

시스템 시뮬레이션 모델의 개발 및 구동을 위한 농업시스템응용플랫폼



김 태 곤
 서울대학교 그린바이오과학기술연구원
 선임연구원
 taegon.kim@daum.net

I. 머리말

현상을 파악하기 위한 연구방법으로 컴퓨터를 이용한 수치해석적 기법으로 시뮬레이션이 널리 이용되고 있다. 단순히 주어진 방정식을 풀이하기 위한 방안으로 이용되던 방식에서 문제를 구성하고 풀이하는 방식으로 발전해왔다. 또한 통제된 환경 내에서 구성된 모델을 개발하던 방식에서 기 개발된 모델을 결합하여 상위 모델을 만들어가는 방식으로 변화해오고 있다. 이러한 흐름은 시스템적 관점으로 귀결된다. 시스템 시뮬레이션은 현상을 구성하는 요소를 정의하고, 각 요소간의 상호작용을 기술함으로써 전체 현상을 분석하고자 한다.

그러나 시스템 시뮬레이션은 시스템을 구성하는 요소간의 관계를 정의하는 과정에서 복잡도가 증가하므로, 시스템을 구성하는 요소를 늘리는데 한계가 있다. 이러한 복잡도 문제를 해결하기 위하여 절차적 방식의 프로그래밍 패러다임이 구조적 방식을 거쳐 객체지향적 프

로그래밍 패러다임으로 발전하였다. 그럼에도 불구하고 컴퓨터 공학적으로 접근한 객체지향 방식은 실제 모델을 구동하는 과정에서 요소를 결합하여 절차적 방식으로 구현되는 한계를 보이고 있다(이한귀 등, 2012).

많은 시뮬레이션 도구들이 존재하지만, 대부분 상술한 한계를 벗어나지 못하고 있다. 시뮬레이션 모델을 구성하기 위해서는 주 프로그램에서 전체 시스템 모델을 제어해야 한다. 따라서 복잡도를 낮추기 위해 특정한 목적을 위해서 설계되고, 그렇지 않은 경우, 범용적으로 사용가능한 반면 지나치게 복잡한 경향이 있다. 사용자가 손쉽게 이용하기 위해서는 개별적으로 구동가능한 모델을 블록 조립하듯 서로 결합하였을 때, 별다른 추가 작업 없이 결합된 모델이 구동되어야 한다.

본 고에서는 이러한 요구에 부합하고자 개발된 농업시스템응용플랫폼(Agricultural Systems Application Platform, ASAP)을 소개하고, ASAP를 이용한 활용사례를 공유하고자 한다. 이를 통하여 여러 전공의 연구

모델을 손쉽게 구현할 수 있음을 환기하고, 구현된 모델을 결합하는 방식으로 다양한 연구 성과가 활용될 수 있기를 기대한다.

II. 시스템 시뮬레이션 도구

1. 상용 프로그램

가장 널리 알려진 시스템 시뮬레이션 도구로는 LabView와 Simulink가 있다. 전자는 실험실 규모의 전자 회로도를, 후자는 수치해석적 함수를 중심으로 시스템을 구성한다. 두 도구 모두 디지털 신호 처리 분야에서 널리 이용되고 있으며, 해당 분야에서 이용하는 기본함수를 이용하여 다양한 모델을 구현할 수 있다. 또한 시각 환경을 제공하여 손쉽게 모델을 구성할 수 있다는 장점이 있다.

복잡계 연구에서 파생한 행위자 기반 모델링은 복잡한 현상을 시스템을 구성하는 요소들의 간단한 규칙에 의해서 재현될 수 있음을 보여준다. 대표적으로 새무리의 움직임을 모의한 bird flock 모형이나 전염성 병원균의 확산을 모의한 여러 모형들이 잘 알려져 있다. 대표적인 프로그램으로 Repast, NetLogo, SeSAM 등이 있으며, 이를 기반으로 개발된 AnyLogic, MASS 등의 소프트웨어가 있다.

시스템의 동태적 거동을 모의하기 위하여 개발된 도구로 시스템 다이내믹스 툴이 있다. 미국 MIT 교수인 제이 포레스터에 의해 1950년대에 소개되었으나, 사회과학분야에서 주로 이용되다가 최근에 들어 공학 분야에서도 활용빈도가 높아지고 있다. 시스템의 피드백 구조를 설명하는 기법으로 시스템이 시간이 지남에 따라 변화하는 비선형적 동태를 분석하는 데 적합하다. 대표적인 소프트웨어로는 Vensim과 STELLA가 있다.

이러한 상용 시스템 도구들은 우리 분야에서 목적에 따라 취사선택할 수 있다. 그러나 지나치게 수학적이거나 개발된 모형을 재활용하는 측면에서 복잡도가 증가하는 한계가 있다. 농업용 관개시스템을 예를 들면, 시스템을 구성하는 유역, 제체, 관개수로, 배수로, 관개필지 등으로 구분할 수 있고, 각 요소들은 수문, 구조, 관개, 토질 등 다양한 전공 분야에서 다루어진다. 이러한 환경에서 각 전공에서 개발한 모델을 상술한 상용프로그램을 이용하여 결합하기에는 많은 노력이 필요하고, 경우에 따라서는 불가능하기도 하다.

2. GASS

GASS는 복잡계인 농업시스템을 모의하기 위해, 시스템을 구성하는 시뮬레이션 모델의 독립성을 보장하고, 모듈성을 향상하여 복잡도를 억제하는 방식으로 개발되었다(이호재, 2003). 시스템을 구성하는 요소는 객체지향 패러다임에 따라 데이터와 메소드를 분리하여 설계하였으며, 요소 간의 관계를 모의하는 정보 전달체계를 새롭게 제안하였다. 양방향 정보 전달 방식은 요소 수의 증가에 따라 요소 간 연결수가 기하급수적으로 증가하게 된다는 점에 착안하여, 개별 요소에서 필요한 정보만 가져올 수 있는 pull방식의 일방향 정보전달 기법(Unidirectional Information Fetch, UIF)을 제시하였다. 일방향 정보전달 기법은 서비스 시스템 사이의 정보교환을 위하여 상호의존적인 정보교환 방식에서 탈피하여, 인접한 시스템에 원하는 정보를 가져올 수만 있고, 주입할 수는 없도록 설계하였다. 이를 통하여 모델 결합으로 발생하는 복잡도를 낮추었으며, 이러한 개념을 바탕으로 범용 농업시스템 시뮬레이터(Generic Agricultural Systems Simulator, GASS)를 개발하였다.

GASS를 이용한 시뮬레이션의 가장 두드러지는 특징은 개별 컴포넌트가 전체 시스템을 알지 못한 상태에서 단위 요소로서 주어진 임무만을 정의한 후 시뮬레이션을 구동할 수 있고, 시뮬레이션이 수행되면서 GASS에서 자동적으로 인접한 컴포넌트를 인지하여 전체 시스템을 모의한다는 점이다. 따라서 모델을 만들 때는 전체 시스템과 무관하게 단위 모델만을 개발하면 되고, 모델을 사용할 때는 개발된 모델을 연결하기만 하면 주어진 도메인에 대하여 문제를 모의할 수 있다. 이러한 특징은 관계 시스템 모의(이호재, 2003), 농산물 유통 모의(서교 등, 2005), 열전도 모의(김태곤, 2007)와 같은 다양한 분야의 문제해결에 적용되었다.

3. ASAP

GASS는 복잡도를 제어함으로써, 확장가능한 시스템 시뮬레이터로의 가능성을 보여준 반면, 이를 활용한 다양한 사용자층을 확보하는 데 실패했다는 한계를 갖는다. 외연 확장에 실패한 이유를 단정하기는 어렵지만, 모델 개발의 편의성과 적용사례의 부족으로 진단하고, 후속연구가 진행되었다.

시뮬레이터를 재설계하여 소통, 연결, 복제 기능을 개선하고, 다양한 분야의 시뮬레이션 모델을 검토하여 새로운 도구를 개발하였다. 모델 개발을 위한 규칙을 명확히 기술함으로써 모델 개발의 가이드를 제시하였다. 또한 다양한 적용사례를 검토하는 과정에서 필요하다고 판단되는 다양한 유틸리티가 추가되었다. 새롭게 개발된 시뮬레이션 도구는 GASS에 비하여 많은 변화가 수반되어 버전을 올리는 것보다는 보다 정확한 표현으로, 농업시스템응용플랫폼(Agricultural Systems Application Platform, ASAP)으로 새롭게 명명하였다(김태곤, 2014).

III. 농업시스템응용플랫폼의 적용사례

농업시스템응용플랫폼은 기존 GASS의 패러다임을 유지하면서, 재설계를 통하여 모델의 표현력을 향상시키고, 기능적 편의성을 도모하였다. 따라서 GASS로 구현된 예제를 그대로 활용할 수 있다. 게재된 논문을 통하여 소개된 적용사례를 살펴보면, 여러 단계를 유통구조를 모델링한 유통 시스템 시뮬레이션(서교 등, 2005), 관계에 의한 논 답수심의 모의(김태곤과 이정재, 2007), 잠재증발산량 산정 모형 및 수문학적 홍수추적 모형(김태곤과 이정재, 2009), 보의 구조해석(이한귀 등, 2012), 트러스 구조의 해석(김태곤 등, 2014a), 연결된 저수조의 수위변화(김태곤 등, 2014b) 등을 찾아볼 수 있다.

특히 연결된 저수조의 수위변화는 미분방정식을 이용한 해석해와 ASAP를 이용한 시뮬레이션 기법을 비교하고 있어, 시뮬레이션 도구의 필요성을 인지하는 데 도움이 될 것으로 판단된다. 보의 구조해석 및 트러스 구조의 해석은 비교적 수치해석기법이 잘 구축되어 있는 구조해석 분야에서 유한요소법, 행렬구조해석법 등을 ASAP의 개념을 이용하여 새롭게 구현한 연구였다. ASAP의 규칙에 맞추어 요소 독립성을 유지하는 모델을 개발하고, 이를 연결하여 시스템을 구현할 경우 장점에 대하여 고찰하였다. 기존 모형과는 달리 구성요소가 달라지고, 일부 잘못된 자료가 입력되더라도, 시스템의 변화 행태를 즉각적으로 인식함으로써 모델에 대한 이해도를 높일 수 있음을 확인하였다. 잠재증발산량 및 홍수추적 모형은 시각화 도구를 이용하여 시뮬레이션 모델을 개발할 경우, 모델의 이해도를 높일 수 있음을 검토하였으며, 최근에는 다양한 시뮬레이션 도구에서 이러한 모델링 기능을 제공하고 있다.

1. 연결된 저수지의 수위변화

충청북도 음성에 소재한 금석, 무극, 용계 저수지는 일명 삼형제 저수지라고 불리는데, 지형 특성상 3개의 유역을 막아 저수지를 축조하였으나 서로 도수관으로 연결되어 있어 하나의 저수지처럼 운영되고 있는 저수지이다. 일반적인 형태가 아니므로 농어촌공사에서 주로 이용하고 있는 수리시설물 모의조작 시스템인 HOMWRS에서 다룰 수 없는 반면, ASAP를 이용하여 손쉽게 모델을 구성할 수 있다. 본 절에서는 ASAP를 이용하여 점진적으로 시스템 모델을 구축하는 과정을 간략히 정리하였다.

먼저 첫 번째 단계에서는 3개의 유역에 대한 유출량을 계산하기 위하여, 그림 1과 같이 기상청 자료와 유출모형을 결합하여 모델을 구성하였다. 지배 축후소는 충주 기상청 자료를 활용하였으며, 기상자료 컴포넌트를 구현하기 위하여 Open API를 이용하였다(김태곤 등, 2014c). 유출모형은 탱크모형을 이용하였으며, 매개변수는 논, 밭, 산림비율 및 유역면적을 통해 추정된 값을

이용하였다(김현영과 박승우, 1988).

두 번째 단계로 유역에 제체를 설치함으로써 그림 2와 같이 저수지를 모의하였다. 이 과정에서 저수지가 서로 연결된 경우에는 오리피스 식을 이용하여 연결된 저수조의 수위변화를 모의한 컴포넌트(김태곤 등, 2014b)를 그대로 이용하였다. 그림에서 확인할 수 있듯이 첫 단계에서 모의된 유출량이 저수지에 모임에 따라 수위가 증가하는 현상을 확인할 수 있으며, 사수위를 초기값으로 설정하였기 때문에 수위가 점차 증가하여 만수위가 되는 것으로 확인할 수 있다. 세 개의 저수지를 도수관으로 연결한 경우에는 그림 2의 우측 하단과 같이 수위가 연동되어 움직이는 현상을 나타냈다.

마지막 단계로 저수지 하류에 필요수량을 모의하기 위한 논 컴포넌트를 추가하여 관개용수를 반영한 수위변화를 모의하였다. 논 의 필요수량은 잠재증발산량 모델인 수정 Penman식을 이용하였으며, 작물계수는 중부지방 계수를 활용하였다. 모델 구성과 시뮬레이션 결과는 그림 3과 같이 확인할 수 있다.

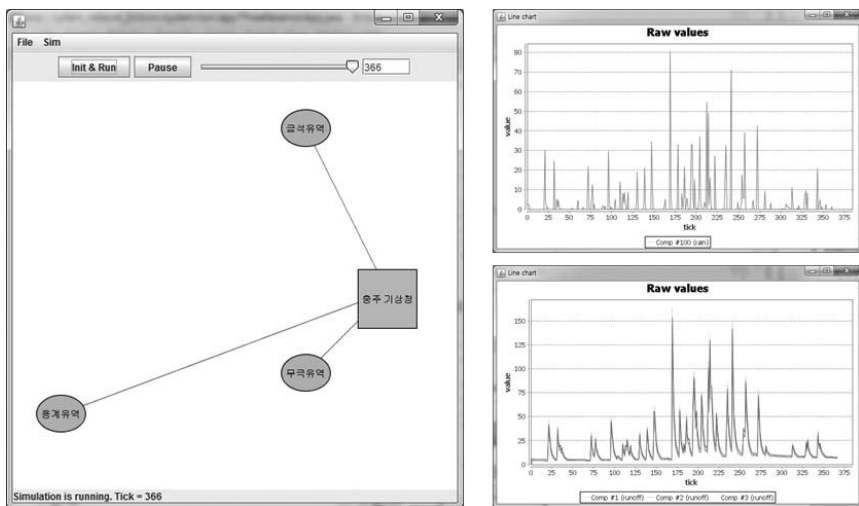


그림 1. 모델링 1단계. 좌측 그림은 시스템 구성, 우측상단 그림은 기상청 컴포넌트의 입력자료, 우측하단은 각 유역에서의 유출량을 도시

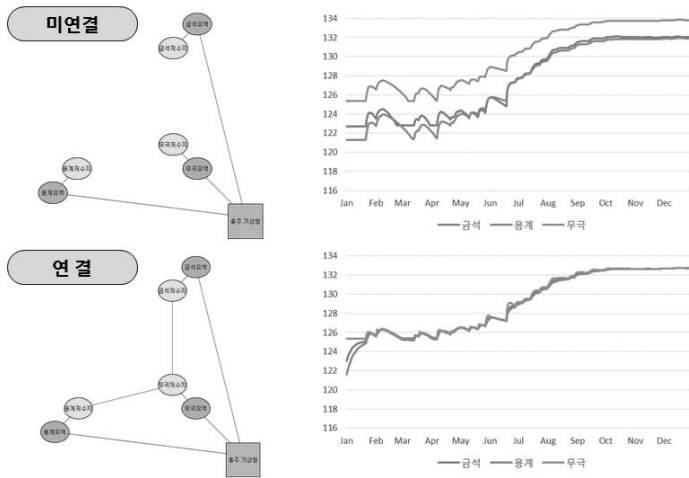


그림 2. 모델링 2단계. 제체 설치를 통한 저수 효과 및 도수관을 통한 수위 연동효과 모의

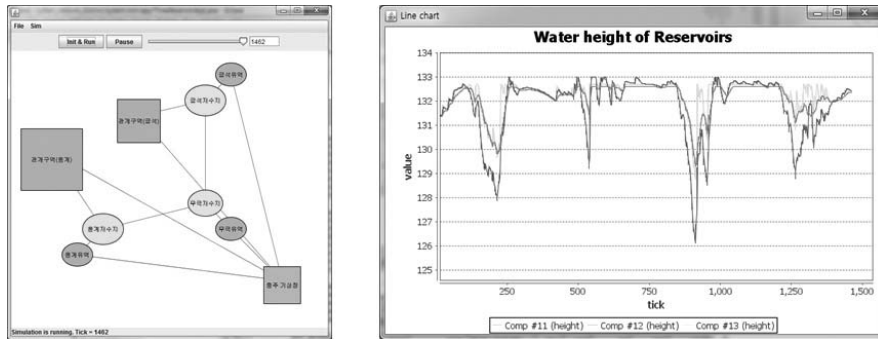
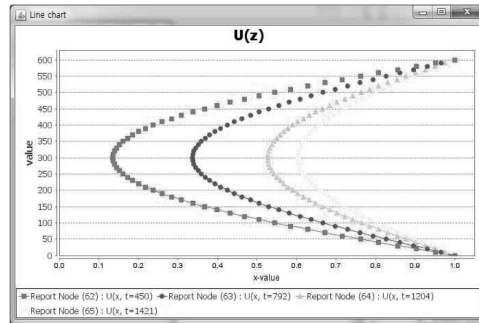
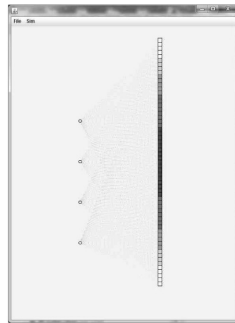


그림 3. 모델링 3단계. 논 컴포넌트를 추가하여 관개용수를 고려한 수위변화를 모의

본 절에서 살펴본 바와 같이 시스템을 모의하기 위하여 전체 시스템을 한번에 개발하여 구동하는 방식이 아니라, 컴포넌트를 하나씩 개발하면서 점진적으로 모의해갈 수 있다는 점이 ASAP가 다른 시뮬레이션 도구와는 차별화되는 지점으로 사료된다. 모델 개발을 위해서는 Java 언어를 이용한 약간의 코딩이 필요하지만, 향후 진입장벽을 낮추기 위하여 ASAP에 특화된 언어

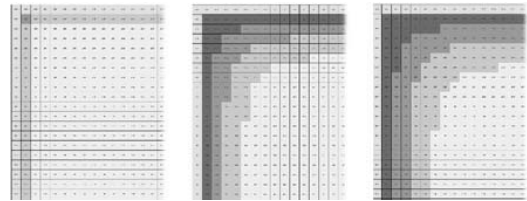
(Domain-Specific Language, DSL)를 개발할 계획을 검토하고 있다. 개발된 컴포넌트는 ASAP 환경내에서 적절한 위치에 컴포넌트를 위치시키고, 연결된 컴포넌트를 지정함으로써 시뮬레이션 환경을 구축할 수 있으므로, 시뮬레이션 환경 구축 과정은 매우 단순하다고 판단된다.



a) 1차원 압밀 해석

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140
141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160
161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180
181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200
201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220

b) 2차원 토양수분재분배 모의



c) 2차원 콘크리트 염화이온 침투도의

그림 4. 유한차분법을 이용한 다양한 시뮬레이션 모델

2. 유한차분법을 이용한 모델

ASAP를 이용하여 다양한 모델을 재현하는 과정에서 유한 차분법을 이용한 모델의 경우, 매우 쉽게 구현할 수 있음을 발견하였다. 유한차분법은 주어진 문제 도메인을 유한 개의 그리드로 나누고, 각 그리드 사이를 차분식으로 정의한다. 그리드는 ASAP에서 컴포넌트로 그대로 대치할 수 있으며, 차분 식 역시 Java언어로 간단하게 컴포넌트에 삽입할 수 있다. 기존 유한차분 모델을 ASAP로 구현하면, ASAP가 제공하는 여러 유틸리티를 그대로 이용할 수 있으므로 쉽게 시뮬레이션을 수행할 수 있다. 문제를 정의하면 바로 형상을 그림으로 확인할 수 있으며, 시뮬레이션 결과에 따라 컴포넌트의 값이 변화하는 과정을 색상 변화를 통하여 시각적으로

확인할 수 있다. 또한 전체 행렬을 구성하고 역행렬을 구하는 과정이 필요없이 ASAP에서 자동적으로 반복해법을 이용하여 문제를 풀이해 준다.

유한차분모델을 이용한 다양한 적용사례를 그림 4와 같이 도시하였다(김태곤, 2014). 제시한 그림은 토질, 관개, 재료 분야에서 이용되는 모델을 ASAP로 옮겨서 활용성을 검토한 사례로, 시뮬레이션 수행과정에서 컴포넌트 색 변화를 통하여 정성적으로 결과를 관찰할 수 있다는 장점을 확인하였다. 또한 유한요소법의 특징상 균질한 요소로 구성되므로, 하나의 컴포넌트를 구현한 이후, 이들을 어떻게 배치하느냐에 따라 동일한 지배방정식에 따라 거동하는 다양한 문제를 모의할 수 있다.

IV. 마치면서

본 고에서는 시스템 시뮬레이션을 수행하기 위하여 개발된 농업시스템응용플랫폼을 소개하고, ASAP를 활용한 예제를 제시하였다. ASAP를 이용한 시스템 시뮬레이션 기법은 상향식 모델링 기법으로, 삼형제 저수지 예제를 통하여 살펴보았듯이 점진적으로 모델링을 수행할 수 있다는 측면에서 현상의 이해도를 높일 수 있다. 추가된 컴포넌트로 인해 전체 시스템이 비정상적으로 구동되지 않도록 각 구성요소들이 독립성을 최대한 유지할 수 있도록 설계하였으며, 실시간의 컴포넌트 상황을 시각화함으로써 자칫 잘못 구현된 요소를 쉽게 인지할 수 있도록 개발하였다. 특히 유한차분법을 이용한 모델은 지배방정식만 삽입하고, 형상을 입력하는 것만으로 풀이가 가능하므로, 관련 수업의 실습자료로 활용도가 클 것으로 판단된다. 지면을 이용하여 소개하는 과정에서 실시간으로 모델링되는 과정을 온전히 전달할 수 없었던 점에서 아쉬운 측면이 있지만, 많은 연구자들이 관심을 갖고 활용할 수 있기를 기대한다.

REFERENCES

1. 김태곤, 이정재, 2007. 정보 전달계의 분리를 통한 GASS의 개선, 한국농공학회논문집 49(1): 101-109.
2. 김태곤, 이정재, 2009. 일련 자료 처리를 위한 시각적 객체 기반 모델러 개발, 한국농공학회논문집 51(2): 43-49.
3. 김태곤, 이정재, 서교, 2014a. 셀룰러 오토마타와 객체기반 시뮬레이션 환경에 의한 트러스 구조의 해석모델 개발, 한국농공학회논문집 56(3): 1-9.
4. 김태곤, 이성용, 이호재, 이정재, 서교, 2014b. 연결성과 소통구조 모듈을 통한 차세대 범용 농업시스템 시뮬레이터 (GASS2)의 개발, 한국농공학회논문집 56(5): 29-36.
5. 김태곤, 이정재, 남원호, 서교, 2014c. 데이터 로딩 자동화를 위한 RESTful 웹서비스 개발 -일별 기상자료 처리를 중심으로-, 한국농공학회논문집 56(6). (게재예정)
6. 김태곤, 2014. 연결, 소통, 복제 기능이 강화된 농업시스템 응용플랫폼의 개발, 서울대학교 박사학위논문.
7. 김현영, 박승우, 1988. 관개용 저수지의 일별유입량과 방류량의 모의발생()-선형 저수지 모형에 의한 유입량의 추정-, 한국농공학회논문집 30(1): 50-62.
8. 서교, 이정재, 김태곤, 이호재, 2005. GASS를 이용한 농산물 유통 시스템 시뮬레이션, 한국농공학회논문집 47(4): 3-12.
9. 이한규, 김태곤, 이정재, 2012. 요소 독립성이 유지되는 반복해법에 의한 객체지향 유한요소모델 개발, 한국농공학회논문집 54(2): 115-125.
10. 이호재, 2003. Simplifying complexity and emerging self-organization of integrated agricultural system models, 서울대학교 박사학위논문.