「한국 시스템다이내믹스 연구」 제6권 제2호(2005.11) : 95-116

신 · 재생에너지 시장 확장의 동태적 분석*

A Dynamic Analysis of The Deployment of Korean Renewable Energy Market

유재국** · 곽상만***
Yu, Jae-Kook** · Kwak, Sang-Man***

Abstract

The purpose of this study is to analyze the structure of renewable energy market in order to deploy more renewable energy in Korea on the basis of information asymmetry between suppliers and demanders. To attain this purpose we develop the model to analyze and simulate the renewable market using system dynamics. This model is developed not to forecast the accurate size of market but to learn more structure of market using our limited data, mental model and knowledge of market.

Keywords: 신 · 재생에너지 시장, 시스템 다이내믹스, 신규 진입, 대리인 이론 (renewable energy market, system dynamics, new entrant, agent theory)

* 본 과제는 "에너지관리공단"의 "신 · 재생에너지전문기업 지원 및 육성방안"의 일환으로 수행하였음
** 아주대학교 대학원 에너지학과 박사과정 (제1저자, espresso@ajou.ac.kr)
***아주대학교 에너지학과 교수 (공동저자, skwaf@ajou.ac.kr)

Ⅰ. 문제의 제기

2005년 2월 지구 온난화(global warming) 문제와 관련하여 교토의정서(Kyoto Protocol)가 발효되면서 온실가스(GHG : GreenHouse Gas) 저감을 위한 전지구적 노력이 가속화되었다. 이러한 상황에서 태양에너지 및 풍력 등을 이용한 이른바 신・재생에너지에 대한 관심이 증가하였으며, 이를 보급하기 위한 다각적 노력이 진행되고 있다.

그러나 현실을 살펴보면, 전통적인 화석연료 에너지와 비교하였을 때 신・재생에너지는 그 생산단가가 높아 정부의 보조제도에 절대적인 의존을 하고 있다. 보급 프로그램의 예로는 시범보급사업, 공공기관의무화사업, 발전차액보조 제도 등이 있다.

또한, 전통적인 화석에너지와는 달리 신・재생에너지의 경우에는 지리적, 기후적 특징에 의존적이어서 일정 자원량이 존재하는 장소에 설치가 가능하며, 해당 장소에서도 일정 동력원이 존재해야만 예를 들면, 태양에너지의 경우에는 태양이 떠 있는 동안에만 에너지 생산이 가능하기 때문에 전기 생산하는 에너지의 경우에는 경제 급전(Economic Dispatch)의 어려움이 발생한다.

신・재생에너지가 환경친화적이라는 일반적 인식아래 그 보급이 용이할 것 같으나, 그럼에도 불구하고 그 보급이 저조한 이유에는 낮은 경제성 이외에도 기술 및 경제성과 결합된 시장의 구조 및 정보의 비대칭성의 문제를 지적하지 않을 수 없다. 즉, 태양열 온수기 등 가구단위로 보급되는 제품에 대한 품질 정보 및 시장에서의 설비 시공을 담당하는 시공업체의 시공능력에 대한 정보가 부족하며(홍희기, 2004), 이로 인하여 소비자 선택에서의 혼돈과 시장 기능이 제대로 작동하지 않을 수 있다는 것이다.

본 연구는 신・재생에너지 제품이 시장에서 겪는 어려움을 태양열 온수기 등과 관련된 태양열 에너지 시장을 중심으로 그 구조 분석을 실시하고, 시뮬레이션을 통하여 신・재생에너지 보급 활성을 위한 정책적 도구를 개발하는 데 그 목적이 있다.

정부의 시장 개입 방식은 크게 수요자 보조 등의 수요 측면의 접근과 공급자 조정을 통한 공급 측면의 접근으로 양분할 수 있을 것이다. 본 연구는 이중에서 공급자 측면의 조정인 참여기업의 진입의 조정에 대한 문제를 중점적으로 다룰 것이다.

Ⅱ. 이론적 배경

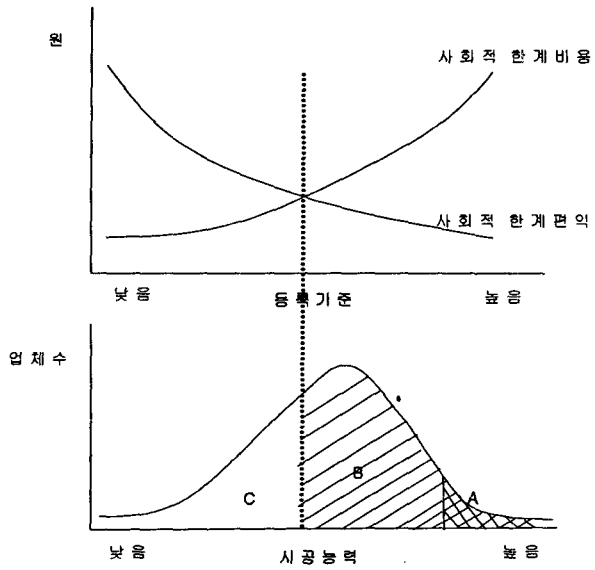
신・재생에너지를 취급하는 기업들이 겪는 어려움은 시장정보의 불균형에 기인하는 이른바 주인-대리인 문제로서 건설업에서 자주 등장하는 문제이다. 건설 시장에서의 주인-대

리인 이재우(2001)에 의해서 잘 분석되었다. 신 · 재생에너지 설비를 제조하고 시공하는 업체들이 다수 존재한다고 하자. 그리고 이 업체의 시공 능력 및 제조 능력은 상위부터 하위까지 골고루 존재한다고 가정하자. 그러나 소비자들은 어떤 업체가 상위의 업체이며, 어떤 업체가 하위의 업체인지를 알 수 없기 때문에 전체 시장가격에서 될 수 있으면 낮은 가격으로 제품을 구입하거나 시공하려 할 것이다. 따라서 능력은 우수하나 시장 공급 가격이 높은 업체는 낮은 가격으로 공급할 수 없기 때문에 시장에서 도태된다. 그러면 전체적인 시장의 시공 능력 및 제도 능력은 더욱 낮아지며, 소비자들의 불신은 더욱 커져 시장에서의 의도구매가격(willingness to pay)은 더욱 낮아진다. 이러한 악순환을 거치다 보면 시장 형성이 안 되고 이른바 시장 실패가 발생한다.

이 시장실패를 시정하기 위하여 정부 개입이 시작된다. 정부개입의 방법은 등록제와 같은 시장 진입을 제한하는 방법이다(최병선, 1992). 이러한 등록 또는 면허제도는 일정자격을 가진 자들만이 시장에 참여할 수 있도록 하며, 궁극적으로는 소비자와 공급자간의 정보불균형을 해소하고 자하는 것이다.

그러나 등록 혹은 면허제도가 늘 순기능적 역할을 하는 것은 아니다. 자칫 시장 진입 장벽을 형성하게 되면 기존 업체의 이익만을 보호해버릴 수 있으며, 등록 및 면허 기준이 기업의 진입과 경쟁과는 무관한 기준으로 설정될 수 있으며, 마지막으로 시장가격이 높게 책정되어 소비자들의 이익이 침해될 수 있는 여지가 존재한다.

따라서 시장 진입에 대하여 일정 제한을 취하는 제도는 사회적 편익과 비용을 고려하여 적정한 수준에서 하지 아니하면 안 된다. 아래의 [그림 1]은 이를 도식화 한 것으로 정보불균형으로 인하여 발생하는 시장실패를 시정하기 위한 정부개입 역시 정부실패가 되지 않기 위한 적정 수준에서 결정해야 되어야 함을 보여준다. 그러나 실제로 사회적 한계 비용과 한계 편익에 대한 측정은 매우 어려우며, 사회적 학습을 통하여 해결하는 방안이 가장 주요한 해결책이 될 것이다.



출처 : 이재우(2001) p15. 을 수정

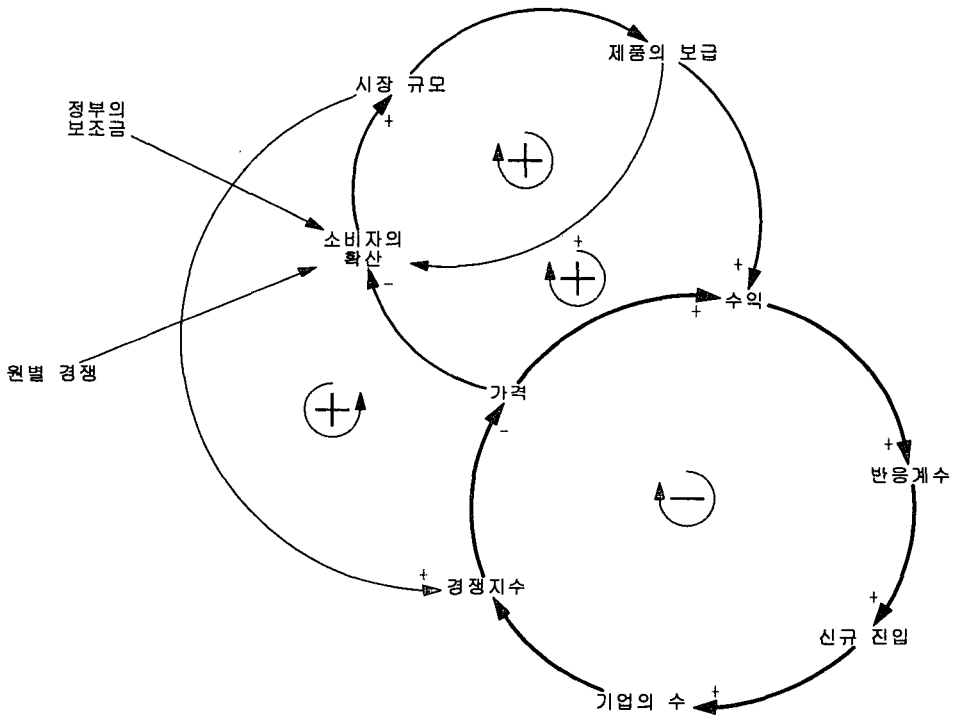
[그림 1] 시장진입 제한을 위한 등록 기준의 설정

시장 진입에 제한이 발생하게 되면 신규로 시장에 참여하게 되는 업체는 기존의 업체보다는 뛰어난 기술을 보유하여야만 한다(정갑영, 2004). 잠재기업의 시장진입을 막기 위하여 기존기업은 가격을 높게 혹은 낮게 설정하는데 가격이 높아 이윤이 많이 창출되는 시장에서는 신규진입기업이 오히려 더욱 많이 발생한다. 이러한 신규 진입은 시장경쟁의 촉진이라는 점에서는 긍정적 효과를 낳지만 시장정보의 불균형의 측면에서는 전술한 바와 같이 시장실패를 낳을 가능성을 높인다. 따라서 이른바 시장에서의 잠재기업의 참여를 조절하는 반응계수[1]를 적절히 조정함으로써 시장실패를 보완할 수 있을 것이다.

1) Gaskins의 이윤극대화와 진입저기가격에 대한 일반모형에 대한 식은 다음과 같다.
$V=\int_0^{\infty}\{[P(t)-c]\cdot[Q(P(t)-q_f(t)\}e^{-rt}dt$ 이때, $dq_f(t)/dt=\dot{q_f}(t)$
V : 이윤 , r : 할인율 , $P(t)$: t기의 가격 , c : 비용 , $Q(P(t))$: 가격으로 나타낸 시장수요 , q_f : 잔여수요
이며 잔여수요의 시간에 대한 변화율은 이며, $q_f(t)=k(P(t)-\dot{P^l}), k>0, P^l \geq c$ 이때 k를 잠재기업의 반응계수라고 할 수 있다(정갑영, 2004)에서 재인용.

Ⅲ. 모델의 설계

1. 신 · 재생에너지시장의 시장 구조



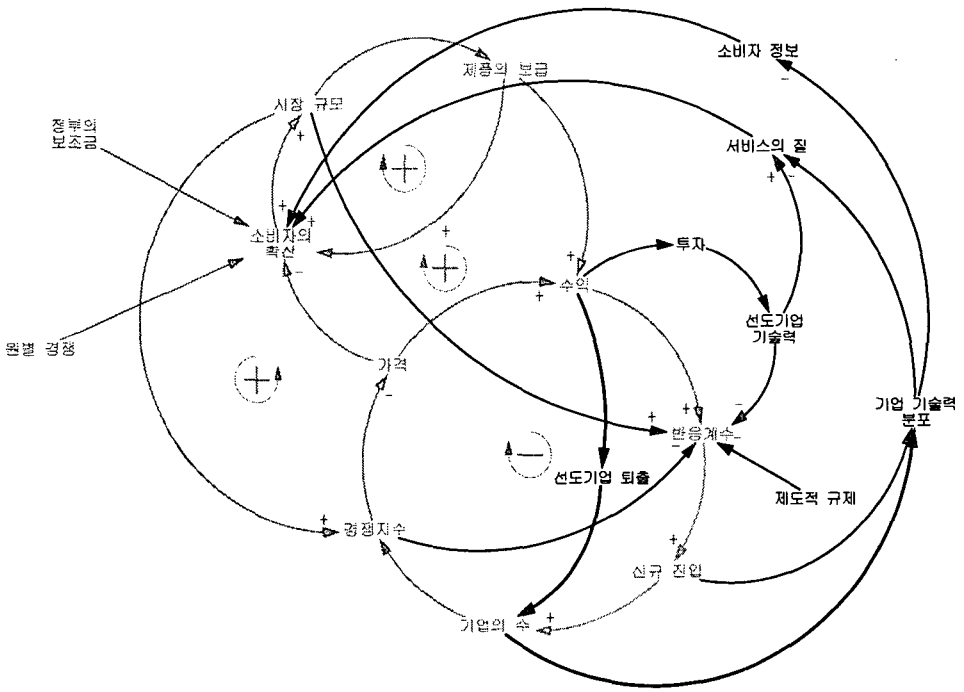
[그림 2] 시장 보급의 일반적 구조

신 · 재생에너지 시장에서도 다른 재화 시장과 마찬가지로 시장의 주체로서 소비자 공급자를 생각할 수 있다. 소비자는 제품의 가치를 평가해서 이를 사용하게 되며 이는 이른바 확산(diffusion)의 과정을 거친다. 사용자가 많을수록 보급은 더 가속화 된다고 할 수 있는데, 즉 잠재적 사용자가 많아질수록 시장의 규모는 확대된다. 이들 잠재 소비자들이 제품을 설치하게 되면 이것이 바로 보급이 되는 것이다[그림 2참조].

이를테면 제품의 판매량과 가격을 곱하면 매출액이 되는데, 매출액에서 비용을 제외하면 수익이 된다. 이 수익의 크기가 바로 새로운 공급자가 시장에 참여하게 되는 주요한 요인으로 작용한다. 즉 시장에서의 수익이 많이 발생하게 되면 더 많은 공급자가 시장에 참여하게 되며, 시장에 뛰어든 공급자가 많을수록 전체 기업의 수는 증가하며 이들은 시장 규

모의 영향을 받으며 경쟁을 하게 된다. 경쟁의 결과 제품의 가격은 변동하게 될 것이다. 이 변동되는 가격을 바탕으로 소비자들은 반응을 할 것이며 다시 시장의 확산이 조정될 것이다.

이러한 구조는 제품의 확산 및 공급자의 시장 참여에 대한 구조로서 받아들일 수 있을 것이다. 그런데 제품의 질 또는 서비스에 대한 수준이 넓게 분포되어 있는 시장의 경우에는 정보왜곡이 발생하여 시장실패를 갖게 된다. 우선 신규기업이 시장에 많이 들어오게 되면 시장에서의 기술력의 분포가 넓어진다. 기술력의 분포가 넓다는 것은 그만큼 소비자의 투자가 잘 못될 수 있는 폭이 넓어짐을 의미한다. 기술력의 분포가 넓어질수록 전체 시장에서의 서비스의 질은 낮아지고 소비자정보는 더욱 불확실해진다[그림 3참조].



[그림 3] 정보 왜곡으로 인한 시장실패 및 기업반응계수의 조정

뿐만 아니라 경쟁이 치열해지면서 가격은 낮아지게 된다. 결국 이것은 개별 기업의 수익에 영향을 미치게 되어 신규 기업의 반응계수나 기존 기업의 시장에서의 도태에 영향을 미치게 되는 것이다. 한편 기존 기업 즉 선도 기업들은 신규기업이 시장에 들어오지 못하게 하기 위해서 시공기술 등에 대한 투자가 이루어져야 하며, 소비자 정보의 왜곡을 막기 위하여 적극적인 마케팅을 할 필요가 있다.

시장 진입을 위한 시장에서의 조절 이외에도 정부 개입으로 시장 진입을 규제할 수 있다. 2004년 개정된 「대체에너지개발 및 이용 보급 촉진법」이 개정되면서 신 · 재생에너지전문기업 도입을 검토하게 되었으며 이것이 바로 제도적 규제를 통한 반응계수의 인위적 조절에 대한 현실 문제라고 볼 수 있다. 즉 기업들이 시장에 참여하기 위하여 최소한의 일정자격을 요구하게 되었다.

2. 정량화 모델(Stock and Flow Diagram)의 설계

위의 시장 구조를 정량적인 모델(Stock and Flow Diagram)로 변환하였다. [그림 2, 3]과 같이 개념적인 수준을 정량적인 모델의 수준으로 전환하기 위해서는 보다 많은 변수를 포함한다. 이러한 변수는 경성 변수(Hard variables)라 불리는 것으로써 통계자료 등 문헌으로 구하기 쉬운 것도 있으나 이른바 연성 변수(Soft variables)를 포함한다(Sterman, 2000). 연성 변수의 경우를 포함하게 되면 변수에 대한 검증 문제로 인한 논쟁이 발생하게 된다. 이러한 차이가 바로 계량경제학을 포함하여 실증주의를 추구하는 학문분야에서 시스템다이내믹스의 약점으로 지적하는 분야이기도 하다. 그러나 시스템다이내믹스 모델은 정확하지는 않지만 경험 및 감정 등 가지고 있는 지식을 동원하여 이에 대한 모델링을 실시한다. 따라서 시스템 다이내믹스는 전통적으로 시스템의 구조를 강조하였다(김도훈 외, 1999). 인간의 멘탈 모델(mental model)에 바탕을 둔 모델링 구조와 변수가 많았기에 시스템의 행태를 강조하였다. 이러한 관점에서의 모델은 학습모델(learning model)로서의 역할에 초점을 둔다. 즉 개념 모델로의 개발을 통해서 시스템 행태에 영향을 미치는 요인이 무엇인가에 대하여 나열하고 그 요인들의 구조를 파악하는 데 모델의 관심을 둔다.

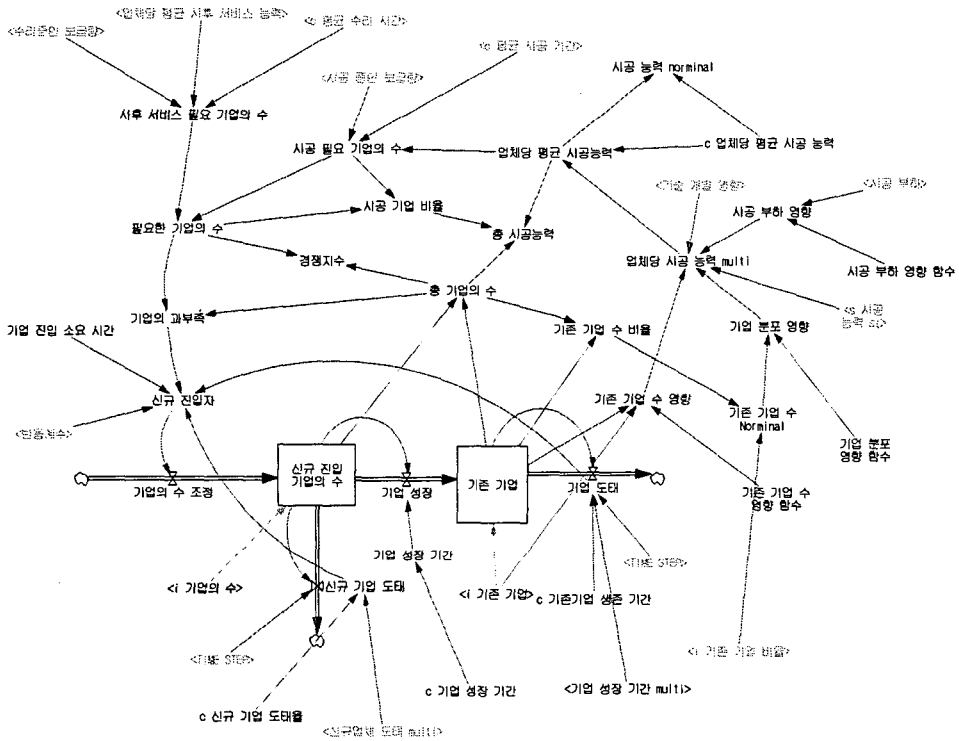
신 · 재생에너지 시장을 모델링하기 위해서는 제품 가격, 잠재적 수요자, 기업체의 수, 기업체에서 시장에 진입하기 위해서 고려하는 요인 등 수 많은 계량화된 정보가 필요하지만, 현실적으로 이러한 데이터를 개발하고 찾는 것은 간단한 작업이 아니다. 따라서 에너지관리공단(2003)에서 구할 수 있는 연간 보급량 및 연간 사업비에 대한 경성 자료와, 관련 이론 등을 통한 멘탈 모델을 이용하여 모델을 개발하였다.

모델은 크게 소비자의 확산, 태양열 설치 기기의 보급, 공급자, 공급자의 반응계수 기타 부분으로 나누어 개발하였다.

1) 참여 기업의 수

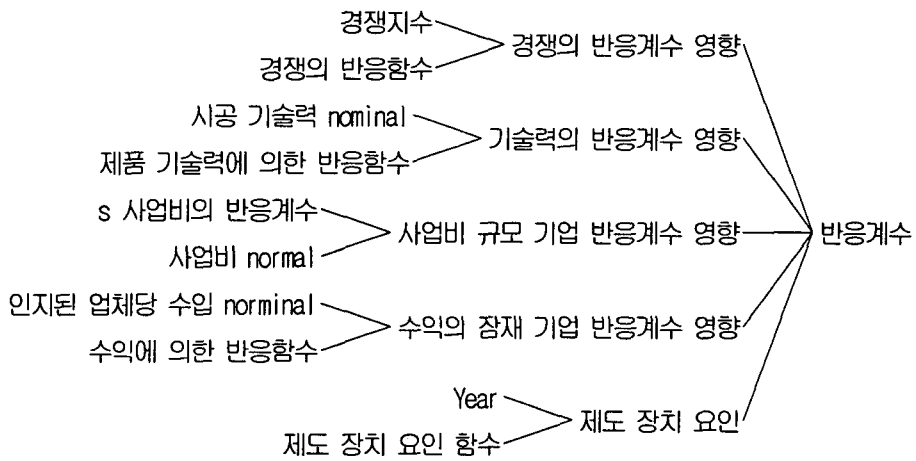
우선 기업의 수와 관련된 모델은 [그림 4]에 표현되어 있다. [그림 4]에서 볼 수 있는 바와 같이 기업을 두 분류로 나누었다. 하나는 신규 진입 기업 집단이며 다른 하나는 기존기

업 또는 선두기업이다. 양 기업 집단은 시장의 크기에 따라서 진입하기도 하고 도태하기도 하는 과정을 거친다. 시장 진입에 영향을 미치는 요인은 기업들의 시장상황에 대한 반응을 나타내는 반응계수에 의해서이다.



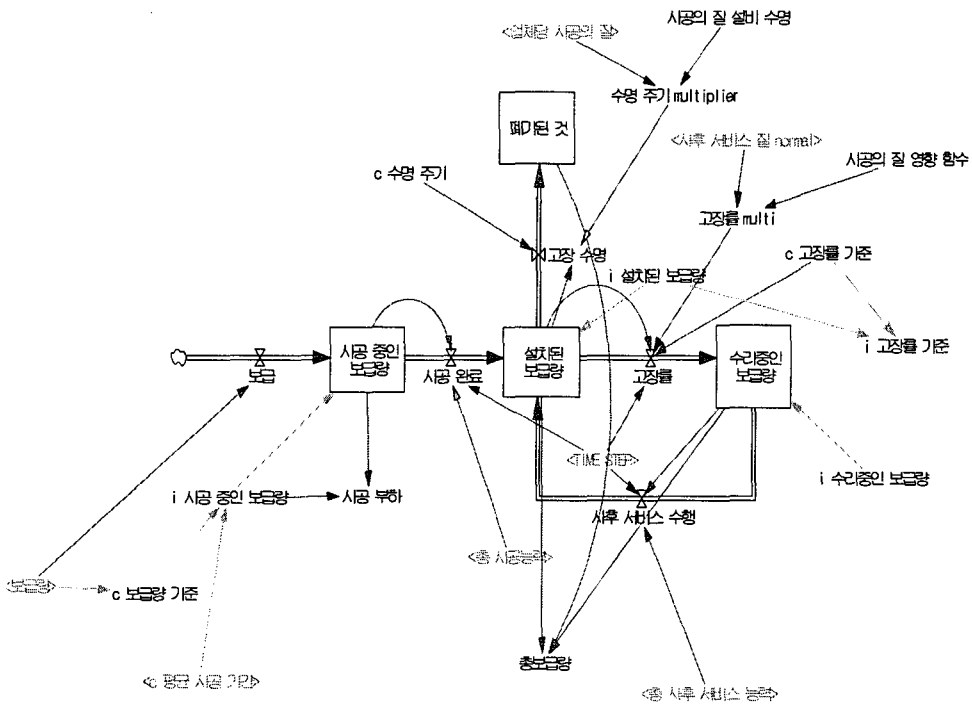
[그림 4] 기업의 수와 관련된 모델링

반응에 영향을 미치는 요인은 [그림 5]에서 보는 바와 같이 시장 경쟁의 크기, 기술력에 의한 시장 진입 장벽, 개별 기업의 기대 수익, 보조 사업비의 규모로 선정하고 이것들에 의해서 잠재 기업들이 시장에 참여할 것인가에 대한 반응계수가 영향을 미치는 것으로 모델링 하였다.



[그림 5] 반응계수에 영향을 미치는 요인의 수목도

2) 설치 시설의 수명 주기



[그림 6] 설치 시설의 수명 주기

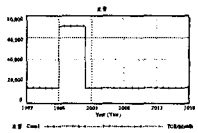
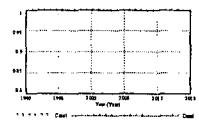
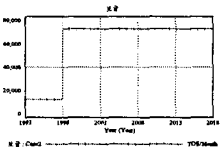
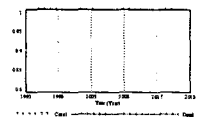
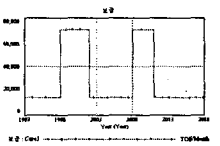
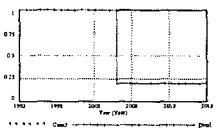
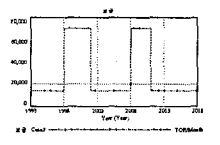
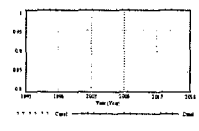
다음은 설치 시설에 대한 모델이다. 소비자들의 선택에 의한 제품이 설치되고 설치된 제품의 일부는 그 수명 주기에 의하여 고장나고, 노후화 되는 과정을 모델링하였다. 일단 보급된 제품은 시공되어야 하며, 시공된 제품은 운전되고, 사용되면서 고장이 발생하며, 이를 수리하고, 마지막으로 폐기되는 과정을 거치는 제품의 수명에 대하여 모델을 구성하였다. 설치 시설에 대한 수명 주기의 모델은 [그림 6]에 나타나 있다.

Ⅳ. 모델의 시뮬레이션

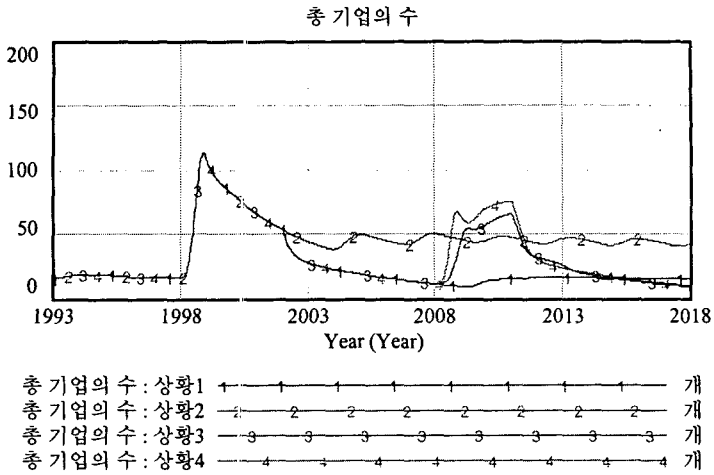
본 모델은 정부 보조에 의하여 보급이 활성화됨에 따라 이를 수입원으로 하는 기업의 시장 진입과 퇴출을 중심으로 모델을 개발하였다.

시뮬레이션은 크게 [표 1]에서와 같이 4가지 상황으로 나누어 실시하였다. 각 상황에 대한 기본 가정은 공급자는 수요를 보고 시장에 진입하게 되며, 더 정확하게는 시장에서의 경쟁을 통하여 수익을 낼 수 있는 기업만이 성장하고 그렇지 못한 기업은 퇴출됨을 가정한 것이다. 모델을 시뮬레이션 하기 전에 모델의 수식 및 관계에 대한 검증을 하기 위하여 정상상태(Steady State) 상태로 만들고 이를 점검하였다. 그 결과 모든 수식내부에서 정상상태가 발생함을 확인하였다.

[표 1] 입력값

상황	설명	수요의 발생	규제 (낮을수록 진입장벽이 큼)
상황1	일정 기간동안 수요가 Pulse의 형태로 증가함		
상황2	일정 기간이 지나 Step 형태로 증가함		
상황3	일정 기간동안 수요가 Pulse로 발생하며 그 후 일정기간 동안 Pulse가 작용하나 규제기관에서 진입장벽을 설정함2번의 Pulse 수요가 발생하나 후자의 Pulse 수요에 대해서는 규제가 이루어짐)		
상황4	일정 기간동안 수요가 Pulse로 발생하며 그 후 일정기간 동안 Pulse가 작용하나 규제기관에서 진입장벽을 설정하지 아니함		

시스템 다이내믹스의 주요 특징 중에 하나는 입력값의 변화가 시스템 내부의 구조에 따라서 동적현상이 발생할 수 있음을 지적한다. 본 모델에서도 이러한 현상을 발견할 수 있었다. 먼저 각 상황에 따른 기업의 행태를 살펴보면 다음과 같다. 총기업체의 수는 4개의 상황모두에서 공통적으로 수요발생으로부터 약간의 시간적 차이를 두고 늘어나기 시작하나 곧 정점에 이르러 점점 줄어드는 현상을 보인다[그림 7].

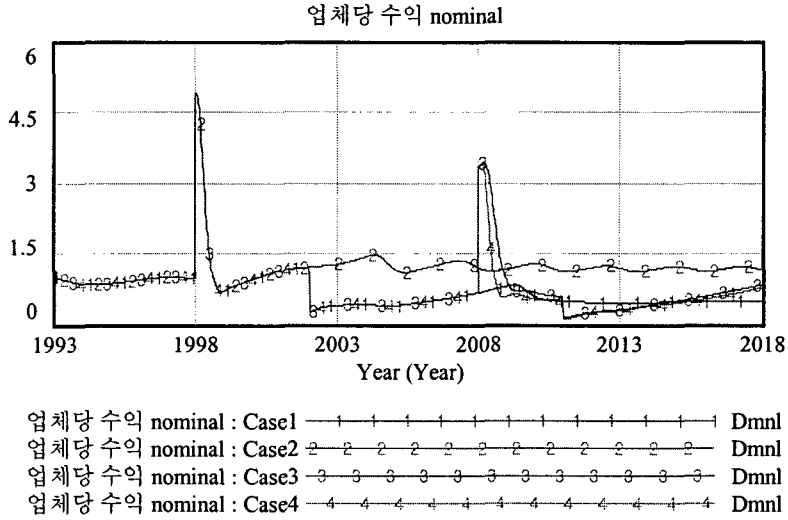


[그림 7] 총기업체 수의 변화

총기업의 수는 규제에 의해서 영향을 받기 보다는 보급 수요에 더 큰 영향을 받음을 알 수 있다. 즉, 시장 진입에 대한 정부 규제 효과 보다는 수요가 증가하여 일정 수준 유지될 수록 시장성에 대한 매력으로 시장에 참여하는 참여기업의 수가 증가함을 보여준다.

"상황 2"와 같은 경우에는 일정 시장이 형성된 경우에는 일정의 공급자의 진입과 퇴출이 발생하여 파동이 나타남을 보여준다. 이는 정보 지연으로 인한 것이다. 즉 [표 1]에서 보는 바와 같이 수요는 일정한데 정보 지연으로 인하여 공급자들의 과잉 진입과 그로 인한 시장상태의 악화로 인한 퇴출이 주기적으로 반복됨을 보여준다.

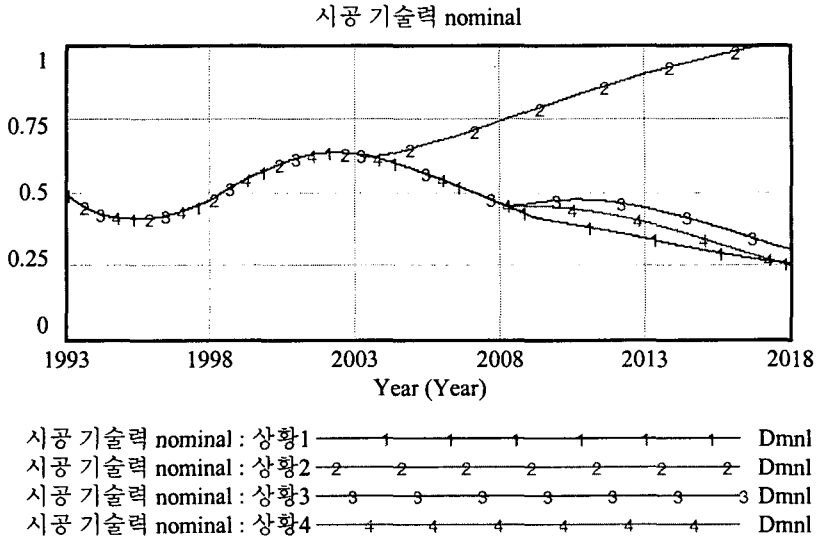
"상황 3"과 "상황 4"의 경우는 수요의 증가 패턴에 대한 입력값은 동일하나, 서로 다른 시장 진입 규제 효과에 의해서 기업 수가 조정됨을 보여주는 결과를 보여준다. 공급자 진입 규제를 하는 경우에는 규제가 시작된 초반에는 기업의 수가 적으나, 시간이 지날수록 규제를 하지 않았을 경우와 기업체의 수가 유사해 지는 경향을 보임을 알 수 있다. 즉, 규제의 효과가 상쇄됨을 보여준다.



[그림 8] 기업당 수익의 변화

업체당 수익에 대한 그림을 표현하면 [그림 8]과 같다. 수요가 폭증하는 초반에는 업체당 수익이 크게 나타나지만 이후에 들어오게 되는 기업들로 인하여 그 수익이 적어진다. 수익은 시장 진입의 주요한 신호로서 작용한다. 수익의 구조는 기업체의 수와 유사함을 보여준다. 특이한 사항은 선 3과 선 4를 비교할 때, 초반에는 업체의 수익이 "상황 3"이 오랫동안 지속할 수 있지만 시간이 지날수록 같은 수준을 유지함을 보여준다.

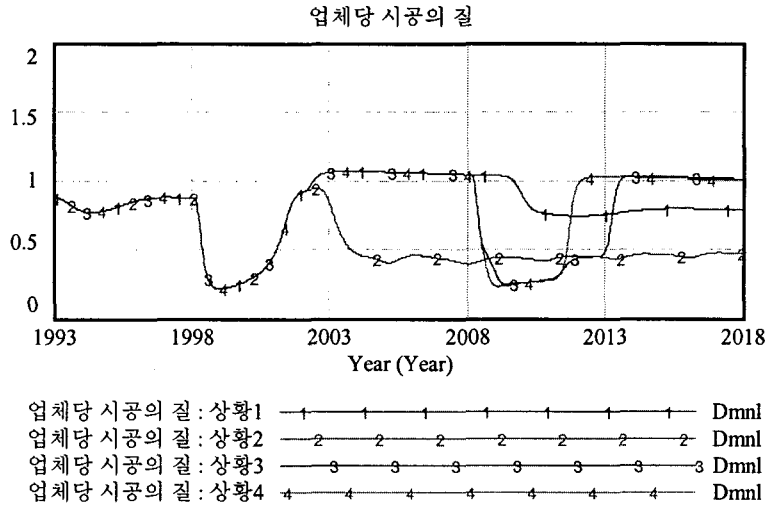
다음으로는 기술력의 발전을 본다. 기술력에 대한 모델은 수익의 일부분을 시공 기술에 투자한다고 가정하였다. 즉 수익이 발생함에 따라 수익금의 일부가 시공 기술 향상에 투자되며, 투자된 금액이 늘어남에 따라 시공 기술은 발전할 것이다. 이는 다시 시공능력, 시공의 질에 영향을 미칠 뿐만 아니라 신규진입업체에 대한 진입 장벽의 역할을 한다. 즉 선도기업과 신규 기업간의 기술력의 차이가 크면 신규 기업의 시장 진입이 어렵게 된다. [그림 9]에서 보는 바와 같이 시공 기술은 지속적인 시장이 존속할 경우(선 2) 기업에서의 경쟁으로 인한 투자 등으로 시공 기술 수준이 일정수준에까지 늘어나지만, 그렇지 않고 일정 수요량에서에서 경쟁하는 상황에서는 수익 중 시공 기술 향상을 위하여 투자되는 정도의 수준에서 기술력 확보가 이루어 질 수 있음을 보여준다.



[그림 9] 시공 기술의 변화

[그림 9]에서 "선 3"과 "선 4"을 비교할 때 입력의 형태는 같으나 기준 미달의 업체의 시장 진입을 막음으로써 나타나는 "선 3"의 경우가 시공 기술력에 있어서 보다 좋은 결과가 나타날 수 있음을 보여준다. 시공기술은 시장 진입을 막음으로써 어느 정도는 높아지는 효과가 있음을 보여준다. 반면에 시장에 참여하려고 하는 잠재기업들의 반응을 살펴보면 규제를 하는 경우가 더욱 오래 지속됨을 보여준다. 즉 시장에서의 경쟁이 낮아지기 때문에 더욱 큰 이익을 남길 수 있을 것으로 기대하여 이 시장에 참여하고자 할 것이나 일정 자격을 갖추어야 진입이 가능하므로 낮은 경쟁 상태를 유지할 수 있다. 기존 기업들이 기술력을 확보한 후에는 시공기술력 등을 등으로 정부 규제가 아닌 시장 자체 기능으로 시장 진입을 어렵게 만들 수 있을 것이다.

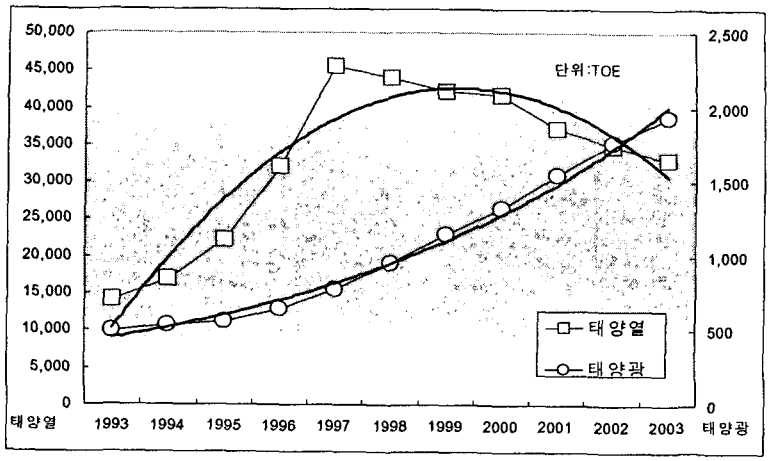
한편, "상황 2"에서처럼 시장 수요 측면을 강조하여 일정 공급을 계속 유지하는 것이 결과적으로 의도했던 바대로의 정책효과를 낼 수 있는 것만은 아니다. 즉 [그림 10]에서 보는 바와 같이 수요 물량은 일정한데 이를 처리할 수 있는 업체 수가 제한되어 있기 때문에 이들의 업무 부하가 높아져 자칫 시공의 질이 떨어질 우려도 내포하고 있다.



[그림 10] 상황별 업체당 시공의 질

V. 결론

태양에너지를 이용한 신 · 재생에너지인 태양열과 태양광은 전자는 열을 생산하는데 주로 이용되며 후자의 경우에는 전기를 생산하는데 이용된다. 우리나라에서의 보급 추세는 [그림 11]과 같은 형태를 보이는데, 태양열은 정점을 지나 하강 국면을 보이며, 태양광의 경우에는 아직 성장의 모습을 보여준다.



자료 : 에너지관리공단(2003)

[그림 11] 태양광 및 태양열 에너지의 보급 현황

이와 같은 상황에서 공급 측면에서의 규제가 얻을 수 있는 효과에 대하여 개념적 모델을 통하여 시뮬레이션을 실시하였다. 현재 신・재생에너지 시장의 신뢰도를 높이기 위하여 부실업체의 양산을 막고, 소비자와 공급자 간에 발생하는 정보의 비대칭으로 인한 시장 왜곡의 문제를 시정하기 위한 공급적 측면에서의 정부규제는 일정 필요하다. 다만 성숙기에 있는 시장은 그 시장의 확장이 급격하게 변화하지만 않는다면 안정적 성숙이 이루어질 것으로 기대되며, 기업들은 정부의 규제보다는 시장의 신호에 의하여 그 참여 여부를 판단할 것으로 예상된다. 즉, 진입 규제와 같은 공급 측 규제의 장기적 정책효과는 수요창출의 효과보다는 상대적으로 작음을 앞에서 살펴보았다. 공급자들의 행태는 정부 규제보다는 시장의 수요에 의해서 더 큰 반응을 보여줌을 알 수 있다. 따라서 시장이 성장기에 있는 제품의 경우에는 참여 기업들이 그 수요의 증가에 의하여 시장 참여에 대한 반응이 이루어 질 것으로 예상되며, 정부의 공급 측면에 대한 규제는 시장의 성숙도에 따라서 유연한 변화를 모색하여야 할 것이다.

신・재생에너지원의 특징에 따라 소비자 구매에 대한 가격 탄력성이나 기술적 특성에 따른 시장 진입의 난이도 등이 다양할 것이며, 이에 대한 실증적인 연구를 하지 못한 것은 연구의 한계로 지적할 수 있다. 다만, 본 연구를 통하여 시장의 구조 및 시장 성숙도에 따라 시장진입의 상이한 효과가 발생할 수 있음을 알 수 있음을 개념적으로 밝혔다는 것에 연구의 의의가 있다.

[참고문헌]

Sterman, John D. (2000). *Business Dynamics : Systems Thinking and Modeling for a Complex World*, McGraw-Hill, Inc.. NY.

김도훈 · 문태훈 · 김동환. (1999). 「시스템 다이내믹스」 서울 : 대영문화사.

에너지관리공단. (2003).「대체에너지보급 통계」.

이재우. (2001). 「건설 제도의 이론적 배경 분석」 한국건설산업연구원.

정갑영. (2004). 「산업조직론」 서울 : 박영사.

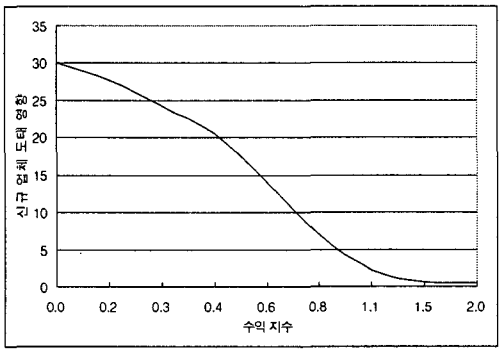
최병선. (1992). 「정부규제론 : 규제와 규제완화의 정치경제」 서울 : 법문사.

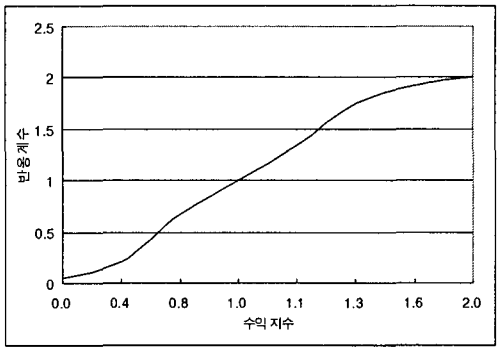
홍희기. (2004). 신 · 재생에너지 2006년 3%보급과 태양열시스템. 「설비저널」 제33권 11호.

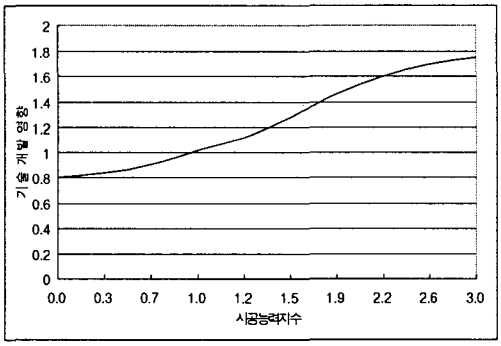
[부록 1 : 모델에 사용한 상수의 값]

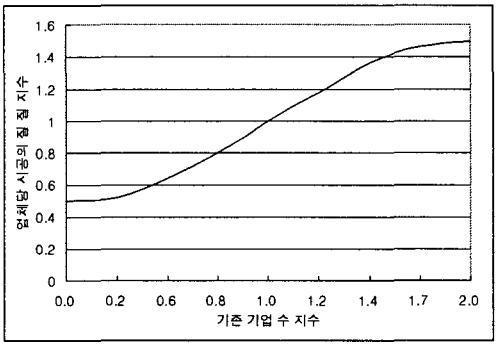
일련번호	변수명 및 값	단위
1	가격 상승 multiplier= 2	Dmnl
2	감가 상각 기간= 60	Month
3	기업 진입 소요 시간= 5	Month
4	단위 시간당 시공 능력= 1	TOE/Month
5	반응계수 지연= 3	month
6	수입 smoothing time= 3	Month
7	시공 품질 수명= 60	Month
8	시공 품질 증가 계수= 1	Dmnl/Month
9	신규 기업 도태 multi= 1	Dmnl
10	오차 수정= -0.134677	dmnl
11	인지 조정 기간= 18	Month
12	잠재수요 증가량= 25000	**undefined**
13	최대 시공 품질= 50	**undefined**
14	최대 유효 금액= 5e+006	**undefined**
15	c 가격 상승률 기준= 0.05	Dmnl/Month
16	c 고장률 기준= 0.001	Dmnl/Month
17	c 기업 성장 기간= 60	Month
18	c 기존기업 생존 기간= 60	Month
19	C 대체 비율= 0.3	Dmnl
20	c 수명 주기= 180	Month
21	c 수명= 240	Month
22	c 수익 중 투자 비율 기준= 0.3	Dmnl
23	c 신규 기업 도태율= 0.01	Dmnl/Month
24	c 업체당 평균 사후 서비스 능력= 2000	TOE/(개*Month)
25	c 업체당 평균 사후 서비스 질 기준= 0.95	TOE/(개*Month)
26	c 업체당 평균 시공 능력= 1000	TOE/(개*Month)
27	c 평균 기간= 12	Month
28	c 평균 수리 시간= 1	Month
29	c 평균 시공 기간= 2.5	Month
30	c 호당 평균 용량= 0.574633	TOE/호
31	delay= 6	month
32	i 비용= 800	원/TOE
33	i 현재 가격= 1000	원/TOE
34	s 가격 영향 계수= 0	Dmnl
35	s 기준= 0.15	Dmnl
36	s 모방 계수 기준= 0.0304008	1/Month
37	s 비가동 요인= 0.144499	**undefined**
38	s 사업비 모방 계수 영향 계수= 1	Dmnl
39	s 시공 능력 st= 3	**undefined**
40	s 시공능력 모방 계수 영향 계수= 1	Dmnl
41	s 시공의 질 st= 3	**undefined**
42	s 증감률= 0.336538	Dmnl/Month
43	s 증감률1= 0.1	Dmnl
44	s 최대 신 · 재생에너지 보급량= 8.35376e+006	호
45	s 혁신 계수= 0.00292546	1/Month
46	switch 증감률= 1	**undefined**

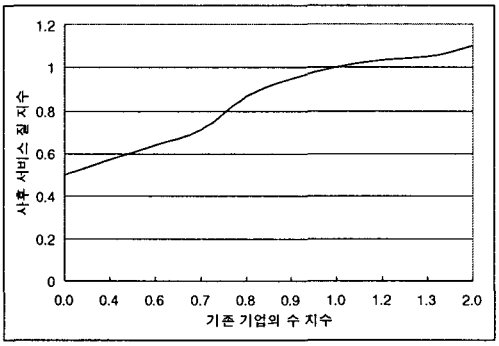
[부록 2 : 주요 참조 함수 그래프]

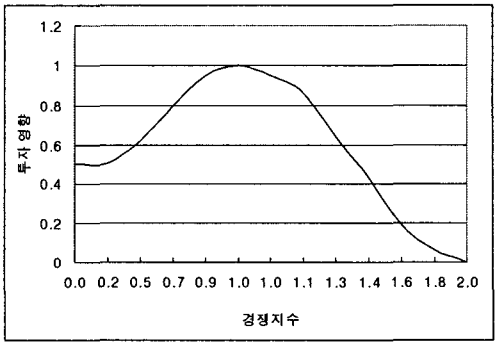


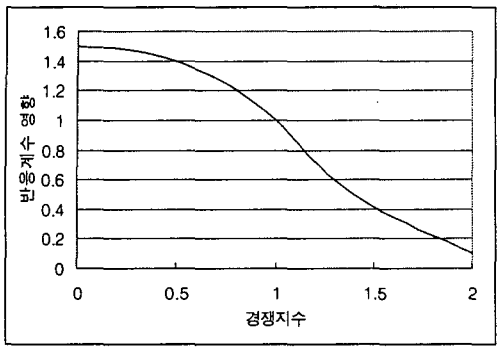


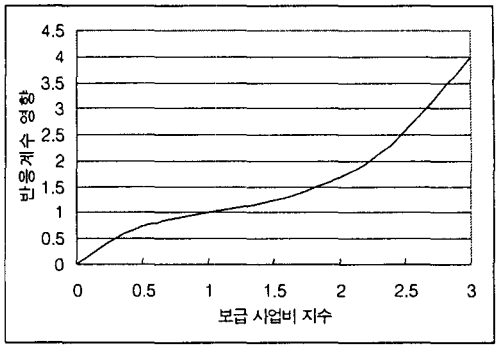


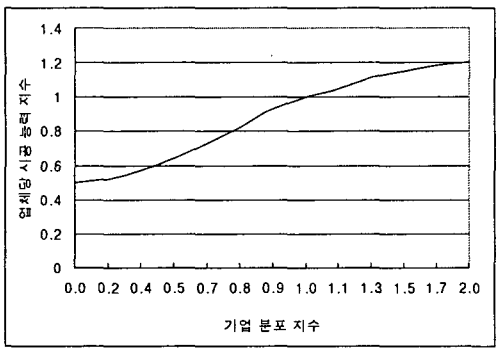


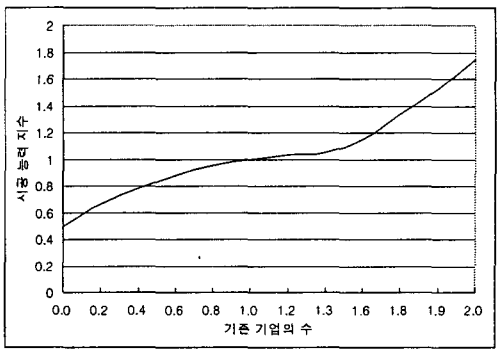




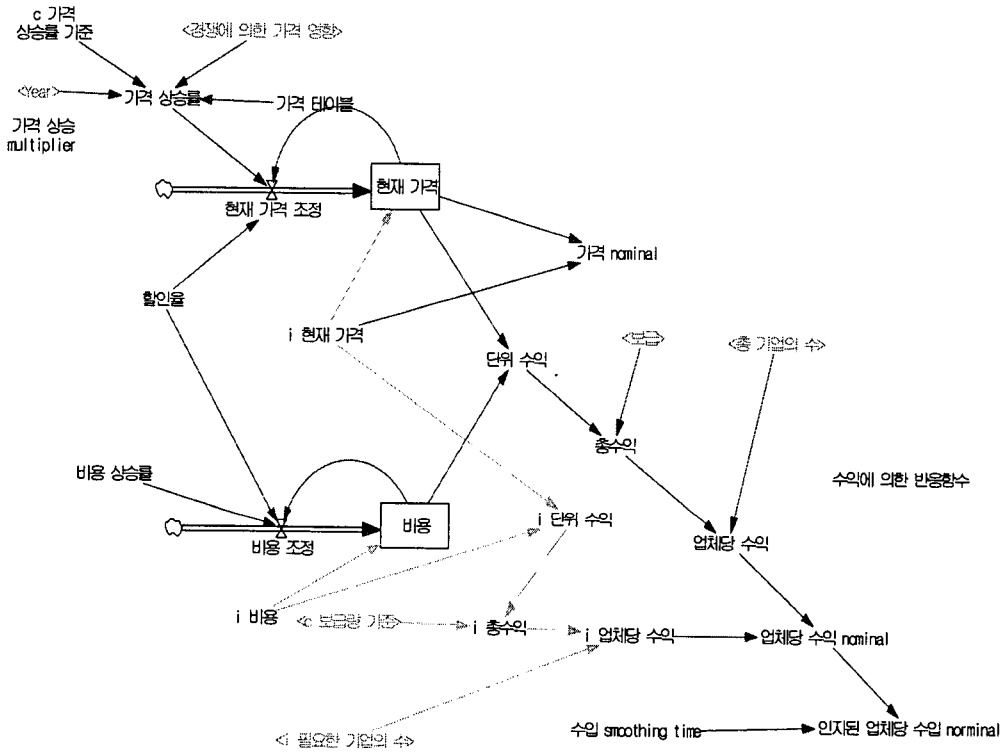

반응계수 영향
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0
0.5
1
1.5
2
경쟁지수


반응계수 영향
4.5
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
보급 사업비 지수

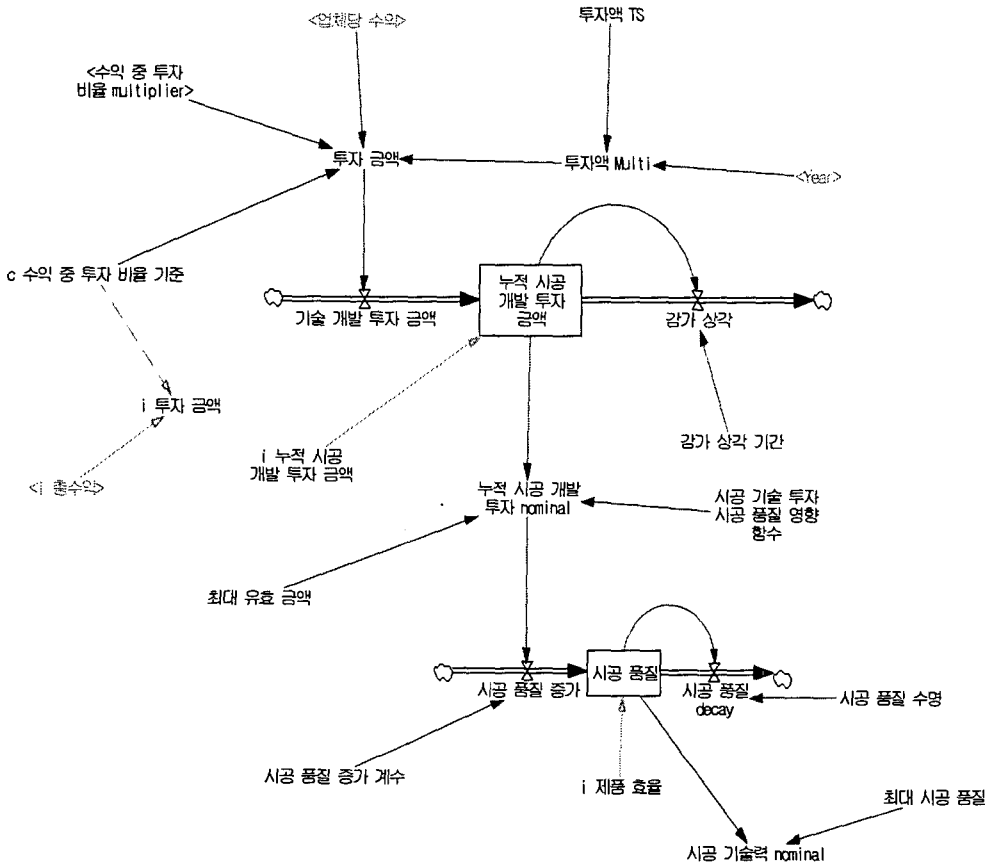

업체당 시장능력 지수
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0.0 0.2 0.4 0.5 0.7 0.8 0.9 1.0 1.1 1.3 1.5 1.7 2.0
기업 분포 지수


시장능력 지수
2
1.8
1.6
1.4
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
0.0 0.2 0.4 0.6 0.8 1.0 1.2 1.3 1.6 1.8 1.9 2.0
기존 기업의 수

[부록 3 : 기타 주요 모델의 구조]



[수익 구조]



[시공에 대한 투자 및 시공품질]

논문접수일: 2005.08.30 / 심사완료일: 2005.09.30