

資源·環境·人口問題에 관한 시스템모델

I.	序論
目	II. 成長의 메카니즘
	III. 모델의 構成
次	IV. 成長의 限界
	V. 結論

I. 序論

最近 수년동안 세계는 經濟開發, 人口增加, 資源 및 環境에 관한 問題에 관심이 集中되고 있다. 그러나 이들 問題를 다루는데 있어 한 部門의 發展과 成長만 취급하다 보면 그것이 다른 部門에 어떤 영향을 주게 되고 結果적으로 전체를 하나의 시스템으로 볼때 시스템에 어떤 變化를 가져오게 되는가를 고려하지 않을 때가 있다. 本稿는 人口, 資源, 環境, 經濟成長의 問題를 하나의 시스템으로 構成하여 각 部門間的 相互作用의 메카니즘과 이를 통하여 生成되는 시스템의 成長過程에 대한 씨뮬레이션 結果를 提示하고 있다.

이 시스템 모델은 원래 MIT大學의 Forrester 교수에 의하여 작성되었으며 그의 弟子 Meadows 교수에 의하여 발전되어 「로마클럽」에 報告된바 있다.

II. 成長의 메카니즘

시스템 구성의 基本的인 原理는 System Dynamics 이다. 시스템 다이내믹을 논하기 전에 우선 시스템부터 定義하자. 시스템을 定義하면 어떤 特定目的을 가지고 有機적으로 연결되어 있는 個체들의 集合이라고 할수있다. 시스템은 教育시스템, 情報시스템, 生態시스템, 輸送시스템, 政治시스템, 經濟시스템등 여러가지가 일출수 있으나 이들 시스템의 특징의 하나는 어떤 集合이 일단 시스템으로 定義되면 그 속에는 System Input, System Output, 그리고 시스템의 Environmental Factor 가 있어서 相互作用의 有機적인 關係가 분명해져야만 한다.

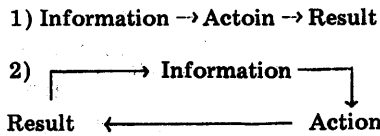
시스템은 分類上 1) Contineous vs. Discrete System, 2) Static vs. Dynamic System, 3) Causal vs. Noncausal System, 4) Macro vs. Micro System, 5) Linear vs. Nonlinear System, 6) Open vs. Closed System 등으로 나누고 있는데 System Dynamics는 Closed Dynamic System 을 다루고 있으며 이 시스템의 Numerical Experiment 즉 시스템 씨뮬레이션이 관심의 초점이다.

그럼 Closed Dynamic System 의 특징은 무엇인가 첫째, 시스템이 Closed System 이어야 한다. 둘째, Time - Varying System 이어야 한다. Closed System 이란 Feedback System

*家族計劃研究院 首席研究員.

이라고도 하는데 그림 1에서 보는 바와같이 Information → Action → Result의 平面的인 관계가 아니라 Feedback의 Loop를 형성하고 있어야 한다.

Figure 1. Feedback System



Time-Varying System이란 時間에 따라 시스템이 變化하는 것을 말한다.

Forrester 교수는 社会動學的인 시스템적인 接近方法의 하나로서 System Dynamics의 方法을 적용하였는데 그에 의하면 모든 社会變動을 1) System Level, 2) System Flow Rate로 파악하고 있다. System Level이란 어떤 時点에서의 시스템의 狀態를 말하며, System Flow Rate란 시스템의 Level을 變更시키는 要因들이다. 그는 시스템의 構造方程式을 Level 變數와 Flow Rate 變數로 나타내어 시스템의 Behavior를 씨뮤레이션하고 있다. 씨뮤레이션 메카니즘을 이해 하는데는 시스템이 Feedback Loop라는 特性을 가지고 있다는 事實이 중요하다. 예를들어 인간의 피로와 수면시간과의 단순시스템을 보더라도 어떤 時点 T₀에서의 피로의 정도 (Level)는 수면시간 (Flow Rate)을 조정하게 되고 수면시간에 따라 피로의 정도가 變化됨으로서 T₂에서의 수면시간은 變化된 피로상태 (T₁에서의 피로의 정도)에 따라 조정하게 되며 조정된 수면시간은 또 다시 다음 狀態에서의 피로의 정도를 결정하게 된다. 이와같이 피로와 수면시간의 관계는 Feedback Loop를 통하여 상호조정되어 나간다.

社会現象의 成長과 均衡의 過程 역시 시스템적인 측면에서 보면 Feedback Loop라는 메카니즘을 통해 이루어 지고있다.

Ⅲ. 모델의 構成

資源, 環境, 人口에 관한 시스템 모델은 다음과 같은 5가지 System Component에 대하여 System Dynamics을 적용하고 있다.

- 1) 人口, 2) 工業成長, 3) 資源, 4) 農業成長, 5) 公害

이들 5가지 Component들의 相互作用과 Feedback Loop는 그림 2와 같다. 그림에서 보는 바와같이 이 시스템은 수많은 Feedback Loop를 통해 成長해 가고 있다는 것을 알수있다.

우선 모델의 구성을 개략적으로 살펴보기 위하여 人口部門부터 살펴보자 人口의 成長은 出生과 死亡이 연속되는 과정에서 결정된다. 즉 出生과 死亡이 人口成長을 조정하는 基本要件이다. 이 要件의 變化가 成長을 制限하거나 지속시킨다. 우선 出生要件의 變化를 살펴보면 이 要件은 그림에서와 같이 4개의 係數가 조정하고 있다.

- 1) 生活水準과 出生과의 관계를 조정하는 계수, 2) 食糧사정과 出生과의 관계를 조정하는 계수, 3) 公害程度와 出生과의 관계를 조정하는 계수, 4) 人口密度와 出生과의 관계를 조정하는 계수 등이다
- 死亡水準 역시 그림에서 보는바와 같이 1) 生活水準과 死亡水準을 조정하는 계수, 2) 食糧과 死亡水準을 조정하는 계수, 3) 公害와 死亡水準을 조정하는 계수, 4) 人口密度와 死亡水準을 조정하는 계수

등이 있다. 그런데 이들 계수들은 다른 部門 즉 資源, 公害, 工業成長 食糧部門의 成長 Level에 따라 決定된다.

이들중 우선 몇개의 係數들의 산출과정을 例示적으로 살펴보자. 生活水準과 出産과의 관계를 조정하는 계수를 보면 이 係數는 일차적으로 生活水準과 函數關係이고, 이차적으로는 投資效率(Effective-Capital-Investment Ratio)과 관련되어 있다. 投資效率은 農業成長, 可用資源, 1人당投資 등과 함수관계에 있으며, 1人당投資는 人口成長과 工業成長의 函數關係이다. 이렇게 볼때 生活水準의 변동에 따른 出産率의 변동은 生活水準이라는 變數가 시스템을 구성하고 있고 다른 많은 變數들의 Level에 따라 변동되기 때문에 그 변동상태를 추적하기 위해서는 Step-by-Step으로 시스템 써뮬레이션이 불가피하게 된다.

다음 食糧과 出産力과의 관계를 보면 이 관계는 식량-출산계수에 의하여 決定되며, 이 係數는 일차적으로 1人당 食糧消費量의 函數關係로 되어있고, 1人당 食糧消費量의 변동추세는 人口密度-食糧係數에 의하여 조정되며, 이 계수는 더 나아가서 人口成長과 관련된다, 또한 1人당 食糧消費는 農業生産성과 食糧-公害係數에 의하여 決定된다.

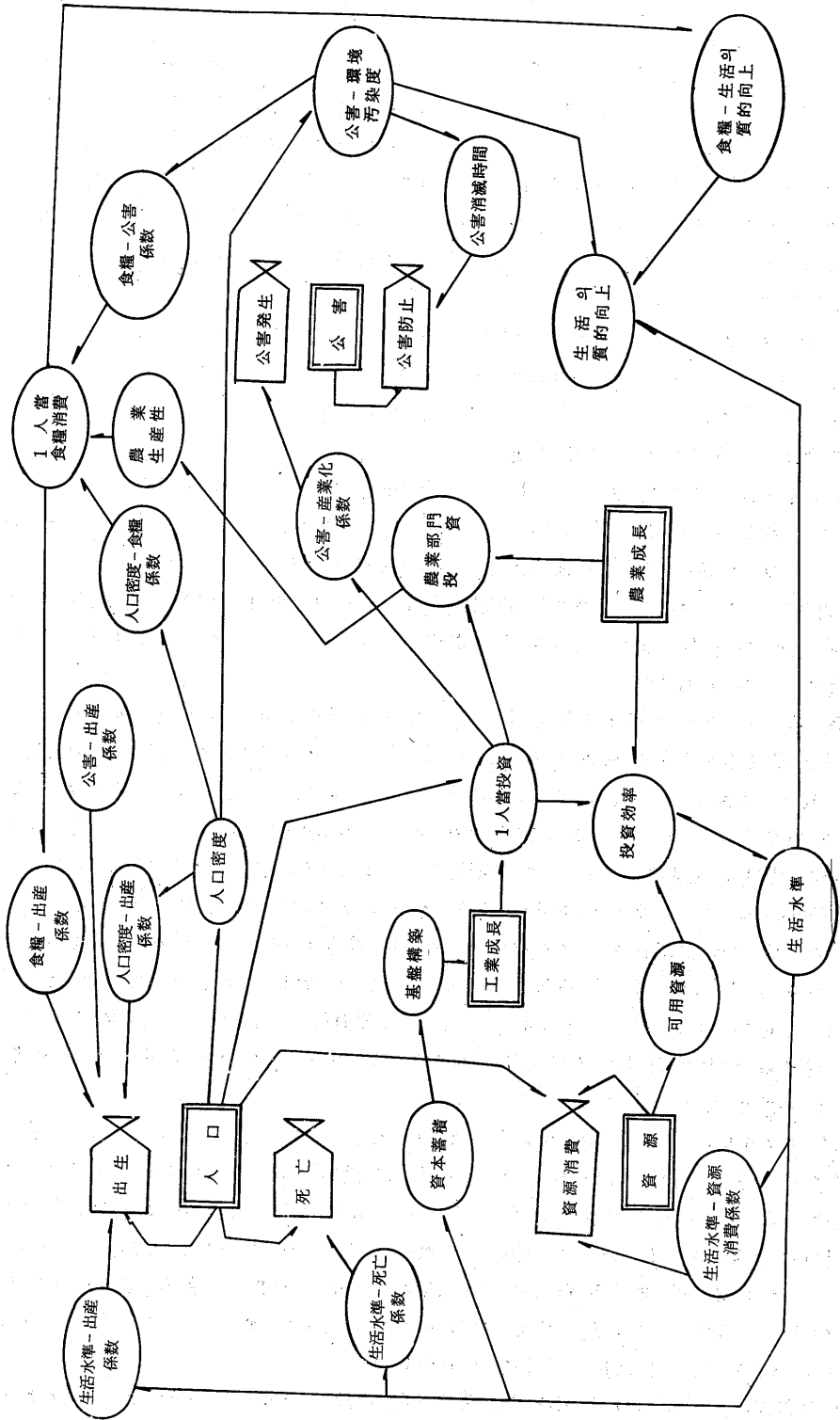
農業生産性은 農業部門 投資比率이 중요한 要因이 되고있으며, 이 比率은 農業成長과 工業成長에 따른 1人당投資와 函數關係에 있으며, 이차적으로는 投資效率의 問題, 産業化, 資源問題로 歸結된다. 한편 公害-食糧係數는 公害-環境汚染度에 따라 결정되며 이를 결정하는 要因은 公害發生과 産業化-公害係數이며 公害소멸에 要하는 時間的인 Lag가 작용된다. 産業化는 公害를 加速化시키며 人口成長과 이로 인한 住宅建設, 工業化와 工場建設등은 한정된 国土에서 農業用지를 잠식시켜 결국 農業生産을 저해하는 要因이 된다.

다음으로 시스템의 資源部門을 살펴보면 세계의 資源은 限定되어 있다. 여기서 資源은 再生産可能資源(주로 農業生産物)을 제외한 資源을 말한다. 어떤 時点에서의 可用資源의 在庫는 주어진 資源總量에서 消費된 資源을 除한 값이 되기 때문에 시스템상에서는 앞으로의 資源消費의 추세가 資源과 他部門과의 관계를 설명하는데 기본적인 문제가 된다. 資源消費는 그림 2에서 보는바와 같이 生産水準과 資源消費와의 조정계수에 의하여 決定된다. 工業의 成長은 物質的인 生活水準의 向上과 아울러 이에 수반되는 막대한 資源을 要求하게 된다. 人類가 加速的인 生活水準의 向上과 이를 뒷받침할 工業化를 추구하게 될때 資源消費는 加速化될 것이며 이와같은 狀態가 지속되어 부존자원이 점점 不足해지면 이를 위해 보다 많은 새로운 資源開發을 위한 投資가 있어야 하고, 이렇게 되면 결국 投資效率은 낮아지고 工業成長의 둔화를 가져오게 된다. 한편 資源消費는 生活水準의 相對的인 向上과도 비례하지만 보다 중요한 要因의 하나는 人口數의 절대적인 增加이다. 人口의 급속한 增加는 經濟成長의 악순환을 가져올 우려가 있다.

다음 工業成長과 農業成長의 問題를 보면 工業成長은 資本蓄積을 통한 工業 기반의 구축이 무엇보다 중요한 要件이 되며, 人口成長에 의한 勞動力의 供給이 成長의 關鍵이 될 것이다. 그런데 대부분의 開發途上國의 경우 과거 그들의 높은 出産率에 의하여 勞動力의 年間供給能力은 매우 높으며 出産力의 저하가 勞動力에 영향을 주기 위해서는 적어도 15年~20年이상 소요되어야 하기 때문에 工業成長을 위해 보다 중요한 要因은 資本의 축적이 된다. 그런데 자본축적은 生産性의 向上과 저축의 增大가 기본이며 저축증대를 위해서는 消費人口의 억제가 요구되며 消費人口의 억제를 위해서는 出産率의 低下 내지 人口의 급속한 成長자체가 억제되어야 한다.

또한 農業成長을 촉진시키기 위해서는 農業部門의 投資 확대가 必須的이며, 이 投資 확대의 問題는 工

그림 2. 人口·資源·環境 모델



業成長率과 人口增加率의 函數關係로 나타나는 1人當 投資量에 크게 左右된다. 한편 農業은 工業化와 人口增加에 따른 公害增加에 의하여 영향도 받게된다.

이렇게 볼때 앞에서도 言及되었지만 시스템의 한 部門은 다른 部門에 직접, 간접으로 연결되어 同時的 또는 時差的으로 變動하고 있으며 이들 關係를 System Dynamics에 의하여 構造方程式으로 구성하여 컴퓨터속에서 씨뮬레이션 하어야 한다.

IV. 成長의 限界

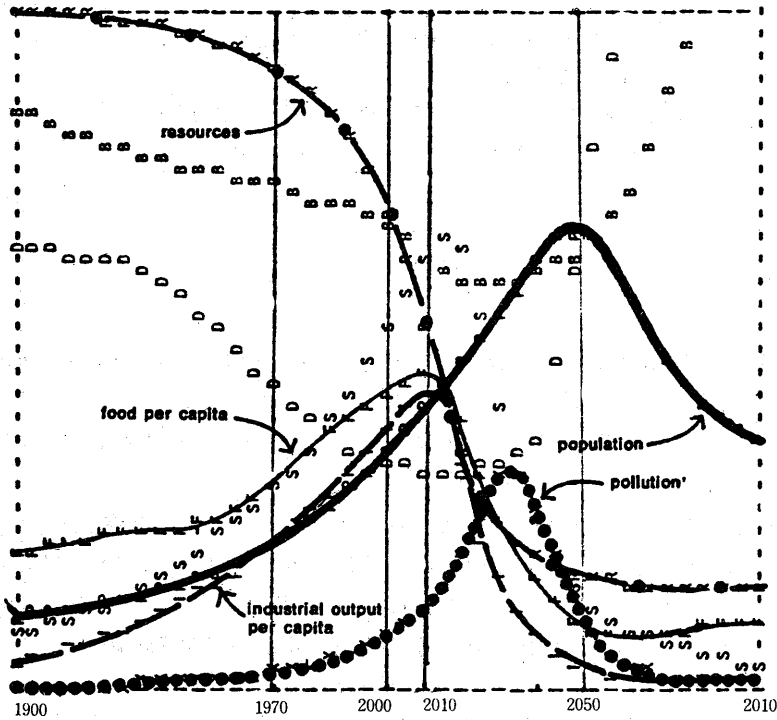
以上에서 人口, 資源, 工業成長, 農業成長, 公害의 成長 메카니즘과 各 部門간의 相互作用의 關係를 살펴 보았다.

이들 各部門들을 하나의 시스템으로 연결시켰을때 이 시스템을 Forrester는 "세계모델"이라 하였다. 이 "세계모델"이 어떤 behavior를 하게 되는가를 살펴보자.

그림 3은 "세계모델"의 標準型에 대한 컴퓨터 씨뮬레이션 結果이다. 여기서 標準型이란 시스템에 적용되는 모든 Parameter들의 값을 1900年~1970年 사이의 趨勢에 의하여 推定하여 이를 기초로 씨뮬레이션한것을 말한다. 즉 過去 歷史적으로 경험했던 社會·經濟的 成長趨勢에 앞으로 별다른 變動이 없는경우, 혁신적인 科學技術의 發展을 前提하지 않았을때 그리고 人口調節政策이 없을 경우를 假定한것이다.

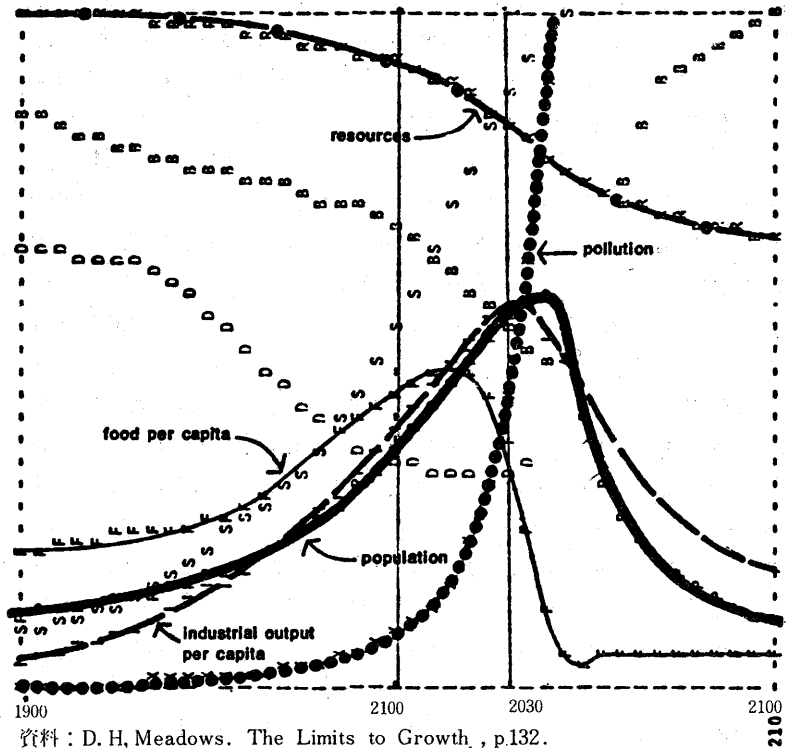
이와같은 假定下에서는 人口成長은 1900年의 世界人口 16억에서 1970년에 35억으로 증가되었으며, 出生率의 점진적인 低下에도 불구하고 1940年 이후부터의 死亡率의 급속한 低下로 人口增加率은 높아지고 있다. 1970年 이후 2010년까지 세계는 工業成長, 食糧增産에 의하여 人口 1人當 食糧 및 工業産出高가 加速的으로 增加된다. 그러나 2010年 이후 成長은 하강趨勢를 보인다. 시스템의 하강추세를 야기시키는 중요한 要因은 資源問題이다. 세계의 資源埋藏量은 一定 限度量이며, 現 추세의 消費로 보아 앞으로 250年 後면 資源枯渴狀態가 온다는 推測이 있다. 세계의 資源問題와 관련하여 두가지 面을 지적 할수 있다. 첫째는 現代에 와서 後進國들이 工業化를 서둘러 추진하고 있기 때문에 과거에 비하여 資源需要는 급증될것이라는 展望과 대체 에너지의 開發로 핵연료의 開發이다. 따라서 앞으로의 資源問題가 핵 에너지의 開發로 해소될수있다는 展望도 해보직하다. 만약 핵 에너지의 開發로 資源問題가 해소 되었을 경우 시스템 變數들의 Behavior를 살펴보면 그림 4 와 같다. 資源供給에 아무런 問題가 없을 경우, 工業成長은 서기 2030年頃까지 加道的으로 成長하여 표준형에서 보다 훨씬 높은 水準에서 세계는 物質的인 풍요를 누릴수 있을것이다. 그러나 資源問題가 해결된다고 해서 成長이 無限하게 지속될수는 없다. 그 다음으로 오는 問題가 公害問題이다. 충분한 에너지와 資源은 人口의 계속적인 增加에도 불구하고 1人當 工業産出高를 높여왔다. 그러나 이러한 加速的인 工業成長에는 公害問題가 뒤따르게된다. 公害는 일단 어느 水準 以上으로 높아지면 이를 소멸시키는데 많은 時間과 投資가 요구된다. 즉 시스템상의 다른 變數들과 公害는 장기적인 Time Lag를 통하여 Feedback 된다. 따라서 앞으로 予見되는 公害問題에 대처하기위해 1970년부터 公害部門에 많은 投資가 이루어져 公害를 충분히 예방할수 있다고 가정했을때 즉 시스템의 成長過程상 公害로 인한 장애가 없을때 시스템은 계속 성장될것인가? 이때에 다음으로 問題視되는 것이 食糧의 問題이다. 資源, 公害問題가 해소되면 급속한 工業成長이 이루어지겠지만 이에 비례한 食糧生産이 뒤따르지 못하게 된다. 食糧需要는 人口增加에 비례하며 農業이 갖는 限界性에 의하여 세계 食糧事情은 점점 어려워질것이다.

그림-3. 세계모델 “표준형”



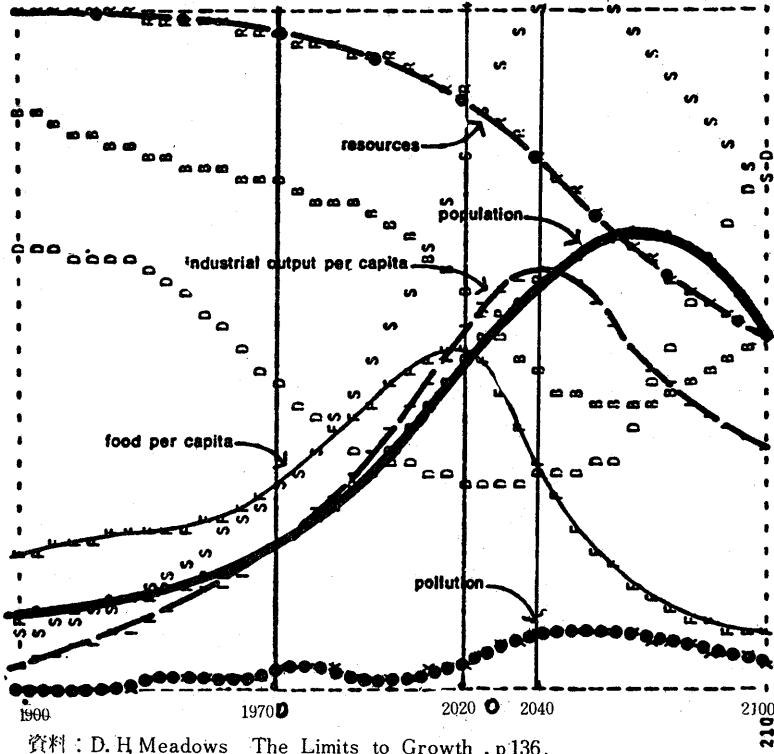
資料 : D. H. Meadows. The Limits to Growth, p 124.

그림-4. 세계모델에서 資源問題가 해결되었을 경우의 成長形態



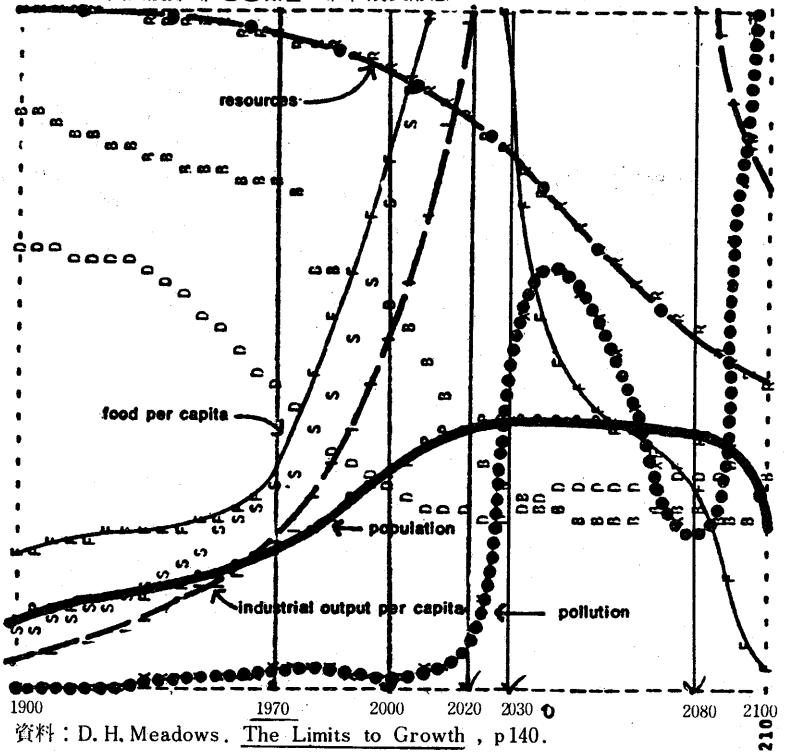
資料 : D. H. Meadows. The Limits to Growth, p132.

그림-5. 세계모델에서 資源問題, 公害問題가 해결되었을 경우의 成長形態



資料 : D. H Meadows, The Limits to Growth, p136.

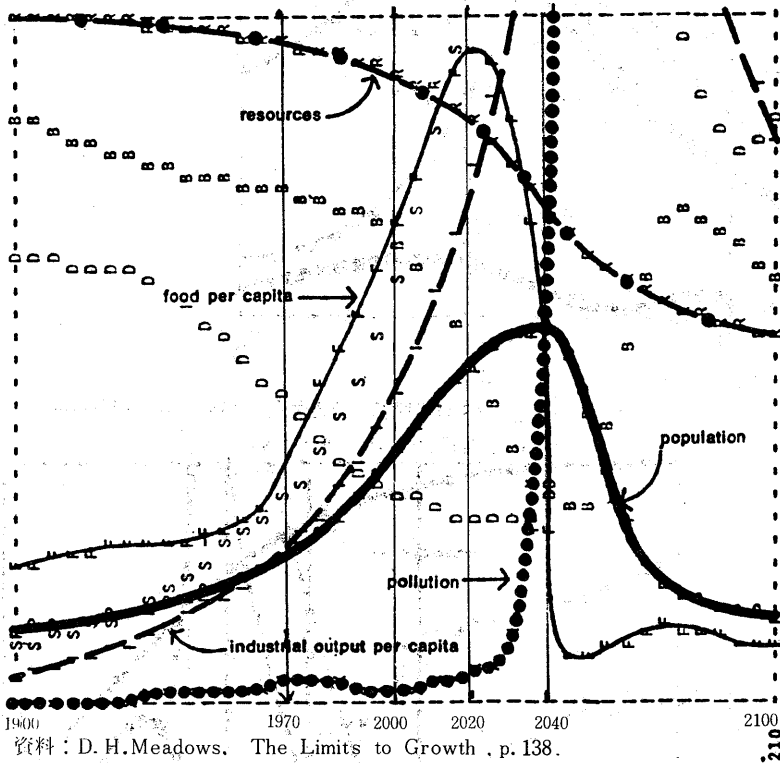
그림-6. 세계모델에서 資源問題, 公害問題, 食糧問題가 해결되고 人口調節에 성공했을 때의 成長形態



資料 : D. H Meadows, The Limits to Growth, p140.

새로운 食糧資源의 開發에 보다 많은 投資가 이루어져야 할것이다. 만약 새로운 形態의 녹색혁명이 가능하여 무제한우 食糧生産이 가능해 졌을때 시스템은 어떻게 成長될것인가 시스템 成長을 阻害하는 다음 要因으로 등장되는것이 人口의 過密이다. 資源, 公害, 食糧문제가 해결된다고 해서 즉 物質的인 生活手段의 供給 問題가 없다고 해서 세계는 무한히 많은 人口를 支撐할수는 없다. 人口의 지속적인 成長은 언젠가는 정지되어야 할것이며, 쾌적한 生活 空間의 확보와 生活의 質의 向上을 위해서는 適正 人口 規模의 유지가 요청된다.

그림-7. 세계 모델에서 資源問題, 公害問題, 食糧問題가 해결되었을경우 成長形態



V. 結 論

지금 우리는 資源不足, 公害, 人口增加, 食糧問題, 지속적인 工業成長의 問題 등 당면한 課程가 많다. 이들 問題들을 어떻게 슬기롭게 극복하고 長期的으로 보다 均衡있는 成長을 계속해 나갈수 있겠는 가는 어떤 한 部門의 問題解決만으로는 可能하지가 않다. 이들 각 部門 相互間의 成長 메카니즘을 이해하고 長期的인 觀點에서 System Behavior를 관찰하여 적절한 政策手段이 강구되어야 할것이다. 現在 우리가 追求하고 있는 政策이 장래 어떤 問題의 結果를 가져오게 될것인가를 시스템 씨뮬레이션을 통해 파악하고 보다 낫은 代案과 方向을 찾아야 할것이다. 시스템 씨뮬레이션 技法은 컴퓨터 안에

(Abstract)

System Model for Resources, Environment and Population

by Hyun Sang Moon

The purpose of this paper is to introduce basic ideas of systems Dynamics and Forrester's World Model, which simulated five major components of World System - Industrialization, Population, Food, Resources, Pollution.

Even though World Model does not deal with the specific situation of a country, the methodology employed to construct growth model is valuable to study and predict the future of Korean economy and welfare, particularly with emphasis on population growth and dynamics. For the future development of Korea, we are expecting resource problem, pollution, population increase, food problem. To maintain balanced growth and resolve these problems, systems approach, which presented in this paper is desirable because it simulate Interrelationships and growth mechanism of population, food, resources, pollution, industrialization.

Through the systems simulation techniques we can evaluate various policy alternatives and measure the impact of a certain specific policy on other related area,

(60 면에서 계속)

서 여러가지 政策代案을 실험할 수 있다. 本稿에서 소개한 Forrester 교수의 "세계모델"은 일종의 시스템 시뮬레이션 모델로서 세계전체를 대상으로 한 모델이다. 따라서 어떤 특정 國家의 問題와 要件을 다루고 있지는 않다. 그러나 그가 적용하고 있는 문제해결의 方法論은 매우 유익한 것이며 이와같은 모델이 우리의 問題解決을 위한 모델로 發展될 수 있기를 바란다.

參 考 文 獻

1. Forrester J. W. "World Dynamics". Cambridge, Mass: Wright - Allen Press, 1971.
2. Meadows, D.H., etc. "The Limits to Growth", A Report for The Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind, A potomac Associates Book. 1972.