



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

Emergy 평가법을 이용한 개발계획의
타당성 분석 및 의사결정



생 태 공 학 과

강 서 희

공학석사 학위논문

Emergy 평가법을 이용한 개발계획의
타당성 분석 및 의사결정

지도교수 이 석 모

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함



2017년 8월

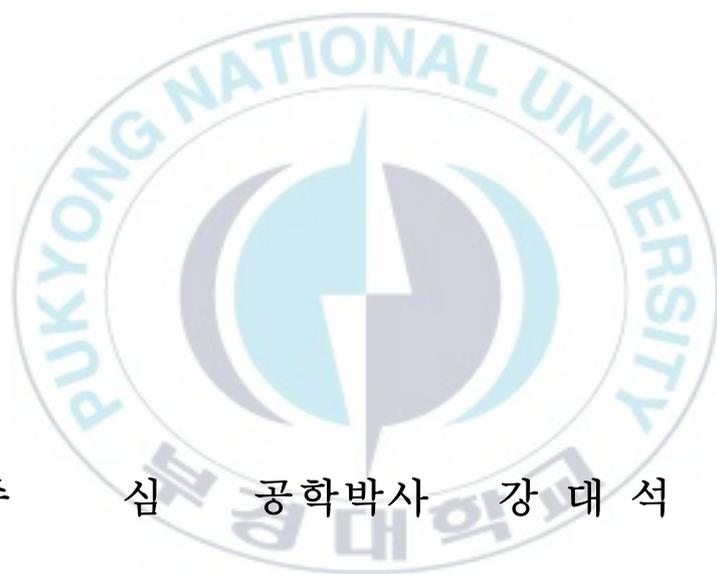
부경대학교 대학원

생 태 공 학 과

강 서 회

강서희의 공학석사 학위논문을 인준함

2017년 7월 21일



주 심 공학박사 강 대 석 ㉠

위 원 공학박사 김 동 명 ㉠

위 원 공학박사 이 석 모 ㉠

목 차

I. 서론	1
II. 연구 배경	3
1. 개발계획의 타당성 분석 및 의사결정	3
가. 환경영향평가	3
나. 경제적 측면에서의 개발계획의 타당성 분석 및 의사결정	9
다. Emergy 평가법을 이용한 개발계획의 타당성 분석 및 의사결정	10
2. Emergy 평가법	11
가. 에너지 시스템 언어	11
나. Emergy 개념	13
III. 연구방법	22
1. Emergy 지표 선정	23
2. Emergy 지표의 범위 설정	24
3. Emergy 지표를 이용한 타당성 분석 및 의사결정 순서도 작성	25
4. Emergy 지표를 이용한 타당성 분석 및 의사결정 방법의 적용	26
IV. 결과 및 고찰	27
1. 개발계획의 타당성 분석 및 의사결정을 위한 Emergy 지표	27
가. 총 산출량(Yield; Y)	27
나. Emergy 생산비(Emergy yield ratio; EYR)	27
다. 환경부하비(Environmental loading ratio; ELR)	28
라. Emergy 지속가능성(Emergy sustainability index; ESI)	28
2. 개발계획의 타당성 분석 및 의사결정을 위한 Emergy 지표의 범위	29
3. Emergy 지표를 이용한 타당성 분석 및 의사결정 순서도	30
4. Emergy 지표를 이용한 개발계획의 타당성 분석 및 의사결정의 적용 결과	33
가. 총 산출량 지표를 이용한 평가	34
나. 산업적 기준이 적용 가능한 개발계획에 대한 평가	38
다. 지역적 기준으로 분류되어야 하는 사업에 대한 평가	45

V. 결 론	50
참고문헌	53
Appendix	56

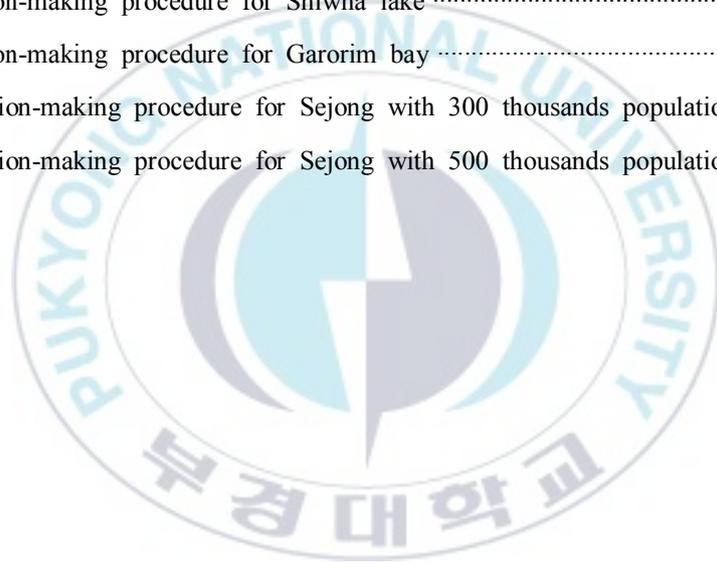


표 목차

Table 1. Comparison of SEA indices of France, Spain, Sweden and Germany	8
Table 2. Tabular format for emergy evaluation	16
Table 3. Tabular format for proving validity	26
Table 4. Emergy evaluation in original Saemangeum	34
Table 5. Emergy evaluation for overall developments in Saemangeum	35
Table 6. Emergy indices of overall developments in Saemangeum	35
Table 7. Emergy evaluation in original Shihwa lake	38
Table 8. Emergy evaluation of tidal power plant construction in Shihwa lake	38
Table 9. Emergy indices of tidal power plant construction in Shihwa lake	39
Table 10. Emergy evaluation in original Garorim bay	40
Table 11. Emergy evaluation for tidal power plant construction in the Garorim bay	41
Table 12. Emergy indices of tidal power plant construction in Garorim bay	41
Table 13. Emergy indices for Sejong city, Korea with 300 thousands population	45
Table 14. Emergy indices for Sejong city, Korea with 500 thousands population	47

그림목차

Fig. 1. Generalized EIA process flow-chart	5
Fig. 2. Symbols of energy systems language	12
Fig. 3. Emergy quality chain, used to calculate solar transformity	14
Fig. 4. Emergy based indices, accounting for local renewable emergy inputs(R), local nonrenewable inputs(N), and purchased inputs from outside the system(F)	18
Fig. 5. Research procedure	22
Fig. 6. Decision-making procedure	30
Fig. 7. Decision-making procedure for Saemangeum	35
Fig. 8. Decision-making procedure for Shiwha lake	39
Fig. 9. Decision-making procedure for Garorim bay	42
Fig. 10. Decision-making procedure for Sejong with 300 thousands population	46
Fig. 11. Decision-making procedure for Sejong with 500 thousands population	48



부록목차

Appendix 1. Footnote for Table 7	56
Appendix 2. Footnote for Table 11	56
Appendix 3. Footnote for Table 12	57
Appendix 4. Footnote for Table 14	58
Appendix 5. Footnote for Table 15	58



Emergy accounting of development proposals as a tool for validity assessment and decision-making

Seohee Kang

*Department of Ecological Engineering, Graduate School
Pukyong National University*

Abstract

Rapid economic growth has led an affluent life to human, despoiling the environment. Therefore, Environmentally Sound and Sustainable Development(ESSD) has been the key issue to preserve environment. Above all, methods and techniques for environmental decision-making based on verified validity through assessment in early stages of development has played significant role. However, when it comes to most of the existing methods, environmental values don't weigh as much as economic values. Then there are no choices but to conduct assessment inclined economic side or the best policy is establishing mitigation plan administering environmental disruption.

This study aimed to suggest a tool for validity assessment and decision-making on development proposals by Emergy concepts which can analysis the real wealth of economic and environmental values. Yield(Y), Emergy Yield Ratio(EYR), Environmental Loading Ratio(ELR) and Emergy Sustainability Index(ESI) are selected as a validity assessment indices derived by the result of Emergy accounting. Although having the result of improvement in all figures after development than before is the ideal conditions because of difficulty in reality, the range of each figures are being decided by region and industry.

The flow chart suggests how to assess validity and make a decision with Emergy by processing the result of this study. When it applied to the real case, this method revealed that the development of Saemangeum, Garorim bay and Sejong city with 500 thousands population were not appropriate and that the development of Shiwha lake and Sejong city

with 300 thousands population is deserved. These development proposals passed Environmental Impact Assessment(EIA) and this because EIA and other methods can not compare the real worth of economic cost and benefit with environmental loss led by the development. Also it approves that the result predicted by development would not exceed the standards which lay down at least to keep the situation. But this study evaluates both environment and economy equally, presenting these values as a same units. Therefore, when make definitive decisions, considering social and cultural conditions, this result will contribute to support a scientific basis.



I. 서론

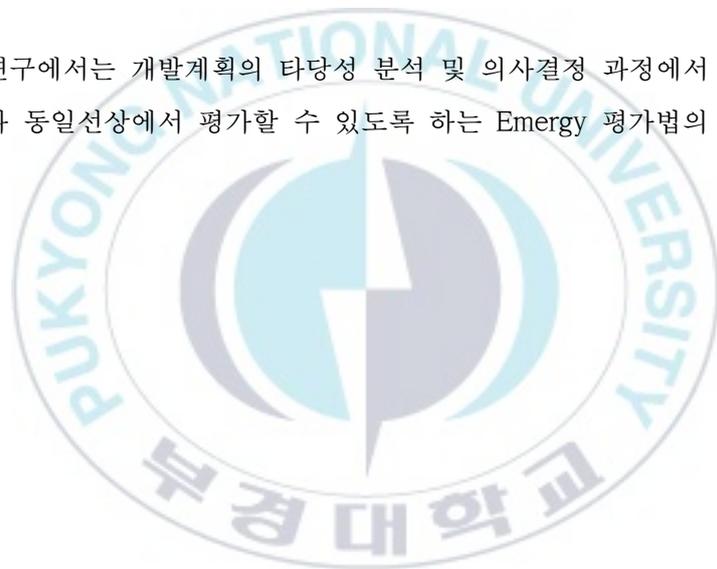
인간 사회의 발전은 모두 자연이 제공하는 자원을 바탕으로 이루어졌고 물질적 풍요에 대한 욕구는 지구상 모든 생물들의 터전을 위태롭게 만들었다. 인간뿐만 아니라 여러 생물들이 함께 공존하는 지구의 환경을 인간이 독점하는 것에 대한 문제가 제기되었고 현재 지구상의 인류뿐만 아니라 함께 살아가는 여러 생물 그리고 나아가서는 미래 세대의 삶의 터전이 될 지구를 보호하여야 한다는 인식이 확산되었다. 또한 자원은 무한하지 않은 유한한 자원이기 때문에 이를 효율적으로 이용하기 위해서는 인간의 개발행위가 타당인가에 대한 타당성 분석을 바탕으로 사업의 시행 여부에 관해 의사결정 해야한다.

개발계획에 대한 타당성 분석을 수행하는 기법이나 제도는 세계의 환경에 대한 관심 증가로 수많은 방법들이 연구되어 있다. 우리나라에서는 1997년 환경영향평가제도가 도입된 후 2012년 「환경영향평가법」의 제정으로 통합·시행된 환경영향평가가 대표적인 것으로 현재 환경정책의 주요 제도로 대부분의 개발계획은 사업의 시행 이전에 환경영향평가를 거쳐야 할 정도로 중요한 제도로서 안착되었다. 하지만 환경영향평가가 완료되었다고 하더라도 반드시 환경 친화적 계획이라고는 할 수 없고 현재의 환경영향평가는 전문검토위원의 판단이 큰 영향을 미치며 환경영향과는 별개로 사업의 정책적 성격이나 사회적 협의 과정을 통해 환경영향평가가 진행될 수 있다는 평가를 받기도 한다(유현석, 2010). 이러한 결과가 나타나는 것은 여러 평가 항목을 하나의 단위로 나타낼 수 없어 종합평가에서 전체론적인 결론을 내리지 못하는 것과 이를 대신해 저감방안은 제시하고 각 평가항목을 요약 나열하는 방법을 채택하기 때문이다. 현재의 방안은 세부적인 평가항목에 대한 관리와 평가가 가능하다는 장점이 있지만 그런 결과가 모여 전체 시스템 관점에서 어떠한 방향으로 나아가는지에 관한 평가가 어렵다는 문제가 있다.

환경영향평가제도 이외에도 비용편익분석이나 소비자의 지불의사를 반영하는 가치평가방법 역시도 개발계획의 타당성을 분석하고 의사결정하는 것에 사용되지만 이 방법들은 경제적인 측면에 치우쳐 환경적 가치보다는 경제학적 관점에 치우쳐 환경적 가치와 경제적 가치를 동일 선상에서 평가하지 못한다는 지적을 받을 수 있다.

한편, 환경적 가치와 경제적 가치를 하나의 기준으로 계량화하기 위한 여러 노력 중 하나인 Emergy는 “한 가지의 서비스나 생산물을 만드는 과정에서 직접 및 간접적으로 이미 소모된 한 종류의 이용 가능한 에너지” (Odum, 1996)라 정의 할 수 있고 여러 환경적 평가 항목들을 하나의 기준으로 나타내고자 기존에 이용했던 등급이나 점수 표기법이나 전문가의 상세기술 방법, 혹은 소비자 지불의사 가치평가법과 같은 방법과는 달리 생물리학적 토대로 환경의 절대적인 가치를 경제적 가치로 나타낼 수 있는 방법이다. 또한 Emergy 평가법에서 파생되는 다양한 Emergy 지표들은 시스템 관점에서 평가한 결과를 직관적으로 나타내어 보다 쉽게 시스템의 변화를 파악하도록 할 수 있어 개발 전의 시스템과 개발 계획으로 변화할 환경 변화를 예측할 수 있어 개발계획의 타당성을 분석하고 의사결정 하는 방법에 이용 될 수 있을 것이라 기대된다.

따라서 본 연구에서는 개발계획의 타당성 분석 및 의사결정 과정에서 환경의 가치를 경제적 가치와 동일선상에서 평가할 수 있도록 하는 Emergy 평가법의 적용방안을 제시하였다.



II. 연구 배경

1. 개발계획의 타당성 분석 및 의사결정

자원과 지구의 자연 환경은 유한한 것인데 이를 기반으로 하는 인간의 개발 계획은 지구의 수용력을 초과하여 진행되고 있기 때문에 우리 세대에 주어진 과제는 현재의 상태에서 자원과 지구 환경을 효율적으로 이용하여 지속가능한 발전이 가능하도록 노력하는 것이라 할 수 있다. 그렇기 때문에 인간의 개발 계획을 진행할 때에 그 사업이 타당한가를 분석하고 이를 토대로 의사결정 하는 것이 필요하다.

가. 환경영향평가

세계의 산업화는 심각한 환경오염을 발생시켰고 인간의 건강이나 생활의 질까지도 위협하자 환경오염을 해결하고자하는 시도들이 진행되었다. 하지만 오염된 자연환경을 복원시키는 것에는 많은 시간과 투자가 필요하고 또 막대한 노력에도 불구하고 본래의 자연으로 되돌리는 것은 거의 불가능하기 때문에 이에 따라 환경에 대한 사전고려가 필요하다는 인식이 세계적으로 널리 퍼지게 되었다. 또한 환경오염의 발생은 오염 발생 지역만의 문제가 아니고 환경 문제에 관한 국제적인 협의가 필요했기 때문에 국제무대에서 환경에 대한 공통의 인식과 원칙을 세울 필요성이 대두되었다. 이런 배경으로 마침내 유엔은 1972년 ‘오직 하나뿐인 지구(Only One Earth)’를 슬로건으로 인간환경의 보전과 개선에 대해 관심을 촉구하는 스톡홀름 선언을 하게 되었다. 또한 1992년에는 리우환경선언을 통해 환경과 인간의 개발을 대립 관계에 둘 것이 아니라 인간의 개발 역시 환경보전의 범위에 포함시켜 환경적으로 건전하고 지속가능한 발전(Environmentally Sound and Sustainable Development; ESSD)을 계속해서 논의해야하며 이를 위해 환경에 영향을 미치는 인간의 개발 활동에 의사결정을 지원하기 위해 환경영향평가가 그 역할을 다 하여야 한다고 Agenda 21에서 밝히고 있다(UNCED, 1992).

이러한 세계적 흐름에 따라 인간의 개발 활동에 대한 환경영향을 미리 조사하고 예측, 평가해 환경오염을 줄이기 위한 제도로 환경영향평가가 도입되기 시작하였고 선두주자로 1970년대에 미국이 환경영향평가제도를 국가적 제도로 도입 한 후 현재 100여개가 넘는 국가에서 환경영향평가제도가 도입·시행되고 있다. 최근에는 상위 단계인 정책·계획과정에서부터 환경영향을 평가하기 위한 전략환경영향평가(Strategic Environmental Assessment; SEA)나 대규모 개발 계획이 사회에 미치게 될 영향을 예측·평가하는 사회영향평가(Social Impact Assessment; SIA), 기존 사업의 새로운 계획에 관련한 평가를 하는 누적영향평가(Cumulative Impact Assessment; CIA) 등 여러 형태의 환경영향을 평가하기 위한 기법이나 제도가 각 나라의 실정에 맞게 변형·발전되어 도입되고 있다.

국내에서는 1977년 환경영향평가가 도입되어 2012년 「환경영향평가법」의 제정으로 환경 정책의 주요 제도 중 하나로 실시되고 있고 우리나라의 「환경영향평가법」에 따르면 환경영향평가란 “환경에 영향을 미치는 실시계획·시행계획 등의 허가·인가·승인·면허 또는 결정 등을 할 때에 해당 사업이 환경에 미치는 영향을 미리 조사·예측·평가하여 해로운 환경영향을 피하거나 제거 또는 감소시킬 수 있는 방안을 마련하는 것을 말한다.” 라고 정의되어 있다. 우리나라 환경영향평가의 절차는 다음 Fig. 1과 같다.

먼저 법의 절차에 따라 해당 사업이 환경영향평가의 대상이 되는 사업인지에 대해 판단하고 환경영향평가가 필요하다 판단된 사업은 그 사업에 대한 평가항목을 선정하게 된다. 이후 사업이 진행되는 곳의 현황을 조사한 후 사업이 진행 후의 결과를 예측하고 평가하여 대안평가, 종합평가의 순서를 거쳐 완료되게 된다. 여기서 평가항목들은 매트릭스법, 네트워크법, 지도중첩법 등 여러 방법 중 하나를 채택하여 선정되고 법률상에 정해진 생태계, 대기질, 수질, 소음, 경관 등의 평가 인자에 대한 예측과 평가는 각기 다른 특별한 기법을 이용하여 결과를 제시되는데 그 결과를 종합적으로 평가하여 의사결정을 하는 것이 바로 환경영향평가이다.

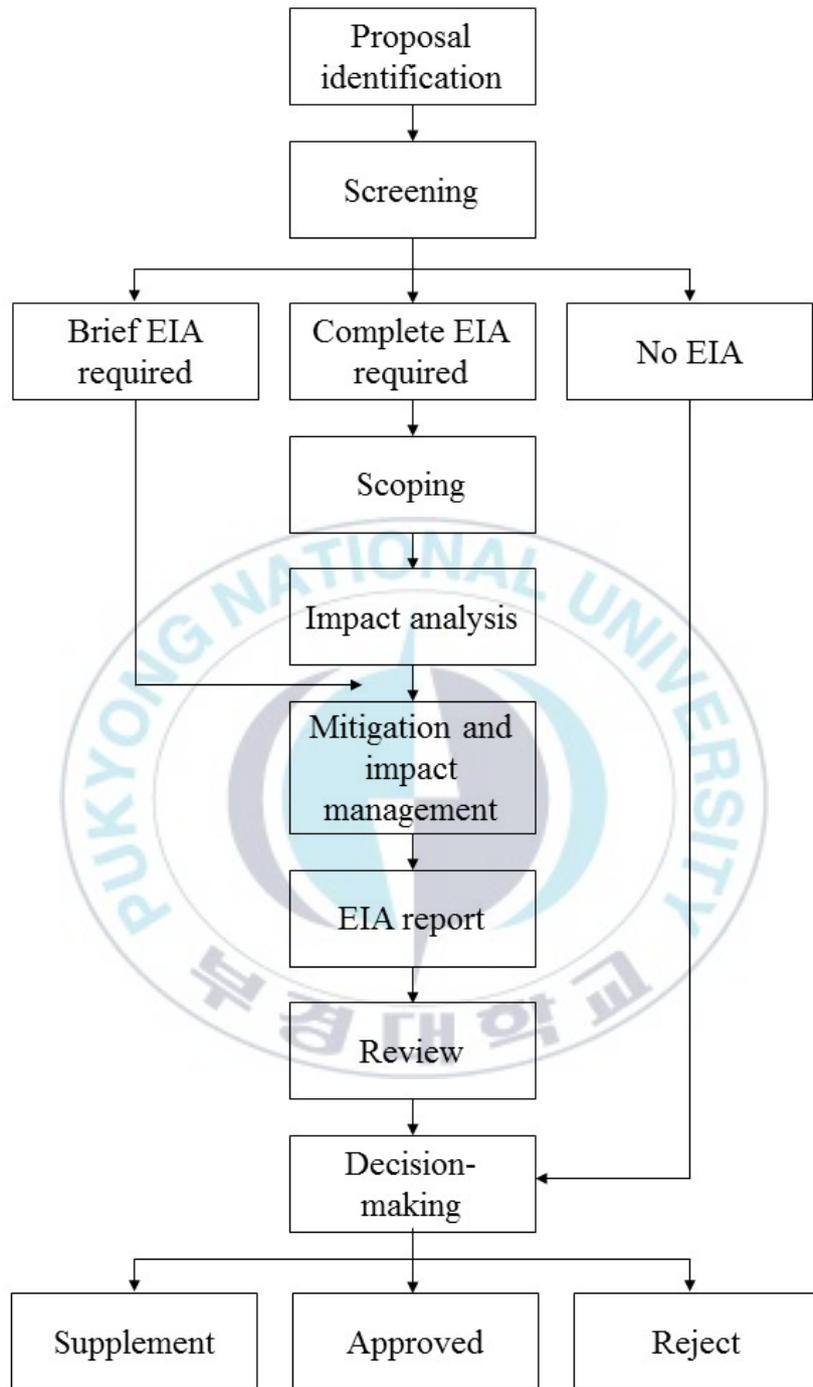


Fig. 1. Generalized EIA process flow-chart(Han, 1998).

이처럼 개발 계획에 대한 타당성을 분석하고 의사결정을 하는 방법 중 가장 대표적인 것이 바로 환경영향평가제도라 할 수 있다. 국내의 환경영향평가제도는 2007년 법안을 개정을 통해 전략환경영향평가, 환경영향평가, 소규모환경영향평가로 나뉘고 법률상의 정의에 따라 전략환경영향평가는 상위계획 수립 시에 해당 계획의 적정성 및 입지의 타당성 검토를 하는 사전 의사결정 도구로 환경영향평가는 해당 사업의 허가 등의 상황에서 환경영향을 저감하는 방안을 제시하는 제도로서 그리고 소규모 환경영향평가는 환경 보전 등이 필요한 사업에 대한 환경보전방안을 마련하는 제도로서 세분화되어 발전해왔다.

이 모든 환경영향평가 제도들은 기본적인 절차는 거의 유사하고 단지 환경영향평가가 시행되는 시기나 대상이 되는 사업의 성격에서의 차이에 따라 이를 분류했다고 할 수 있다. 여기서 주목해야할 공통적인 절차 중 하나는 개발 계획이 미치게 될 환경적 영향을 평가하기 위해 세분화하여 채택한 환경 평가 항목의 결과를 최종적으로 종합·분석하여 결론을 내리는 종합평가 단계이다. 왜냐하면 개발 계획이 미치는 환경적 영향은 다양한 단위와 기준으로 측정되고 나타나는데, 이를 종합적으로 평가하기 위한 방법이 필요하기 때문이다. 현재 대부분의 환경영향평가의 최종 종합평가 단계에서는 환경적 영향을 나열하고 저감방안을 제시하고 이를 요약해 결과를 나타내는 방법을 채택하는 것이 일반적이다.

예를 들어 시화호 조력발전사업에 관한 환경영향평가서를 살펴보면 해당 개발 계획의 시행으로 기대되는 바와 개발 계획으로 인해 발생할 환경적 변화에 대처할 저감방안 수립의 필요성을 제시한 후 각 환경영향에 관한 개별적인 저감방안의 나열로 해당 사업에 관한 종합평가를 하고 있다(한국수자원공사, 2004).

여러 환경적 영향을 제시하고 이에 관한 저감방안을 수립하는 것은 환경적으로 봤을 때 원래의 계획보다는 환경성을 좀 더 고려한 것이라 할 수는 있으나 저감방안의 수립이 반드시 그 사업의 타당성을 적절하게 판단하고 모든 환경 영향을 전체적으로 고려하였는가에 대해서는 부족하다고 할 수 있다.

대표적인 예로 새만금 간척개발계획이 있다. 한국 농어촌 공사에서 1989년 실시한 새만금 간척 종합개발 계획에 관한 환경영향평가서를 살펴보면 각 환경 평가 항목을 나열하고 저감방안을 제시하는 평가 방법을 채택하고 환경 보전 상에 문제가 되는 악

영향이 예측되거나 저감방안과 사후환경관리로 이를 최소화 할 수 있으며 새만금 사업으로 얻게 되는 경제적 가치를 나타내는 내부 투자 수익률(IRR)이 높기 때문에 본 사업의 진행이 적극 추진되어야 한다는 결론을 내리고 있다(한국농어촌공사, 1989). 즉 환경영향평가에 의한 결과는 새만금 간척개발계획의 승인을 허가 한 것이다. 하지만 이 결과는 수많은 환경단체의 반발을 얻게 되었고 여러 학자들과 환경단체들은 새만금 간척사업으로 사라질 갯벌에 관한 가치에 대한 재평가가 이루어져야 한다는 주장을 하였다. 이에 따라 2000년 이루어진 새만금사업에 대한 환경영향공동조사에서는 CVM법을 통한 경제적 가치평가 방법으로 갯벌의 가치를 화폐가치로 환산한다면 1989년 수립한 계획은 경제적 타당성이 없다는 결론을 밝혀, 새만금 개발 계획은 현재까지 여러 차례의 사업 계획 수정을 겪고 있다(새만금사업환경영향공동조사단, 2000).

새만금 사례에서 살펴보면 저감방안 수립만으로 그 사업의 타당성이 갖추어 졌다고 판단하는 것은 환경영향평가의 의사결정에 문제를 발생시킬 수 있다. 이런 결과가 나타나는 것은 사업이 실시될 곳의 환경 현황을 조사하고 사업의 시행으로 인한 변화가 예측이 되더라도 어느 정도의 환경영향이 있을 때 그 사업의 승인을 거절할지에 관한 절대적인 기준이 부재하기 때문으로 볼 수 있다. 명확한 기준의 부재로 환경영향평가서들은 법률상에서 지정하는 규제 범위에 저촉되지 않을 범위에만 있다면 그 사업이 타당하다는 결론을 내리게 되는 것이고 이는 결국 저감방안 수립만 가능하다면 그 사업의 승인이 무리 없이 진행되는 것이다. 하지만 사업으로 인한 변화로 환경적 상황들이 법률의 규제 범위를 벗어나지 않더라도 그 사업으로 인해 기존의 생태계에 많은 환경적 손실이 발생한다면 그 사업이 타당한가에 관한 의문점이 남는다. 그렇기 때문에 저감방안의 수립만으로 그 사업의 타당성을 갖추었다 하기에는 부족함이 있다.

이를 보완하기 위해 현재 개발되고 이용되는 방법으로는 항목별 지표에 관한 등급이나 점수를 부과하여 전체 점수를 합산하는 방식이나 항목별 전문가의 상세기술로서 전체적인 사업의 이해와 타당성 분석을 하는 방법 등이 있다. Table 1은 실제 국외 전략환경영향평가에서 여러 평가 항목들을 종합하여 평가하기 위한 방법들과 그 방법의 특징을 나타내는 표이다. 점수부여나 상세기술의 기법은 전략환경영향평가 뿐만 아니라 다른 환경영향평가에서도 정량화를 위해 도입되는 방법들로 이처럼 환경영향을 평가하고자 하는 시도들이 활발히 이루어지고 있다.

Table 1. Comparison of SEA indices of France, Spain, Sweden and Germany(Kwon et al., 2014)

Country	Type of index	Method of drawing list	Feature
France	Itemized index	Grade or score	Make an assessment table on the basis of assessment contents
Spain	Itemized index	Describe individual item in detail	Divide by deficit indicators and planned indicators
Sweden	Step check table	Describe about check list	Collect opinion of various area
Germany	Itemized index	Write existence or non-existence	Consider about target area and surrounding environment

하지만 등급이나 점수의 표기로 전체점수를 합산하는 방식은 점수 부여자에 따라 점수를 부여하는 정도가 달라질 수 있고 평가 항목에 관한 뚜렷한 기준을 세우기가 어렵다는 문제가 있다. 반면 항목에 대한 상세기술을 하는 것은 작성자의 의견을 명확히 반영할 수는 있으나 다른 항목과의 비교가 어렵다는 문제가 있다(권영한 외, 2014). 이처럼 개발 계획에 관한 타당성을 분석하고 의사결정을 하기 위한 제도인 환경영향평가에서는 저감방안을 수립하거나 점수, 전문가의 상세 기술 등의 기법으로 최종적인 개발 계획에 대한 타당성 평가를 수행하고 있다. 하지만 저감방안을 수립하는 것이 반드시 환경적으로 건전한 사업이라 할 수 없고 전체적인 관점에서 여러 항목을 동일 선상에서 평가하는 것이 어렵다. 그러나 이를 위한 대안으로 제시되는 항목별 점수 부여나 전문가의 상세 기술 역시도 문제가 제기되는 상황이다.

나. 경제적 측면에서의 개발계획의 타당성 분석 및 의사결정

개발 계획에 대한 타당성을 분석하고 의사결정하는 방법으로는 경제적 측면에서 개발 계획에 필요한 비용과 개발 계획으로 얻게 될 편익을 비교하는 방법이나 소비자 선호이론에 근거하여 가상적인 상황에서 평가대상의 가치를 소비자에게 직접 물어 조사하는 소비자의 지불의사를 이용한 가치 평가 등의 여러 방법이 개발되어 있다.

개발 계획에 필요한 비용과 개발 계획으로 얻게 될 편익을 비교하는 방법은 비용-편익 분석법이라 할 수 있는데, 개발 계획의 경우 경제 논리에 따라 투자한 비용보다 더 많은 이익을 얻을 수 있는 사업만을 수행한다는 것이기 때문에 꽤 합리적인 의사결정 방법으로 평가받는다. 하지만 여기서 개발 계획으로 얻게 될 편익에서 우리가 개발 계획으로 잃게 될 환경적 손실을 경제적 수치로 나타내는 것에 대한 어려움이 있다.

반면 소비자의 지불의사를 이용한 가치 평가법의 경우 환경의 가치를 경제적으로 나타내기 위해 고안된 방법으로 앞서 비용-편익 분석에서 나타내지 못했던 환경적 손실을 소비자의 지불의사를 이용한 가치 평가방법으로 얻게 된 환경적 가치로 추론 가능하다. 하지만 환경의 절대적인 가치에 대한 평가라기보다는 소비자의 인식에 따라 가치가 매겨지는 방법이기 때문에 환경에 관한 상대적인 가치 평가이다. 또한 평가 대상에 대하여 소비자가 익숙하지 않다면 평가 대상의 가치를 평가할 때에 신뢰성이 떨어질 수 있다는 문제점이 있다(김태운, 1998).

이렇듯 기존의 경제적 관점의 평가는 개발계획 대상지의 생태적 조건, 에너지 흐름, 물질 순환과 같이 화폐단위로 환산 할 수 없는 항목들은 포함하지 못하고 단지 경제적 이익이나 조건부적인 환경적 가치 평가를 수행한다고 볼 수 있다.

다. Emergy 평가법을 이용한 개발계획의 타당성 분석 및 의사결정

Emergy 평가법은 앞서 소비자의 지불의사에 근거해 환경의 가치를 평가하던 경제적 평가법과는 달리 생산자의 관점에서 대상 생태계의 가치를 판단하기 때문에 개발계획 대상지의 환경적 조건을 고려한 가치평가 방법이라 할 수 있다. 즉, energy memory라는 의미처럼 하나의 개발계획으로 인해 얻게 될 수익에 필요한 모든 요소들의 합으로 그 수익의 가치를 매기는 생물리학적 방법으로 기존의 방법과는 다른 관점의 평가방법이라 할 수 있다. 따라서 개발계획에서 경제적 요인과 환경적 요인을 동일 선상에서 평가할 수 있다는 장점이 있고 전체론적 관점에서 개발 계획의 타당성을 평가할 수 있는 관점을 획득할 수 있다.

한편, Emergy 평가법으로 생태·경제학적 관점에서 환경적 요소와 경제적 요소를 평가해 실질적인 가치를 비교·평가하는 방법에 대한 많은 기존 연구들이 있다. 국외에서는 Brown과 Odum등이 Emergy를 이용하여 국가, 지역, 도시, 하천, 자연환경 등의 여러 대상 시스템에 대한 가치 평가를 실시하였고 발전소와 같은 에너지 사업에 관해서는 Emergy 지표를 통해 발전소 설치 입지의 적합성과 환경적 지속가능성에 대한 평가법에 대한 연구를 진행하였다(Brown and McClanahan, 1996; Odum et al., 1987; Brown and Brown and Ulgiati, 2002). 국내의 경우에도 환경회계에 의한 공유수면매립 사업의 사전환경성검토방법 개발과 적용(김우석, 2002), 에머지 개념을 이용한 산지가치의 계량화에 관한 연구(김남국 외, 2008), 시스템 생태학적 접근법에 의한 서낙동강 유역의 지속성 평가(김진이 외, 2010), 에머지 분석방법에 의한 세종시 환경용량의 지속성 평가 연구(임비호, 2013), 에머지 개념을 이용한 국토환경용량 산정 및 지속성 평가에 관한 연구(김남국 외, 2016) 등 Emergy를 통해 도출할 수 있는 지표들로 환경적 요소와 경제적 요소의 가치를 분석하여 환경적으로 건전하며 지속가능한 발전을 위한 정책 제언이 이루어지고 있다. 이런 선행연구들은 Emergy 평가법으로 경제적 가치와 환경적 가치를 동일한 기준으로 평가할 수 있는 방법을 제시해 줄 뿐만 아니라 Emergy지표들을 이용하여 지속가능한 발전인가에 관한 평가까지도 할 수 있는 방법을 제시해 줄 수 있다는 가능성을 보여주고 있다.

2. Emergy 평가법

가. 에너지 시스템 언어

Odum(1996)이 제안한 에너지 시스템 언어는 시스템을 구성하고 있는 다양한 요소들과 그 요소들의 관계를 기호를 통해 설명하는 것으로 복잡한 시스템을 한 눈에 파악할 수 있도록 해준다. Fig. 3과 같이 에너지 흐름, 에너지원, 저장고, 열손실, 상호작용, 생산자, 소비자, 거래, 스위치작용, 상자 부호 등의 시스템 언어가 있다. 이 기호를 통해 시스템 내부의 에너지 흐름이나 상태를 적절히 표현할 수 있고, 또한 이 기호들은 수학적 관계를 내포하고 있기 때문에 에너지 모델링을 통해 그 변화를 예측하는데 사용할 수 있다.



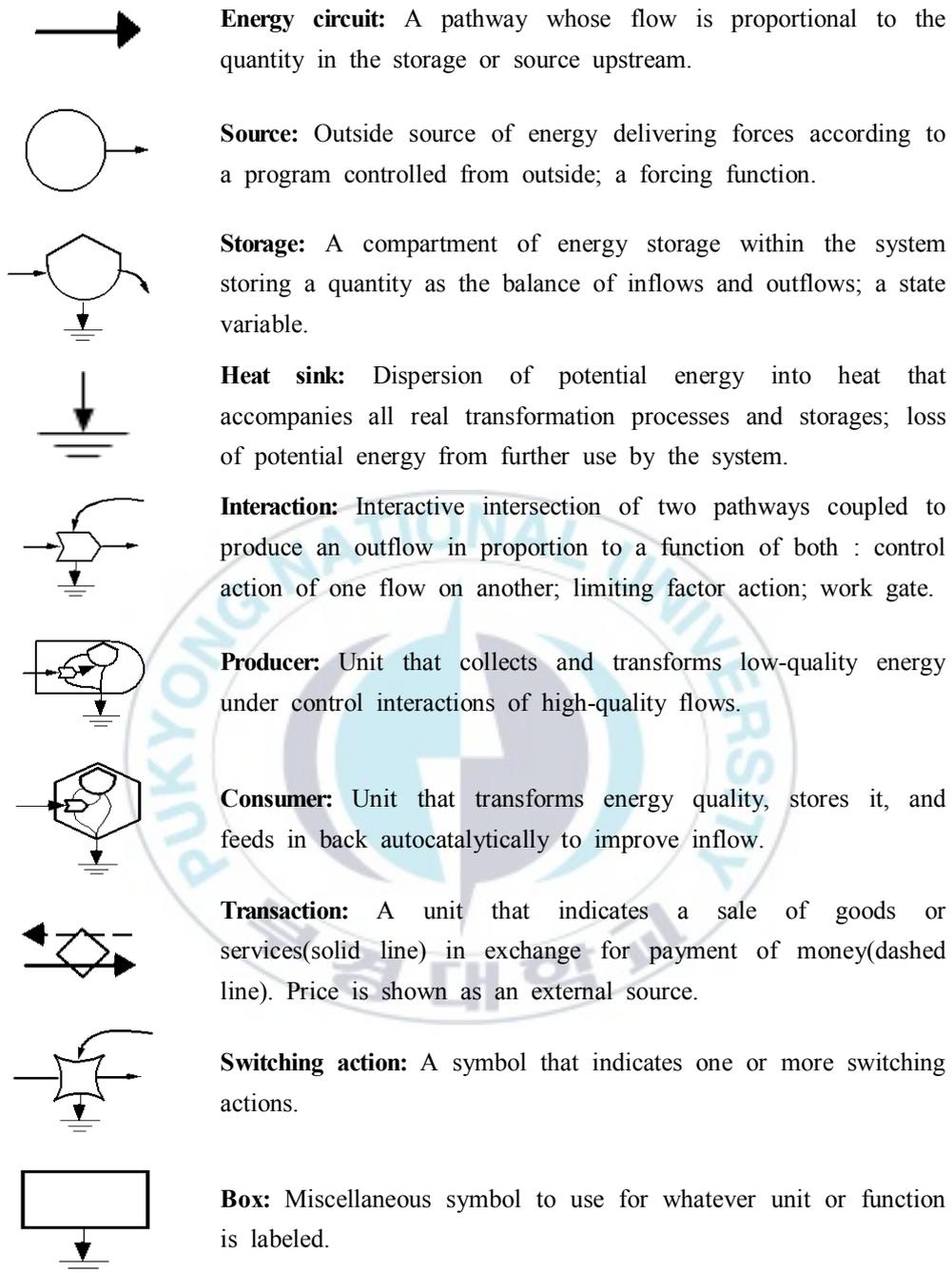


Fig. 2. Symbols of energy systems language(Odum, 1983).

나. Emergy 개념

1) Emergy의 정의

Emergy는 “한 가지 서비스나 생산물을 만드는 과정에서 직접 그리고 간접으로 이미 소모된 한 종류의 이용 가능한 에너지”로 정의되고 있으며, 물리적 에너지량에 대한 척도와는 다르다. 단위 역시 물리량의 joule이 아닌 emjoule을 사용한다(Odum, 1983, 1994, 1996).

지구의 모든 순환과정은 각각의 에너지원이 다량의 저급 에너지에서 소량의 고급 에너지로 전환되는 계층구조를 가지고 있다(Odum, 1996). 또한 생태계 내의 에너지 흐름 역시 에너지의 변화, 되먹임 작용, 상호작용, 재순환 등으로 이루어진 연결망 구조에서 에너지 변환을 수렴하는 계층구조를 형성하고 있다. 그러므로 물리학적으로 같은 크기인 1J로 나타낸다고 하더라도 에너지의 질, 즉 실질적으로 일을 할 수 있는 능력에는 차이가 있다. 현재 Emergy개념에서는 지구 생산 활동의 원동력인 태양에너지를 기준으로 나타내는 것이 일반적이므로 각기 서로 다른 형태의 서비스나 생산물이 만들어지기까지 직간접적으로 이미 소모된 태양 에너지를 Solar Emergy라고 정의하고 단위는 solar emjoule(sej)을 이용한다. 태양에너지라는 특정 에너지를 기준으로 나타내는 이유는 에너지마다 일을 할 수 있는 능력이 서로 다르기 때문이다.

예를 들어 Fig. 5를 살펴보면 태양으로부터 유입되는 160,000J의 태양에너지는 8J만큼 나무가 자라나게 하고 이 나무가 오랜 지질학적 순환에 의해 4J의 에너지를 가진 석탄이 된다. 그리고 이 4J만큼의 석탄을 이용한 발전소는 1J의 전기에너지로 전환되어 우리가 사용할 수 있게 된다. 따라서 우리가 사용하는 전기 에너지를 단지 1J로 나타내는 것이 아니라 전기가 만들어지기 위해 태양에서 나무, 나무에서 지질학적 작용을 받아 석탄으로 그리고 석탄이 발전소를 거쳐 최종적으로 전기에너지가 될 때 까지 각 단계별로 사라진 모든 에너지를 포함하는 것이 1J의 전기 에너지가 가지는 가치라 할 수 있다. 이 개념이 바로 Energy memory 즉 Emergy이다.

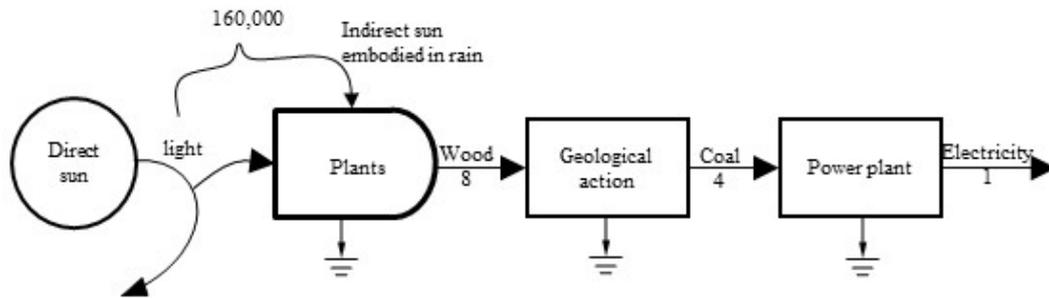


Fig. 3. Energy quality chain, used to calculate solar transformity(Odum, 1988).

2) Unit energy value(UEV)

지구상의 모든 물질은 환경의 기여를 통해 만들어지고, 이런 가운데 Emergy의 개념은 한 가지 에너지의 종류마다 일을 할 수 있는 능력이 다르기 때문에 한 물질이 생성되는데 필요한 모든 환경적 가치를 환산하여 그 물질의 실질적인 가치를 알고자 하는 시도이다(Odum, 1996). 그러므로 앞서 살펴본 듯이 Emergy 평가에서는 ‘한 종류의 이용 가능한 에너지’ 중 하나인 태양에너지를 기준으로 다른 에너지를 환산하는 과정이 필요하게 된다.

Emergy 개념에서 서로 다른 종류의 에너지의 가치를 하나의 에너지로 나타내기 위해 사용 하는 것은 단위 에너지 당 emergy량으로 환산해주는 unit energy value(UEV)이다. UEV는 어떤 물질에 내재되어 있는 에너지양의 척도로 그 물질 1J이 만들어지는데 직·간접적으로 투입된 모든 에너지의 합계라 정의 되며 UEV를 구하기 위해 사용한 자료에 따라 에너지변환도(Transformity, emjoules/J), Specific emergy(emjoules/g), 에머지화폐비율(emergy-money ratio, emjoules/\$) 등으로 불린다. 태양에너지가 주로 에머지 방법론의 기준이 되는 에너지 이므로 solar transformity(태양에너지변환도)라고도 부르며 단위는 sej/J를 이용한다.

UEV는 에너지 계층구조가 진행될수록 점차 증가하며, 에너지 계층 구조 내에서 에너지의 흐름이나 보유량에 대한 척도로 이용되기도 한다(Odum, 1988).

3) Emergy 분석법

Emergy 분석법은 에너지 시스템 다이어그램을 작성, emergy 분석표 작성, emergy 지표 계산의 순서로 이루어진다.

가) 에너지 시스템 다이어그램 작성

앞서 제시한 에너지 시스템 언어를 이용하여 전체 시스템의 구성요소와 상호작용 등을 한 눈에 파악하기 위해 시스템 다이어그램을 작성한다.

다이어그램 작성은 총 5단계로 1단계에서는 분석하고자 하는 시스템의 경계를 설정해야 한다. 연구의 목적, 분석의 목적에 따라 시스템의 시간적, 공간적 경계를 명확히 설정하는 것이 중요하다. 2단계에서는 시스템 외부에서 시스템에 영향을 미치는 요소들을 파악하는 것이다. 태양에너지, 바람과 같은 에너지원이 될 수도 있고, 해당 시스템으로 유입되는 재화나 용역 역시 이 단계에서 고려해야 하는 요소이다. 3단계에서는 시스템 내부의 구성요소들을 파악하는 것이다. 4단계에서는 외부 요소와 내부요소의 상호관계를 파악해야 한다. 이 단계에서는 생산, 소비, 재순환과 같은 과정이나 화폐의 교환 등이 포함된다. 마지막 5단계에서는 외부 요소를 에너지 변환도 순으로 원편에서 오른쪽으로 차례차례 배열하고, 내부 요소와의 상호관계를 고려하여 각 요소들을 연결하여 다이어그램을 완성한다(Odum, 1996; 강대석·남정호, 2003).

나) Emergy 분석표 작성

Emergy 분석을 위한 두 번째 순서는 앞서 작성한 에너지 시스템 다이어그램을 바탕으로 emergy 분석표를 작성하는 것이다. 이 분석표를 통해 시스템의 외부 에너지원의 역할과 가치, 내부 저장고의 가치 등을 평가할 수 있게 된다.

Table 2. Tabular format for energy evaluation

No.	Item	Raw Data (J, g, or \$)	UEV (sej/unit)	Solar energy (sej/yr)	Emvalue (em₩/yr)
(one line here for each source, process, or storage of interest.)					

분석표의 첫 번째 열에는 각 항목의 energy 계산과정을 나타낼 때에 용이하게 하기 위해 주석번호를 부여한다.

두 번째 열에는 시스템의 자연환경과 경제활동을 위해 필요한 주요 에너지원과 내부 구성요소들의 목록을 기입한다. 각 에너지원들의 항목에 따라 태양, 바람, 비, 파도, 조석, 지열 등과 같은 재생 가능한 자원, 석탄, 목재, 지하수 등 재생 불가능한 자원, 식물, 어류, 조류, 저서생물 등 내부 구성요소, 그리고 각종 교역과 교환으로 유입되는 외부 구입 자원 등으로 분류를 나누어 기입할 수 있다.

세 번째 열에는 각 항목의 실제 값이나 측정 자료를 통해 계산된 값을 기입한다. 여기서 단위는 태양, 바람, 비 등과 같은 항목은 단위 시간 당 에너지, 교역이나 교환을 통한 재화와 용역은 단위 시간 당 화폐의 양을 쓴다. 시간 단위는 평가하고자 하는 시스템의 시간적 경계에 따라 결정된다. 그러므로 일반적으로 연간 에너지(J/yr), 연간 물질(g/yr), 연간 화폐(\$/yr 또는 ₩/yr)의 단위가 사용된다.

네 번째 열에는 각 항목의 태양에너지 변환도를 기입한다. 각 항목의 태양에너지 변환도는 직접 계산하거나 기존 연구에서 계산한 값을 이용할 수도 있다.

다섯 번째 열에는 세 번째 열과 네 번째 열의 값을 곱하여 평가 대상 시스템에서 존재하는 해당 항목의 태양energy 값을 기입한다.

마지막 열에서는 계산된 태양 energy 값을 평가 대상의 시스템의 상위 시스템의 energy-money ratio로 나눈 값을 기입한다.

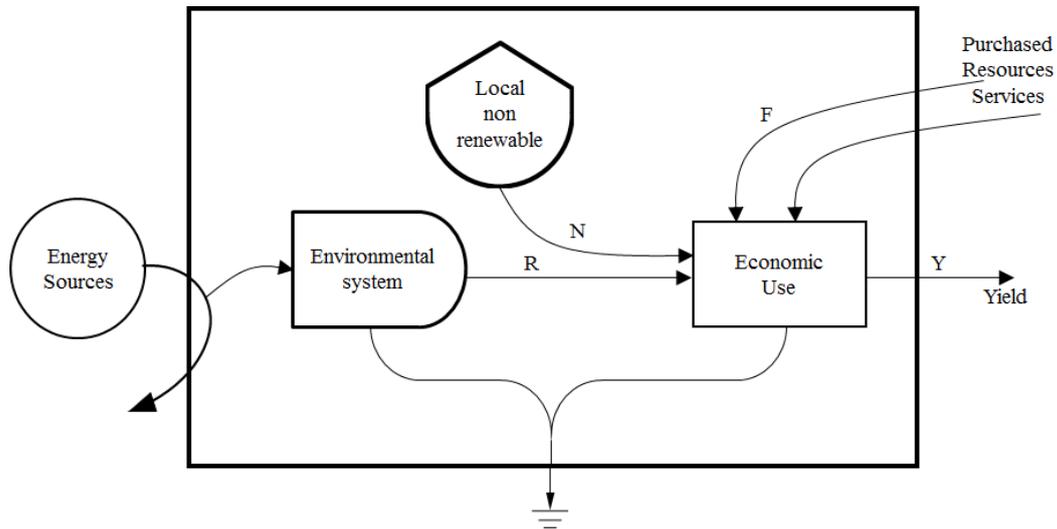
다) Energy 지표 계산

앞서 작성한 energy 분석표를 이용하여 평가 대상 시스템의 특성 파악과 다른 시스

템과의 비교를 위해 emergy 지표를 계산한다.

여기서 주의해야 할 것은 평가 대상 시스템이 사용하는 총 emergy량을 구하거나 emergy 지표 계산을 위해 서로 다른 emergy를 더할 때 이중계산(double counting)의 위험을 조심해야하는 것이다(Odum, 1996). 예를 들어, 태양, 바람, 강우 모두가 시스템에 유입되었다면 emergy 분석표의 재생 가능한 에너지원의 항목에 세 항목 모두를 포함시켜야 한다. 하지만 시스템에 유입된 재생 가능한 에너지원 총량을 계산할 때에 이 세 항목을 단순히 합하는 것에는 문제가 있다. 바람과 강우는 태양에너지로 인해 지구 표면이 가열되어 나타나는 자연현상이기 때문에 세 항목의 합으로 재생 가능한 에너지원의 총량이라고 나타내는 것은 바람과 강우를 발생시키기 위해 포함되어 있던 태양에너지의 기여를 중복 계산한것이기 때문이다. 그러므로 이 경우에는 emergy량이 가장 큰 에너지만 선택하여 더해야한다.





$$\text{Energy Yield Ratio(EYR)} = (R+N+F)/F$$

$$\text{Environmental Loading Ratio(ELR)} = (N+F)/R$$

$$\text{Energy Sustainability Index(ESI)} = \text{EYR}/\text{ELR}$$

Fig. 4. Emergy based indices, accounting for local renewable energy inputs(R), local nonrenewable inputs(N), and purchased inputs from outside the system(F)(Brown and Ulgiati, 1997).

Emergy 지표 계산은 Fig. 4을 바탕으로 계산한다. 시스템으로 유입되는 재생 가능 에너지원의 emergy(R), 시스템 내부에서 보유하고 있는 재생불가능한 에너지원의 emergy(N), 경계 밖에서 유입되는 화석연료, 전기, 각종 재화와 용역의 구매 emergy(F)로 구분하여 emergy 지표를 구한다.

(1) 총 산출량(Yield; Y)

평가 대상 시스템으로 유입되는 에너지원의 전체 emergy 양은 재생 가능 에너지원(R), 내부보유자원(N), 시스템 경계 외부로부터 교역과 교환을 통해 유입되는 구매자원(F)의 emergy 합으로 계산 된다.

$$\text{Yield}(Y) = R + N + F$$

총 산출량 Yield(Y)는 Emergy 개념에 따라 그 시스템의 실질적인 가치라고 할 수 있다.

(2) 자연환경자원의 점유율(% Renew)

평가 대상 시스템으로 유입되는 에너지원의 전체 emergy 양 중에서 재생 가능한 에너지원이 차지하는 emergy 비율을 자연환경자원의 점유율이라 할 수 있다.

$$\% \text{ Renew} = R / (R + N + F)$$

어떤 시스템의 지탱하는 전체 에너지원 중에서 재생 가능한 에너지원의 비율을 나타내는 % Renew의 값은 장기적인 관점에서 시스템의 지속가능한 발전 가능성을 결정하는 여러 지표들에 영향을 미친다.

(3) Emergy 생산비 (Emergy yield ratio; EYR)

Emergy 생산비(EYR)는 전체 emergy 양(Y)을 경계 밖으로부터 유입되는 구매자원의 emergy 양(F)으로 나누어 계산한다.

$$\text{Emergy yield ratio(EYR)} = (R + N + F) / F$$

Emergy 생산비는 시스템에서 생산된 생산물(product)이 가지는 자원으로서의 가치와 시스템의 효율성을 평가하는데 이용한다.

(4) Energy 투자비 (Emergy investment ratio; EIR)

Emergy 투자비(EIR)는 시스템이 생산물을 만들기 위해 사용한 에너지원 중에서, 외부로부터 구매된 자원의 emergy 양(F)을 내부의 재생 가능한 자원의 emergy 양(R)과 재생 불가능한 자원의 emergy 양 (N)의 합으로 나누어 계산한 값이다.

$$\text{Emergy investment ratio(EIR)} = F / (R + N)$$

Emergy 투자비는 지역의 산업화, 도시화의 정도를 나타내는 값으로 현대 사회는 과거와 달리 각기 다른 경제 시스템 사이의 교역과 교환이 경제활동의 기초가 되고 있기 때문에 내부에서 공급하는 재화와 용역과 외부로부터 구입해야 하는 재화와 용역의 비율로 산업화, 도시화 정도를 나타낼 수 있는 것이다. 즉, 이 비율이 낮은 시스템이 경쟁력이 큰 시스템이라고 할 수 있다. 또한 EIR은 내부 자원에 비해 외부 자원을 얼마나 경제적으로 사용하는 가를 나타낼 수 있어 어떤 경제적인 활동력이 경쟁력을 가지려면 유사한 다른 경제 활동과 EIR을 비교 했을 때 값이 유사하거나 적어야 한다 (Odum, 1996).

(5) 환경부하비 (Environmental loading ratio; ELR)

환경부하비(ELR)은 다양한 인간의 활동이 자연환경에 미치는 영향을 나타내는 지표로 시스템의 내부보유자원 emergy (N)과 구매자원 emergy (F)의 합을 재생가능한 자원의 emergy (R)로 나눈 값이다.

$$\text{Environmental loading ratio(ELR)} = (N + F) / R$$

ELR이 낮다는 것은 인간의 활동이 자연환경에 미치는 영향이 작다는 것이고, ELR이 높은 것은 인간의 활동이 자연환경에 미치는 영향이 크다는 것을 나타낸다. Brown and Ugiati(1997)는 이 ELR 값을 3단계로 구분하고 있다. ELR이 3보다 작을 경우에는

‘환경에 미치는 영향이 적다.’, ELR이 10 이상일 경우에는 상대적으로 ‘환경에 미치는 영향이 크다.’, 3보다 크고 10보다 작을 경우에는 ‘환경에 대한 영향이 비교적 온건하다.’ 라고 파악하고 있다.

강대석과 남정호(2003)는 ELR을 이용해 착수 예정인 개발 계획의 ELR이 기존 시스템의 ELR보다 크다면, 착수 예정인 개발 계획이 환경영향을 줄일 수 있는 대안을 찾거나 대안이 가능하지 않다면 해당 사업 취소까지도 고려해 볼 수 있다고 파악하고 있으며 ELR의 비교는 환경자원을 지속가능하게 이용할 수 있도록 정책 수립에 적용할 수도 있다고 평가하고 있다.

(6) Emergy 지속가능성(Emergy sustainability index; ESI)

Emergy 지속가능성(ESI)는 emergy 생산비(EYR)과 환경부하비(ELR)의 비로서 계산된다.

$$\text{Emergy sustainability index(ESI)} = \text{EYR} / \text{ELR}$$

Brown and Ulgiati(1997)는 ESI의 값이 1보다 작으면, 지속적인 발전 가능성이 적은 선진국형 소비경제이고, 10보다 클 경우에는 지속적인 발전 가능성이 높은 저개발 경제시스템으로 구분한다. 또한 ESI가 1에서 10사이의 경우에는 지속 가능성이 변동적인 개발도상국형 경제로 구분하고 있다.

Ⅲ. 연구방법

본 연구의 목표는 환경적 가치와 경제적 가치를 동일 선상에서 비교하여 하나의 단위로 나타낼 수 있도록 Emergy 지표를 이용한 개발계획의 타당성 분석과 의사결정 방법을 제시하는 것이다. 그러므로 본 연구는 Emergy이론을 이용하여 개발계획 타당성 분석에 필요로 하는 지표를 선정하고 해당 Emergy 지표의 범위를 설정해 Emergy 평가법을 이용한 개발계획의 타당성 분석과 의사결정 절차를 제시하였다. 또한 선정한 Emergy지표를 이용한 의사결정 방법의 실용성을 보여주기 위해 실제 개발계획의 사례에 본 연구의 결과를 적용시켰다.

Emergy 평가법을 이용한 개발계획의 타당성 분석 및 의사결정 방법에 대한 연구는 다음 Fig. 5와 같은 연구 흐름도를 따른다.

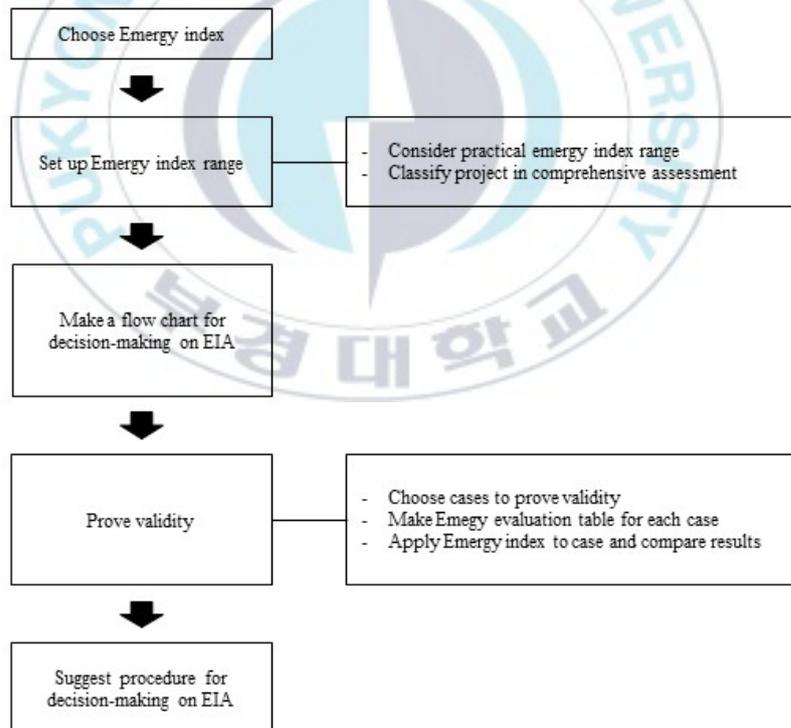


Fig. 5. Research procedure.

1. Emergy 지표 선정

기존의 개발계획의 타당성 분석은 여러 평가항목을 나열하고 요약하여 저감방안을 제시하거나 평가항목에 대한 점수 부여, 전문가의 상세기술과 같은 방법을 사용하거나 경제적 관점에서 경제적 가치에 치우친 의사결정을 시도하였다. 이런 방법은 앞서 제시하였듯 환경적 가치와 경제적 가치를 동일 기준에서 평가 할 수 없다는 문제가 있었다. 이런 문제를 보완하기 위해 본 연구에서는 여러 평가 항목을 평가하는 데에 동일 기준으로 평가 할 수 있도록 하나의 단위인 Emergy로 나타내고 절대적인 기준 제시를 위해 시스템 평가 결과를 직관적으로 보여주고 시스템의 변화를 쉽게 파악할 수 있도록 Emery 지표를 이용하여 개발계획의 타당성 분석과 의사결정 방법을 고안하였다.

개발계획의 타당성 분석 및 의사결정에서 고려해야 할 것은 먼저 그 사업의 가치가 어느 정도인가를 나타내는 사업성이다. 모든 사업은 투자에 의해 어떠한 형태로든 수익성이 있어야 하고 그 수익성이 곧 사업성과 연결되므로 그 사업의 총 산출량 변화의 평가로 개발계획이 진행되는 시스템의 가치평가가 필요하다. 또한 우리가 사용하는 모든 자원은 대부분 유한한 자원이기 때문에 그 사업이 얼마나 효율적으로 자원을 사용하는지에 대한 평가가 필요하다. 그 다음으로는 환경영향평가의 근본적인 목적이 앞서 언급했듯 사전 예방의 차원에서 환경적으로 건전하고 지속가능한 발전(ESSD)을 달성하는 것이기 때문에 거시적 관점에서 사업의 시행으로 인해 변화하게 될 시스템의 환경적 부담과 지속가능성을 종합적으로 평가할 수 있어야 한다. 그러므로 Emergy 분석법을 통해 환경적 가치와 경제적 가치를 하나의 단위로 동일 선상에서 비교하여 객관성을 확보하고 Emergy 분석법의 결과에서 도출할 수 있는 Emergy 지표들을 이용하여 개발계획의 타당성을 분석할 때에 직관적인 결과를 제공할 수 있도록 지표들을 선정하였다.

2. Emergy 지표의 범위 설정

Emergy 지표 선정 다음 단계로 개발계획의 타당성 분석 및 의사결정을 위한 지표들의 범위 설정이 필요하다. 개발계획의 타당성 평가에서는 개발 계획의 진행 여부에 관한 의사결정을 해야 하므로 개발로 인한 변화를 예측하고 평가해야 한다. 그러므로 Emergy 지표들의 범위는 개발 전 후의 비교로 설정되고 앞서 선정한 모든 지표에서 개발 전보다 개발 후가 더 나은 값을 보인다면 그 사업은 타당하다.

하지만 개발 행위는 원래의 생태계를 변형시키고 환경적 자원을 과다하게 이용하며 대표적인 재생 불가능한 자원인 화석 연료의 막대한 사용을 발생시키는 것이 대부분이다. 이와 같은 이유로 자원의 효율적 사용이 개발 전보다 높아지기 힘들고 개발로 인해 환경적 부담이 가중되므로 개발 전보다 개발 후의 지표가 더 나은 값을 가지는 이상적인 조건 충족이 힘들다. 물론 지속가능한 발전의 방향으로 나아가기 위해 이상적인 조건을 충족시키는 것이 좋겠지만 현실적인 조건을 감안하여 실현가능한 범위 설정이 필요하다. 본 연구에서는 실현가능한 범위 설정을 위해 산업적 기준과 지역적 기준을 사용하였다. 산업적 기준을 제시한 것은 개발 계획의 타당성을 분석할 때에 동종 산업들의 평균 수준보다 높은 개발 계획을 채택한다면 적어도 전체 산업의 관점에서 지속가능성을 낮추지 않는 개발 계획만을 승인 할 수 있는 기준을 만들 수 있기 때문이고, 지역적 기준을 제시한 것은 기존의 개발 계획에 대한 타당성 분석들이 입지 조건을 고려하듯 적어도 개발 계획을 진행하는 도시나 국가의 관점에서 개발 전의 지역 수준보다 개선된다면 그 지역의 전체 지속가능성을 높일 수 있기 때문이다. 즉, 개발 계획이 이루어지는 지역이나 개발 계획의 동종 산업의 관점에서 보았을 때 그 지역이나 산업의 평균적인 기준 값들보다는 개선되는 결과를 보인다면 전체적인 지역 시스템 관점, 산업 시스템 관점에서는 허용 가능하다 할 수 있기 때문이다. 그러므로 선정한 지표들이 개발 전보다 개발 후 에 더 나은 값을 가지는 이상적이 조건이 충족되지 못한다면 적어도 개발계획을 지역적 기준이나 산업적 평균 기준에서 개발 후의 지표와 비교하여 판단한다면 현실적으로 그 사업이 타당한지에 관한 의사결정이 가능하다.

3. Emergy 지표를 이용한 타당성 분석 및 의사결정 순서도 작성

Emergy 지표를 선정하고 범위를 설정했다면 그 다음으로는 이 지표와 범위를 이용한 환경영향평가의 의사결정 절차를 제시하는 것이 필요하다.

Emergy 지표를 이용하기 위해서는 먼저 개발 전 후의 시스템에 관한 Emergy 평가가 필요하고 평가 결과로 Emergy 지표 값을 계산한 후 개발 전보다 개발 후의 지표 값이 더 개선된 결과를 가지지 못한다면 적어도 허용 가능한 범위에 개발 후의 지표 값이 있을 때 사업의 시행을 허가한다. 허용 가능한 범위 적용을 위해서는 대상사업의 지역적 기준과 산업적 기준을 적용해 적용가능한 기준을 만족한다면 해당 개발계획은 지역적 혹은 산업적 시스템 관점에 허용 가능한 범위에 있다고 할 수 있기 때문에 이를 비교하여 최종적으로 개발계획의 의사결정을 한다.

지표를 선정할 때에 환경영향평가 지표로 총 산출량, 사업의 효율성, 환경적 부담 정도, 지속가능성을 고려하는 지표들을 개발계획의 타당성 분석 및 의사결정의 평가 지표로 선정하였는데 이 중 총 산출량을 고려하는 지표는 환경적, 경제적으로 더 많은 수익을 얻을 수 없다면 사업을 위한 투자가 필요 하지 않으므로 사업의 효율성이나 환경적 부담, 지속 가능성을 평가할 필요가 없기 때문에 총 산출량을 고려하는 지표를 먼저 평가하고 그 다음 단계에서 나머지 지표들을 평가해야한다. 나머지 지표들은 지속가능한 발전을 위해 반드시 충족시켜야 하는 조건이기 때문에 나머지 지표를 모두 만족해야 최종적으로 그 사업의 시행을 승인해야 하고 만약 한 가지 지표라도 만족시키지 못한다면 사업 계획의 수정이나 대안이 필요하다.

그러므로 이런 개발계획의 타당성 분석 및 의사결정 절차를 순서도로서 작성하여 제시하였다.

4. Emergy 지표를 이용한 타당성 분석 및 의사결정 방법의 적용

개발계획의 타당성 분석 및 의사결정을 위해 Emergy 지표를 선정하고 범위를 설정하여 의사결정을 위한 방법을 고안했다면 다음 단계는 실제 개발계획이 진행된 사업에 지표를 실제로 적용해보는 단계가 필요하다. 실제 사례에 적용해봄으로써 본 연구에서 제시하는 개발계획의 타당성 분석과 의사결정 방법이 현실적으로 이용 가능한가를 판단하기 위해 기존의 개발계획 중에서 Emergy 평가가 이루어진 사례들을 이용하여 실제 적용을 해보았다. 사례들 중에서 Emergy 값이 구해지지 않은 항목에 대해서는 직접 계산하여 Emergy 지표 값을 구했다. 이 결과를 바탕으로 Table 3과 같은 표를 작성하여 Emergy 지표 결과를 비교하였다.

Table 3. Tabular format for proving validity

Item	Name of index	Expression	Original (sej/yr)	New (sej/yr)	Industrial or Regional mean
1	Renewable emery flow	R			
2	Nonrenewable emery flow	N			
3	Flow of imported emery	F			
4	Yield(Y)	R+N+F			
5	Emergy yield ratio(EYR)	$(R+N+F)/F$			
6	Environmental loading ratio(ELR)	$(N+F)/R$			
7	Emergy sustainability index(ESI)	EYR/ELR			

실제적인 사례의 적용은 Emergy 지표를 이용한 개발계획의 타당성 분석 및 의사결정 방법의 현실성을 밝히고 어떠한 절차로 의사결정 하는 가에 대한 예를 보여준다.

IV. 결과 및 고찰

1. 개발계획의 타당성 분석 및 의사결정을 위한 Emergy 지표

가. 총 산출량(Yield; Y)

개발계획의 타당성 분석 및 의사결정을 위해 정한 첫 번째 지표는 Fig. 5의 지표 중에서 해당 시스템의 가치를 나타내는 총 산출량(Y)이다. 개발계획이 가장 먼저 고려해야 할 것은 사업 시행을 위한 투자가 경제적으로 그리고 환경적으로 기존보다 더 많은 가치를 가져다 줄 것인가 일 것이다. Emergy 개념에 따라 어떤 생산물을 만들 때 그 생산물을 만들기 위해 유입되는 모든 에너지원의 합이 곧 그 생산물이 가지는 가치라 할 수 있기 때문에 개발 계획으로 인해 변화할 그 시스템의 가치를 시스템으로부터 유입되는 에너지원의 합이라 할 수 있다. 개발계획의 목적은 더 많은 가치를 창출하는 것이므로 개발 전 후의 총 산출량(Y)을 비교하는 것이 필수적이다.

나. Emergy 생산비(Emergy yield ratio; EYR)

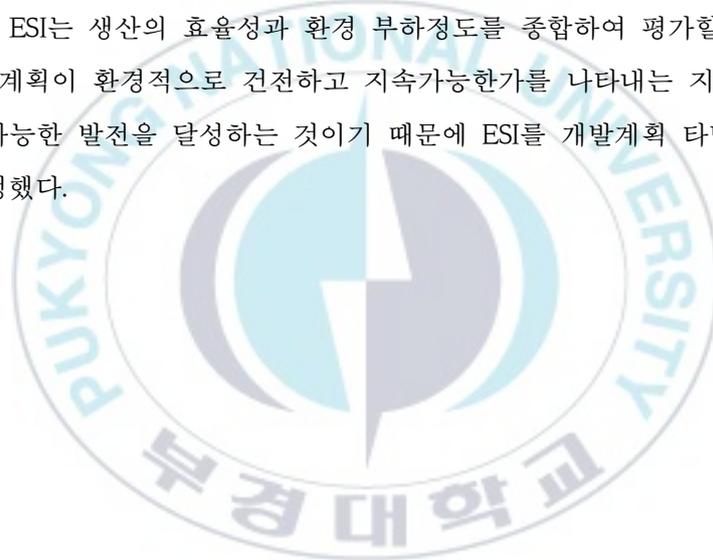
다음으로 Emergy 생산비(EYR)를 평가 지표로 선정하였다. EYR은 시스템의 생산량(Y)을 구매자원(F)로 나누어 주는 지표로 개발 후에 생산량이 증가하더라도 시스템의 외부로부터 유입되는 구매자원이 크다면 외부의 구매자원에 의존하는 비가 크다는 결과를 보여준다. EYR이 개발 전보다 개발 후가 크다면 생산 효율성이 낮아지는 개발이라 할 수 있기 때문에 생산의 효율성을 고려하기 위한 지표로 EYR이 필요하다.

다. 환경부하비(Environmental loading ratio; ELR)

ELR은 내부 보유자원과 구매자원의 합($N + F$)을 재생 가능한 자원(R)로 나눈 값으로 결국 재생 불가능한 자원과 재생 가능한 자원의 비를 구하는 지표이다. 개발로 인해 총 산출량이 증가하고 생산 효율 또한 높아지더라도 재생 불가능한 자원의 이용이 높아져서 ELR 지표 값이 높아진다면 환경 부하를 증가시키는 개발이라고 판단되는 사업이기 때문에 환경적으로 타당하지 않다. 그러므로 ELR을 개발계획의 타당성 분석의 평가 지표로 선정했다.

라. Emergy 지속가능성(Emergy sustainability index; ESI)

마지막 지표 ESI는 생산의 효율성과 환경 부하정도를 종합하여 평가할 수 있어 실질적으로 개발 계획이 환경적으로 건전하고 지속가능한가를 나타내는 지표이다. 개발의 목적은 지속가능한 발전을 달성하는 것이기 때문에 ESI를 개발계획 타당성 분석의 평가지표로 선정했다.



2. 개발계획의 타당성 분석 및 의사결정을 위한 Emergy 지표의 범위

개발 전 후를 비교 했을 때 총 산출량의 값은 반드시 개발 후가 개발 전보다 커야하고 이 지표의 조건이 충족되지 않는다면 개발계획이 적절하지 않다고 할 수 있다.

$$Y_1 < Y_2$$

(₁ : Before, ₂ : After)

EYR은 개발 계획 전 후의 생산 효율성을 나타내는 지표로 개발 후가 개발 전보다 커야하고 이 지표의 조건이 충족되지 않는다면 적어도 지역적 평균 EYR 혹은 산업적 평균 EYR 보다 개발 후의 EYR 값이 더 커야 한다.

$$EYR_1 < EYR_2$$

or at least $EYR_R < EYR_2$ or $EYR_I < EYR_2$
(_R : Regional range, _I : Industrial range)

ELR은 환경 부하의 정도를 나타내는 지표로 개발 후가 개발 전보다 작아야하고 이 지표의 조건이 충족되지 않는다면 적어도 지역적 평균 ELR 혹은 산업적 평균 ELR 보다는 개발 후의 ELR 값이 작아야한다.

$$ELR_1 > ELR_2$$

or at least $ELR_R > ELR_2$ or $ELR_I > ELR_2$

ESI 지표는 시스템의 환경적으로 건전하고 지속가능한 발전 가능성을 나타내는 지표로 개발 후가 개발 전보다 커야하고 이 지표의 조건이 충족되지 않는다면 적어도지역적 평균 ESI 혹은 산업적 평균 ESI 보다는 개발 후의 ESI 값이 커야 한다.

$$ESI_1 < ESI_2$$

or at least $ESI_R < ESI_2$ or $ESI_I < ESI_2$

3. Emergy 지표를 이용한 타당성 분석 및 의사결정 순서도

지표의 선정과 지표의 범위 설정을 통해 개발계획의 타당성 분석 및 의사결정은 다음 Fig. 6과 같은 순서도에 따라 진행된다.

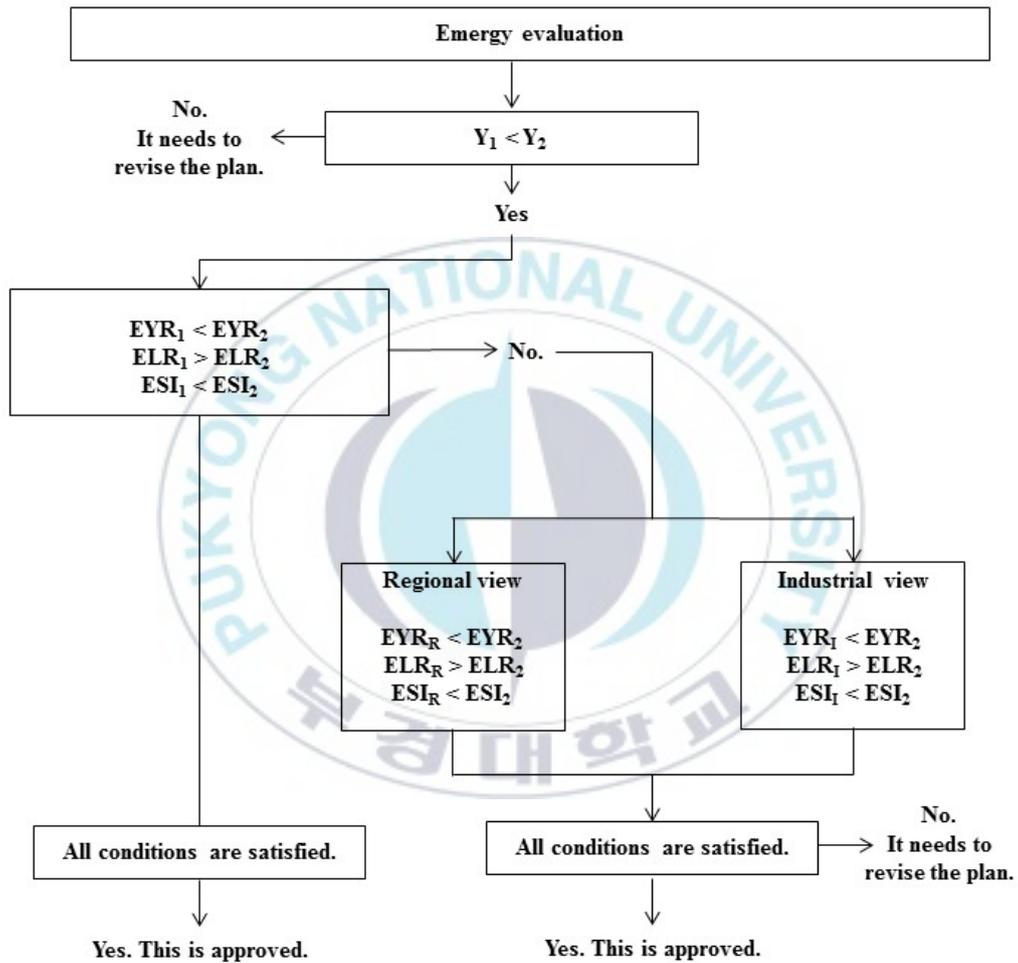


Fig. 6. Decision-making procedure.

Emergy 지표를 이용한 개발계획의 타당성 분석 및 의사결정을 위해서는 먼저 개발 계획이 이루어지는 시스템의 현재 상황에 대한 Emergy 평가와 개발 계획 이후에 변화할 시스템을 예측하여 Emergy 평가를 해야한다. 그 후 총 산출량(Y) 지표의 비교를 위해 시스템으로 유입되는 재생 가능 에너지원(R), 시스템 내부 에너지원(N), 경계 밖에서 유입되는 구매 자원(F)의 합으로 개발 전 후의 Y를 구하고 비교하여 개발로 인해 시스템의 가치가 증가하는지 혹은 감소하는지를 평가한다. 만약 개발 전보다 개발 후의 Y가 작다면 대상 사업의 계획 수정이 필요하고 개발 전보다 개발 후의 Y가 크다면 다음 의사결정 단계로 넘어간다.

다음 단계에서는 EYR, ELR, ESI 지표들의 개발 전 후 값을 비교한다. 모든 지표들의 값이 개발 전보다 개선된다면 이 사업의 시행이 승인되어 개발계획의 타당성 분석과 의사결정과정에서 완료되게 된다. 하지만 한 가지 지표라도 조건을 만족하지 못한다면 다음 단계로 넘어간다.

다음 단계에서는 EYR, ELR, ESI 지표들을 지역적 기준 혹은 산업적 기준과 비교해야한다. 먼저 산업적 관점에서 평가할 수 있는 사업이라면 산업적 평균의 지표 값을 산업적 기준으로 하고 이를 개발 후 시스템 지표와 비교해야한다. 만약 산업적 기준을 적용할 수 없는 사업이라면 지역적 기준을 적용하는 단계로 넘어가게 된다. 지역적 기준과 비교하여 모든 지표 값이 개발 후가 지역적 기준 값보다 개선되는 결과를 보여준다면 그 사업의 시행이 승인되는 것이고 그렇지 않다면 그 사업의 시행은 거부되게 된다.

여기서 지역적 평균과 산업적 평균을 적용할 때에 시간적·공간적 경계를 어떻게 설정할 것인가에 대한 기준이 필요하게 된다. 시간적 경계의 경우에는 한 시스템의 재생가능한 자원이나 재생불가능한 자원의 emergy적 가치는 시간의 흐름에 따라 큰 변화가 없으나 경제적인 가치는 시간의 흐름에 따라 상대적으로 변화하기 때문에 시간에 따라 emergy 지표 값이 변화할 수 있다. 그러므로 지역적 평균이든 산업적 평균이든 각 연도별로 emergy 평가를 하여 트렌드를 분석한다면 개발 계획이 완료되었을 시점의 emergy 지표값이 예측이 가능하다. 공간적 경계의 경우 사업의 시행으로 영향을 받게 되는 지역을 공간적 경계로 설정한다. 그렇기 때문에 행정구역에 있어서 한 단계 상위의 경계를 공간적 경계로 설정한다. 즉 시·도 범위의 사업이라면 광역

시·도의 경계, 광역시·도의 경계라면 국가의 경계로 공간적 경계를 설정해야한다.



4. Emergy 지표를 이용한 개발계획의 타당성 분석 및 의사결정의 적용 결과

실제 개발계획의 타당성 분석 및 의사결정이 진행된 사업에 지표를 적용하여 의사결정 해봄으로써 본 연구의 결과가 실제로 이용가능한가를 제시하였다. 현재 대부분의 개발계획은 환경영향평가를 실시하여야 하므로 본 연구에서 이용한 사례들은 환경영향평가가 진행된 사업들이다. 그렇기 때문에 환경영향평가의 결과와 본 연구의 의사결정 결과를 비교하였다.

지표 적용 사례는 총 산출량 지표를 이용하는 평가, 산업적 기준이 적용 가능한 개발계획에 대한 평가, 지역적 기준을 적용해야하는 개발계획에 대한 평가에 관하여 Emergy 평가를 진행하고 Emergy 지표 값을 계산 한 후 Emergy 지표를 이용한 의사결정 단계를 거쳐 기존의 환경영향평가의 결론과 비교하였다.

필수 지표인 총 산출량 지표의 이용 사례를 보여주기 위해 활용한 사례는 ‘세만금 종합개발계획’ 이고, ‘시화호 조력발전사업’ 과 ‘가로림 조력발전사업’ 을 통해 산업적 기준이 적용 가능한 개발계획에 대한 평가를 ‘세종시 행정중심복합도시 계획사업’ 을 통해 지역적 기준을 적용해야하는 개발계획에 대한 평가 사례를 제시하였다.

가. 총 산출량 지표를 이용한 평가

총 산출량 지표의 적용을 위해 이용할 개발계획 사례는 새만금 종합 개발 계획이다. 이를 위해 환경회계에 의한 공유수면매립사업의 사전환경성 검토방법 개발과 적용(김우석, 2002)의 energy 평가 결과를 본 연구에 맞게 수정·제시 하였다.

Table 4. Emergy evaluation in original Saemangeum(Kim, 2002)

No.	Item	Raw data		UEV (sej/J or ₩)	Solar emergy (sej/yr)
RENEWABLE SOURCE					
1	Sunlight	6.92E+17	J	1	6.92E+17
2	Wind, kinetic energy	5.73E+14	J	1.50E+03	8.58E+17
3	Rain, chemical	2.35E+15	J	7.44E+03	1.74E+19
4	Tide	2.36E+16	J	1.68E+04	3.98E+20
5	Waves	2.67E+15	J	3.06E+04	8.17E+19
6	River, chemical	6.33E+15	J	4.85E+04	3.07E+20
SUM OF RENEWABLE SOURCES					7.22E+20
PURCHASED INPUT					
7	Goods & Services	5.15E+10	₩	2.13E+09	1.10E+20
SUM					8.32E+20

Table 5. Emergy evaluation for overall developments in Saemangeum(Kim, 2002)

No.	Item	Raw data		UEV (sej/J or ₩)	Solar emergy (sej/yr)
RENEWABLE SOURCE					
1	Sunlight	6.92E+17	J	1	6.92E+17
2	Wind, kinetic energy	5.73E+14	J	1.50E+03	8.58E+17
3	Rain, chemical	2.35E+15	J	7.44E+03	1.74E+19
4	River, chemical	1.00E+16	J	4.85E+04	4.87E+20
5	Earth cycle	2.83E+14	J	3.44E+04	9.73E+18
SUM OF RENEWABLE SOURCES					5.14E+20
NONRENEWABLE SOURCE					
6	Top soil	4.42E+14	J	7.40E+04	3.27E+19
PURCHASED INPUT					
7	Goods & Services	1.02E+11	₩	2.13E+09	2.17E+20
SUM					7.64E+20

Table 6. Emergy indices of overall developments in Saemangeum(Kim, 2002)

Item	Name of index	Expression	Original (sej/yr)	New (sej/yr)
1	Renewable emergy flow	R	7.22E+20	5.14E+20
2	Nonrenewable emergy flow	N	-	3.27E+19
3	Flow of imported emergy	F	1.10E+20	2.17E+20
4	Yield(Y)	R+N+F	8.32E+20	> 7.64E+20

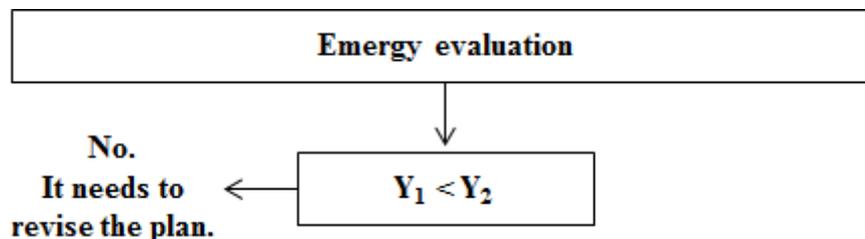


Fig. 7. Decision-making procedure for Saemangeum.

Emergy 지표들의 값을 구하기 위해 Table 8과 같은 결과표를 작성하였다. 앞서 제시한 Fig. 6의 Emergy 지표를 이용한 의사결정 순서도에 따라 첫 번째 단계인 총 산출량을 비교하면 개발 전의 총 산출량이 $8.32E+20\text{sej/yr}$ 이고 개발 후의 총 산출량이 $7.64E+20\text{sej/yr}$ 으로 개발 후가 개발 전보다 작기 때문에 Fig. 7과 같이 환경영향평가의 의사결정의 순서도에서 다음 단계로 넘어갈 수 없다. 즉, 새만금 종합개발계획은 총 산출량 지표의 비교의 단계에서 개발이 적합하지 않다는 의사결정이 완료된다.

새만금 종합개발 계획을 검토할 당시의 환경영향평가서인 새만금 지구 간척종합개발 계획 환경평가서(한국농어촌공사, 1989)의 종합평가 부분을 살펴보면 사업의 진행으로 예상되는 환경적 변화를 단순히 나열하고 사회과학 분야에서 이용하는 내부 투자수익률(IRR)을 이용하여 정량적 평가를 시도 하였으나 경제적 가치만을 이용하여 IRR을 고려하므로 환경적 가치까지 고려한 정량적 평가라고 보기는 힘들었다. 반면 emergy를 이용한 개발계획의 타당성 분석 및 의사결정 방법에서는 새만금 종합개발계획이 진행될 경우 손실 될 조석 에너지의 가치를 고려할 수 있기 때문에 새만금 사업을 시행한다면 방조제 공사로 인해 막대한 외부의 구매 자원이 유입됨에도 불구하고 $2.08E+20\text{sej/yr}$ 만큼의 재생 가능한 에너지의 손실로 개발 후 얻게 되는 이익이 개발 전보다 줄어든다는 것을 알 수 있다. 그러므로 총 산출량 지표는 개발 계획의 시행으로 우리가 실질적으로 얻게 될 이익이 증가할 것인가 감소할 것인가를 보여주기 때문에 사업 시행에 있어서 사업의 가치 즉, 사업성 평가를 위해 반드시 필요한 지표이다. 그리고 이를 필수 지표로 선정하여 이 조건을 만족하지 못하면 사업의 시행을 허가하지 않는 본 연구의 의사결정방법은 환경적·경제적 이익이 증가하는 방향의 사업만을 시행할 수 있도록 환경성과 경제성을 고려한 의사결정 방법이라 할 수 있다.

그러나 Emergy 분석법은 원래 에너지원의 흐름(flow)과 시스템 내부의 저장고에 대한 분석을 함께하는데 본 연구에서는 내부 저장고에 대한 분석을 고려하지 않고 있어 환경적 가치를 모두 고려하지 못했다는 비판이 있을 수 있다. 새만금 사례에서는 드넓은 갯벌이 모두 매립되어 사라지기 때문에 사업의 시행으로 사라질 갯벌의 가치가 주요 환경적 가치가 될 수 있는데 여기서는 내부 저장고에 대한 분석이 고려되지 않아 내부 저장고의 환경적 가치가 포함되어 있지 않다. 이는 본 연구의 한계점이지만 Emergy 분석법에서는 앞서 언급하였듯이 에너지원의 흐름 뿐 만 아니라 시스템 내부

의 저장고에 대한 분석도 함께 이루어지기 때문에 Emergy를 이용한 방법이 내부 저장고를 고려하지 못하는 것이 아니라 본 연구에서 다루지 못한 부분이기 때문에 추가적인 연구가 이뤄진다면 내부 저장고의 가치까지 고려하여 모든 환경적 가치를 고려한 의사결정 방법으로 발전될 수 있을 것이다. 한편, 남정호와 강대석(2016)은 우리나라 갯벌으로 유입되는 연간 에머지량이 비록 갯벌의 실제적 가치를 나타내지는 못하지만 갯벌의 생태계서비스를 만들기 위한 환경적 조건의 가치를 나타내기 때문에 갯벌의 환경적 가치의 일부 값으로 볼 수 있다고 밝히고 있고 또한 내부 저장고는 환경적 에너지원의 흐름(flow)에 의해 시간에 따라 축적되는 것이므로 본 연구의 방법이 저장고의 가치를 완전히 배제하고 있다고 보기 어렵다. 즉 본 연구에서 제시한 연간 유입되는 에너지원의 흐름들은 내부 저장고의 환경적 가치를 일부 포함하고 있다고 볼 수 있어 완전히 내부 저장고의 가치를 무시하는 것은 아니다. 그리고 내부 저장고에 대한 분석으로 잃게 되는 가치를 계산하여 환경적 에너지원의 유입으로 이를 보상하는데 걸리는 시간을 산정하는 선행연구(김우석, 2002)가 있었기 때문에 이를 활용한 추가 연구를 통해 본 연구결과가 모든 환경적 가치를 포함하는 의사결정도구로서 발전할 수 있을 것이다.

새만금 사례를 통해 Emergy 지표를 이용한 개발계획의 타당성 분석 및 의사결정방법은 비록 환경의 내부 저장고에 대한 가치를 환경적 가치에 완전히 다 포함하지 못하고 있다는 한계는 있지만 시스템으로 유입되는 환경적 에너지원에 내재된 가치와 개발 계획으로 발생하는 변화를 정량적으로 보여줄 수 있다는 것을 알 수 있다. 이는 정성적 방법에서는 다루지 못하는 부분으로 생물리적 자료를 이용하는 Emergy의 장점을 보여준다.

나. 산업적 기준이 적용 가능한 개발계획에 대한 평가

산업적 기준이 적용 가능한 개발계획에 대한 평가를 위해 이용할 사례는 시화호 조력발전사업과 가로림 조력발전사업이다. 시화호 조력발전사업의 emergy 평가 결과는 시화호 조력발전 건설사업에 대한 Eemrgy 평가(주용수, 2006)와 필요한 값은 직접 구하여 개발 전 후의 emergy 평가를 하였고 가로림 조력발전사업의 emergy 평가 결과는 가로림만의 환경가치평가 연구(유승훈 외., 2007)의 결과와 가로림 조력발전소 건설사업 관련 사전환경성검토서(국토해양부, 2009)를 이용하여 emergy평가표를 작성하였다. 산업의 기준은 Brown and Ulgiati(2002)의 결과에서 풍력, 지열, 수력 발전과 같은 재생 가능한 자원을 이용한 발전 사업들의 Emergy 지표 평균값으로 제시하였다.

Table 7. Emergy evaluation in original Shihwa lake

No.	Item	Raw data	UEV (sej/J or ₩)	Solar emergy (sej/yr)
RENEWABLE SOURCE				
1	Sunlight	2.25E+17 J	1	2.25E+17
2	Wind, kinetic energy	9.10E+13 J	1.50E+03	1.36E+17
3	Total water	See note J	varies	5.79E+18
SUM OF RENEWABLE SOURCES				5.79E+18
PURCHASED INPUT				
4	Goods & Services	2.22E+10 ₩	1.57E+09	3.49E+19
SUM				4.06E+19

Table 8. Emergy evaluation of tidal power plant construction in Shihwa lake

No.	Item	Raw data	UEV (sej/J or ₩)	Solar emergy (sej/yr)
RENEWABLE SOURCE				
1	Tide	5.37E+15 J	1.68E+04	4.19E+19
PURCHASED INPUT				
7	Goods & Services	1.54E+10 ₩	1.57E+09	2.42E+19
SUM				6.60E+19

Table 9. Energy indices of tidal power plant construction in Shihwa lake

Item	Name of index	Expression	Original (sej/yr)		New (sej/yr)
1	Renewable emery flow	R	5.79E+18		4.19E+19
2	Nonrenewable emery flow	N	-		-
3	Flow of imported emery	F	3.49E+19		2.42E+19
4	Yield(Y)	R+N+F	4.06E+19	<	6.60E+19
5	Emery yield ratio(EYR)	(R+N+F)/F	1.17	<	2.73
6	Environmental loading ratio(ELR)	(N+F)/R	6.02	>	0.58
7	Emery sustainability index(ESI)	EYR/ELR	0.19	<	4.74

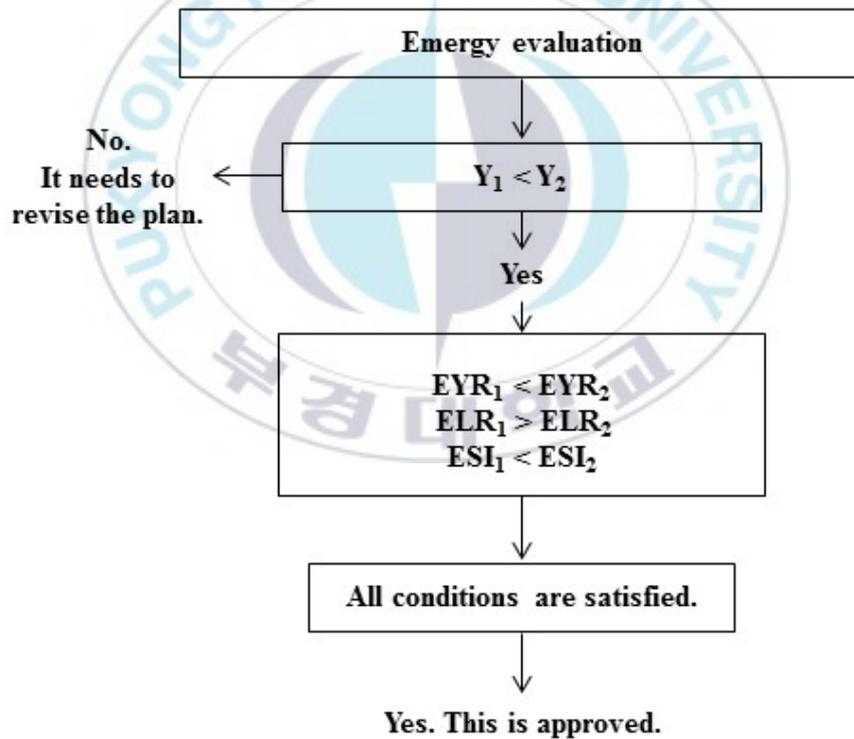


Fig. 8. Decision-making prodedure for Shihwa lake.

Table 7과 Table 8은 각각 개발 전 후의 시화호의 emergy 평가표이다. 이를 토대로 emergy 지표들의 값을 구하기 위해 Table 9와 같은 결과표를 작성하였다. Emergy 지표를 이용한 의사결정 순서도에 따라 검토한 결과 총 산출량은 개발로 인해 증가하기 때문에 다음 단계인 EYR, ELR, ESI 지표의 비교 단계로 넘어간다. 개발 전 후의 EYR, ELR, ESI를 비교한 결과 EYR과 ESI는 개발 전보다 개발 후의 값이 높고 ELR은 개발 후의 값이 개발 전보다 낮기 때문에 시화호 조력발전 사업은 모든 Emergy 지표 기준을 만족하였다. 그러므로 Fig. 8에서 보여주는 절차에 따라 시화호 조력발전 사업은 환경적으로 타당한 사업이라는 의사결정을 내릴 수 있다.

Table 10. Emergy evaluation in original Garorim bay

Item No.	Item	Raw data		UEV	Solar emergy
				(sej/J or ₩)	(sej/yr)
RENEWABLE SOURCE					
1	Sunlight	5.20E+17	J	1	5.20E+17
2	Wind, kinetic energy	5.19E+14	J	1.41E+03	7.32E+17
3	Rain, chemical	7.42E+14	J	7.19E+03	5.33E+18
4	Wave	6.87E+06	J	2.93E+04	2.01E+11
5	Tide	9.47E+14	J	4.25E+04	4.04E+20
6	River, chemical	3.54E+14	J	3.31E+04	1.17E+19
	SUM OF RENEWABLE SOURCES				4.14E+20
PURCHASED INPUT					
7	Goods & Services	3.71E+10	₩	2.64E+09	9.81E+19
	SUM				5.14E+20

Table 11. Emergy evaluation for tidal power plant construction in Garorim bay

No.	Item	Raw data		UEV (sej/J or ₩)	Solar emergy (sej/yr)
RENEWABLE SOURCE					
1	Sunlight	5.20E+17	J	1	5.20.E+17
2	Wind, kinetic energy	5.19E+14	J	1.41E+03	7.32.E+17
3	Rain, chemical	7.42E+14	J	7.19E+03	5.33.E+18
4	Wave	0	J	2.93E+04	0
5	Tide	3.09E+15	J	4.25E+04	1.31.E+20
6	River, chemical	3.54E+14	J	3.31E+04	1.17E+19
SUM OF RENEWABLE SOURCES					1.48E+20
PURCHASED INPUT					
7	Goods & Services	4.63E+10	₩	2.64E+09	1.22E+20
SUM					2.71E+20

Table 12. Emergy indices of tidal power plant construction in Garorim bay

Item	Name of index	Expression	Original (sej/yr)	New (sej/yr)	Industrial mean
1	Renewable emergy flow	R	4.14E+20	1.48E+20	
2	Nonrenewable emergy flow	N	-	-	
3	Flow of imported emergy	F	9.81E+19	1.22E+20	
4	Production(P)	R+N+F	5.14E+20	< 2.71E+20	
5	Emergy yield ratio(EYR)	(R+N+F)/F	5.24	> 2.21	< 6.64
6	Environmental loading ratio(ELR)	(N+F)/R	0.24	< 0.83	> 0.35
7	Emergy sustainability index(ESI)	EYR/ELR	22.22	> 2.68	< 25.41

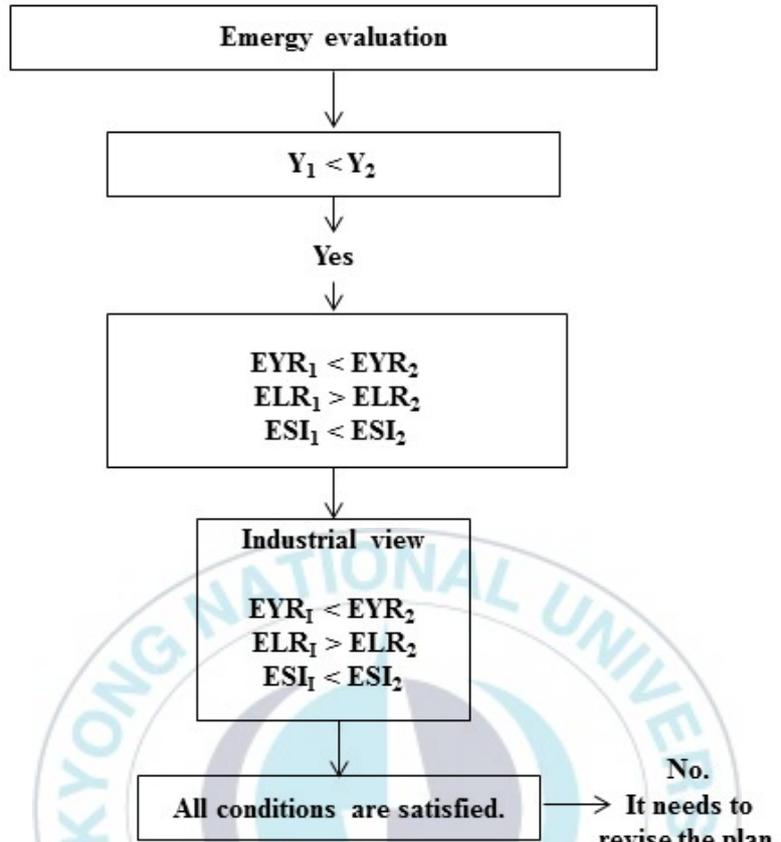


Fig. 9. Decision-making procedure for Garorim bay.

Table 10와 Table 11은 각각 개발 전 후의 가로림의 emergy 평가표이다. Table 12는 개발 전 후의 가로림 emergy 평가표를 이용하여 작성한 emergy 지표 결과표이다. 그 결과 총 산출량은 개발 후가 개발 전보다 더 크다. 다음으로 개발 전 후의 EYR, ELR, ESI 지표를 비교해보니 개발 후의 모든 지표 값이 개발 전 보다 나빠졌기 때문에 다음 단계로 넘어간다. 가로림 조력발전 사업은 산업적 관점을 적용할 수 있는 사업이기 때문에 산업 평균의 EYR, ELR, ESI를 비교한 결과 EYR과 ESI는 개발 후의 값이 산업 평균보다 낮고 ELR은 산업평균 보다 높아 모든 지표가 조건을 만족시키지 못했다. 그러므로 Fig. 9의 순서도처럼 가로림 조력발전 사업은 환경적으로 승인할 수 없는 사업이기 때문에 사업 계획의 수정이 필요하다는 의사결정을 내릴 수 있다.

이 두 조력발전 사업의 실제 환경영향평가서인 시화호 조력발전 건설사업 환경영향평가서(한국수자원공사, 2004)와 가로림 조력발전사업 관련 사전환경성검토서(국토해양부, 2009)의 종합평가 부분을 살펴보면 선정한 환경 항목의 나열과 저감방안의 제시로 종합평가를 대체하고 있다. 항목의 나열과 저감방안 제시는 결국 개발 계획으로 인한 환경 변화만 제시할 뿐 이 환경 영향들을 객관적으로 종합하여 의사결정 하지는 못했다. 하지만 Emegy를 이용한 방법을 적용시켜본다면 시화호 조력발전사업은 사업의 진행이 타당한 사업으로, 가로림 조력발전 사업은 타당하지 않다는 의사결정이 가능하다.

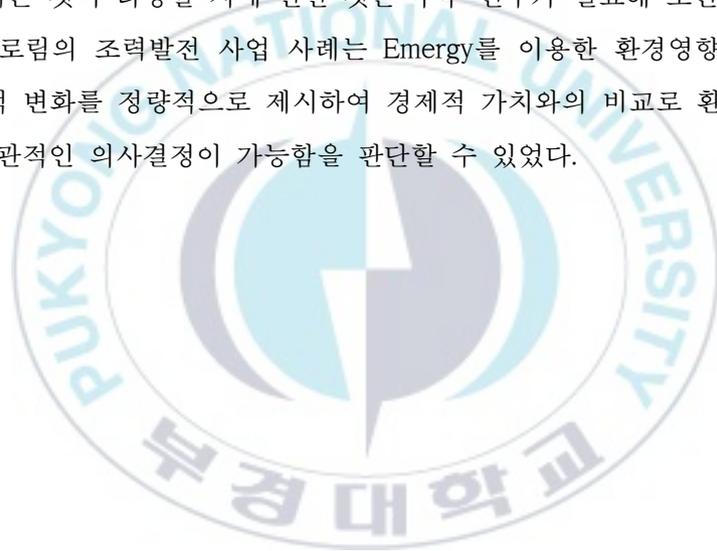
두 사업 모두 조력발전 사업임에도 불구하고 이러한 차이가 나는 이유는 시화호의 경우에는 1987년 시화방조제의 설치로 시화호라는 ‘호소’의 형태에서 이 방조제를 활용하여 조력발전소를 건설하지만, 가로림만의 경우 조력발전소 건설을 위해 방조제와 조력 발전 설비 모두를 설치해야 하기 때문에 더 많은 구매 자원의 투자가 필요하기 때문이다. 이러한 차이는 투자한 구매 자원에 비해 얻을 수 있는 이익이 높지 않아 생산 효율을 낮추게 되고 이런 결과는 EYR 지표를 통해 나타나게 된다. 또한 시화호는 원래의 호소 형태일 때는 해수 유통이 되지 않아 이용하지 못했던 조석 에너지가 개발 후 유입되기 때문에 개발을 통해 $4.19E+19\text{sej/yr}$ 만큼의 조석 에너지를 더 얻을 수 있게 된 반면 가로림만의 경우에는 건설한 방조제로 인한 마찰이 발생하여 유입되는 조석 에너지가 줄어들기 때문에 유입되는 조석 에너지가 $2.73E+20\text{sej/yr}$ 만큼 감소하게 된다. 이 변화가 ELR을 통해 나타나게 되고 이러한 이유로 동일한 조력발전 사업임에도 불구하고 시화호는 타당한 사업으로 가로림만은 타당하지 않은 사업이라는 의사결정을 할 수 있게 된다.

두 사례를 연구하는 과정에서는 자료의 부족과 Emegy 분석 상의 문제가 있었는데 먼저 사례로 이용한 두 가지 사례 모두 조력발전의 사례로 산업 평균의 지표 값을 구하기 위해서는 조력 발전 사업의 평균적인 지표 값을 이용하는 것이 이상적이거나 자료 수집의 한계로 여기서는 풍력, 지열, 수력 발전 즉, 친환경 에너지를 전력생산에 이용하는 사업들의 평균을 이용해야 했다. 비록 이 값이 조력 발전 사업의 평균적인 값은 아니지만 친환경 에너지를 이용한 발전소들의 평균이기 때문에 본 사례의 결과와 비교하기 위한 대략적인 산업 평균값으로 이용가능하다 할 수 있다. 여러 산업에

서 Emergy를 이용한 환경영향평가 의사결정 방법을 이용하기 위해서는 Emergy 분석 결과에 대한 데이터 베이스 구축 하는 것도 추후 발생할 수 있는 유사한 문제에 대한 하나의 해결 방법이 될 수 있다.

다음으로 조력발전사업의 평가이기 때문에 조력 에너지의 계산이 중요하였는데 조력 발전을 하게 될 경우 방조제 뒤의 내수면에서의 조력 에너지를 조력 발전으로 인해 변화한 값으로 구할지 혹은 조력 발전의 터빈을 돌리는 힘만을 그 조력 발전 시스템으로 유입되는 조력에너지 값으로 볼 것인가에 관한 논란의 소지가 있었다. 하지만 여기서는 사례 연구를 통해 본 연구가 제시한 환경영향평가의 의사결정 방법의 실용성에 대해 제시하려 하기 때문에 내수면에서의 조력 에너지를 조력 발전 시스템에서 유입되는 조력 에너지로 계산하였고, 조력 발전 시스템에서 유입되는 조력 에너지를 어떻게 계산하는 것이 타당할 지에 관한 것은 추후 연구가 필요해 보인다.

시화호와 가로림의 조력발전 사업 사례는 Emergy를 이용한 환경영향평가 의사결정 방법이 환경적 변화를 정량적으로 제시하여 경제적 가치와의 비교로 환경성과 경제성을 고려한 객관적인 의사결정이 가능함을 판단할 수 있었다.



다. 지역적 기준으로 분류되어야 하는 사업에 대한 평가

지역적 관점 분류되어야 하는 사업에 대한 평가 사례는 세종시의 행정중심복합도시 (이하 행복도시) 도시계획 사업으로 선정하였다. 세종시 행복도시의 Emergy 평가는 에머지 분석방법에 의한 세종시 환경용량의 지속성 평가 연구(임비호, 2013)를 통해 인구 30만 도시계획과 50만 도시계획으로 나누어 평가하였고, 지역의 평균은 국가와 지역 시스템의 지속성 평가에 대한 연구(최영근, 2003)에서 충남의 emergy 지표 값을 이용하였다.

Table 13. Emergy indices for Sejong city, Korea with 300 thousands population(Rim, 2013)

Item	Name of index	Expression	Original (sej/yr)	New (sej/yr)	Regional mean
1	Renewable emergy flow	R	1.07E+21	1.07E+21	8.77E+22
2	Nonrenewable emery flow	N	5.44E+17	5.44E+17	1.33E+20
3	Flow of imported emergy	F	1.03E+20	2.18E+21	3.41E+22
4	Production(P)	R+N+F	1.17E+21	< 3.25E+21	4.30E+22
5	Emergy yield ratio(EYR)	(R+N+F)/F	11.39	> 1.49	> 1.26
6	Environmental loading ratio(ELR)	(N+F)/R	0.10	< 2.04	< 3.09
7	Emergy sustainability index(ESI)	EYR/ELR	117.74	> 0.73	> 0.32

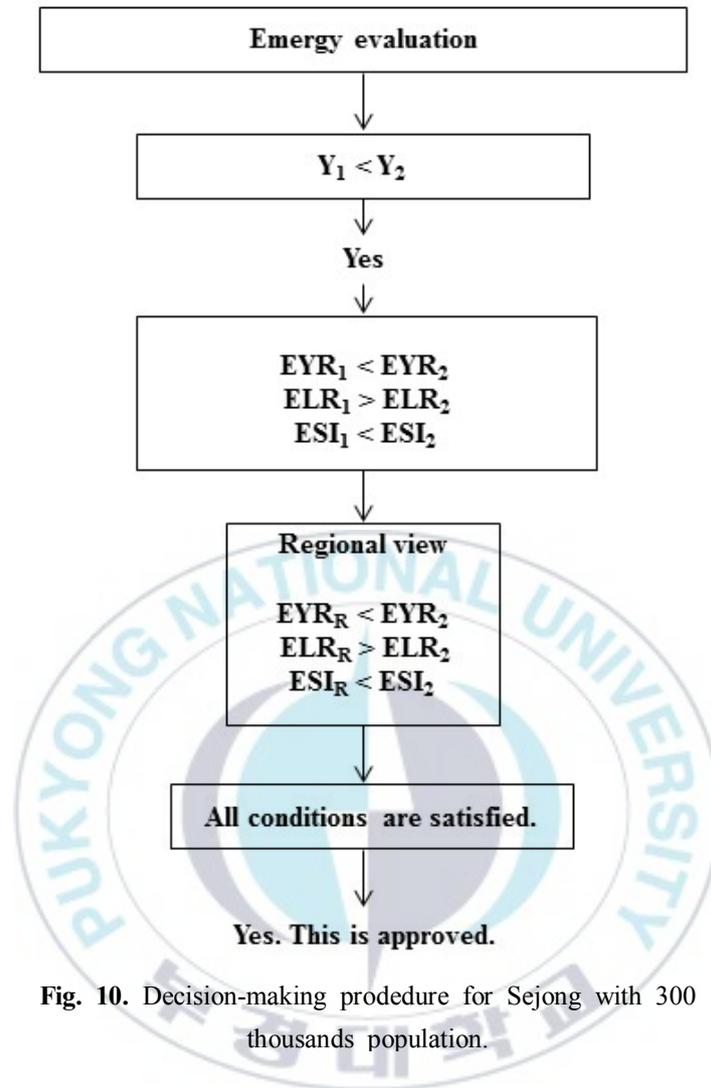
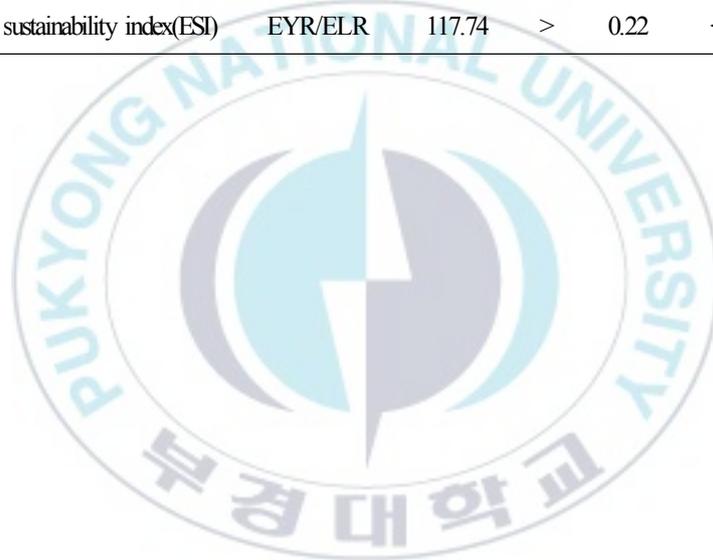


Fig. 10. Decision-making procedure for Sejong with 300 thousands population.

Table 14. Emergy indices for Sejong city, Korea with 500 thousands population(Rim, 2013)

Item	Name of index	Expression	Original (sej/yr)	New (sej/yr)	Regional mean
1	Renewable emergy flow	R	1.07E+21	1.07E+21	8.77E+22
2	Nonrenewable emergy flow	N	5.44E+17	5.44E+17	1.33E+20
3	Flow of imported emergy	F	1.03E+20	5.76E+21	3.41E+22
4	Production(P)	R+N+F	1.17E+21	< 6.83E+21	4.30E+22
5	Emergy yield ratio(EYR)	(R+N+F)/F	11.39	> 1.19	< 1.26
6	Environmental loading ratio(ELR)	(N+F)/R	0.10	< 5.38	> 3.09
7	Emergy sustainability index(ESI)	EYR/ELR	117.74	> 0.22	< 0.32



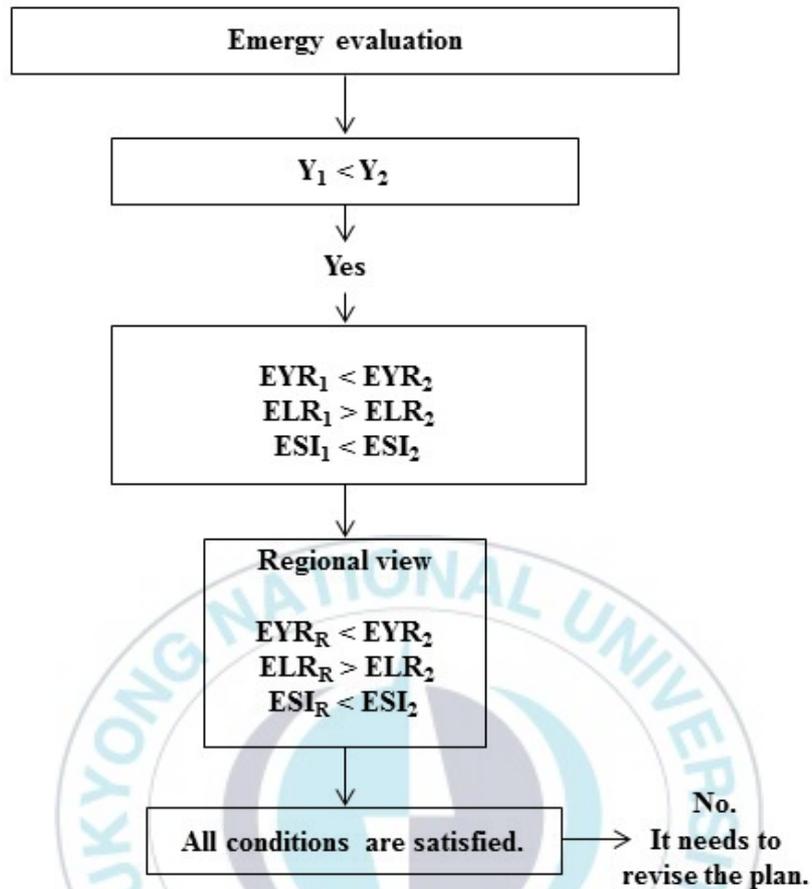


Fig. 11. Decision-making procedure for Sejong with 500 thousands population.

Table 13와 14는 각각 인구 30만을 목표로 하는 도시계획 개발 전 후의 energy 평가표, 인구 50만을 목표로 하는 도시계획 개발 전 후의 energy 평가표이다. 두 표를 살펴보면 총 산출량이 개발 후가 개발 전보다 더 커서 다음 단계인 EYR, ELR, ESI 지표 비교 단계로 넘어가고 개발 전보다 개발 후의 모든 지표 값이 개선되지 않기 때문에 다음 단계로 넘어간다. 그 다음 단계에서는 행복도시는 지역적 기준으로 비교할 수 있으므로 행복도시보다 행정구역상에서 한 단계 상위에 있는 충북의 Energy 지표 평균과 비교하여야 한다. 지역의 평균의 Energy 값을 사용할 때에는 트렌드 분석을 통해 행복도시 사업이 완료되었을 시점의 값을 예측하여 사용하여야 하지만 자료가

부족하여 여기에서는 1999년의 충북 Emergy 지표 값을 이용하였다. 그 결과 인구 30만을 목표로 하는 사업의 경우에는 모든 지표 값이 기준에 부합하지만 인구 50만은 그렇지 않았다. 이를 통해 세종시 행복도시의 도시계획은 인구 30만을 목표로 한다면 타당하지만 인구 50만을 목표로 도시계획을 수립한다면 그 사업은 타당하지 않다는 결론을 내릴 수 있다.

반면 실제 진행됐던 행정중심복합도시 환경영향평가(한국토지공사, 2006)의 종합평가의 경우 환경의 변화가 예상되는 항목들에 대한 나열과 요약수준에 그치고 있어 지속가능성이나 인구 수용력에 대한 고려에 어려움이 있다. Emergy 분석법을 이용한 환경영향평가의 의사결정 방법을 이용한다면 인구 30만을 목표로 도시계획을 한다면 인구 수용력을 벗어나지 않는 수준에서 환경과 조화로운 도시계획이 가능하지만 인구 50만을 목표로 도시계획을 한다면 인구 수용력을 넘어서는 인구 유입으로 타당하지 않다는 의사결정이 가능하다. 하지만 여기서 이용한 지역적 평균은 1999년으로 충북의 지역적 평균이 변화하는 트렌드 분석을 통해 세종시 행복도시 사업이 완료되는 시점으로 지역적 평균값을 보정해준다면 30만 인구 계획 역시 타당하지 않다는 결과가 나올 수 있다. 또한 인구 증가에 따라 내부의 주거문제나 폐기물 처리 문제, 수질 오염 문제 등의 변화가 발생할 수 있으나 본 연구의 결과는 이러한 변화를 구매 자원의 증가로만 표현 할 수 있어 세부적인 부분을 다루지 못하는 문제가 발생할 수 있다. 이는 Emergy 지표가 거시적 관점에서의 평가 결과만 나타낼 수 있어 나타나는 한계이지만 반대로 그동안의 환경영향평가는 세부적인 환경 영향을 평가하는 것에 치우쳐 전체 시스템적 관점에서 환경적으로 지속가능한 발전의 방향으로 사업의 계획을 수립하고 있는가에 관한 평가는 하지 못하였기 때문에 Emergy 평가법을 이용한 환경영향평가 의사결정 방법은 사업의 방향성이 환경적으로 건전하고 지속가능하도록 나아갈 수 있는 가이드적인 역할을 할 수 있는 방법이라 할 수 있다.

V. 결 론

우리 지구가 우리에게 제공해주는 자원들을 이용하여 발전해온 우리 인류는 더 이상의 무분별한 개발에서 벗어나 ‘환경적으로 건전하고 지속가능한 발전’을 추구하고 환경 보존과 인간의 개발 욕구의 합의점을 찾아야하는 과제에 당면해 있다. 그런 의미에서 지속가능한 발전과 관련된 수많은 연구들이 진행되는 것은 자연을 함께 조화를 이루어야 할 존재로 인식이 전환이 되고 있음을 보여주는 현상이라 할 수 있고 그 중심에서 개발계획의 시행에 있어서 타당성을 분석하고 이를 토대로 의사결정하는 것이 중요해 지고 있다.

하지만 개발계획에 관한 타당성을 분석하고 의사결정을 대표적인 제도인 환경영향평가는 환경영향을 예측하고 저감방안을 제시하여 최초의 계획보다는 좀 더 환경적인 개발계획이 될 수 있도록 이바지 하고 있으나 전체 시스템적 관점에서 해당 사업이 지속가능한 발전의 방향으로 가는가에 관한 평가는 부족했던 것이 사실이다.

한편, 경제적 관점에서 개발계획의 타당성을 분석하는 비용-편익 분석이나 소비자 지불의사에 기반을 둔 가치평가는 환경적 가치를 상대적으로 낮게 평가하여 경제적 가치와 환경적 가치를 동일한 기준에 판단한다고 보기 어려웠다. 시스템으로부터 유입되는 에너지원이나 자연환경에 관한 것에 대해서는 일부 포함하지 못하고 있기 때문이다.

반면, 환경적 가치와 경제적 가치를 하나의 큰 생태계서비스로 포함시켜 가치평가할 수 있도록 하는 생물리적 방법인 Emergy 평가법이 많은 국내외 연구자들에 의해 연구되고 있고 이 방법은 환경 영향 항목별 점수 부여나 전문가의 상세 기술 혹은 경제학적 평가법과는 다른 관점으로 생태계의 실질적인 가치를 평가하여 생태계의 지속가능한 발전을 위한 정책 수립을 도울 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 Emergy 지표를 이용하여 개발계획의 타당성을 분석하고 의사결정 하는 방법을 제시하였다. 이를 위해 기존 연구에서 다양하게 제시되고 검증되어온 Emergy지표들 중 연구 목적에 맞는 지표들을 선정하고 지표의 범위를 설정해 Emergy지표를 이용한 의사결정 절차를 만들었다. 그리고 이 연구의 결과인 타당성 분석과 의사결정 절차에 따라 실제 개발계획의 타당성을 분석하였다. 그 결과 새만금, 가로림만, 50만 인구의 세종시 도시

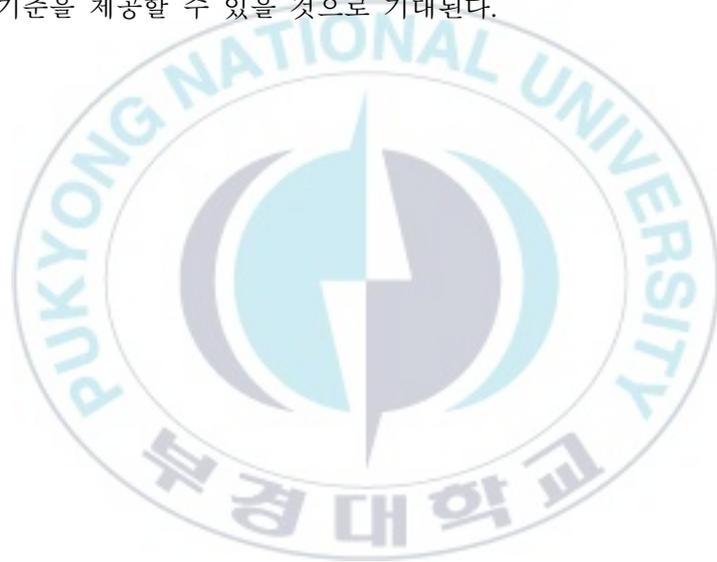
계획은 사업의 시행이 타당하지 않다는 결과가, 시화호와 30만 인구의 세종시 도시계획은 사업의 시행이 타당하다는 결과가 나왔다. 이 사례들은 실제 환경영향평가가 이루어진 사업들로 환경영향평가 상에서는 모든 사례가 사업의 시행이 타당하다는 결론을 내고 있었다. 이런 차이가 나는 것은 기존의 평가들은 경제적 비용과 편익만을 고려하거나 개발 후 예측되는 환경오염 등에 관해 법률상에 명시하는 규제 기준을 벗어나지만 않는다면 환경 피해가 예측 되더라도 타당한 사업이라 평가했기 때문이다. 반면 본 연구의 방법은 환경적 가치를 생물리적 단위로 나타내기 때문에 절대적인 환경적 가치를 계산할 수 있고 객관적으로 경제적 가치와 비교가 가능하다. 때문에 환경적 가치와 경제적 가치를 동일하게 평가할 수 있고 또한 Energy 지표를 이용하였기 때문에 Energy 분석의 결과를 직관적으로 비교할 수 있다.

하지만 이 Energy 지표의 이용으로 세부적인 것을 나타내지 못하고 거시적 관점에서 개발 계획 전 후의 시스템 변화만을 나타낼 수 있다는 측면이 있다. 또한 시스템으로 유입되는 흐름(Flow)만으로 평가하고 있기 때문에 개발로 인해 대상 시스템이 변화할 것이라는 경향성에 초점을 둔 평가라는 비판을 받을 수도 있다. 내부 저장고의 가치 분석이 부재한 것은 시스템의 환경적 가치를 완전히 고려하지 못해 본 연구의 한계점으로 남아있다. 하지만 energy 분석법을 이용한 환경영향평가의 의사결정 방법은 세부적인 환경 영향을 평가하는 것에 치우쳐 있던 기존의 평가법이 전체 시스템의 관점에서 환경적으로 지속가능한 발전의 방향 나아갈 수 있도록 방향성을 제시하는 가이드 역할을 할 수 있다고 판단된다. 또한 내부 저장고에 관한 문제는 환경적 에너지원 흐름(flow)의 축적이 내부 저장고를 생성하기 때문에 환경적 에너지원의 흐름이 변화한다면 내부 저장고에도 영향을 미쳐 본 연구의 방법이 저장고의 가치를 완전히 배제하고 있다고 보기 어렵다. 그리고 본래 Energy 평가는 흐름(flow)뿐만 아니라 저장고 분석 역시 함께 이루어지기 때문에 Energy 평가법에서는 저장고 분석이 가능하며 내부 저장고의 손실을 환경적 에너지원의 유입으로 보상하는데 소요되는 시간을 산정하는 선행연구(김우석, 2002)가 있었기 때문에 이를 활용한 추후연구가 이루어진다면 내부저장고의 환경적 가치도 반영할 수 있는 의사결정 방법이 될 수 있을 것이라 기대된다.

기존의 타당성 분석 방법들은 세부적인 것에 집중하여 전체 시스템적 관점에서 거시

적 관점을 제시하지 못하였다면 Emergy를 이용한 개발계획의 타당성 분석 및 의사결정은 거시적 관점에서 결과를 제공할 수 있다. 이는 정책 결정자나 사업 시행자에게 사업의 시행 여부나 사업의 재검토에 관한 방향을 제시해 줄 수 있다. 본 연구 결과는 또한 환경적 가치와 경제적 가치만을 비교하여 의사결정 한다면 어떤 결과가 나올 수 있는지를 제시하고 의사결정자가 이를 활용한다면 사회적, 문화적 상황과 함께 고려하여 합리적인 결론을 내릴 수 있도록 과학적 토대를 제공하는 역할을 할 수 있을 것이다.

Emergy 평가법을 개발계획의 타당성 분석 및 의사결정에 적용시켜 환경적 가치와 경제적 가치의 동일한 기준으로의 비교 방법을 제시한 본 연구는 개발 계획이 환경적 가치와 경제적 가치를 동일 선상에 두고 지역과 산업의 평균적인 수준을 만족시킬 수 있는 객관적 기준을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.



참고문헌

- Brown, M. T. and T. R. McClanahan, 1996, Emergy analysis perspectives of Thailand and Mekong River dam proposals. *Ecological Modelling*, 91, pp. 105-130.
- Brown, M. T. and S. Ulgiati, 1997, Emergy based indices and ratios to evaluate sustainability : monitoring economies and technology toward environmentally sound innovation. *J. Ecological Engineering*, Vol. 9, pp. 51-69.
- Brown M. T., and S. Ulgiati, 2002, Emergy evaluations and environmental loading of electricity production systems, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 10, pp. 321-334.
- Brown, M. T. and S. Ulgiati, 2004, Emergy , transformity and ecosystem health. In S. E. Jorgensen et al. (eds) *Handbook of ecological indicators for assessment of ecosystem health*, Elsevier. New York, pp. 135-170.
- Odum, H. T., 1983, *System ecology*, John Wiley & Sons, pp. 644.
- Odum, H. T., 1988 : *Energy, environment and public policy: A guide to the analysis of system*. UNEP regional seas reports and studies, No.95, United States Environmental Programme, Nairobi, Kenya, pp. 109.
- Odum, H. T., 1983, *System ecology*, John Wiley & Sons, pp. 644.
- Odum, H. T., 1994, *Ecological and general systems*, The University Press of Colorado, pp. 644.
- Odum, H. T., 1996, *Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making*, John Wiley and Sons, New York, USA, pp. 169-171, 370.
- UNEP, 1987, *Goal and principles of environmental impact assessment*
- UNCED, 1992, *RIO declaration on environment and development*
- WECD, 1987, *Report of the world commission on environment and development: Our common future*

- 강대석·남정호, 2003, 에머지 개념을 이용한 해양환경자원의 가치평가와 정책활용 방안, 연구보고서, 국립해양조사원, pp. 24-40.
- 국토해양부, 2009, 가로림 조력발전소 건설사업 관련 사전환경성검토서, ME20090052, 세종, pp. 597-611.
- 권영한·오진관·안소은, 2014, 정책계획 전략환경영향평가를 위한 지표 개발, 한국환경정책평가연구원, pp. 33-47.
- 김남국·김진이·박동기·이석모, 2008, 에머지 개념을 이용한 산지가치의 계량화에 관한 연구, 한국환경과학회, Vol. 17, No. 3, pp. 305-314.
- 김남국·장윤영, 2016, 에머지 개념을 이용한 국토환경용량 산정 및 지속성 평가에 관한 연구, 한국환경영향평가학회, Vol. 25, No. 2, pp. 141-154.
- 김우석, 2002, 환경회계에 의한 공유수면매립사업의 사전환경성검토방법 개발과 적용, 부경대학교 석사학위논문, pp. 35-49.
- 김진이·이수용·박주현·류덕희, 2010, 시스템 생태학적 접근법에 의한 서낙동강 유역의 지속성 평가, 한국물환경학회, Vol. 26, No. 3, pp. 439-445.
- 김태윤, 1998, 조건부 가치 측정법의 이론과 성공적 시행 지침, 한국정책분석평가학회, Vol. 8, No. 1, pp. 47-64.
- 남정호·강대석, 2016, 에머지 방법론을 이용한 갯벌생태계의 가치 평가: I. 에머지 유입특성, 한국해양학회, Vol. 21, No. 4, pp. 134-143.
- 박지현·최준규, 2016, 환경영향평가 사후관리의 발전방향 설정과 실천전략 모색, 한국환경영향평가학회지, Vol. 25, No. 6, pp. 165-174.
- 새만금사업환경영향공동조사단, 2000, 새만금사업 환경영향공동조사 종합보고서.
- 송영일, 2005, 전략환경평가제도의 시행 및 기대효과, 한국환경정책평가연구원, Vol. 4, No. 2, pp. 19-30.
- 오영석, 1998, 영월다목적댐 건설사업 환경영향평가서의 분석과 정책방향, 한국정책학회보, pp. 53-71
- 유승훈·강대석, 2007, 가로림만의 환경가치평가 연구, 연구보고서, 해양수산부, pp. 163-175.
- 유현석, 2010, 개발계획의 종합환경영향평가지수 산정에 관한 연구, 한국환경정책·평가연구원.
- 이상돈, 1999, 우리나라 환경영향평가제도의 현황과 향후 발전방향, 한국자원경제학회, Vol. 8, No. 1, pp. 163-174.

- 이석모 · 손지호 · 강대석, 2000, 시스템 생태학적 접근법에 의한 한국의 지속적인 발전 가능성 평가(Ⅰ) - 한국의 자연환경과 경제활동에 대한 Emergy 평가 -, 한국환경과학회지, Vol. 9, No. 6, pp. 449-454.
- 임비호, 2013, 에머지 분석방법에 의한 세종시 환경용량의 지속성 평가 연구, 공주대학교 석사학위논문, pp. 54-55.
- 정병길, 2009, 우리나라 환경영향평가제도의 문제점 및 개선방안에 관한 소고, 한국비교공법학회지, Vol. 10, No. 2, pp. 327-349.
- 주용수, 2006, 시화호 조력발전 건설사업에 대한 Emergy 평가, 부경대학교 석사학위논문, pp. 31-47.
- 최영근, 2003, 국가와 지역 시스템의 지속성 평가에 대한 연구, 부경대학교 박사학위논문, pp. 76-79.
- 최준규, 2008, 우리나라 환경영향평가제도에 요구되는 개혁의 필요성과 방향, 한국환경정책평가연구원, Vol. 12, No. 1, pp. 1-8.
- 한국농어촌공사, 1989, 새만금 지구 간척종합개발계획 환경영향평가서, ME1989J005, 나주, pp. 419-439.
- 한국수자원공사, 2004, 시화호 조력발전 건설사업 환경영향평가서, ME2004C005, 대전, pp. 833-854.
- 한국토지공사, 2006, 행정중심복합도시 환경영향평가, K130803, 진주, pp. 1033-1047.
- 한상욱, 1998, 환경영향평가제도 -국내외 동향과 향후과제-, 문화사, pp. 15-32.

Appendix

Appendix 1. Footnote for Table 7.

7 Good&Services			
새만금 종합개발 계획 예산 / 내용연수 (30년) (방조제 공사비용&내부개발비용)	(3.05E+12)/20=	2.17E+20	₩/yr

Appendix 2. Footnote for Table 11.

1 Sunlight			
Shiwha area	= 4.38E+07	m ²	
Albedo, sea	= 0.1		
Insolation	= 5.70E+09	J/m ² / yr	(KMA, 1999)
Energy	= (Area)×(Insolation)×(1-albedo) = 2.25E+17	J/yr	
2 Wind			
Avg. wind speed	= 2.2	m/s	(KMA, 1999)
Geostrophic wind	= (Averager wind speed)×(10/6) = 3.7	m/s	
Density of air	= 1.3		
Drag coeff.	= 0.001		
Energy	= (area)×(air density)×(drag coeff)×(geo.wind ³) x(3.1536E+07 sec/yr) = 9.10E+13	J/yr	
3 Total water			
Total Energy	= 5.79E+18	sej/yr	
Rain, chemical potential (land)			
Rain	= 1.47	m/yr	(KMA, 1999)
Energy	= (area)×(rain)×(1000 kg/m ³)×(4940 J/kg) = 3.18E+14	J/yr	
UEV	= 1.82+04	sej/J	(Odum et al., 2000)
Emergy	= 5.79E+18	sej/yr	

Actual Evaporation (land), chemical potential		
Evapotrans. ratio	= 0.42	(MLIM, 2011)
Energy	= (area)x(rain)x(Evapotrans.ratio)x(1000 kg/m ³)x(4940 J/kg)	
	= 1.34E+14	J/yr
UEV	= 6.20E+21	sej/J (Odum et al., 2000)
Emergy	= 8.28E+35	sej/yr
Runoff, chemical potential		
Runoff ratio	= 0.58	(MLIM, 2011)
Energy	= (area)x(rainfall)x(runoff rate)x(1000kg/m ³)x(4940 J/kg)	
	= 1.84E+14	J/yr
UEV	= 4.82E+04	sej/J (Odum et al., 2000)
Emergy	= 8.89E+18	sej/yr

Appendix 3. Footnote for Table 12.

1 Tide		
Tidal height	= 5.6555	m (시화호 조력발전 건설사업 환경영향평가서, 2004)
Number of tides	= 706	/yr
Density	= 1.025E+03	kg/m ³
Energy	= (cont shelf area)x(0.5)x(Tides/yr)x(Avg. Tide range) ² x(Density)X(gravity)	(Joo, 2006)의 계산법 이용
	= 2.49E+15	J/yr
2 Good&Service		
(1987년 시화 방조제 건설 후 30년동안 내고 있던 비용을 2010년 발전설비를 설치한다고 가정할 때 8년간 지불해야 할 비용을 다시 30년으로 나눠준다)		
for seewall construction &management	(2010년 발전소 설치라 가정했을 때 8년간 지불할 비용)	
	=: (연간 방조제 비용)x 8year	
	=: 2.22E+10 x 8	₩
	= 1.78E+11	₩
	= 연간 방조제 비용	
	= (5.92E+09)/30(내용연수)	
	= 5.92E+09	₩/yr
for power plant construction &management	= 9.47E+09	₩/yr
Total	= 1.54E+10	₩/yr

Appendix 4. Footnote for Table 14.

7	Good & Services			
	Fishery	=	3.71E+10	₩/yr (가로림 조력 타당성조사 보상비 산정용역 보고서 2004)

Appendix 5. Footnote for Table 15.

4	Wave			
	Energy	=	방조제에 의해 wave의 유입이 없다	
5	Tide			
	Tidal height	=	3.925	m (가로림만 사전환경성 평가 2009)
	Number of tides	=	706	/yr
	Density	=	1.025E+03	kg/m ³
	Energy	=	(cont shelf area)x(0.5)x(Tides/yr)x(Avg. Tide range)^2x(Density)X(gravity)x(0.5)	J/yr
		=	3.09E+15	J/yr
7	Good&Service			실제로 현재 추진 중인 가로림 조력발전소는 520MW급이지만 이와 관련된 경제성 분석자료가 없기 때문에 부득이 2005년에 발간된 480MW급 시설용량을 가정한 경제성 분석결과를 이용하였다.
	for construction	=	9.20E+11	₩
	Service life	=	30	yr
		=	(G&S for construction)/(30year)	
		=		
	for management	=	1.56E+10	₩/yr
	Total	=	(G&S for construction)+(G&S for management)	
		=	9.36E+11	
	Service life	=	30	yr
	Energy	=	4.63E+10	₩/yr

감사의 글

학교에 입학하여 첫 수업을 듣던 때부터 지금까지의 여정이 막바지에 이르러 이 감사의 글을 쓰고 있다는 것이 믿겨지지 않습니다. 생태공학과에 있으며 마주했던 많은 분들의 애정 어린 걱정과 따뜻한 도움의 손길로 오늘의 결과를 만들 수 있었습니다. 감사의 인사를 전하고 싶은 분들이 너무나 많지만 누구보다 먼저 본 논문이 완성되기까지, 그리고 학부와 대학원 생활에서 많은 격려를 주시고 긴 방향의 길에서 저를 이끌어주신 이석모 교수님께 감사드립니다. 교수님의 따뜻한 관심과 격려로 석사 과정을 도전할 수 있었고 또 이렇게 미약하게나마 마무리 할 수 있었습니다. 언제나 큰 마음속 울림을 전해주셔서 감사하고 교수님의 기대에 부응하지 못한 것 같아 늘 죄송합니다. 여전히 부족함 많은 제자이지만 이제는 학교 밖에서, 저의 자리에서, 교수님의 가르침을 늘 생각하며 더 나은 제자가 되도록 하겠습니다. 더불어 긴 학교 생활동안 학문적으로도 또 인생에 있어서도 많은 조언을 주셨던 강대석 교수님, 정용현 교수님, 성기준 교수님, 김동명 교수님, 최창근 교수님, 로라 교수님께도 감사의 인사를 드립니다.

그리고 천방지축 딸이라고 걱정 많이 하셨던 우리 부모님! 인생의 한 막을 내리고 다음 막을 시작하려 합니다. 항상 부모님의 큰 자랑으로 더 이상 걱정 안하시도록 성숙한 딸이 되도록 하겠습니다. 그리고 우리 사랑하는 동생. 어떤 때는 나보다도 성숙한 모습에 마음 아팠던 동생아 너도 항상 내게 큰 힘이였다.

하천 및 해양생태공학 연구실! 모든 선후배님들께도 감사의 말을 전합니다. 특히 연구실 생활을 같이 했던 봉균선배, 영운선배, 재환선배, 동주선배, 현용선배, 용현선배, 효선선배~ 따끔한 충고도 걱정도 다 감사히 받았습니다. 처음 아무것도 모르고 연구실에 왔던 때가 생각나네요. 선배들이 가는 길이 너무나도 커 보이고 대학원과정을 할 수 있을까 했는데 마무리가 되니 신기하기도 하고 얼떨떨한 기분도 듭니다. 그리고 현역으로 방을 이끌어갈 종민이, 나에 조금만 더 수고하고, 요새 고민이 많은 승표도, 항상 센스 넘치는 지현이도, 애정하는 후배 경준이도 남은 학교생활 즐겁게 보내길 바래.

같이 대학원 생활을 하며 언제나 웃는 얼굴로 안부를 물어봐줬던 Edouard, 에머지

어떻게 하나며 엄청 걱정하더니 척척 해나가고 있는 나령언니, 우리 동기 무당벌레 열심히 그렸던 현재도 지금까지 해왔던 것처럼 졸업까지 파이팅하길 바래요. 잘 할거라 믿어요. 응원합니다.

내게 항상 세상을 바라보는 또 다른 창이 돼주었던 친구들! 논문 언제 끝나냐고 아직도 쓰고 있냐고 졸업 좀 하라더니... 애들아 나 드디어 졸업 한다!! 가장 가까이에서 번덕심한 나 때문에 고생하는 우리 나니, 막바지에 힘이 빠져 넘어져있던 내게 가장 힘이 됐던 건 너였어. 고마워요 정말. 그리고 매일 바쁘다고 징징거려서 미안하다 나의 단짝 그리고 애증하는 정민아! 내가 가장 힘들었던 그 날 곁에서 지켜봐주고 걱정해줬던 너의 전화를 잊지 못한다 나는. 그리고 요새 임용준비로 바빠 얼굴보기도 힘들지만 언제나 내가 사랑하는 혜수야 잘하고 있는 거 안다 힘내자. 항상 신선한 활력을 불어넣어주는 Hannah, 멀리 호주로 가버렸지만 간간이 소식 전하며 어디에 있는지 서로 응원해주는 혜진이, 항상 맛깔나게 얘기하고 내가 너무 좋아라 하는 친구 서인이, 아틀랜타에서 지금까지 항상 큰사람 되자고 응원해주는 Jack, 내 오춘기에 8할의 지분을 가지고 있는 그래서 너무 고맙고 미안한 이제여리, 징글징글 내 얘기 들어 준다 고생하는 형근이 오빠, 권중호 다들 고맙고 너네들이 내 인생의 보물이다. 더불어 우리 꼬맹이들 진아, 유진이, 수경이, 예술이, 이나! English network에서 영어뿐만 아니라 항상 생각지도 못한 통찰력을 보여주는 그리고 급박한 SOS 때문에 고생한 Vincent쌤! 내가 많은 경험을 해볼 수 있도록 해줬던 언제나 깨발랄한 Sharkys쌤! 여러분 덕분에 항상 좋은 에너지를 얻어서 더 열심히 학교생활 할 수 있었습니다. 다들 고마워요.

마지막으로 그동안 저와 저의 학교생활에서 마주했던 모든 분들에게 소중한 추억 가져간다고 감사의 말을 전하고 싶습니다.