

시스템 다이내믹스를 활용한 친환경건축물 인증기준의 동태모형 개발에 관한 연구

Dynamic Modeling of Green Building Certification Criteria Using System Dynamics

최우람* 이효원**
Choi, Woo Ram Lee, Hyo Won

Abstract

Green Building Certification System currently going into effect is a static evaluation model. Therefore, as far as the sustainable development of certification system is concerned, further long-term evaluation is required. The main purpose of this study is to offer a model in a way of developing and verifying a dynamic model in Green Building Certification. A dynamic model development has been given System Dynamics based on the causal structure. Thus, this study focused on searching the causal structure of certification criteria and verifying the reality of the model through simulation processing after developing a model. In conclusion, the development of dynamic evaluation method can be attributed to systematic evaluation for the criteria of Certification System.

키워드 : 친환경건축물 인증제도, 시스템 다이내믹스, 기초관계 균등단위 모델링, 시뮬레이션
Keywords : Green Building Certification Criteria, System Dynamics, NUMBER, Simulation

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

20세기 말부터 전 세계적으로 환경 파괴에 대한 문제점이 제기되면서 자연환경의 보호와 관리를 위한 환경 패러다임이 대두되기 시작한다. 건축과 도시 분야에서 환경문제에 대한 접근은 자원 및 에너지 관련분야에서 시작되었다. 그러나 주거단지의 경우는 사용자인 인간의 거주와 각종 생활을 동시에 영위하는 속성상 환경부하의 문제 뿐 만 아니라 거주자의 '생활환경으로서의 수준-삶의 질'도 매우 중요한 문제로서 고려되어지고 있다.

이러한 자원 및 에너지 절약, 자연 보전적인 건축물 및 거주 쾌적성을 제고할 수 있는 건축 환경을 만들고자 하는 연구와 개발이 활발하게 이루어지는 가운데 2002년부터 '친환경건축물인증제도'를 시행하여 공동주택의 친환경 성능에 대한 평가를 통해 등급을 부여하기에 이르렀다.

그러나 이러한 노력에도 불구하고 인증을 받고 건축물이 완공되면서 제도의 평가과정에 대한 회의적인 시각과 친환경건축물 인증제도에서 제시하는 인증기준의 계획적 효용성과 적용성에 대한 비판적인 분석이 제기되고 있다. 건축 환경의 지속가능성을 확보하고자 하는 인증기준이 극히 정태적인 평가 방법으로 시행되고 있다. 또한 다양한 이유로 인하여 주거단지 계획에서 모든 영역에 고른

평가기준의 적용이 이루어지지 못하고 특정계획 영역에 인증기준들이 편중되어 적용되고 있다.

이는 곧 인증기준 각각이 별개가 아닌 전체의 시스템을 구성하는 하나의 변수로 작용하고 있기 때문에 인증기준들 사이의 관계를 밝혀 하나의 시스템화 시키는 연구가 필요한 실정이다. 또한 인증기준 간의 상호관계로 인하여 변화할 수 있는 현상과 시간의 흐름에 따라 성장하고 쇠퇴하는 자연적인 현상, 즉 동태성에 대한 고려가 미흡하다는 평가를 받고 있다.

따라서 인증기준의 장기적인 동태성 평가와 독립적으로 평가되는 기준들의 시스템화라는 두 가지의 문제 해결을 위하여 시스템 다이내믹스(System Dynamics) 연구방법을 이용한 친환경건축물 인증기준의 동태모형에 대한 연구가 진행되고 있다.

이에 본 연구의 선행연구¹⁾로 '친환경건축물인증제도'의 인증기준을 시스템 사고에 입각하여 상호관계를 분석하여 그 한계를 인지하고 이를 보완하기 위한 대안으로서 시스템 다이내믹스 방법론을 이용하여 모형을 구축하였다. 이를 바탕으로 본 연구에서는 구축된 모형의 타당성 검증은 통하여 모형의 구조 및 정의된 상수들에 대한 현실성을 검증하여 인증기준의 동태모형을 평가한다. 그리고 실제 사례를 대입하여 모형을 구동하고 분석변수를 설정하여 시나리오 분석을 통해서 활용방안을 도출하고자 한다. 결국 System Dynamics를 이용하여 장기적인 평가 모델의 구축 및 모형의 현실성 검증을 통하여 현재 진행되고 있는 친환경건축물인증제도가 체계적으로 수행

* 전남대학교 건축학부 박사수료 (ion750@nate.com)
** 교신저자, 전남대학교 건축학부 부교수, 공학박사 (leehw@jnu.ac.kr)
"이 논문은 2009년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임(지역거점연구육성사업/바이오하우징연구사업단)"

1) 최우람, 친환경건축물 인증기준의 인과구조에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 제25권 제10호

되어 지속가능한 개발을 이룰 수 있는 모델 개발이 궁극적인 목적이다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 친환경건축물 인증기준 중 공동주택부문을 연구대상으로 하였으며 주요 연구 방법으로는 시스템 다이내믹스(System Dynamics) 방법론에 의한 동태적인 평가모형을 구축하고, 이에 대한 현실성을 검증하는 과정을 포함하고 있다.

주된 연구의 방법인 시스템 다이내믹스는 1차적으로 친환경건축물 인증기준의 시스템 인과구조 파악을 위한 인과지도(Causal Loop)의 작성과 동태성 파악을 위한 저장/유량 모델링(Stock/Flow Diagram)의 시뮬레이션 작업을 수행하고 2차적으로는 구축된 모델을 바탕으로 실제 대상지를 설정하여 관계식 및 수식을 완성하여 동태적인 모형을 완성하고 타당성 평가를 통한 현실성 검증을 실시하고 구체적인 활용을 위한 시나리오 분석을 실시하게 된다. 인과구조에 의한 인과지도에 대한 연구는 본 연구 이전에 선행되었으며 본 논문에서는 간략하게 서술하고자 한다. 따라서 본 논문에서는 이렇게 구축된 동태모형을 토대로 실제로 인증을 득한 단지의 현실값을 적용하여 Base Run을 구축하였고, 이후 현재 인증제도에 문제 시 되고 있는 인증기준을 도출하고 이런 변수통제를 위한 시나리오를 작성하여 모델의 Reality를 검증하고 개선방안을 제시하였다. 이상의 모델링은 “기초관계 균등단위 모델링”방법을 이용하였고, 소프트웨어 Vensim version4.0를 활용하여 시뮬레이션 하였다.

2. 이론 및 선행연구 고찰

2.1 현행 친환경 인증제도

2002년 정부의 주도적인 노력으로 ‘친환경건축물 인증제도’가 제정 시행되었다. 건축의 지속가능한 발전을 목표로 건조행위에 있어 환경오염을 저감하고 자원을 절약하자는 취지를 따라 인증기준을 가지고 건축물의 등급을 부여하고 있다. 하지만 시행 초기인 시점에서 다양한 문제점들이 제시되고 있다. 본 연구에서는 문헌조사를 통하여 여러 가지 문제점을 분석한 결과 다음과 같은 문제점을 주목하였다. 먼저 계획과정에서 여러 가지 이유에서 인증기준들이 편중 계획된다는 점이다.²⁾ 둘째, 단순하게 제시된 계획요소들을 충족하기 보다는 건축의 전생애(Life Cycle)를 평가하여 진정한 지속가능성 실현이라는 궁극적인 목표를 구현할 수 있는 평가방법이 필요하다는 것이다³⁾.

2.2 System Dynamics 이론

1961년 MIT 포레스터(Jay W. Forrester)교수와 제자들

에 의해서 연구된 시스템 다이내믹스(System Dynamics; 이하 SD라 칭함)는 시스템을 구성하고 있는 기본적인 순환고리들의 인과관계를 확인하여 그 시스템의 현상과 구성요소들의 변화를 시계열적으로 분석하는 동태적인 분석방법이다. 이런 이유에서 SD는 산업, 경제, 사회, 환경 등 다양한 분야에서 시스템의 변화를 동태적으로 분석하는데 널리 사용되어 왔다.

이런 SD방법은 두 가지 큰 특징을 갖는다. 하나는 시스템의 동태적인 행태변화 즉, 시간의 경과에 따른 시스템의 행태변화에 관심을 갖는다. 다른 하나는 통태적인 변화의 근본적인 원인을 피드백 구조에서 찾는다는 것이다. SD를 활용한 모델링 과정은 다음 그림1과 같다.

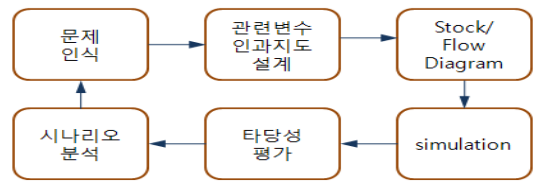


그림 1. SD 모델링 과정

SD방법에 의한 모델은 변수들의 추세 파악에 중점을 두는 것으로 시간의 흐름에 따른 변수의 패턴 변화를 예측할 수 있게 해주며, 시나리오별 시뮬레이션을 통해 특정 변수의 변화가 다른 변수에 어느 정도의 영향을 미치는지를 파악할 수 있게 해준다. 이는 인과지도를 설계하며 관계 맺은 인과관계를 검증함으로써 모델의 타당성을 검증할 수 있다.

SD방법의 이런 특징은 다양한 인증기준을 인과관계에 의해서 구성되는 내부적인 구조를 파악하고 관계를 규명함으로써 전체적인 시스템을 구축할 수 있고, 이는 곧 평가가 일과성으로 끝나지 않고 장기적인 변화를 예측하여 적용시킬 수 있는 의사결정에 도움을 준다.

2.3 건축 및 도시환경 분석을 위한 시스템 다이내믹스 적용

90년대 이후 지속가능한 발전이 대두되면서 장기적인 동태성 분석틀을 가지는 시스템 다이내믹스 모델링 기법과 도시 및 건축의 지속가능한 개발의 기초인 미래의 환

표 1. 도시와 지속가능성에 관한 시스템 다이내믹스 연구동향

연구자	내 용
Radzicki (1999)	<ul style="list-style-type: none"> 특정도시에 한정하는 것이 아닌 지속가능한 일반적 도시 모형 정립 모델구조 : 인구부문, 주택부문, 산업부문, 정부부문, 환경오염부문
Jorgen ⁴⁾ (2000)	<ul style="list-style-type: none"> 미래를 보는 새로운 시각으로서 지속가능한 발전을 고려 모델구조 : 환경효율성, 인구, 형평성, 자본
문태훈 (1998)	<ul style="list-style-type: none"> 도시의 환경용량 산출을 위한 모델 구축 및 환경지표 개발 방법 제시 모델구조 : 자연환경, 인구, 산업, 주택, 환경, 도시
정희성 ⁵⁾ (2002)	<ul style="list-style-type: none"> 지속가능성을 평가하는 생태-경제 통합 모형의 개발을 통한 새로운 환경정책 연구방향 제시 기존의 환경-경제 통합모형과 시스템 다이내믹스 방법론의 비교

2) 정종대, 친환경 건축의 평가지표와 인증제도에 관한 연구, 서울대학교 박사학위논문, 2004.2

3) 전상현, 국내·외 친환경건축물 인증제도의 비교분석에 관한 연구, 전남대학교 석사학위논문, 2007.2.

4) Jorgen Randers, From Limits to Growth to Sustainable Development, System Dynamics Review, 2000

5) 정희성(외), 지속가능성 평가를 위한 지역생태-경제환경 개발연구(1), 한국환경정책평가연구원, 2002

경을 생각하는 개념이 일치하면서 지속가능성 분석에 시스템 다이내믹스를 활용하려는 움직임이 일어났다.

환경은 수많은 생물, 무생물들이 서로 유기적인 관계를 맺으며 오랜 시간을 통하여 변화하고 진화하고 있다. 우리는 동태적인 특성을 가진 환경을 장기적인 관점에서 예측하고 환경을 지키려는 노력을 기울여야 한다. 이에 SD의 장기적인 예측 모델은 환경의 동태성을 파악하는 하나의 틀로 적용이 가능하다.

3. 친환경건축물 인증기준 모델링

3.1 인증기준의 인과관계 분석 및 system 구조 분석⁶⁾

현 시행 제도에서는 친환경건축물 인증기준이 평가 항목에 따라 독립적인 평가가 이루어지고 있다. 하지만 환경을 구성하는 구성요소들은 개별적으로 작용하기 보다는 상호 관계를 맺으며 건축 환경을 이루어 나가고 있다. 인증기준에서도 마찬가지로 각각의 기준들이 추구하는 목표와 평가 배경을 살펴보면 상호 관계를 맺으며 구성됨을 알 수 있다.

이러한 기준들 간의 관계를 인과 관계 형태로 파악하였으며, 인과관계는 연속적인 루프를 형성하여 시스템 전반을 포함하고 있다. 이런 인과구조는 인과지도도를 통해서 쉽게 표현된다. 인과지도 내의 두 영향인자간의 인과관계는 영향을 받는 인자를 증가시키거나 혹은 감소시키는 유형으로 나타나며, 인과지도는 전자를 양의 피드백루프(positive feedback loop; 자기증폭적), 후자를 음의 피드백루프(negative feedback loop; 자기균형적)를 정의한다.

친환경건축물 인증기준들 간의 상호관계를 설명하기 위해서는 각 기준들이 어떤 관계를 맺으며 상호 영향을 주는가를 파악하여야 한다. 상호 영향관계를 인과관계에 의해서 원인변수와 결과변수들로 구성되며 이는 곧 하나의 피드백 루프를 형성하는 피드백 구조로 설명할 수 있다.

본 연구에서는 내부의 인과관계를 설계하기 위해서 인증기준의 44개의 평가 요소 분석을 토대로 25개의 범주의 인과관계를 설정하였다. 인과관계의 설정은 3가지 원칙을 가지고 진행되었다. 첫째, 44가지 세부평가기준의 각각의 평가 목적의 분석을 통해서 설정하였다. 둘째, 세부평가기준의 평가를 위한 산출기준에서 설정하였다. 셋째, 연구를 진행하는 연구자의 일반적인 수준에서 건축물의 환경을 구성하는 기준들의 관계를 정리하였다. 이와 같은 3가지 원칙에 의해서 설정된 인과구조는 25개의 범주가 표2와 같이 총 40개의 인과관계를 갖는 것으로 조사되었다.

40가지 설정한 인과구조는 다시 영향요인 및 영향변수에 중복된 기준들을 위주로 루프를 연결하여 피드백 루프를 설정하였다. 5개의 자기증폭적 루프와 2개의 자기균형적인 루프로 전체 7개의 루프를 형성하며 이는 전체 시스템 내에서 가장 민감하게 반응한다.

3.2 친환경건축물 인증기준 모델링

1) 인증기준 시뮬레이션 모델

친환경건축물 인증기준의 동태성 파악을 위한 모델링

6) 각주 1)의 선행연구를 재정리하였음(인과관계변경).

에서 저장(level변수)은 친환경건축물 인증심사기준표의 범주에 속하는 25개 항목을 바탕으로 11개의 항목은 각각의 저장의 유량(flow변수)과 일치하기 때문에 5개의 저장으로 압축시켜서 최종 19개의 저장⁷⁾으로 설정하였다.

다시 19개의 저장(level변수)은 구체적인 수치화를 위하여 인증기준의 44개 평가항목을 유량 또는 보조변수로 설정하였으며, 세부평가기준은 변화율변수 유량(flow변수)의 변화에 관여 한다. 각 저장변수들은 증가와 감소유량으로 구성되어 있으며, 보조변수들의 평균값에 영향을 받는다.

여기서 모델은 인증제도 내적 구조를 파악하는 작업이므로 이용되는 변수들은 모두 친환경건축물 인증기준 내에 명시된 변수들로 한정하여 진행하였다.

이처럼 저장/유량을 결정하고 보조변수 및 변화율변수를 이용한 모델링은 3.1장에서 분석된 7개의 피드백 루프를 중심으로 구성되었으며 그림2과 같다.

변수들을 구성하는 수식에서 수준변수와 증감율 모두 0과 1사이의 값을 갖는 것으로 전체되어 변화되기 때문에 보정율과 변수들의 초기값에 의해서 동태적인 형태가 결정된다. 때문에 본 연구에서 보정율과 초기값의 설정은 모델의 현실성을 반영하는 중요한 요인이지만 이는 연구자의 직관적인 판단에 따라 설정되므로 일정한 원칙을 가지고 적용되어야 한다.

친환경인증기준에 의해서 설계된 단지의 경우 완공된 시점에서는 최초 인증 당시의 항목별 점수를 측정한다. 그 결과가 산출된 값들이 본 연구의 모델에서는 초기값으로 처리된다. 이는 계획된 값에서부터 다양한 변수들이 상관관계에 의해서 시계열적으로 어떻게 변화하였는가를 확인하기 위함이다. 보정율은 수준변수와 유량변수가 0과 1사이의 값을 유지시키기 위한 값으로 설정되었다. 연구의 모델링에 적용된 19개 저장의 초기값⁸⁾들을 각 저장에 포함된 기준 점수의 합을 배점의 비율로 정리하여 선정하였으며 이는 연구대상지에 따라 변화한다. 초기값들은 다음 표2와 같다.

표 2. 모델의 초기값 및 산출근거

수준변수	초기값	근거(점수의 합/배점의 합)
생태적 가치	0	적용하지 않음
토지이용	0.755	(4.04+2) / 8
인접대지 영향	0.2	0.4 / 2
거주환경	0.93	(3+3+0.5) / 7
교통부하	0.875	(2+1+2+2) / 8
에너지효율	0.62	(8.11+1.2) / 15
자원	0.39	(3+1+3) / 18
폐기물	0.68	(0.4+2+1) / 5
수자원	0.54	(3+2+2) / 13
지구온난화	1	3 / 3
유지관리	1	(1+3+3) / 7
대지 내 녹지공간	0.32	(0.5+1.02+2) / 11
생물 서식공간	0.74	(1.42+3) / 6
자연자원	0	적용하지 않음
실내공기환경의 질	1	(6+3) / 9
온열환경	1	2 / 2
음환경	0.475	(2.5+2.25) / 10
빛환경	0.8	3.2 / 4
노약자 배려	1	2 / 2

7) 생태적 가치, 토지이용, 인접대지 영향, 거주환경, 교통부하, 에너지효율, 자원, 폐기물, 수자원, 지구온난화, 유지관리, 대지내 녹지공간, 생물서식공간, 자연자원, 실내공기환경의 질, 온열환경, 음환경, 빛환경, 노약자 배려(이상 19개 항목)

8) 본 연구의 대상지는 광고 택지개발지구 A단지의 친환경건축물 예비인증을 마친 단지로 점수 합계 85.74를 획득한 최우수등급인 단지를 대상으로 하였다.

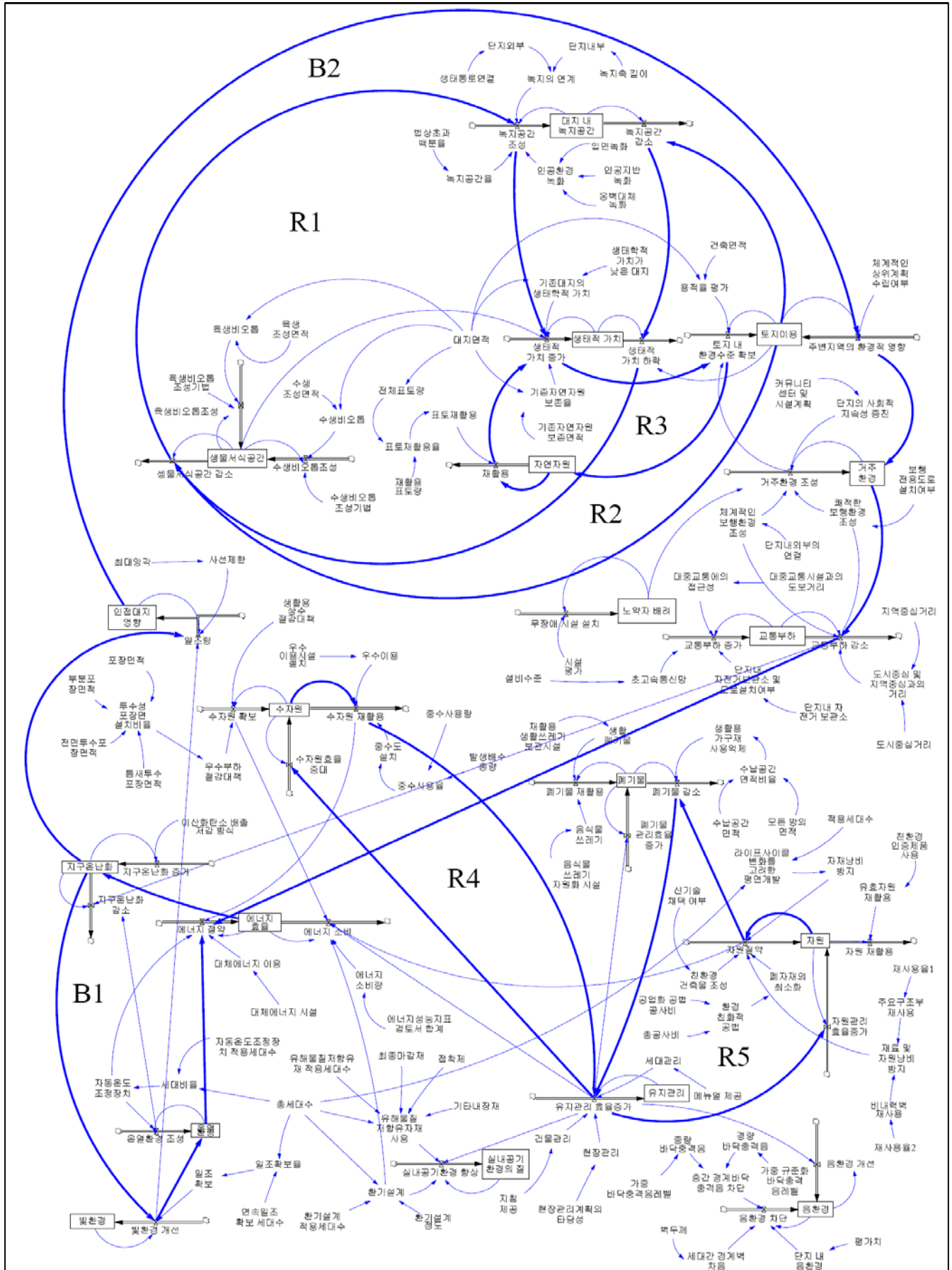


그림 2. 친환경건축물 인증기준의 시뮬레이션 모델

그림 2과 같은 모델링에 대상지의 인증기준 값을 수치화된 저장/유량 다이어그램 변수값을 대입한 기본적인 Base Run을 구축하였다. 친환경건축물 인증기준을 구성하는 하위시스템들의 장기적인 행태를 분석할 수 있다. Base Run은 특정 변수의 민감도를 분석하지 않고, 계획된 점수들이 기준의 각 하위 시스템별 동태성이 어떠한 패턴을 나타낼 것인가에 주목하였다.

이런 시뮬레이션 모형의 결과는 인증기준의 시스템을 구성하는 각 하위 요소들의 동태적인 행태뿐만 아니라 관련된 하위 시스템들 간의 관계를 고려하여 해석될 수 있다.

2) Base Run 구축

정성적인 분석을 통한 인과지도를 저장/유량 다이어그램으로 정량적 시스템으로 변화하여 사례 대상지의 실제 인증 기준 측정값을 대입하여 Base Run을 구축하였다. 본 연구에 활용된 대상지의 일반적인 개요는 다음 표3과 같다.

표 3. 연구대상지 개요

구분	내용		구분	내용
대상지	광교 택지개발지구 A 단지		건폐율	12.36
대지면적	51,617.00㎡		세대수	700
건축면적	6,379.00㎡		인등점수	85.74
용적율	179.52		인증등급	에비인증 최우수

분석의 시간단위는 일반적인 아파트의 내구수명인 50년을 기준으로 해야 하나, 상기 모델의 경우 하나의 저량을 제외하고 10년 이후에 모두 수렴하는 형태를 보이고 있기 때문에 그래프를 단순화하여 분석을 수월하게 진행하기 위해 최대 180개월을 기준으로 output하였다. 또한 모든 변수들은 0과 1사이의 값을 가지며 0.25단위로 도식하였다.

4. 친환경건축물 인증기준의 동태 모형 분석

4.1 모델의 타당성 평가

시스템 다이내믹스는 현상에 대한 인과관계를 설명하는 모델이다. 하지만 실제로 우리 주변에서 일어나고 있는 다양한 사회 현상에 대한 모든 변수들을 완벽하게 시스템으로 구현하는 것은 현실적으로 불가능하기 때문에 우리가 설계한 모든 시스템 다이내믹스 모형은 해당 현상에 대해서 완벽하게 설명할 수는 없다(Sterman, 2002). 그래서 모델이 일단 구축되면 시뮬레이션을 하여 모델의 행태를 검증하게 되는데, 이는 모델의 수식과 관계들이 연구자의 의도대로 논리적으로 완성되었는지 확인하는 과정이 필요하다.

연구의 검증은 건전성 검증, 객관성 검증 두 가지 방법으로 진행된다. 건전성 검증은 기본적인 검증의 단계로 모델의 구조가 적합한지와 모델의 변수들의 파라미터 값이 얼마나 민감하게 작용하는지를 측정하여 검증하는 방법이다. 또한 객관성 검증은 모델이 얼마나 논리적인 타

당성을 갖는지를 설명하는 것으로 본 연구에서처럼 신규 작업으로 과거 비교 자료가 없는 경우 실험 명제 검증 과정을 통해서 이루어진다.

1) 건전성 검증

① 수식 검증

모델이 논리적인 관계에 의해서 만들어졌는지를 확인하는 방법으로 모델의 수식검증(Equation Check) 작업이 있다. 본 연구에서는 모델 개발에 사용된 프로그램인 Vensim에서 제공하는 기본적인 검증 기능을 사용해서 분석을 수행하였다.

수식검증 기능은 연구모델에 삽입된 모든 함수식이 각 변수간의 관계 간에 충돌이 없는지 중복이 없는지 구조적인 오류(Error)를 살펴보는 기능으로 입력한 모든 수식들이 Vensim의 규칙에 어긋난 것이 없는지를 확인하는 검증이다.



그림 3. 수식검증과 단위검증 결과

② 민감도 분석

민감도 분석(Sensitive analysis)이란 변수 값이 다양하게 변화할 때, 시뮬레이션 결과가 어떻게 변화하는지를 알아보기 위한 분석 방법이다. 이는 주어진 상수에 대해 정해진 대로 난수를 발생시켜 200번⁹⁾ 시뮬레이션을 수행하여 그 결과를 정리하여 보여준다. 여기서 Vensim에 내장되어 있는 난수 발생 함수를 동시에 활용하여 난수를 발생시켜 시뮬레이션을 수행한다. 따라서 검증하고자 하는 변수들이 주변의 상수들에 의해서 얼마나 민감하게 반응하는지에 대한 검증할 수 있다.

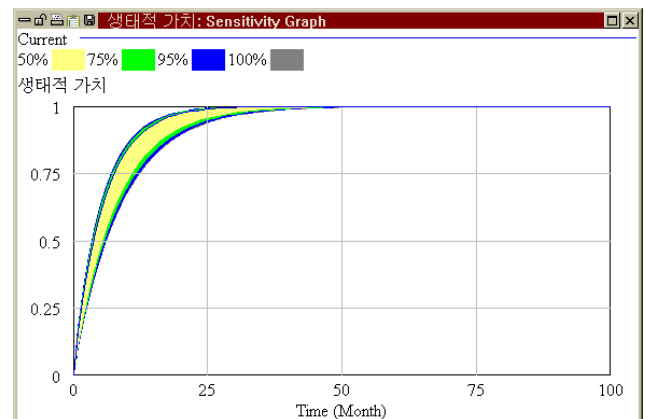


그림 4. 생태적 가치에 대한 민감도 분석

9) 기본적으로 주어진 횟수로 사용자가 임의로 결정할 수 있다.

본 연구에서는 전체 19개 지량(Level 변수)에 대한 민감도 분석을 실시한 결과 대체적으로 모델의 행태는 일관성을 가지고 변화하고 있으며 큰 변화나 경직성을 가지지 않고 타당성 있는 수준에서 변화함을 보여준다. 지면 한계 상 모두를 수록하지 못하고 생태적 가치에 대한 민감도 분석 결과를 예로 그림4와 같다.

그림 4는 생태적 가치와 관련을 갖는 생태학적 가치가 낮은 대지면적과 기존자연자원 보존면적을 각각 $\pm 12.5\%$, $\pm 20\%$ 범위 내에서 민감도를 분석한 결과 그래프의 폭이 크게 변화하지 않는 것으로 보여 큰 변화를 보이지 않고 일관성을 나타남을 알 수 있다.

2) 객관성 검증

객관성의 검증은 첫째, 해당 현상에 관한 기존의 데이터를 시뮬레이션 모형에 적용하여 분석하며 둘째, 해당 현상에 관한 시뮬레이션 모형 설계 단계에서 선행연구의 이론을 바탕으로 한 실험명제를 제시하여 시뮬레이션 결과로써 해당 명제를 검증하는 방법과 셋째, 해당 현상에 관한 모델 자체의 논리적 결함 여부를 판단하여 모델이 원래의 실험목적에 적합한지를 판단하는 방법 등이 있다 (Sterman, 2003). 본 연구에서는 두 번째 방법을 참고하여 실험 명제의 검증을 통한 모델의 타당성을 검증하였으며, 그 내용은 4.2 시나리오 분석과 같다.

4.2 시나리오 분석

앞에서 구축된 친환경건축물 인증기준의 SD모형을 이용하여 몇 가지 기준들에 대하여 인증기준의 동태성에 어느 정도 민감한 영향을 미치는가를 살펴보았다. 이러한 변수들의 통제에 따른 변화들을 분석하는 과정은 향후 친환경건축물 인증제도의 계획과정에서 점수배분의 과정에 활용하여 의사결정에 도움을 줄 수 있을 뿐만 아니라 변수의 통제를 통해서 전장에 설정하였던 인과구조를 검증함으로써 모델의 Reality를 검증하는 중요한 과정이다.

① 분석 변수의 설정

먼저 기준간의 영향력을 분석하기 위해서 통제하고자 하는 변수를 선정하여야 한다. 통제 변수의 선정에는 기존 문헌 조사를 통하여 친환경건축물 인증의 과정에서 다양한 이유에서 배제되었던 항목을 조사하여 연구의 기준으로 활용하고자 한다. 정종대¹⁰⁾(2006년)는 본인증을 받은 4개의 단지를 비교하여 인증기준의 실제 적용사례를 살펴보았다. 이 과정에서 총 4개의 항목이 4개 단지 모두에서 평가 배제되었음을 확인하였다. 이는 현재 인증을 받은 전체 집단을 대표할 수 없지만, 시나리오를 통하여 변수들 간의 영향력을 연구하고 시스템의 현실적 적용성을 연구하는데 큰 문제가 되지 않기에 4개 항목에 대한 분석을 실시하였다.

시나리오 분석에 활용한 4가지 항목은 기존자원보존, 대체에너지 이용, 우수이용, 표토재활용이다. 하지만 본 연구의 대상지의 경우 택지개발지구로서 부득이하게 배제될 수밖에 없는 5가지 변수¹¹⁾들이 배제되어 있는 상태

이다. 그중 기존자원보존 및 표토재활용의 경우 현재 평가에서 누락되었기 때문에 이 항목들은 역으로 가상적인 수치로 변경되었을 경우 변화의 형태를 비교하였다. 따라서 통제 전의 변수값은 0이며, 분석을 위한 변수의 조정값은 다음과 표 4와 같다.

표 4. 분석을 위한 변환값

인증기준	변환수치	초기값
기존자원보존(면적)	5,161.7m ²	0.6
대체에너지 이용(등급)	0	0.54
우수이용(등급)	0	0.38
표토재활용(면적)	1,000m ²	0.2

② 기존자원보존의 증가

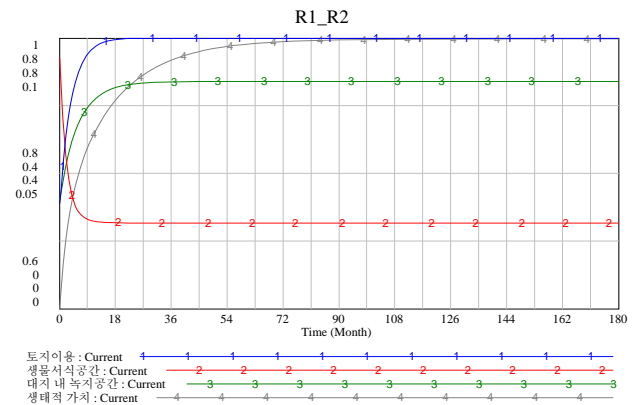


그림 5. 기존자원보존 변경 전(Base Run)

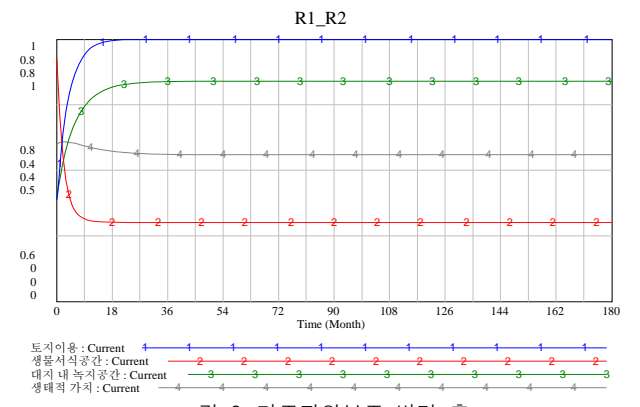


그림 6. 기존자원보존 변경 후

그림 5에 의하면 토지이용으로 인하여 생물의 서식공간들은 초기 0.8의 점수를 획득하였으나 감소하는 패턴을 보이다가 토지이용이 정제되는 시점과 동시에 다소 낮은 값으로 수렴하는 모습을 보여 두 변수는 음의 인과관계로 설정되었음을 증명하고 있다. 또한 생태적인 가치는 대상지의 토지이용, 대지 내 녹지공간, 생물서식공간 등의 요인들의 증가와 감소의 행태들이 종합되어 완만한 증가 형태로 수렴하고 있다.

그림 5과 그림 6을 비교해서 볼 때, 생태적 가치의 변

11) 기존 대지의 생태학적 가치, 기존 자연자원 보존율, 기존 건축물의 제사용(주요구조부)으로 재료 및 자원의 절약, 기존 건축물의 제사용(비내력벽)하여 재료 및 자원의 낭비 절약, 표토재활용율(이상 5가지)

10) 정종대, 친환경건축물 인증지표 및 인증사례 분석 연구, 대한건축학회 논문집 22권8호, 2006.8

화율변수인 기존자원보존의 증가는 생태적 가치를 크게 향상 시켰으나 완만히 증가하는 형태의 패턴에서 소폭 상승하다 하락하여 30개월 이후에는 균형을 이루는 형태를 취하고 있다. 다른 변수들의 전체 패턴의 변화는 없지만 생물서식공간과 대지 내 녹지공간 수치가 약간씩 상향되었으며, 토지이용은 최대치에 도달하는 시간이 3~4개월 단축되었음을 알 수 있다. 이는 인과관계 설정에서 생태적 가치와 생물서식 공간, 대지 내 녹지 공간은 자기중심적인 양의 피드백 구조로 설정된 결과를 반영하고 있다.

따라서 2~3년 동안의 공사기간 동안 표토를 보존하기 힘들 뿐만 아니라 경제적으로 손실이 많고 대지 조성 시 보존할 곳이 없다는 한계 때문에 자주 배제되는 항목인 기존 자연자원 보존율을 증가시켜 간접적인 삶의 질 향상을 꾀할 수 있다.

③ 대체에너지 이용의 감소

그림 7에 의하면 에너지효율의 경우 감소유량인 에너지소비에 상대적으로 많은 변수들이 영향을 주기 때문에 최초의 효율보다 많이 감소한 형태를 보여주고, 지구온난화는 에너지효율과 음의 관계를 유지하고 있기에 처음에는 급격하게 줄어들지만 장기적으로는 소폭 상승하여 안정을 찾는 형태로 균형적인 패턴을 보여주고 있다.

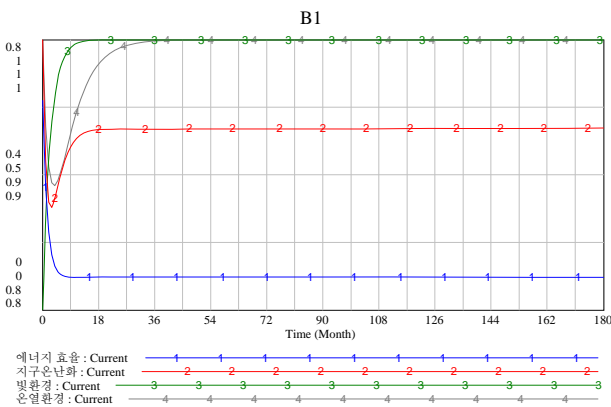


그림 7. 대체에너지 이용 변경 전(Base Run)

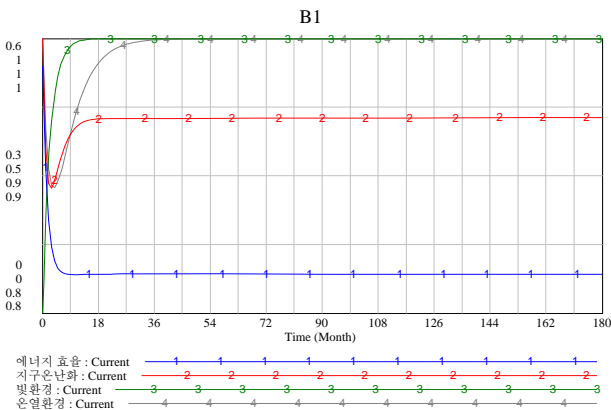


그림 8. 대체에너지 변경 후

그림 7과 그림 8를 비교해서 보면 역으로 대체 에너지를 0으로 감소시켰을 경우 값으로 에너지 효율을 보면 패턴의 변화는 없지만 최소값이 0.6으로 감소하였고 9

개월 이후에 수렴하는 값도 0.1에서 0.75로 줄어들었다. 하지만 이와 반대로 음의 관계를 형성하는 지구온난화는 증가하는 형태를 보이고 있다. 즉 에너지 효율이 증가할수록 지구온난화는 감소하는 음의 구조를 보이고 있다. 이는 인과관계의 설정에서 에너지 효율과 지구온난화는 음의 피드백 구조로 설정된 결과이다.

이는 대체에너지 이용의 배제에 따라서 지구온난화가 증가함에 따라 인접대지에 영향을 미치고 단지 내 거주민의 거주환경에까지 미세한 영향을 주는 것으로 판단된다. 따라서 규정이 명확하지 않아 경제성을 따라서 주로 3등급만 획득하게 되고 1, 2등급의 획득을 위해서는 전력 부하량이 너무 크기 때문에 명확한 전략량을 측정할 필요하기 때문에 자주 배제되었던 대체에너지 이용을 증가하여 지구온난화를 감소하는 효과를 거둘 수 있다. 이를 위해 전기부하량을 낮춰주면서 대체에너지 사용을 유도하려는 노력이 필요할 것이다.

④ 우수이용 감소

그림 9에 의하면 유지관리와 같은 경우 감소유량이 없고, 수자원 및 폐기물에 영향을 받지만 그 양이 미세하여 최초 상태와 유사한 패턴을 진행된다. 그림 9과 그림 10을 비교해서 볼 때 수자원의 최소값은 0.4이하로 떨어졌으며 전체적인 형태는 증가하는 듯 보이나 균형을 이루는 36개월 정도의 수치를 비교했을 때 감소한 것으로 나타난다.

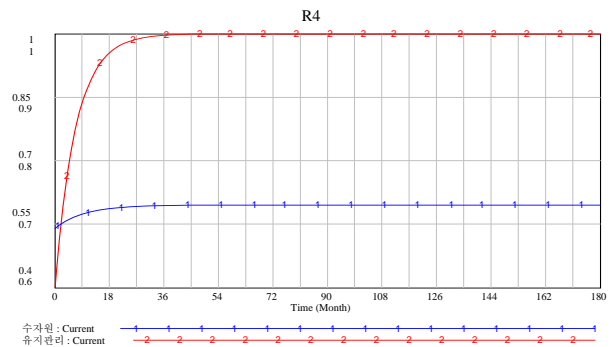


그림 9. 우수이용 변경 전(Base Run)

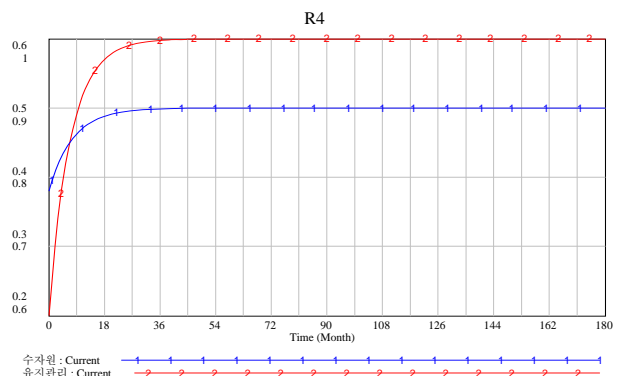


그림 10. 우수이용 변경 후

이는 수자원의 경우 에너지와 유지관리에 영향을 주는 목적변수로 작용하기 때문에 수자원의 활용이 늘어날수록 결과변수의 상승을 초래하게 된다. 또한 연쇄적으로

유지관리부분은 좀 더 완만한 곡선을 보이며 수렴하는 값은 일치하나 시기가 늦춰졌음을 알 수 있다.

그리고 그래프에는 표시되지 않았지만 에너지효율의 경우도 미세하지만 Base Run에 비하여 감소되는 형태를 보여 에너지 효율에도 효과가 있는 것으로 보인다. 따라서 우수이용의 경우 근래에 들어서는 대체적으로 적용되기 쉬운 조경용수, 살수용수, 화장실용수, 스프링클러 등에 사용하는 방화용수로 사용되는 것으로 시설비가 많이 들지 않은 항목이기 때문에 적극적으로 설치하여 수자원의 보호와 에너지의 낭비를 줄이고 동시에 유지관리의 효율을 증가시키는 효과를 예측할 수 있는 항목으로 평가된다.

⑤ 표토재활용 증가

그림 11에서 본 대상지는 택지개발사업지구로서 기존의 개발 과정에서 표토를 재활용할 수 없었기에 자연자원은 0으로 계획되지 않았으나 R3의 피드백 루프에 의하여 토지이용의 증가와 함께 평가치가 0.065로 매우 적은 값이나 동반하여 상승하는 형태를 보인다.

그림 11와 그림 12을 비교해서 볼 때 자연자원은 높은 수치를 보이면서 강한 증가 추세를 보인다. 이는 표토의 재활용으로 인한 토지의 생태적 가치가 증가하고 토지의 환경적인 부하가 줄어들어 다시 자연자원의 증가 효과를 주는 짧은 피드백 구조의 형성으로 인하여 지수적인 증가를 보이고 있다. 또한 인과관계에 있는 토지이용은 균형점에 도달하는 시기가 좀 더 빨라졌음을 알 수 있다. 이는 인과관계 설정에서 자연자원과 생태적가치가 양의 피드백 구조로 설정된 결과이다.

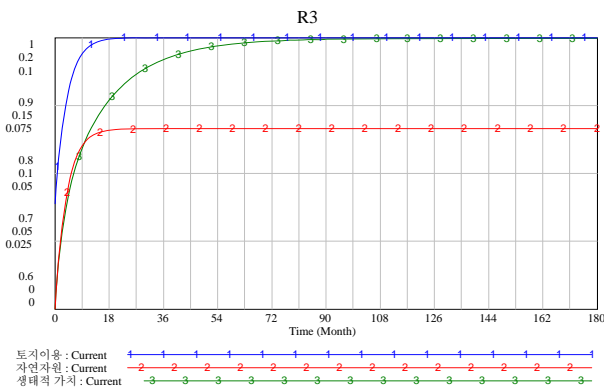


그림 11. 표토재활용 변경 전(Base Run)

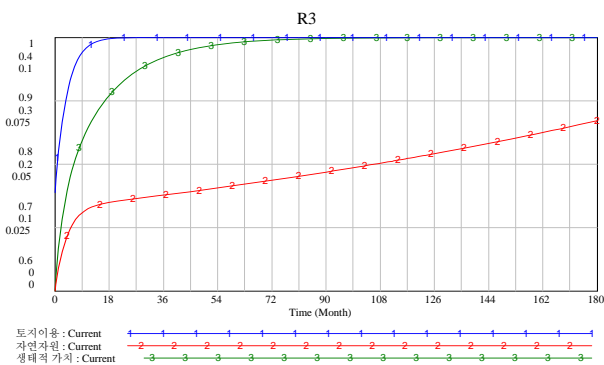


그림 12. 표토재활용 변경 후

이는 표토재활용의 경우 공사기간(2~3년)동안 표토를 보관할 장소가 적절치 않으며 유지관리 비용이 많아서 보관·운영하는데 번거로운 반면에 배점이 적어 주로 배제되고 있음을 알 수 있다. 하지만 자연자원의 활용으로 생태적 가치의 증가의 효과를 동시에 노릴 수 있기 때문에 순차적인 공동주택 단지 시공방법의 개발 또는 타단지의 표토 재활용을 점수화하여 인정하는 등의 다양한 적용방안들이 연구되어야 한다.

5. 결론

본 연구는 시스템 다이내믹스 기법에 근거한 친환경건축물 인증기준의 동태모형을 검증하고 그 변수들의 통계를 통하여 모형을 평가하고 활용방안을 연구하였다. 지속 가능한 친환경건축물 인증제도의 구현을 위하여 정태적인 기존 인증 방법의 단점을 보완하는 동태적인 모델로 장기적인 예측이 가능한 모델을 제시하였다.

총 44개 항목으로 평가되는 인증기준을 40개의 인과구조를 도출하여 전체 시스템의 성격을 파악하였으며, 이 중 연구에 중요한 영향을 미치는 피드백 루프 7개(양의 피드백 루프 5개, 음의 피드백 루프 2개)를 중심으로 모델을 설계하였다. 설계된 모델은 인증기준에 제시된 모든 변수들을 포함하고 있으며, NUMBER를 통하여 정량적인 수치화 작업을 통하여 전체 시스템의 동태적인 모형을 구축하였다.

구축된 시스템은 인증기준이 가지는 인과구조를 정성적인 분석에 의해서 인과지도로 작성하여 수치화 하였지만 모델이 완벽하게 환경의 현상을 대변하는 것이 아니다. 따라서 수식이나 수치가 적절하게 설계 되었는가 그리고 논리적으로 객관성을 보이는가를 검증하는 과정이 필요하다. 이에 건전성 검사의 모델 체크를 통하여 신뢰성을 확보하고 민감도 분석을 통하여 상수와 변화율의 객관성을 검증하였다. 또한 객관성 검사를 통하여 검증한 결과 모델이 인과관계 설정에 따른 실험 명제를 충분히 반영하고 있음을 검증하였다.

구축된 모델의 인과구조 검증과 함께 현실성 검증을 위하여 실제 적용된 인증사례를 선정하여 4가지 변수(기존자원보존, 대체에너지 이용, 우수이용, 표토재활용)의 통계를 통한 분석을 실시하였다. 그 결과 4가지 통제 변수의 조정을 통해서 서로 연관된 인과구조에 의해서 관련된 저량이 음과 양의 관계를 가지며 변화하는 패턴을 보이고 있다. 이는 친환경건축물을 이루는 인증기준이 환경을 구성하는 하위구조의 전체적인 시스템적인 관점에 의해서 유기적으로 변화하는 동태성을 보여주고 있다.

하지만 본 연구에서 보여주는 그래프의 수치는 실제적인 배점이 변화하는 것을 의미하는 것이 아니라 실제 환경들의 유기적인 관계성에 의해서 환경을 통한 인간들의 삶의 질이 어떻게 변화하는가를 예측할 수 있는 패턴을 의미하는 것으로 실질적인 인증기준의 배점변화를 예측할 수는 없는 한계를 가지고 있다. 따라서 친환경건축물 인증제도가 정착되고 시간이 흘러 건축물의 시계열적 환

경 변화를 측정하여 과거 실측자료를 수집하여 과거 데이터에 의한 시뮬레이션 검증을 통한 미래 예측이 이루어진다면 좀 더 현실성 있는 미래 예측이 가능할 것이다. 그러나 친환경건축물의 건설로 인하여 인간이 느낄 수 있는 환경의 질의 변화를 동태적인 모형에 의해서 좀 더 객관적인 예측을 가능케 하는데 이 모델 개발의 의의를 찾을 수 있을 것이다.

결과적으로 본 연구에서 제시하는 인증기준에 대한 동태 모형은 친환경건축물 인증기준을 한눈에 파악할 수 있으며, 각 변수들을 실효성을 동태적인 시각에서 시스템적으로 평가할 수 있어 인공적인 건축물의 구축으로 인한 환경적인 영향을 장기적으로 예측할 수 있는 모델로 활용될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 김동환, 인과지도의 시뮬레이션 방법론: NUMBER, 한국시스템다이내믹스 학회 학술대회, 2000
2. 대한주택공사, 친환경건축물 인증제도 시행방안, 2000
3. 문태훈, 시스템사고로 본 지속가능한 도시, 집문당, 2007
4. 전상현, 국내·외 친환경건축물 인증제도의 비교분석에 관한 연구, 전남대학교 석사학위논문, 2007.2.
5. 전유신, 도시성장관리를 위한 개발밀도관리방안 연구, 중앙대 박사학위논문, 2003
6. 정종대, 친환경 건축의 평가지표와 인증체계에 관한 연구, 서울대학교 박사학위논문, 2004.2
7. 정희성(외), 지속가능성 평가를 위한 지역생태-경제환경 개발연구(I), 한국환경정책평가연구원, 2002
8. Forrester, J. W., Urban Dynamics, Cambridge: The MIT Press, 1969.
9. J. D. Sterman, "Appropriate Summary Statistics for Evaluating the Historical Fit System Dynamics Models", *Dynamica*, 1984, 10(2), p.51-56.
10. Jorgen Randers, From Limits to Growth to Sustainable Development, *System Dynamics Review*, 2000
11. Radzicki, A System Dynamics Approach to Sustainable Cities, 1999

투고(접수)일자: 2009년 8월 31일

심사일자: 2009년 9월 4일

게재확정일자: 2009년 10월 21일