

에머지(Emergy) 분석과 생태계 복원

강 대 석

이화여자대학교 환경문제연구소

1. 서 론

산업혁명 이후 화석연료의 사용에 기반을 둔 급속한 기계문명의 성장은 인류의 생활 수준을 향상시켰지만, 자원 고갈과 환경오염이라는 문제를 동반하였다. 현대 기계문명의 성장 초기에 지역적으로 국한되었던 환경 파괴 및 자원의 고갈이 이제는 전 지구적인 차원으로 확대되어 인류 문명의 계속된 성장을 위협하고 있다. 현대 문명의 기본적인 바탕인 자연 자원의 고갈 및 환경 파괴의 심각성과 그 규모에 대한 인식의 결과 최근에는 개발과 보존의 적절한 조화를 통해 미래에까지 지속 가능한 성장을 추구하려는 노력들이 대두되고 있다.

본 고에서는 이러한 노력의 일환으로 추진되고 있는 생태계 복원이 갖는 의미를 생태 경제학적인 측면에서 살펴보고, 생태계 복원의 종합적인 연구에 사용될 수 있는 새로운 관점을 소개하고자 한다.

2. 생태계의 가치 평가

급속한 경제 성장의 과정에서 자연 생태계는 화폐로 표현되는 경제적 이익의 산출을 위한 이용 대상으로만 취급되어 왔으며, 따라서 자연 생태계가 갖는 가치는 이러한 이익의 크기로 평가되었다. 쓸모 없는 땅으로만 여겨졌던 갯벌의 매립은 이러한 인식의 대표적인 예로 들 수 있다. 갯벌 생태계가 우리의 경제에 기여하는 가치는 매립을 통한 국토의 확장, 즉 농업 및 공업용지의 확장으로 증가한다고 하는 것이 이러한 매립 사업의 추진 배경이었다.

경제 시스템에 의한 자연 생태계의 이용을 나타낸 그림 1에서 보듯이 돈은 경제활동에 참여하는 인간들의 용역에 대해서만 지불된다. 자연 생태계로부터의 생산물 및 서비스는 경제 시스템에 무료로 제공된다. 따라서, 생태계 자원의 획득 및 처리에 투입된 인간의 용역에 대해 지불된 돈은 이들 생태계 자원이 우리 경제의 진정한 부(real wealth)에 기여하는 정도의 척도가 될 수 없다. 오히려 시장 가격과 자연 생태계가 우리 사회의 진정한 부에 기여하는 정도는 역관계에 있다고 할 수 있다. 환경 자원이 풍부할 때는 이들의 가격이 낮지만 경제 시스템은 이들을 이용하여 많은 것을 생산해 낼 수 있다. 그러나, 환경 자원의 양이 감소함에 따라 화폐로 표시되는 가격은 증가하지만 이들이 진정한 부에 기여하는 정도는 낮아진다.

또한, 직접적인 경제적 이익의 산출이외에 자연 생태계가 갖는 다양한 기능에 대한 연구 결과들은 기존의 자연 환경 및 자원에 대한 가치 평가의 수정을 요구하고 있다. 지속 가능한 성장을 위한 적절한 정책을 수립하는데 있어서 자연 생태계에 대한 올바른 가치 평가는 필수 조건이다.

자연 환경 및 자원이 우리의 경제에 기여하는 진정한 가치를 평가하기 위한 노력들 중의 하나인 에머지(Emergy, spelled with an "m") 분석은 한 가지 자원이 가지고 있는 가치는 이를 생산하기 위해 직접 및 간접적으로 필요한 에너지에 비례한다는 가정에 기반하고 있다(Odum, 1983 and 1996 및 여기에 인용된 문헌 참고). 에머지 분석은 그림 1에 나타낸 두 가지 요소, 즉 인간의 용역과 자연 생태계가 무료로 제공하는 유입 모두를 포함시키고자 하는 시도이다. 예를 들어, 우리가 숲으로부터 얻는 생산물의 진정한 가치는 이들을 생산하는데 투입된 인간의 노동력 뿐만 아니라 태양, 바람, 비 등 자연에 의한 일을 더한 것이다. 그러나, 모든 에너지들이 일

을 할 수 있는 능력이 동일하지 않기 때문에 에머지 분석에서는 이들 서로 다른 에너지를 더할 때 기준으로 삼은 한 가지 종류의 에너지로 먼저 환산한다.

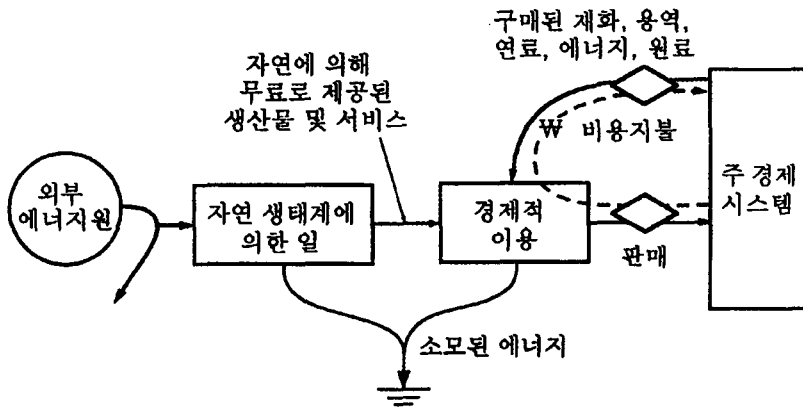


그림 1. 인간 경제에 의한 자연 환경의 이용. 실선은 에너지 및 물질의 흐름을 나타내고, 점선은 돈의 흐름을 나타낸다.

Odum(1997)은 염습지(salt marsh)가 경제에 기여하는 가치를 에머지 개념을 이용한 분석결과들과 경제학적인 분석 도구를 이용한 결과들을 비교하였다. 1 ha의 염습지가 1년에 경제에 기여하는 가치는 경제적인 방법을 이용한 분석에서는 \$90-270 범위에, 에머지 분석에서는 \$500-1560의 범위로 나타나, 자연이 무료로 제공한 일들까지 포함한 에머지 분석이 자연 생태계의 가치를 더 높게 평가하였다.

에머지는 주어진 시스템의 외부에서 시스템의 경계를 통해 유입되는 에너지들을 평가하기 때문에 분석하고자 하는 시스템을 둘러싸고 있는 더 큰 시스템의 성질을 반영한다 (Odum, 1996). 따라서, 에머지 분석은 분석 대상이 되는 시스템보다 시스템의 계층구조에서 한 단계 더 높은 시스템에 관한 지식이 없이는 완전하게 이루어질 수 없다.

3. 생태계 복원의 비용-편익 분석과 에머지

현재 우리가 당면하고 있는 자연 환경의 파괴는 그림 1에서 보듯이 자연 생태계의 일방적인 이용에 기인한다고 할 수 있다. 자연 생태계의 과도한 이용과 이들의 생산성을 유지하기 위한 노력, 즉 경제 시스템으로부터 환경으로의 역조절의 결여가 자연 생태계의 훼손을 초래하였다. 생태계 복원 사업은 자연 생태계가 경제 시스템에 제공하는 유용한 일들을 유지하기 위한 역조절에 해당한다고 할 수 있다. 이러한 개념이 그림 2에 나타나 있다. 그림 1에서와 달리 그림 2에는 주 경제 시스템으로부터 자연 생태계로 연결되는 경로가 추가되어 있다. 이 경로는 자연 생태계의 생산성을 유지하기 위한 모든 에너지 및 물질 투입을 표시한다. 따라서, 그림 2의 시스템은 그림 1에 나타난 시스템과의 경쟁에서 좀 더 장기적인 관점에서 우위에 설 수 있을 것이다.

에머지 분석은 생태계 복원 사업이 가져올 효과를 정량적으로 보여줌으로써 환경 정책의 기초 자료로 이용될 수 있다. 또한, 생태계가 자기조직화(self-organization) 과정을 통한 회복을

돕기 위해 경제 시스템으로부터의 투입되어야 할 적절한 재화 및 용역의 양을 결정하는데 이용될 수 있으며, 생태계 복원 사업의 성공을 평가할 수 있는 지표를 제공할 수 있을 것이다.

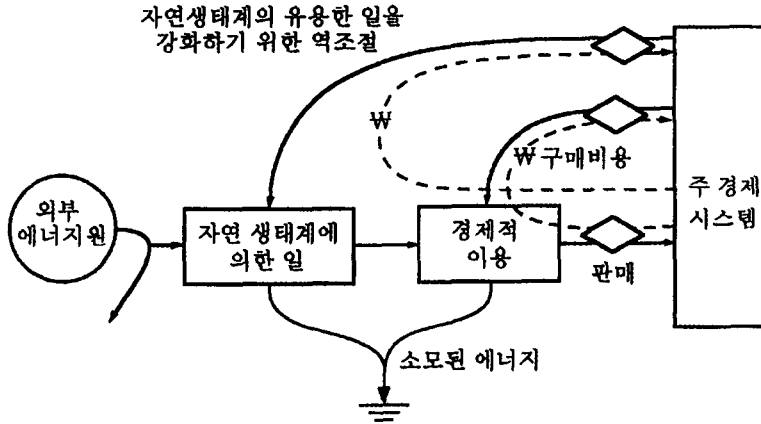


그림 2. 지속가능한 성장을 위한 자연환경의 경제적 이용. 그림 1의 모델과 달리 이 모델에는 자연 생태계의 유용한 일을 강화하기 위한 주 경제 시스템으로부터의 역조절이 포함되어 있다.

자연 생태계의 개발은 현재 우리가 누리고 있는 생활 수준을 유지하기 위해서는 필수적이다. 그러나, 지금까지 개발에 따른 비용-편익 평가는 주로 경제적인 측면에만 치우쳐 개발이 가져오게 될 생태계의 변화는 고려되지 않았으며, 설혹 비용-편익 평가에 포함되었다 하여도 정성적인 측면만이 다루어져 왔다. 에머지 분석은 시장경제의 가격 시스템에서 돈으로 쉽게 환산할 수 없는 자연 환경 및 자원들을 에너지의 관점에서 분석함으로써 개발에 따른 이익과 손실을 평가하는데 있어서 정량적인 도구를 제공한다. 제안된 개발에 대한 대안들을 기존의 시스템과 에머지 개념을 이용하여 비교, 평가함으로써 좀 더 환경친화적이고 지속가능한 성장을 보장하는 대안을 선택할 수 있을 것이다 (그림 3). 그림 3의 대안들 중에서 좀 더 많은 에머지를 산출하는 대안이, 그리고 환경에 대한 부하가 작은 대안이 선택될 것이다.

4. Pulsing 이론과 생태계 복원

지금까지 생태계 및 다른 시스템들의 발전에 관한 전형적인 생각은 정상 상태(steady state)의 개념에 바탕을 두어, 생태계나 경제 시스템이 성장하여 일정한 수준에 도달하는 것으로 인식되어 왔다. 자연 생태계의 관리 및 경제 정책의 방향은 이를 달성하기 위한 것이 주를 이루었다. 그러나, 생태계에 관한 최근의 많은 연구들은 외부 요인이나 내부 기작들에 의한 생태계의 계속된 변동이 좀 더 일반적인 현상임을 보여 주고 있다. 이러한 변동은 경제 성장이나 우리의 역사에서 관찰되는 사회 구조의 변화에서도 그 예를 찾아볼 수 있다.

이러한 시스템의 변동에 관한 이론 중의 하나인 pulsing 이론은 느린 생산을 통해 오랫동안 축적된 자원이 비교적 짧은 기간동안에 소비되는 현상이 반복하여 일어나는 것이 어떤 시스템에나 일반적이라고 주장한다. 그림 4는 정상 상태 개념과 pulsing 개념을 비교하고 있다. 산림의 화재, 화산의 폭발, 화석 연료에 기반한 인류문명의 성장 등을 pulsing 의 예로 들 수 있

다. Pulsing 이론은 시스템이 정상 상태에서 작동할 때보다는 pulsing을 통해 더 많은 에너지를 변환할 수 있기 때문에 우세하게 될 것이라고 주장한다.

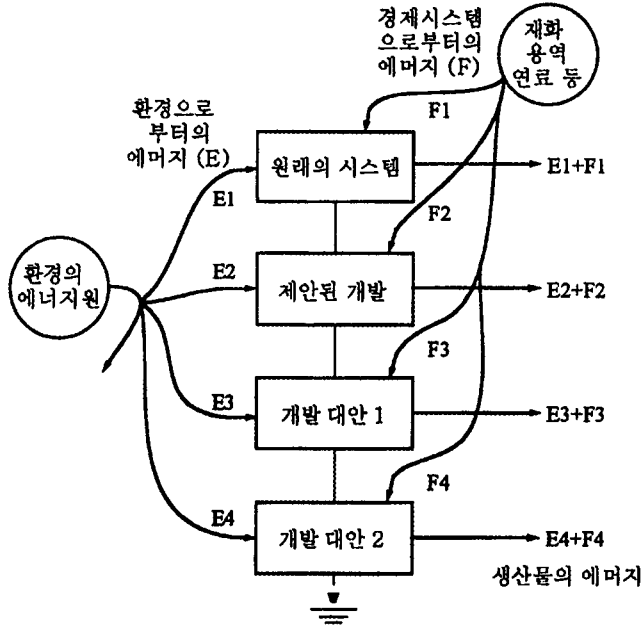


그림 3. 에너지 분석을 통한 개발 대안들의 비교

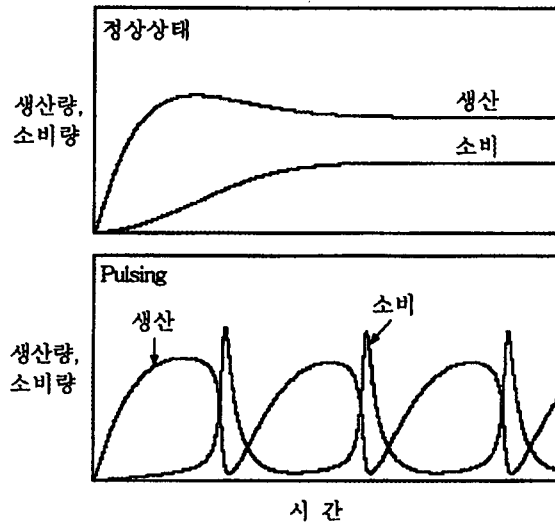


그림 4. 시스템의 발달에 관한 정상 상태 개념과 pulsing 개념의 비교 (Kang (1998) 으로부터 수정)

어떠한 시스템이나 시간 및 공간에서 더 작은 크기의 시스템들 및 더욱 더 큰 크기의 시스템들과 연결된 계층 구조(hierarchy)를 형성하고 있기 때문에 pulsing 현상 또한 계층 구조를 형성하고 있다. 따라서, 주어진 한 시스템에서 이보다 작은 규모의 시스템으로부터 유입되는 pulse 들은 잡음(noise)으로 나타나며, 시공간적인 규모가 더 큰 시스템으로부터 유입되는 pulse 들은 주어진 시스템에는 재난(catastrophe)으로 받아들여 질 수 있다. 매년 여름 우리 나라를 찾는 태풍이 국지적인 규모에서는 재난으로 인식되지만, 지구적인 규모에서 살펴보면 지구상의 에너지 분포에 아주 중요한 역할을 하는 주기적인 pulse 이다.

Pulsing 이론이나 생태계의 변동에 관한 다른 이론들이 생태계 복원 사업에 시사하는 바는 이러한 변동 주기의 한 부분에만 적합하게 계획된 복원 사업은 실패할 확률이 크다는 것이다. Lewin (1986) 은 생태계의 변동을 고려하지 않은 중 다양성의 보존 정책이 오히려 보존하고자 하였던 종다양성을 감소시킨다는 것을 보여주었다. 따라서, 생태계 복원을 위한 계획은 이러한 생태계의 시공간적인 동력학을 고려하여야 할 것이다.

5. 자연과 인간의 공존을 위한 디자인

우리가 현재의 생활 수준을 유지하고자 한다면 자연 환경 및 자원의 개발은 필수적이다. 그러나, 이것이 우리의 생존에 있어서 가장 기본적인 자연 생태계를 파괴하는 것이 되어서는 안되며, 또한 맹목적인 자연 생태계의 보존 또한 우리의 삶의 수준을 향상시킬 수 없음도 분명하다.

자연 생태계의 훼손 및 자원의 고갈은 우리로 하여금 자연 생태계와의 관계에 있어서 새로운 인식을 요구하고 있다. 인간에 의한 자연 생태계의 일방적 이용에서 벗어나, 인간들 또한 생태계의 외부에 존재해 이를 통제하는 요소가 아니라 자연 생태계의 일부로서 살아가고 있다는 인식에서 출발하여 자연 생태계와 인간 사회가 서로 공존할 수 있는 디자인이 필요한 시점이다. 이러한 점에서 생태계 복원이 가지는 의미는 중요하다고 할 수 있다.

또한, 지금까지 환경 문제의 해결에 있어서 개별적인 사안들을 별도로 접근하려는 환원주의적인 태도가 우세하였지만 그 결과는 만족스럽지 못하였다. 자연 생태계가 우리에게 가지는 가치는 생태계 그 자체에만 있는 것이 아니라 이들이 우리의 경제 활동과 연계되었을 때 구체화된다. 따라서, 자연 생태계의 보존 및 복원은 관심의 대상이 되는 생태계 뿐만 아니라 반드시 이들 생태계를 둘러싸고 있는 더 큰 시스템의 관점에서도 평가되어야 한다.

자연 생태계의 개발과 보존이 상충되는 경우에 예머지 분석과 같은 방법론을 이용하여 여러 가지 가능한 대안들을 비교, 분석하고, 이를 토대로 좀더 환경 친화적이고 경제에 기여하는 바가 큰 대안을 선택함으로써 우리 사회의 진정한 부의 증대 및 지속가능한 성장이 보장될 수 있을 것이다.

6. 참고 문헌

- Kang, D. 1998. Pulsing and Self-organization. Ph.D. Dissertation, Environmental Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville. 283 pp.
- Lewin, R. 1986. In ecology, change brings stability. Science, 234:1071-1073.
- Odum, H.T. 1983. Systems Ecology. Wiley, New York. 644 pp.
- Odum, H.T. 1996. Environmental Accounting: Emery and Decision Making. Wiley, New York. 370 pp.
- Odum, H.T. and D.A. Hornbeck. 1996. EMERGY evaluation of Florida salt marsh and its

contribution to economic health. In: C.L. Coultas and Y.-P. Hsieh (eds.), *Ecology and management of tidal marshes: a model from the Gulf of Mexico*. St. Lucie Press, Delray Beach, FL. pp. 209-230.