

시스템 생태학적 접근법에 의한 한국의 지속적인 발전가능성 평가(II) - 한국의 자연환경과 경제활동에 대한 미래예측 -

이 석 모 · 손 지 호 · 김 진 이
부경대학교 환경공학과
(2000년 12월 15일 접수)

Evaluation of Korea's Sustainable Development by the System Ecology(II) - Simulating the Future of Korea's Natural Environment and Economic Development -

Suk-Mo Lee, Ji-Ho Son and Jin-Lee Kim

Department of Environmental Engineering, Pukyong National University of Pusan, Pusan 608-737, Korea
(Manuscript received 15 December 2000)

A macroeconomic minimodel was simulated to analyze the effect of global exchange on the Korea's economy. The simulation results illustrate some of the consequences of public policy and some insight into current world problems. All computer simulation runs made under various conditions suggest that the Korea's system in the near future may be strongly influenced by the favorable availability of outside resources, while the national power and assets may be declined by indigenous environmental stock depletion. The borrowed capital allows the temporary money stock to increase and the national assets to grow faster and a little higher, as using up the environmental resources more quickly. Later, when the debt is paid off, the foreign exchange holdings may not go so high. For the environmentally sound and sustainable development, over 75% of total economic production should be invested to the natural resource management. Therefore, the economic structure of Korea should be transferred from the present industrial structure to social-economic structure based on ecological-recycling concept.

Key words : macroeconomic minimodel, natural resource management, industrial structure, ecological-recycling concept

1. 서 론

한국은 몇 해전까지만 해도 경제적 성장의 역사를 이룬 아시아 국가 중의 하나였다. 그러나 90년대 후반 아시아의 다른 국가들처럼 국가의 신인도가 악화되는 경제적 위기에 봉착하였다. 1997년 IMF 구제 금융 프로그램 이후, 한국은 국제적인 최적의 투자환경조성과 자유무역주의에 적응하기 위한 정책의 일환으로 국영기업의 민영화와 민간산업의 구조조정을 단행하였다. 그러나, 이러한 경제정책이 향후에 있어서 국가 전체의 자연환경과 경제활동에 어떠한 결과를 가져올지를 정략적으로 분석하고 예측한 예는 없다.

최근 국가의 공공정책 방향 설정에 있어, 자연환경과 경제활동의 지속적인 발전은 공공정책이 나아가야 할 주요 문제가 되고 있으나 그동안의 우리 경제정책은 포괄적인 의미보다는 부분에만 기초하고 있어, 때로는 경제의 지속적인 발전가능성이 환경 또는 세대간의 지속적인

발전가능성과는 다르게 정의되기도 한다¹⁾.

따라서 지속적인 발전가능성의 평가는 자연환경과 경제활동을 포괄하며, 현재 세대뿐만 아니라 다음 세대를 고려하는 차원에서 전체 시스템의 현재 상태를 파악하고 시스템의 변화를 예측하는 접근법을 요구하고 있다. 시스템 생태학은 일반 시스템 이론²⁾, 에너지 언어, 생태학 등을 기초로 자연환경과 경제활동을 포함하는 시스템의 합성, 분석 그리고 시뮬레이션을 이용하여 지구 전체, 국가, 지역 단위 시스템, 그리고 생태계 등에 적용되어 오고 있다³⁾.

본 연구에서는 시스템 생태학적 접근법에서의 EMERGY 평가⁴⁻⁸⁾와 에너지 모델링을 기초로 한국의 자연환경과 경제활동을 포함하는 전체 시스템의 변화를 예측하고, 각종 경제정책과 환경정책에 따른 시스템의 향후 변화를 예측하여, 시스템의 지속적인 발전가능성에 대한 기초개념을 제공하고자 하였다.

2. 방 법

시스템 생태학의 에너지 시스템 모델링은 에너지 언어에 의한 에너지 시스템 다이어그램 작성, 수식화, 에너지 모델의 개발을 통해, 시스템의 시간에 따른 변화 양상을 예측하는 데에 이용되어 오고 있다⁹⁾. 국가 시스템의 자연환경과 경제활동은 국제간의 수입, 수출, 원조, 그리고 차관 등을 포함하는 여러가지 경로에 의해서 영향을 받는다^{4,10)}.

본 연구에서는 국가 시스템의 자연환경과 경제활동에 대한 변화를 예측하기 위해 Odum의 FREEMARK 모델¹¹⁾을 기초로 에너지 모델을 작성하였다. 이를 위하여 첫째, 한국을 대상 시스템으로 공간적 경계를 설정하고, 시간적으로는 1995년의 상황을 기초로 하였다. 한국의 자연환경과 경제활동을 하나의 시스템으로 파악할 수 있도록 에너지 시스템 다이어그램을 작성하였다. 외부에너지 원에는 태양, 바람, 비, 조석 그리고 파도와 같은 자연환경 에너지원과 교역을 기초로 수입되는 화석연료 및 각종 재화와 용역, 그리고 원조와 차관을 비롯한 자본이 있다. 시스템 내부에서는 주요 생산, 저장 그리고 소비과정을 에너지 시스템 언어¹²⁾로 나타내며, 최종적으로 각 요소를 에너지, 물질, 정보 그리고 화폐의 흐름에 따라 연결하였다.

둘째, 에너지 시스템 다이어그램으로부터 에너지 및 질량보존의 법칙에 따라 수학적 방정식을 도출하고 각종 계수를 부여한 다음 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 차분방정식을 유도하여 Basic program 언어에 의한 모델의 프로그램을 작성하였다¹²⁾.

셋째, 관련 자료를 이용하여 현상을 재현하도록 조절하는 과정인 모델의 보정은 IMF 등 특별한 변화가 없었던 1995년의 한국통계연감¹³⁾ 자료를 이용하여 모델을 보정한 후, 국가 시스템의 과거재현과 미래예측 그리고 경제정책과 환경정책에 따른 변화를 예측하였다.

3. 결 과

3.1. 한국의 에너지 시스템 모델

한국의 자연환경과 경제활동에 대한 에너지 시스템 모델은 Fig. 1과 같다. 모델에서 시스템 외부로부터의 유입에는 태양, 바람, 비, 조석을 포함하는 자연환경 에너지원과 교역을 기초로 수입되는 화석연료 및 각종 재화와 용역, 그리고 원조와 차관을 비롯한 외화자본이 있다. 시스템 내부에는 자연자원, 경제적 자산, 외화보유액, 그리고 외채보유액이 고려되었다¹³⁻¹⁷⁾.

자연자원량은 자연환경 에너지원에 기초한 생산과정(K1*R), 소멸과정(K2*Q), 경제적 이용(K3*Q*A)에 의해서 그 현존량(Q)이 결정되며, 자연자원의 현존량은 Table 1과 같이 토양과 산림 자원을 포함하여 2.00 E+09 J이며, 자연생산량은 1.13 E+17 J/yr이다. 자연소멸량은 7.91 E+16 J/yr, 그리고 경제적 이용량은 3.39 E+16 J/yr 이었다.

경제적 자산(A)은 경제적 생산에 의한 내부 자산의 축적(K4*Q*A), 수입(K6*M/Pg), 자산의 감가 상각(K5*A)에 의해서 규모가 결정되며, 경제적 자산의 규모

Table 1. Sources, storages, and flows used for calibration in Fig.1

Item	Description	Symbol or Egn.	Value	Unit
Environmental inflow				
1.	Energy inflow	I	9.47 E+19	J/yr
2.	Energy inflow	R	9.47 E+18	J/yr
3.	Resource used	K0*R	8.52 E+19	J/yr
Environmental storages and flows				
4.	Average stock	Q	2.00 E+19	J
5.	Environmental production	K1*R	1.13 E+17	J/yr
6.	Depreciation	K2*Q	7.91 E+16	J/yr
7.	Economic use	K3*Q*A	3.39 E+16	J/yr
Asset storage and flows				
8.	Average assets store	A	115 E+08	ton
9.	Production of assets	K4*Q*A	102.7E+06	ton/yr
10.	Depreciation	K5*A	2.30 E+07	ton/yr
11.	Input from the import	K6*M/Pg	4.44 E+08	ton/yr
12.	Export	K8*Q*A	2.16 E+08	ton/yr
Money storage and flows				
13.	Average money stock	M	1.01 E+11	\$
14.	Spent on import	K6*M	1.35 E+11	\$/yr
15.	Payback of loan	K7*M	5.91 E+08	\$/yr
16.	Income from export	K8*Q*A*Pa	1.25 E+11	\$/yr
17.	Export price	Pa	579	\$/ton
18.	Import price	Pg	304	\$/ton
19.	Investment from abroad	Ji		time variable
20.	Debt	D	5.00 E+10	\$
21.	Interest rate	IT	0.05	
22.	Payment of interest	IT*D	2.5 E+09	\$/yr

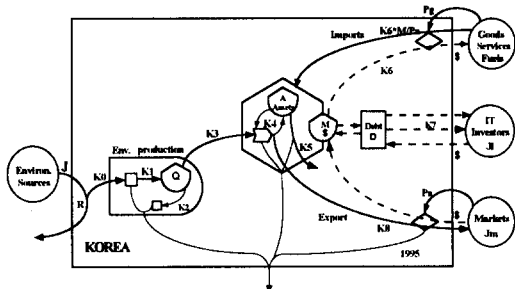
* Note for Table 1 (footnote)

1. Energy inflow from Lee and Odum, 1994
2. Energy usable from assuming, 10%
3. Resource used from assuming, 90%
4. Environmental store of soil and wood energy from Lee and Odum, 1994
5. Environmental production from Ministry of Environment
6. Depreciation from assuming, 66%
7. Economic use from assuming, 33%
8. Average asset - using total production per year, assuming a growth rate of dX/at , and a turnover time of 50 years, the total economic structure A may be calculated using
 $G = \text{Total production} - \text{Petroleum}$
 $= 318.7 E+6 \text{ ton} - 88.0 E+6 \text{ ton}$
 $= 230.7 E+6 \text{ ton}$
 $A = 50(G + \text{Imp} - \text{Exp} - \text{Dep} * A)$
 $= 50(2.31 + 4.44 - 2.16 - 0.02 * A)$
 $= 115 E+08 \text{ ton}$
9. Production of assets

Total production :	Anthracite coal	5.6 E+6 ton
	Metal	96.0 E+6 ton
	Cement	56.0 E+6 ton
	Petroleum	88.0 E+6 ton
*)	Others	73.1 E+6 ton
	Total	318.7 E+6 ton
10. Depreciation = Total production - Export
 $= 318.7 E+6 \text{ ton} - 216.0 E+6 \text{ ton}$
 $= 102.7 E+6 \text{ ton}$
 $= 1/50 \text{ yr}$
 $= 0.02 \text{ yr}$
11. Input from the import = Import tonnage, 4.44 E+8 ton/yr
- 12-22. from the Korea Statistical Book, 1995.

는 115.0 E+08 ton이다. 자산 축적량은 102.7 E+06 ton/yr, 수입량은 4.44 E+08 ton/yr이며, 자산의 감가상각량은 2.30 E+07 ton/yr, 한편 수출량은 2.16 E+08 ton/yr 이었다.

외화보유액은 수출액(K8*Q*A*Pa), 차관(Ji), 이자지불(IT*D), 수입액(K6*M), 부채상환(K7*D)에 의해서 결정된다. 외화보유액은 1.01 E+11 \$이며, 수출액은 1.25 E+11 \$/yr이고, 차관은 시간 변수로 고려되었다. 이자지불은 2.50 E+09 \$/yr이고, 수입액은 1.35 E+11 \$/yr이며, 부채상환액은 5.91 E+08 \$/yr이었다. 부채보유액은 차관(Ji)과 부채상환(K7*D)에 의해서 결정된다.



Available Environ. Sources, : $R = J - K0 \cdot R$; and $R = J / (1 + K0)$
 Change in Env. Resources, Q : $DQ = K1 \cdot R - K2 \cdot Q - K3 \cdot Q \cdot A$
 Change in Assets, A : $DA = K4 \cdot Q \cdot A + K6 \cdot M / Pg - K5 \cdot A$
 Change in Money, M : $DM = K8 \cdot Q \cdot A \cdot Pa + Ji - IT \cdot D - K6 \cdot M - K7 \cdot D$
 Change in Debt, D : $DD = Ji - K7 \cdot D$

Fig. 1. Energy systems diagram and equations for the model of Korea.

3.2. 한국 시스템에 대한 예측 결과

수입, 수출, 원조, 그리고 차관 등을 포함하는 국제환경 변화에 따른 한국 시스템의 예측 결과는 한국의 자연환경과 경제활동에 대한 과거와 미래의 통찰력을 제공한다.

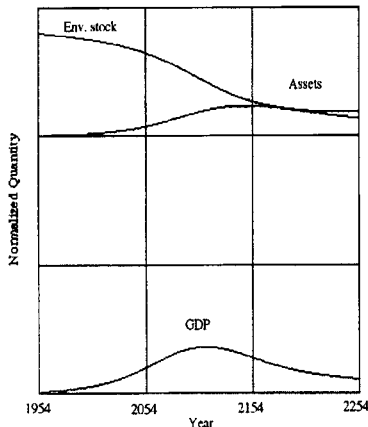


Fig. 2. Simulation of the nation model in Figure 1 without foreign loans and investment from abroad or external trade (Ji=0 and K6, K7=0; export flows were redirected into assets, A).

첫째, 경제적 자산의 규모를 1954년 수준으로 초기치¹⁸⁾를 설정한 후, 즉 외국과의 무역이나 투자 등의 교류가 없음을 가정하여 한국의 자연환경과 경제활동에 대해서 그 변화를 예측하였다. 이러한 조건에 기초한 예측결과는 Fig. 2와 같으며, 이때 경제적 자산은 완만하게 증가하고, 따라서 자연환경 자원의 고갈도 완만하게 진행되고 있었다. 이러한 시스템은 교역을 기초로한 외부로부터의 자원을 이용하지 않기 때문에, 비교적 소규모의 경제 시스템이 발달된다. 반면 이러한 시스템은 교역을 기초로 값싸고 풍부한 자원을 이용하는 선진국가에 의해서 경제적 또는 군사적으로 변화를 쉽게 받을 수 있다.

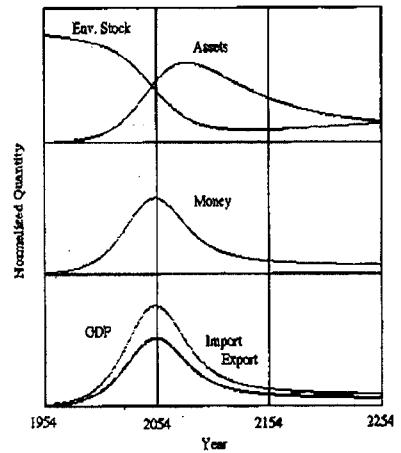


Fig. 3. Simulation of the nation model in Figure 1 using money from sales to purchase resources from outside, but without foreign loans and investment from abroad (Ji=0).

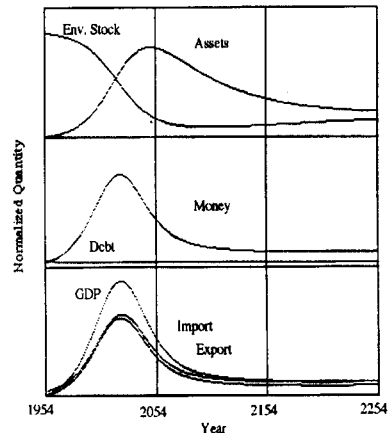


Fig. 4. Simulation of the nation model in Figure 2 with foreign loans and investment from abroad, repayment and interest on debt, and external trade.

둘째, Fig. 2를 예측한 조건에서 외국으로부터의 투자와 차관은 이루어지지 않고, 수입은 가능한 조건으로 시뮬레이션을 수행하였다. 예측 결과에 의하면 Fig. 3과 같이 경제적 자산의 축적, 수출, 외화보유액의 증가와 함께 내부의 환경 자원은 Fig. 2의 결과에 비해서 빠른 속도로 고갈된다. 그리고 이러한 환경 자원의 고갈은 경제적 자산의 성장을 억제하여 경제적 활동력과 자산의 수준을 제한시킨다.

셋째, Fig. 3을 예측한 모델에 외부로부터의 자본 투자가 있는 조건으로 시뮬레이션을 수행하였다. 예측 결과에 의하면 Fig. 4와 같이 경제적 자산의 성장은 Fig. 3의 경우보다도 빨리 진행되지만, 성장의 한계 이후에는 감소된 환경 자원에 의해서 경제적 활동력과 자산이 보다 더 빨리 제한받게 된다.

3.3. 한국 시스템의 과거재현과 미래예측

이상의 시뮬레이션에 이용된 Fig. 1의 한국의 시스템 모델의 정확도를 파악하기 위해서, GDP¹³⁾와 외국의 차입 자본을 기초로 실제 자료¹³⁾와 시뮬레이션 결과를 비교하였다. 계산결과는 Fig. 5와 Fig. 6과 같이 통계자료를 적절히 재현하는 것으로 나타났다.

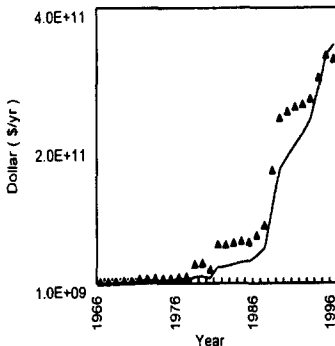


Fig. 5. The comparison of simulated GDP(solid line) used for model validation with statistical data(triangles).

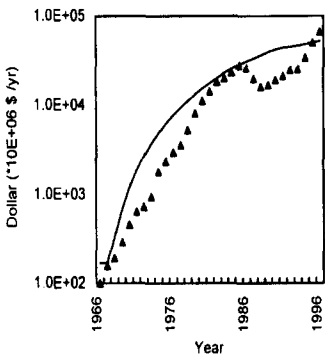


Fig. 6. The comparison of simulation foreign loans(solid line) used for model validation with statistical data(triangles).

이상의 과정을 기초로 Fig. 1 한국의 시스템 모델을 이용하여 수출·입, 차관, 외국인 투자에 대한 실제 조건을 적용하여 한국의 자연환경과 경제활동에 대한 과거재현과 미래예측을 실시하였다. 시뮬레이션 결과에 의하면 Fig. 7에서와 같이 한국의 경제적 자산은 1900년대 후반기부터 2000년대 초기까지의 급속한 성장이 진행된 후 내부 환경 자원의 고갈에 의해서 감소하는 것으로 나타나고 있었다. 이러한 결과는 Texas¹⁹⁾와 Amazon유역²⁰⁾을 대상으로 시뮬레이션 한 결과에서도 예측되었으며 현재 세계 각국이 봉착해 있는 환경보존과 경제개발에 대한 통합적 고찰의 필요성을 제시하고 있다.

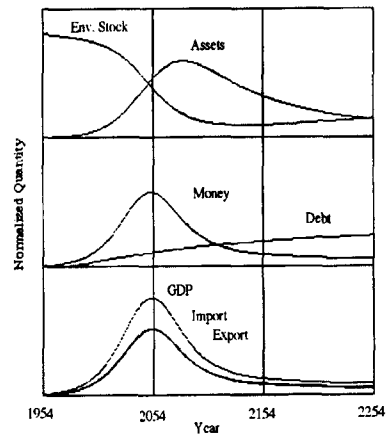


Fig. 7. Simulation of the model in Figure 2 with time variable foreign loans and investment from abroad.

한편, 본 연구는 정확한 시기와 크기 등을 예측하기 위한 연구라기 보다는 전체적인 경향과 방향제시에 그 목적이 있기 때문에 이러한 결과는 국가 정책수립과 해외 교역 등에 있어 주요한 정책의 방향을 제시하게 될 것이다.

4. 고찰

4.1. 경제 정책

한국 정부는 IMF 구제 프로그램 이후에 외국 차관과 투자를 유치하기 위하여 자국기업을 매각하고 아울러 자국 수출 촉진정책을 펴고 있다. 해외투자 유치를 각각 2%, 5%, 7.5%, 그리고 10%씩 증가시킬 경우(Fig. 8)와 수출량을 각각 10%, 25%, 40%, 그리고 50%씩 증가시킬 경우(Fig. 9)에 대하여 시뮬레이션을 실시하였다. 이러한 다양한 정책을 반영하여 시뮬레이션을 수행하면, 한국의 시스템은 수입에 의존한 화석연료에 의해서 가까운 미래에 자산(Assets)과 화폐보유고(Money) 그리고 국민총생산(GDP) 및 교역량 등에서 급격히 성장할 것으로 나타나지만, 이후의 발전은 환경적 자원(Env. stock)의 고갈에 의해서 제약을 받게 될 것으로 예측되었다. 따라서, 이

러한 경제정책은 단기적으로는 경제적 구제책이 될 수 있으나, 장기적으로는 자연환경을 손상시켜 결국 경제활동까지 위축시키게 된다.

한편, 비영속성 에너지원인 화석연료의 가격 인상을 각각 5%, 10%, 15%, 20%, 그리고 25%씩 적용하여 시뮬레이션하면 Fig. 10과 같이, 한국의 경제적 자산, 화폐 보유량 등을 의미하는 경제적 활동력은 수입연료의 가격 인상 효과에 따라 크게 제한받는 것으로 나타났다.

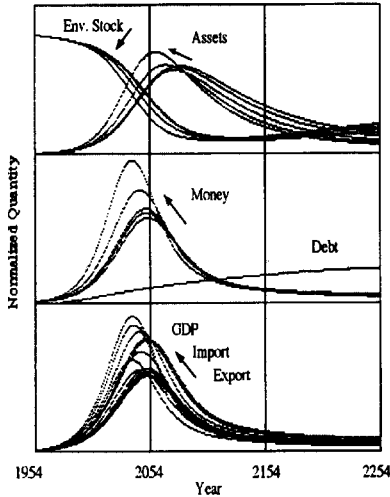


Fig. 8. Simulation of the nation model in Figure 1 with the policy of selling the native enterprise to abroad(The increment of abroad investment ; 2%, 5%, 7.5 %, and 10 %).

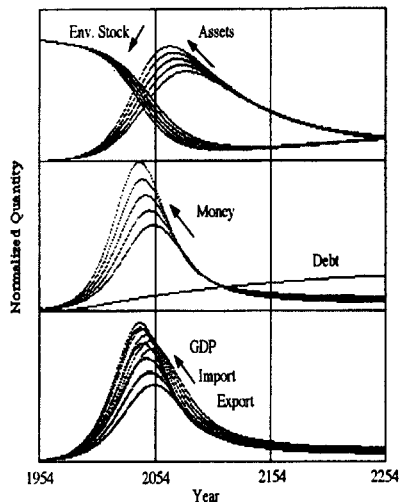


Fig. 9. Simulation of the nation model in Figure 1 with the export promotion policies(The increment of export ; 10%, 25%, 40%, and 50%).

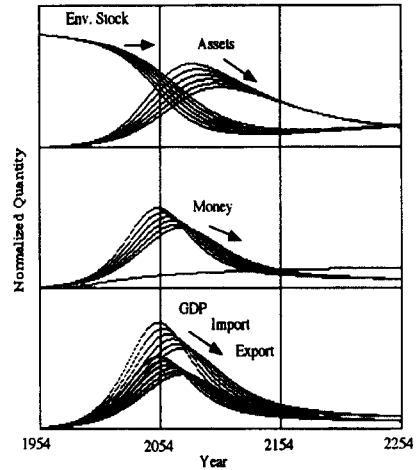
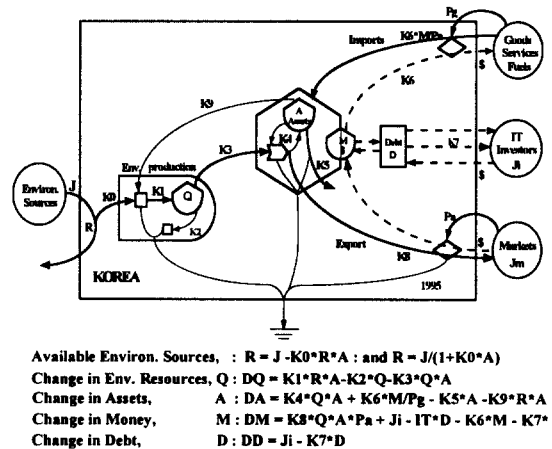


Fig. 10. Simulation of the model in Figure 1 increasing the price of external purchases p_g (The increment of price ; 5%, 10%, 15%, 20%, and 25%).

4.2. 환경정책

최근까지, 대개의 공공정책은 경제적 토대 내에서 결정되었다. 아직까지 경제적 관점은 자연환경의 가치를 제대로 반영하지 못하고 있다. 이러한 원인은 자연환경에 대한 가치와 역할을 계량화하지 못하였을 뿐만 아니라 입장에 따라 각기 달리 해석하고 가치를 부여했기 때문이다. 따라서 자연환경과 경제활동의 지속적인 발전가능성을 도모하기 위한 한 방법으로 자연환경을 향상시키는 경제로부터의 양의 feedback($K_9 \cdot R \cdot A$)을 Fig. 11의 에너지 시스템 다이어그램에 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다.



Available Environ. Sources, : $R = J - K_0 \cdot R \cdot A$; and $R = J / (1 + K_0 \cdot A)$
 Change in Env. Resources, Q : $DQ = K_1 \cdot R \cdot A - K_2 \cdot Q - K_3 \cdot Q \cdot A$
 Change in Assets, A : $DA = K_4 \cdot Q \cdot A + K_6 \cdot M / P_g - K_5 \cdot A - K_9 \cdot R \cdot A$
 Change in Money, M : $DM = K_8 \cdot Q \cdot A \cdot P_a + J_i - IT \cdot D - K_6 \cdot M - K_7 \cdot D$
 Change in Debt, D : $DD = J_i - K_7 \cdot D$

Fig. 11. Energy systems diagram of Korea with recycle pathway.

Fig. 12와 같이 전체 경제 생산의 75%이상이 자연자원 관리에 투자되어야만 환경자원의 급속한 고갈을 막을

수 있을 것으로 예측되었다. 실제로 이러한 경제와 환경 관리는 불가능하겠지만 이러한 투자가 이루어지더라도 이미 현재의 수준으로 형성된 경제적 자산은 그 현상의 유지에서 야기되는 감가상각으로, 75%이상의 feedback 에도 불구하고 경제적 자산의 감소 국면을 나타내고 있었다.

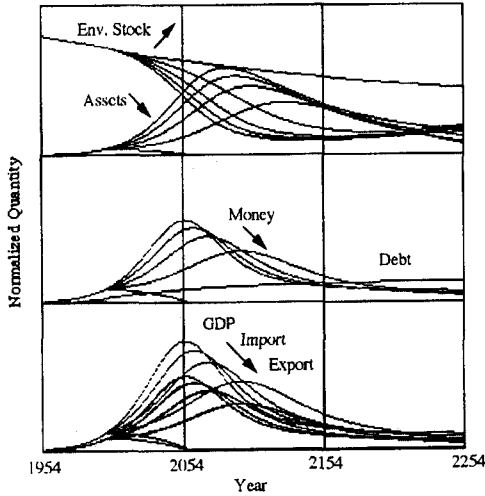


Fig. 12. Simulation of the model in Figure 1 increasing the feedback rate for the environmentally sound and sustainable development(The increment of feedback ; 5%, 10%, 15%, and 20%).

5. 결 론

시스템 생태학적 접근법에서의 에너지 모델링과 EMERGY 평가를 기초로 한국의 자연환경과 경제활동을 포함하는 전체 시스템의 변화를 예측하고, 또한 각종 경제정책과 환경정책에 대한 시스템의 향후 변화를 예측한 결과는 다음과 같다.

1954년 상황을 초기조건으로 하여 이후 300년을 예측한 결과 약 100년까지 경제적 자산은 증가되나 환경자원의 고갈로 다시 감소되는 경향을 보였다. IMF관리하의 외자유치는 외환 보유고를 다소 증가시켜 일시적인 경제 규모의 성장은 얻을 수 있지만 부채증가와 경제성장률에 상충하는 환경자원의 감소를 유발하였다. 한국의 환경자원을 지속가능하게 유지하기 위해서는 경제 생산의 약 75%를 환경보존에 재투자하여야 만이 가능함을 알 수 있었다.

한국 정부의 외국차관, 투자유치, 수출촉진, 그리고 자국기업의 매각과 같은 다양한 정책은 한국의 시스템이 외부의 이용 가능한 에너지원을 확보할 수 있는 가까운 미래까지는 급격히 성장할 것으로 예측되지만, 이후의 발전은 환경적 자원의 제한에 의해서 제약을 받는 것으로 예측되었다.

따라서 정부의 경제정책은 단기적인 경기 부양책은 될 수 있지만, 환경자원의 고갈을 촉진시켜 보다 급격한

경제적 쇠퇴를 유발하는 것으로 나타나기 때문에 단기적인 경제정책보다는 내부의 환경자원을 지속가능하게 이용할 수 있는 환경친화적 산업구조로 전환하기 위한 연구와 정책마련이 필요하다.

감사의 글

본 논문은 1998년 부경대학교 연구년 연구비에 의하여 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- 1) Ulgiati, S. and M. T. Brown, 1998. Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystem. *Ecol. Model.* 108, 23-26.
- 2) Odum, H. T. 1983. *Systems Ecology*. John Wiley and Sons, New York. Reprinted in 1994 as *Ecological and General System*. University Press of Colorado, Niwot, 644pp.
- 3) Odum, H. T. 1996. *Environmental Accounting. EMERGY and Environmental Decision Making*. John Wiley and Sons, New York, 370pp.
- 4) 이석모, 손지호, 김진이, 2000. 시스템 생태학적 접근법에 의한 한국의 지속적인 발전가능성 평가(I), 한국환경과학회, 9권 6호, 449~454.
- 5) Campbell, D. E., 1998. EMERGY analysis of human carrying capacity and regional sustainability : an example using the state of maine, *Environmental Monitoring and Assessment*, 51, 531~569.
- 6) Brown, M. T. and S. Ulgiati, 1997, EMERGY - based indices and ratios to evaluate sustainability : monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation, *Ecological Engineering*, 9, 51~69.
- 7) Odum, H. T. and E. C. Odum, M. T. Brown, D. LaHart, C. Bersok, J. Sendzimir, G. B. Scott, D. Scienceman, and N. Meith, 1988, *Environment Systems and Public Policy*, Ecological Economic Program, Phelps Lab, University of Florida, Gainesville, 253pp.
- 8) Odum, H. T., 1994, *Ecological and General Systems*, The University Press of Colorado, 644pp.
- 9) Odum, H. T. 1989. Simulation models of ecological economic developed with energy language methods. *Simulation (Technical Article)* : 69-75.
- 10) Lee, S. M. and H. T. Odum, 1994, Emery analysis overview of Korea. *J. of the Korean Env. Sci. Soc.* 3(2). 165~175.
- 11) Odum, H. T. and E. C. Odum, 1998. Revision of Part III. *Fundamental Minimodels. A art of Modeling for All Scales. An Introduction to System Simulation*. Copyright for Academic Press, 213pp.
- 12) Odum, H. T. and E. C. Odum, 2000. *Modeling for*

시스템 생태학적 접근법에 의한 한국의 지속적인 발전가능성 평가(II)

- all scales. 458pp.
- 13) 통계청, 1996, 한국통계연감, 690pp.
 - 14) 환경부, 1996, 환경통계연감, 646pp.
 - 15) 한국은행, 1995, 경제통계연보, 365pp.
 - 16) 통계청, 1997, 물가연보, 491pp.
 - 17) 에너지경제연구원, 1996, 에너지 통계연보, 328pp.
 - 18) 통계청, 1955~1995, 한국통계연감.
 - 19) Odum, H. T., M. T. Brown and R. A. Christianson, 1986, Energy Systems Overview of the Amazon basin.
 - 20) Odum, H. T., E. C. Odum, and M. Blissett 1987, Ecology and Economy : "Emergy" Analysis and Public Policy in Texas.