation of agricultural marketing based on GASS. *Journal of the Korean Society of Aricultural Engineers*. 47(4): pp. 3-12. (in Korean)
7. van Kraalingen, D. W. G. 1995. *The FSE system for crop simulation: version 2.1 (quantitative approaches in system anlysis report no.1)*. C. T. de Wit Graduate School for Production Ecology. Wageningen University, Wageningen, The Netherlands.
8. Yi, H. J. 2003. Simplifying Complexity and Emerging Self-Organization of Integrated Agricultural System Models. *PhD thesis, Seoul National University*.