KEI
Working
Paper
2017-06

에머지 방법론을 활용한 유역의 지속가능성 평가

금강유역을 중심으로

이승준

KEI 한국환경정책·평가연구원
Korea Environment Institute

연구진

연구책임자 이승준 (한국환경정책·평가연구원 연구위원)

연구자문위원

강대석 (부경대학교 교수)

안소은 (한국환경정책·평가연구원 연구위원)

ⓒ 2017 한국환경정책·평가연구원

발행인	조 명 래
발행처	한국환경정책·평가연구원 (30147) 세종특별자치시 시청대로 370 세종국책연구단지 과학·인프라동 전화 044-415-7777 팩스 044-415-7799 http://www.kei.re.kr
인 쇄	2017년 12월 6일
발 행	2017년 12월 11일
등 록	제 2015-000009호 (1998년 1월 30일)
ISBN	979-11-5980-147-1 93530

이 보고서를 인용 및 활용 시 아래와 같이 출처를 표시해 주십시오.
이승준(2017), 「에머지 방법론을 활용한 유역의 지속가능성 평가: 금강유역을 중심으로」, 한국환경정책·평가연구원.

값 5,000원

서 언

국제연합(UN)은 2015년 지속가능발전목표(SDG)를 채택하면서 지속가능발전에 대한 국제사회의 협조와 노력을 공고히 하였습니다. 경제개발 논리에 치우쳐 자원을 무분별하게 사용하고, 환경을 파괴하며, 사회적 불평등을 낳았던 과거의 관행은 지속가능성의 개념을 바탕으로 점차 사라져 가고 있습니다. 이제 우리 세대뿐만 아니라 미래 세대까지 행복한 삶을 지속적으로 영위하며 누릴 수 있도록, 이에 필요한 환경과 경제 그리고 사회적 요소를 준비해야 할 시기입니다. 이와 더불어 그동안의 성장을 돌아보고 우리 사회의 지속가능성을 위해 필요한 것이 무엇인지 고민하고 논의해야 합니다.

자연환경과 사회경제환경의 공존 속에 지속가능한 발전을 이룰 수 있는 방안을 마련하기 위해서는 이 두 환경의 연계성을 바탕으로 현실을 이해하고 평가하여 미래를 대비할 필요가 있습니다. 이에 자연환경과 사회경제환경에 대한 통합적 관점을 바탕으로 그 가치를 평가하는 에머지 방법론을 활용한 유역의 지속가능성 평가방안을 제시한 본 연구는 시의적절하다고 생각합니다. 본 연구가 향후 지속가능성과 관련한 정책 결정 및 연구에 중요한 기초 자료가 될 것으로 기대합니다.

끝으로 본 연구를 수행한 우리 원의 이승준 박사께 감사를 표합니다. 바쁘신 와중에도 자문을 통해 연구에 도움을 주신 부경대학교 강대석 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 또한 우리 원의 안소은 박사의 자문에도 감사를 표합니다.

2017년 12월

한국환경정책·평가연구원

원장 **조 명 래**

일러두기

- 본 보고서에서 자료 정보가 표시되지 않은 표와 그림은 '저자 작성'임을 알려 드립니다.
- 본 보고서에 포함된 금강유역 지도 관련 작업은 한국환경정책·평가연구원 김오석 부연구위원의 도움을 받았음을 알려 드립니다.

국문요약

지속가능성은 환경, 경제, 사회의 상호 연계성을 바탕으로 균형 있는 발전을 지향하는 개념이다. 그동안에는 정책 방향이 경제에 무게를 두었으나, 이제 이를 보완하기 위해 환경 가치에 대한 적절한 평가를 요구하는 상황이다. 물질과 에너지의 순환 단위인 유역 관점의 환경관리는 자연환경을 바탕으로 하며, 자연환경과 사회경제환경의 상호작용을 중점적으로 고려한다. 이러한 배경 하에 본 연구는 자연환경과 사회경제환경의 연계성을 바탕으로 지속가능성을 평가하기 위한 도구로서 시스템적 접근을 기반으로 하는 에머지 방법론을 도입하고, 유역 단위의 지속가능성 평가방안을 제시하는 데 그 목적이 있다. 본 연구에서 제시하는 유역 단위 지속가능성 평가방안을 이용하여, 최근 세종특별자치시 출범과 더불어 행정 중심지로서 개발 압력이 높아지고 있는 금강유역을 하나의 사례로 삼아 지속가능성을 평가해 보았다.

현재 국가나 지역의 통계자료는 대부분 행정구역 중심으로 구축되어 있다. 이 점 때문에 에머지 방법론을 활용하여 행정구역 경계와 일치하지 않는 유역을 평가할 때, 행정구역 단위 통계 데이터를 유역 단위 데이터로 가공하는 과정에서 불확실성이 발생한다. 재생자원의 경우 기상 자료와 유역면적 등의 자료를 활용하므로 유역 단위 에머지 산정이 비교적 용이하다. 반면에 사회경제계와 관련한 데이터를 활용하는 외부 구매자원의 경우 행정구역 단위 데이터를 면적 비례, 경제총생산 비례, 인구 비례 등을 통해 유역 단위 데이터로 변환해야 한다. 또한 에머지는 특정 재화나 용역을 생산하는 데 들인 물질, 에너지, 정보 등의 투입량을 바탕으로 가치를 산정하는데, 사회경제계의 데이터는 많은 부분이 물질, 에너지, 정보의 단위보다 화폐량 단위로 구축되어 있는 경우가 많아 에머지가 어느 정도 저평가될 가능성을 내포하고 있다.

본 연구에서 제시한 유역 단위 에머지 평가방안을 금강유역의 에머지 평가에 적용해 본 결과, 2013년 기준으로 경제적 생산성을 의미하는 에머지 생산율(EYR)은 1.03으로 낮게 나타났으며 환경적 부담을 의미하는 환경부하 비율(ELR)은 153.18로 높게 나타났다. 따라

서 에머지 생산율과 환경부하 비율의 비로 정의하는 에머지 지속가능성 지수(ESI)는 낮은 에머지 생산율과 높은 환경부하 비율로 인해 0.0067로 낮게 나타났다. 에머지 생산율이 낮고 환경부하 비율이 높은 원인은 높은 수입 의존도 때문인 것으로 분석되었다. 즉, 유역이 사회경제활동을 위해 외국으로부터 수입하는 자원과 국내 타 지역으로부터 구매하는 자원의 에머지 비중이 전체 에머지의 대부분을 차지하기 때문에 외부의존도가 높아 지속가능성이 낮게 나타난 것이다.

에머지 방법론이 그 자체로 완전하거나 객관적인 방식이라고는 할 수 없다. 그러나 기존 의사결정을 위한 평가방법론들 중에 비교적 정량적이고 객관적인 잣대를 바탕으로 가치를 산정하는 방식이라는 점에서, 여타의 방법론에서 도출된 결과들과 함께 정책 의사결정의 도구로 활용할 가치는 충분하다고 판단된다. 국책사업이나 환경영향 평가, 생태계서비스 평가 등에 두루 활용함으로써 여타의 방법론들이 평가하지 못하는 환경자원 고유의 가치를 보다 정량적으로 평가하여 기존의 정성적 방식을 보완할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구의 결과를 바탕으로 향후 에머지 방법론을 활용한 유역 단위 지속가능성 평가를 다른 권역에도 적용하여 연구할 필요가 있다. 우리나라의 유역별로 본 연구와 같이 에머지 평가를 통해 지속가능성을 비교하고 각 권역별로 환경이나 경제 측면에서 지속가능성을 높이기 위한 다양한 정책적 시사점을 얻을 수 있을 것이다. 그리고 보다 면밀한 비교와 분석을 위해서는 데이터를 개선하고, 연구를 통해 환경부하 비율과 같은 에머지 지수체계도 보다 정교하게 활용할 수 있도록 개선할 필요가 있다. 장기적으로 자연환경과 사회경제환경의 연계성 속에서 지속가능발전을 이루어 나갈 수 있도록 유역 중심의 환경평가와 관리체계를 구축하기 위한 정책적 지원과 노력이 필요하다.

주제어 : 에머지, 지속가능성, 금강유역, 환경부하, 정량적 가치평가

차례

제1장 서 론 ····· 1
1. 연구의 필요성 및 목적 ····· 1
2. 연구의 범위 및 내용 ····· 3

제2장 유역 단위 에머지 평가방안 ····· 4
1. 에머지 방법론의 개요 ····· 4
2. 유역 단위 에머지 평가방안 ····· 11

제3장 금강유역의 에머지 평가 ····· 16
1. 금강유역의 개요 ····· 16
2. 에머지 평가를 위한 요소 및 데이터 ····· 20
3. 금강유역의 에머지 평가 ····· 22
4. 금강유역의 지속가능성 평가 ····· 25

제4장 정책적 시사점 및 결론 ····· 28
1. 금강유역의 지속가능성 ····· 28
2. 에머지 방법론을 활용한 유역의 평가 ····· 30
3. 결론 및 향후과제 ····· 33

참고문헌 ····· 35

Abstract ····· 39

표차례

〈표 2-1〉 국가 단위 에머지 산정의 주요 항목 ····· 8
〈표 2-2〉 에머지 지수체계 ····· 10
〈표 3-1〉 금강유역에 포함되는 행정구역의 면적 ····· 17
〈표 3-2〉 금강유역의 에머지 평가 ····· 22
〈표 3-3〉 금강유역의 에머지 지수 ····· 25

그림차례

〈그림 2-1〉 에너지 전환과정에서 생산물의 에머지 산정 ····· 5
〈그림 2-2〉 연안 경제를 개념모형화한 에너지 시스템 다이어그램의 예 ····· 6
〈그림 2-3〉 에머지 표의 형식 ····· 7
〈그림 2-4〉 사회경제활동을 중심으로 하는 시스템의 에머지 투입과 산출 모형 ····· 9
〈그림 2-5〉 금강유역 경계와 광역시·도 행정구역 경계 ····· 11
〈그림 2-6〉 유역과 광역시·도 경계의 모형 ····· 15
〈그림 3-1〉 금강유역에 포함되는 시·군·구 행정구역 지도 ····· 16
〈그림 3-2〉 금강유역의 개념모형 ····· 19
〈그림 3-3〉 기존 연구결과와 금강유역 에머지 지수의 비교 ····· 27

| 약어 |

EIR	Emergy Investment Ratio(에머지 투자율)
ELR	Environmental Loading Ratio(환경부하 비율)
ESI	Emergy Sustainability Index(에머지 지속가능성 지수)
EYR	Emergy Yield Ratio(에머지 생산율)
GDP	Gross Domestic Product(국내총생산)
GRDP	Gross Regional Domestic Product(지역내총생산)
IMF	International Monetary Fund(국제통화기금)
SITC	Standard International Trade Classification(표준국제무역분류)
UEV	Unit Emergy Value(단위 에머지값)
UN	United Nations(국제연합)
WAMIS	Water Management Information System(국가수자원관리종합정보시스템)

제1장

서 론

1. 연구의 필요성 및 목적

최근 4대강 사업이나 설악산 케이블카 사업 등 경제성 논리를 내세운 국책사업의 추진 문제로 인해 다양한 사회적 갈등이 발생하였다. 논의의 초점이 편익과 비용 산정에 따른 경제성에 치우치면서, 개발이 환경에 미치는 영향이나 자연환경과 사회경제환경의 상호작용 및 지속가능성에 대한 고려가 충분히 이루어지지 못하는 실정이다. 2015년 국제연합에서 지속가능발전목표(Transforming Our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development)를 채택하면서 지속가능발전의 중요성은 더욱 부각되고 있다(UN, 2015). 브룬트란트 보고서(Our Common Future)에 따르면, 지속가능발전의 핵심개념은 현 세대와 미래 세대의 삶을 위한 필수 요건을 지속적으로 충족하는 동시에 환경의 유한성을 고려한 발전을 이루는 것이다(UN, 1987). 이러한 개념 속에는 경제적, 환경적, 사회적 측면을 균형 있게 고려하는 가운데 발전이 이루어져야 한다는 의미가 함축되어 있다.

지속가능성에 대한 평가를 통해 경제적, 환경적, 사회적 측면을 균형 있게 고려하기 위해서는 자연환경과 사회경제환경에 대한 포괄적인 평가를 실시할 필요가 있다. 특히 자연환경은 그동안 시장경제에서 다루는 영역이 아니었기에 경제적 논리로는 그 가치를 충분히 고려하기 어려웠다. 또한 평가를 실시했다 하더라도 경제학적 가치평가가 자연환경 자체의 가치를 실제로 평가하기보다는 자연환경을 가공함에 따라 인간의 노동력에 의해 발생하는 부가가치의 합으로 산정하는 경향이 있었다. 자연환경을 실제 가치에 비해 과소평가할 경우 이는 곧 과거와 같이 자연환경의 무분별한 남용으로 이어진다. 자연환경은 사회경제활동을 가능하게 하는 자원을 제공하는 주체로서 사회경제환경과 밀접한 연계성을 가진다. 따라서

그 연계성 속에서 가치를 동일한 잣대로 평가할 수 있는 체계가 필요하다.

유역(watershed)은 "호수와 강, 하구, 습지, 지류를 포함하는 수체로 배수가 이루어지는 지역과 그 지역을 둘러싼 경관"으로 정의된다(이도원, 2004). 즉, 유역은 강수 등을 통해 유입된 물이 한 곳으로 모이는 지역 전체를 의미한다고 할 수 있다. 유역 내에서는 강수를 통해 물의 유입이 발생하고 유입된 물은 그 자체로 생태계를 구성하는 데 필요한 기본적인 요소로 작용한다. 그뿐만 아니라 각종 물질의 운반체로서 작용하며 서식처를 구성하는 요소로서 작용하기도 한다. 이러한 물의 순환과 작용은 큰 강과 호수, 하구, 습지, 지류 등을 중심으로 주변지역의 자연환경에 영향을 미치며 동시에 사회경제환경에도 영향을 미친다. 따라서 자연환경과 사회경제환경의 연계성을 바탕으로 지속가능성을 고려할 때, 행정구역 단위가 아닌 유역 단위로 고려하는 것은 매우 의미 있는 시도라 할 수 있다. 경제발전이 가장 우선시되었던 과거에 비해 미래의 우리나라에서는 발전된 경제를 바탕으로 자연환경과 사회경제환경을 포괄하는 환경의 중요성이 커질 것으로 전망된다. 이에 따라 장기적으로는 유역을 기준으로 하는 환경관리가 지속가능발전에 크게 기여할 것으로 예상된다.

이러한 배경 하에 본 연구에서는 자연환경과 사회경제환경의 연계성을 바탕으로 지속가능성을 평가하기 위한 수단으로 시스템 접근법(systems approach)을 고려하고, 가치평가와 지속가능성 평가를 위한 시스템 접근의 대표적 방법론이라 할 수 있는 에머지(emergy) 개념을 활용하여 유역 단위의 지속가능성 평가방법을 제시하고자 하였다. 한강유역을 대상으로 유역 단위 에머지 평가를 수행한 선행연구(강대석, 2007)를 바탕으로 본 연구에서는 일부 방법론을 개선 및 보완하여 유역 단위 에머지 평가방안을 제시하였다. 그리고 이를 바탕으로 최근 세종특별자치시 출범과 더불어 행정 중심지로서 개발 압력이 높아지고 있는 금강유역을 하나의 사례로 삼아 지속가능성을 평가해 보았다.

2. 연구의 범위 및 내용

본 연구에서는 에머지 방법론을 활용한 유역 단위 지속가능성 평가방안을 제시하고, 금강유역을 하나의 사례로 삼아 평가방법을 적용해 보았다. 먼저 제2장에서는 시스템 접근방식에 따른 에머지 방법론의 개념과 산정 방식에 대한 일반적 사항을 검토하였다. 또한 국가단위 혹은 행정구역 단위 에머지 평가와 차별화되는 유역 단위 에머지 평가방안을 고찰하였다. 제3장에서는 2장에서 언급한 유역 단위 에머지 평가방식을 토대로 금강유역의 에머지를 평가하고, 에머지 지수를 활용하여 지속가능성을 평가하였다. 제4장에서는 2장의 유역 단위 에머지 평가방안과 3장의 금강유역 지속가능성 평가사례를 바탕으로 정책적 시사점을 제시하였다.

에머지 방법론의 개념과 산정 방식의 일반적 사항에 대한 검토 시 특별한 시·공간적 범위를 한정하지는 않았다. 그러나 유역 단위 에머지 산정의 사례로 활용한 금강유역의 지속가능성과 관련한 부분은 공간적으로는 금강유역을 그 범위로 하였고, 시간적으로는 2013년을 기준으로 산정하였다. 2017년 현재 에머지 산정에 필요한 데이터 중 한국은행이 발간한 국내 지역 간 이출입 자료의 경우 2013년 데이터가 가장 최신 자료이다. 따라서 2013년 이후의 자연환경 관련 데이터가 구축되어 있는 것과 상관없이, 본 연구에서는 모든 데이터의 시간적 범위를 통일하여 2013년을 기준으로 금강유역의 에머지를 산정하였다.

제2장

유역 단위 에머지 평가방안

1. 에머지 방법론의 개요

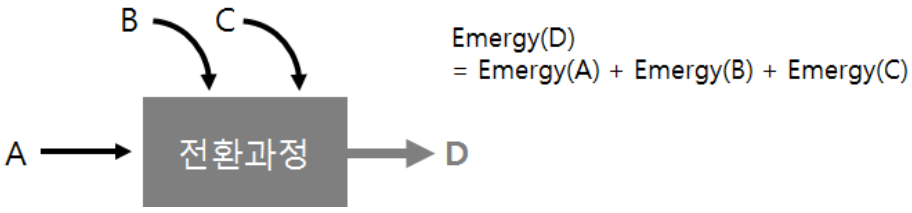
현대사회에서 화폐가 가치를 측정하는 주요 수단으로 사용되면서 화폐 단위로 측정하기 어려운 환경자원의 가치가 실제 가치에 비해 저평가되는 경향이 있었다. 자연환경에서 생산되어 가공된 재화의 화폐가치는 원료로부터 가공되어 시장에서 판매되기까지 전 과정에 투입된 노동력의 가치를 더한 값이다. 즉, 화폐는 원료나 생산물에 지불하는 것이 아니라 원료를 발굴 및 취득하고 가공하여 판매하는 과정에 들인 노동력의 가치로서 지불하는 것이다. 이러한 점에서 화폐가치는 생산물의 원료인 자연자원 그 자체가 담고 있는 가치를 충분히 반영하기 어렵다.

화폐가치를 기준으로 할 때 흔히 희소한 자원은 가치가 높게 매겨지고, 풍부한 자원은 희소성이 낮아 가치가 낮게 매겨지는 경향이 있다. 그러다 보니 풍부한 자연환경이 높은 생태계 건전성(integrity)을 유지하고 양질의 생태계서비스를 제공함에도 불구하고, 풍부하고 값싼 자원으로 인식되어 무분별하게 남용되기도 한다. 대표적인 예로 아마존 열대우림의 파괴를 들 수 있다.

지속가능성을 고려할 때 환경의 가치를 적절하게 평가하는 일이 그 어느 때보다 중요해졌다. 화폐가치 기준에서는 환경이 가진 고유의 가치를 평가하는 데 분명히 한계가 있다. 생태계서비스를 제공받는 수요자 입장에서 측정할 때는 환경 그 자체가 가진 가치를 충분히 반영하기 어렵다. 이러한 화폐중심의 가치평가를 보완할 수 있는 방식으로 공급자 입장의 가치평가방법이 있다. 대표적인 예로 에머지 방법론을 들 수 있는데, 에머지 방법론은 특정 재화나 용역을 생산하는 데 투입된 자원을 중심으로 그 가치를 평가한다.

"에머지(emergy)"는 에너지 기억(energy memory)으로 볼 수 있다. 에머지는 "재화나 용역을 생산하는 데 직간접적으로 이용된 한 종류의 이용 가능한 에너지"로 정의된다(Odum, 1996, p.7). 따라서 에머지는 현재 특정 재화나 용역이 물리적으로 가지고 있는 에너지를 의미하는 것이 아니라, 해당 재화나 용역을 만드는 데 과거에 투입된 물질, 에너지, 정보 등 여러 자원을 공통의 에너지 단위로 환산한 양의 총합을 의미한다. 특정 재화나 용역을 만드는 과정에는 다양한 물질, 에너지, 정보 등이 투입되고, 그 과정에서 다양한 에너지 전환이 발생한다. 과거에 이용된 투입물의 총합을 산정하기 위해서는 물질, 에너지, 정보 등 서로 다른 매체 간 공통의 단위가 필요하다. 또한 서로 다른 투입자원이 동일한 단위를 가지더라도 종류에 따라 일할 수 있는 능력이 서로 다르기 때문에 그러한 능력의 차이를 가중치로 반영해야 한다. 물질, 에너지, 정보 등 다양한 투입자원이 만들어지는 과정을 각각 추적하면 가장 근원적인 에너지이면서 동시에 생태계 에너지 흐름의 출발점이 태양에너지임을 알 수 있다. 따라서 공통에너지를 태양에너지(solar energy)로 정의하고 에너지 단위(joule)에 에머지를 의미하는 접두어 'em'을 붙여 solar emjoule, 즉 sej를 에머지의 단위로 활용한다.

에머지는 해당 재화나 용역을 생산하는 데 이용된 모든 에머지를 합하여 산정한다(그림 2-1 참조). 〈그림 2-1〉에서와 같이 생산물 D의 에머지는 D를 만드는 데 이용된 A, B, C의 에머지를 합하여 산정한다. A, B, C가 물질, 에너지, 정보 등 어떤 형태를 가지더라도 각각의 에머지가 sej라는 동일한 단위로 산정되기 때문에 합할 수 있다.

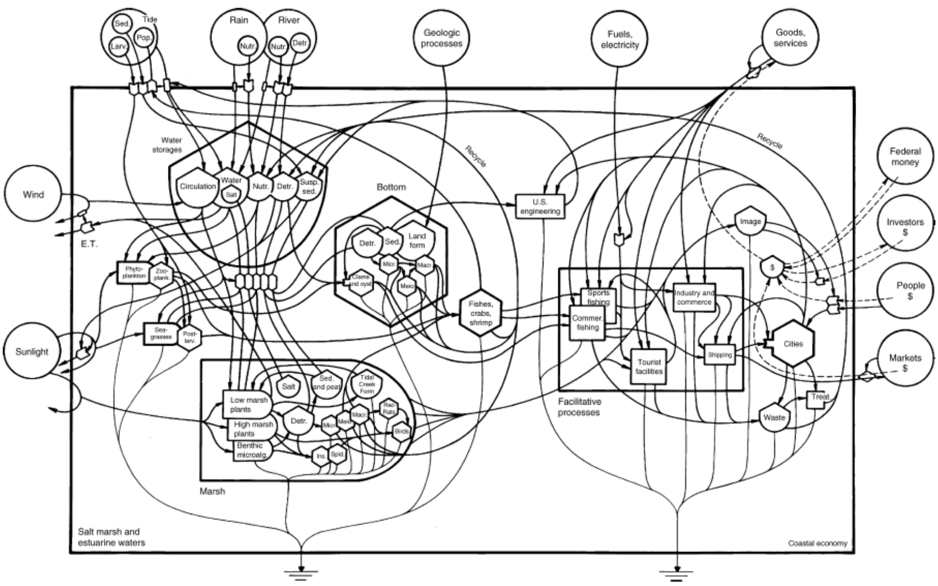


〈그림 2-1〉 에너지 전환과정에서 생산물의 에머지 산정

특정 재화나 용역의 에머지를 산정할 때 직간접적으로 투입된 모든 자원의 에머지를 합하

여 총 에머지를 산정할 수도 있지만, 이러한 방식으로 접근할 경우 에머지 산정과정이 실제로 매우 복잡하고 난해해진다. 이러한 이유로 에머지 방법론에서는 해당 재화나 용역의 흐름(flow)을 알고, 단위 흐름을 만드는 데 필요한 에머지를 뜻하는 단위 에머지값(Unit Emergy Value, UEV) 정보를 알 경우 두 값을 곱하여 에머지를 산출한다. 에머지 활용을 위해 그동안 자연환경 및 사회경제환경의 많은 요소들에 대한 UEV값을 연구하여 왔다(UEV와 에너지의 질적 차이에 관해서는 이승준(2016), pp.22-30 참고).

에머지를 산정하는 방식은 다음과 같다. 에머지를 산정하기 위해서는 먼저 대상 시스템에 대해 이해해야 한다. 대상 시스템의 생산물을 만드는 데 들어간 투입물에 어떤 요소들이 있는지, 이들이 어떤 관계를 갖는지 등에 대해 개념모형을 작성한다. 개념모형을 작성할 때는 명확하게 전달할 수 있도록 에너지 시스템 다이어그램처럼 정해진 규칙을 갖는 시각적 도구를 활용할 수 있다(에너지 시스템 다이어그램의 부호별 의미는 이승준(2016), pp.4-5 참고). 〈그림 2-2〉는 에너지 시스템 다이어그램의 예이다.



자료: Montague(2007), p.3.

〈그림 2-2〉 연안 경제를 개념모형화한 에너지 시스템 다이어그램의 예

개념모형에 포함되는 요소들의 구체적인 정도는 대상 시스템과 연구목적에 따라 달라진다. 개념모형 작성 초기에는 최대한 모형을 구체적으로 표현하고, 이후 필요에 따라 세부내용이 필요 없는 요소들끼리 병합하는 것이 바람직하다. 개념모형 작성 과정에서는 시스템 경계를 명확히 설정하고 내부 요소들과 외부 요소들을 구분한다.

개념모형을 통해 평가하고자 하는 시스템의 개념이 명확해지면 투입자원을 중심으로 에머지 표(emergy table)를 작성한다. 에머지 표는 각 항목의 주석을 표시하기 위한 번호(note), 항목명(item), 각 항목의 흐름 및 단위(flow & unit), 단위 에머지(UEV), 에머지(emergy), 화폐 단위 환산 에머지(emvalue)로 구성된다(그림 2-3 참조). 에머지 표를 작성하고 각 항목의 흐름 데이터와 UEV 데이터를 곱하여 해당 항목의 에머지값을 구한다. 화폐 단위 환산 에머지(emvalue)는 '에머지값'에 '에머지/화폐 비율값'을 나누어 얻을 수 있다. 이때 활용하는 에머지/화폐 비율값은 국가 단위일 경우 해당 국가의 국내총생산(GDP)을 화폐값으로, 해당 국가의 연간 에머지를 에머지값으로 하여 구한다. 지역 단위일 경우에는 해당 지역의 지역내총생산(GRDP)과 지역의 연간 에머지값을 이용하여 그 비율을 구할 수 있다.

Note	Item	Flow & Unit (J/yr, g/yr, or ₩/yr)	UEV (sej/Unit)	Emergy (sej/yr)	Emvalue (Em₩/yr)
		각 투입자원의 데이터를 바탕으로 산정			

자료: Odum(1996), p.79.

〈그림 2-3〉 에머지 표의 형식

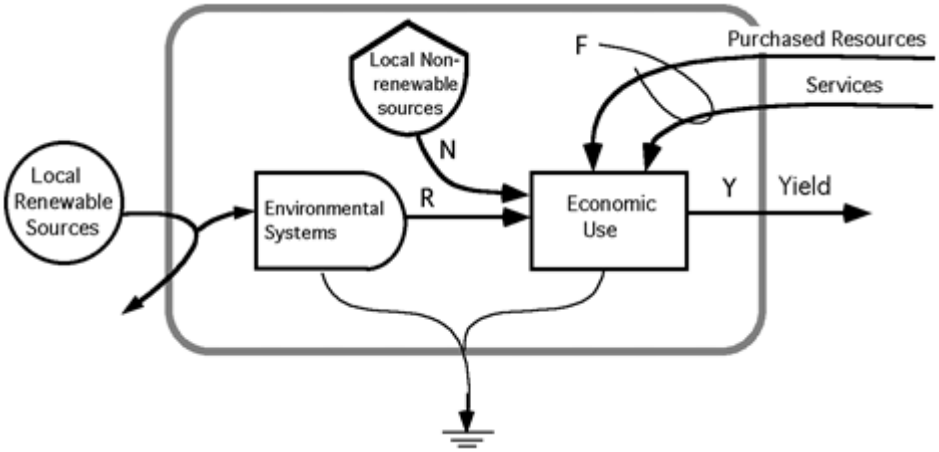
생산물의 종류에 따라 투입항목이 달라지기 때문에 대상 시스템에 따라 에머지 산정항목도 달라진다. 대상 시스템이 국가 전체일 경우 에머지 산정에 포함되는 항목은 재생자원, 내부의 비재생자원 활용, 수입이 주가 된다(Sweeney et al., 2007; 표 2-1 참조). 한편 국가 에머지 산정 과정에서 국가 전체의 에머지 산정에는 포함되지 않지만 에머지의 흐름을 파악하기 위한 에머지 요소들이 있는데, 내부 전환이나 수출이 이에 해당한다.

〈표 2-1〉 국가 단위 에머지 산정의 주요 항목

주요 항목	세부 항목
재생자원(renewable flows)	· 태양에너지(sunlight) · 지열(deep heat) · 조력에너지(tide) · 바람에너지(wind) · 물 에너지(total water) · 파랑 에너지(waves)
내부의 비재생자원 활용 (indigenous nonrenewable extraction)	· 임업, 순 손실(forestry, net loss) · 어업, 순 손실(fisheries, net loss) · 수자원, 순 손실(water, net loss) · 표층토양 유기물(topsoil loss, organic matter) · 석탄(coal) · 천연가스(natural gas) · 석유(oil) · 금속 광물(metals) · 비금속 광물(minerals)
수입(imports)	· 연료(fuels) · 금속광물(metals) · 비금속 광물(minerals) · 식량 및 농산물(food & agriculture products) · 가축, 육류, 생선(livestock, meat, fish) · 플라스틱 및 합성고무(plastic & synthetic rubber) · 화학제품(chemicals) · 완제품(finished products) · 기계 및 교통장비(machinery & transport. equip.) · 기타 정제 제품(other refined goods) · 전력(electricity) · 수입 용역(service in imports)
내부 전환 (internal economic transformations)	· 농업생산(agricultural production) · 목축업생산(livestock production) · 어업생산(fisheries production) · 연료목재생산(fuelwood production) · 산업용목재생산(industrial roundwood production) · 수자원추출(water extraction) · 수력발전(hydroelectricity) · 총 전력(total electricity)
수출 (exports)	· 수입과 동일

자료: Sweeney et al.(2007).

에머지 표가 완성되면 주요 항목들의 에머지를 활용하여 에머지 지수를 산정할 수 있다. 현재 에머지 방법론에서 가장 보편적으로 활용하고 있는 에머지 지수체계는 Brown and Ulgiati(1997)가 제시한 지수들이다. 사회경제활동을 중심으로 하는 국가나 지역의 시스템을 〈그림 2-4〉와 같은 모형으로 나타낼 수 있는데, 해당 모형에서는 환경자원, 시스템 내의 비재생자원 그리고 외부에서 구매한 자원을 활용하여 이루어지는 생산과정을 나타냈다. 〈그림 2-4〉에서와 같이 국가나 지역 단위 사회는 자연에서 투입되는 재생자원(R)과 내부의 비재생자원(N) 그리고 외부에서 구매하여 유입되는 자원(F)을 활용하여 생산 활동을 한다.



자료: Brown and Ulgiati(1997).

〈그림 2-4〉 사회경제활동을 중심으로 하는 시스템의 에머지 투입과 산출 모형

이러한 기본 모형을 활용하여 환경, 경제, 지속가능성에 관한 에머지 지수를 산출할 수 있다(표 2-2 참조). 먼저 에머지 생산(Y)은 생산과정에 투입된 모든 에머지를 의미하므로 R, N, F의 합으로 정의된다. 재생자원 비율(%Renew)은 총 에머지 생산 중 재생자원의 에머지가 차지하는 비율을 의미하며, 해당 시스템이 생산과정에서 재생자원에 어느 정도 의존하고 있는지 보여 주는 척도가 된다. 에머지 생산율(EYR)은 들인 비용 대비 얻는 생산의 정도를 나타내며, 시스템 관점에서 해당 시스템이 지불한 비용은 외부에서 구매한 자원(F)에 대한 비용이므로 Y와 F의 비율로 산정할 수 있다. 시스템이 생산과정에 있어서 극단적

으로 외부로부터 구매한 자원(F)에만 의존할 경우 EYR값은 1이 된다. 시스템이 대부분 N과 R에만 의존할 경우 EYR이 무한대에 가까워지므로 EYR이 가질 수 있는 최솟값은 1이며, F의 비율에 따라 1보다 큰 값을 갖게 된다. 에머지 지수체계에서는 R을 재생자원으로, F와 N을 비재생자원으로 가정하고, 화석연료를 포함한 비재생자원 활용이 늘어날수록 환경오염을 포함해 환경에 대한 부담이 커지는 것으로 가정한다. 또한 환경부하 비율(ELR)은 (F+N)과 R의 비율로 산정한다. 에머지 지수체계에서는 경제적으로 효율이 높고 환경적으로 부담이 적을 경우 지속가능성이 높은 것으로 간주한다. 즉, 시스템 차원의 경제적 생산성을 나타내는 EYR이 높을수록, 환경부하를 나타내는 ELR이 낮을수록 지속가능성이 높기 때문에 에머지 지속가능성 지수(ESI)는 EYR와 ELR의 비율로 나타낸다.

〈표 2-2〉 에머지 지수체계

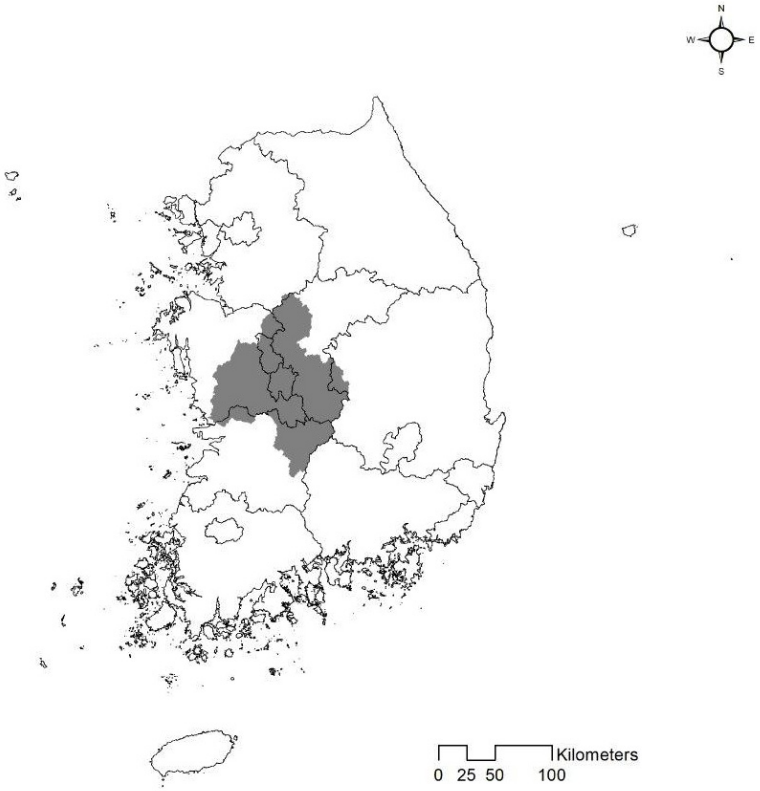
지수	계산 방법	의미
Y	R+N+F	에머지 생산(Yield)을 의미하며, 시스템의 총 에머지 생산은 재생자원 에머지(R), 내부 비재생자원 에머지(N), 외부로부터 구매한 에머지(F)의 합
%Renew	R/(R+N+F)	에머지 생산에 있어서 재생자원 에머지가 차지하는 비율
EYR	Y/F	에머지 생산율(Emergy Yield Ratio)을 의미하며, 시스템 차원에서 외부로부터 구매한 에머지(F) 대비 시스템의 총 에머지 생산(Y)의 비율
EIR	F/(R+N)	에머지 투자율(Emergy Investment Ratio)을 의미하며, 무료로 얻는 에머지 대비 외부로부터 구매한 에머지의 비율
ELR	(F+N)/R	환경부하 비율(Environmental Loading Ratio)을 의미하며, 재생자원 에머지(R) 대비 비재생자원 에머지(F+N)의 비율로 환경에 부담이 되는 정도를 측정
ESI	EYR/ELR	에머지 지속가능성 지수(Emergy Sustainability Index)를 의미하며, EYR이 높을수록 ELR이 낮을수록 높은 ESI를 나타냄

자료: Brown and Ulgiati(1997).

2. 유역 단위 에머지 평가방안

가. 유역 경계와 행정구역 경계

일반적으로 행정구역 경계와 유역 경계는 일치하지 않는다. 금강유역의 경우 〈그림 2-5〉와 같이 총 7개의 광역시·도를 포함하며, 시·군·구 단위로는 각 광역시·도의 전체 혹은 일부를 포함한다.



주: 1) 회색으로 표시된 지역이 금강유역이며, 실선은 광역시·도 행정구역 경계.
2) WAMIS 2013년 기준 데이터 활용.
자료: WAMIS, 검색일: 2017.9.15.

〈그림 2-5〉 금강유역 경계와 광역시·도 행정구역 경계

일사량이나 강수량 등의 데이터가 비록 행정구역 중심으로 제공되지만, 자연환경의 에너지를 계산하는 데 필요한 일사량, 강수량, 유역의 면적 등은 행정구역에 한정되지 않는 변수이다. 이러한 측면에서 유역의 면적이나 표고 등을 포함한 유역의 자연환경과 관련된 정보를 바탕으로 상당수 변수의 흐름을 산정할 수 있다. 그러나 사회경제 데이터는 행정구역 단위로 집계되는 경우가 대부분이어서 이를 유역 경계 중심으로 산정할 경우 유역에 포함되는 영역만 산정하므로 데이터에 한계가 있다. 따라서 에머지 산정의 불확실성이 자연환경에 비해 비교적 높게 나타날 수 있다.

나. 재생자원 에머지

재생자원(renewable resource)은 태양에너지, 바람에너지, 물 에너지 등을 포함한다. 자연환경을 만드는 과정에서 태양에너지, 바람에너지, 물 에너지 등은 독립적으로 작용하지 않고 서로 연계성을 갖고 작용한다. 예를 들어, 바람은 태양에너지가 지표를 불균형적으로 가열함에 따라 발생하는 기압차에 의해 일어난다. 비가 내리거나 물이 증발하는 현상도 태양에너지와 바람의 영향을 받는다. 따라서 재생자원에 포함된 태양에너지, 바람에너지, 물 에너지 등 각 에머지를 모두 합산할 경우 중복계산(double counting) 오류가 발생한다. 에머지 방법론에서는 이러한 중복계산 오류를 방지하기 위해 서로 독립적이지 않은 재생자원들 중에서는 가장 큰 값을 갖는 에머지를 선택한다. 흔히 이러한 재생자원 에머지는 기상 및 자연환경 관련 데이터를 중심으로 산정하기 때문에 유역의 강수량, 일사량 등 기상요소들의 값을 적절히 추정한다면 유역 면적을 중심으로 흐름을 계산할 수 있다.

다. 유역 내 비재생자원 이용 에머지

유역 내 비재생자원 이용(indigenous nonrenewable extraction)은 유역 내에서 생산되어 활용되는 비재생자원을 포함한다. 유역 내에서 생산되는 대표적인 비재생자원으로는 금속과 비금속을 포함한 광물이 있다. 광물자원은 생성에 소요되는 시간이 사회경제계의 변화 시간에 비해 훨씬 길다는 점에서 비재생자원으로 간주할 수 있다. 또한 토양은 지질학적 과정을 거쳐 생성되는데, 생성되는 시간에 비해 사회경제활동을 통해 유실되는 속도가

훨씬 빠르다는 점에서 표층토양(topsoil)의 유실도 비재생자원의 활용으로 간주할 수 있다. 표층토양은 유기물을 함유하고 있는데 경작 등의 토지이용을 통해 유실될 때 그 속에 포함된 유기물도 함께 유실된다. 따라서 논, 밭, 산림 등 토지이용 시 유실되는 토양 내의 유기물은 비재생자원에 포함되며, 각 토지 용도별로 면적과 토양 유실률, 유기물 함량에 관한 데이터를 활용하여 연간 유실되는 유기물의 양을 산정할 수 있다.

광물이나 토양과 같은 비재생자원 활용 외에 수자원, 어업생산물, 임업생산물 등은 적절한 수준에서 사용할 경우 재생자원으로 간주할 수 있다. 그러나 임계치를 넘는 수준으로 사용할 경우 임계치를 초과하는 부분은 비재생자원의 활용으로 간주할 수 있다. 대표적으로 수자원의 경우 생태계 기능을 유지하기 위해 재생가능한 수자원 활용의 임계치를 최대 25% 정도로 간주하기도 한다(Acreman et al., 2008). 이 경우 재생가능한 수자원의 25%를 초과하는 이용에 관해서는 비재생자원의 이용으로 간주할 수 있다.

라. 수입과 수출 에머지

국가 단위에서 발생하는 수출입 에머지는 표준국제무역분류(SITC: Standard International Trade Classification)에 따라 각 무역상품별 거래량에 해당 상품의 UEV를 곱하여 산정할 수 있다. 유역 단위 산정에서 행정구역이 시·군·구 단위로 세분화되지만, 현재 시·군·구 단위의 무역분류에 따른 거래량 정보가 제공되지 않는다. 관세청에서 시·군·구 행정 단위별로 수입과 수출을 총 화폐량으로 제공할 뿐이다. 따라서 유역 내에 속하는 시·군·구 지역의 수출입 금액에 에머지/화폐 비율을 곱하여 에머지를 산정한다. 시·군·구의 일부가 유역에 포함될 경우, 현재 통계자료상 지역별 총 생산 정보가 시·군·구 단위로 제공되기 때문에 유역 내에 속하는 지역의 에머지를 경제생산 비율로 산정하는 데 어려움이 있다. 따라서 유역 내에 포함되는 지역의 수출입량은 해당 시·군·구의 면적비율로 산정한다.

수출입 에머지를 산정하는 과정에서 활용하는 에머지/화폐 비율은 수입의 경우 국외에서 들여오는 에머지이므로 국가별로 구분되어 있다면 해당 국가의 에머지/화폐 비율을 사용할 수 있다. 그러나 현재 시·군·구 단위 수출입량에는 국가 구분이 없기 때문에 전 세계의 에머지/화폐 비율을 활용한다. 수출의 경우에는 유역 에머지를 먼저 산정한 후 유역 에머지/화

폐 비율을 구하여 수출 에머지를 산정하는 데 활용한다. 이때 수출은 유역의 총 에머지량 산정에 포함되지 않기 때문에 유역 에머지 산정 결과를 바탕으로 수출 에머지를 산정할 수 있다.

마. 이입과 이출 에머지

지역 간 재화와 용역의 이동에 따른 이입과 이출은 현대사회의 경제에서 큰 부분을 차지한다. 각 지역은 자연환경과 사회경제환경의 특징을 살려 지역적으로 비교우위에 있는 제품과 서비스를 생산하여 타 지역으로 판매하며, 타 지역으로부터 필요한 재화와 용역을 구매하여 경제생활을 영위한다. 국내의 타 지역과 교류에 의해 발생하는 이입과 이출을 에머지로 산정하기 위해서는 각 재화와 용역별 교역량과 UEV값이 필요하다. 그러나 현실적으로 물량을 기준으로 하는 국내의 지역 간 이입과 이출에 관한 데이터가 없는 실정이며, 한국은행에서 발행하는 지역산업연관표를 통해 지역 간 이출입 정보를 알 수 있다. 지역산업연관표는 화폐 단위로 산정된 값만 제공하므로, 에머지 산정을 위해서는 화폐 단위로 표현된 지역 간 이출입 정보를 바탕으로 에머지/화폐 비율을 활용하여 에머지값을 추정해야 한다.

해당 유역의 이출입에 관해서는 유역으로부터 타 지역으로 이출되는 부분의 경우 해당 유역의 에머지/화폐 비율을 활용할 수 있다. 그러나 타 지역으로부터 이입되는 부분에 대해서는 타 지역의 에머지/화폐 비율을 활용하거나, 관련 데이터가 없을 경우 한국 전체의 에머지/화폐 비율을 활용할 수 있을 것이다.

한국은행에서 발행하는 지역산업연관표의 지역 간 이출입 정보는 광역시·도 단위로 제공되므로 유역 단위로 에머지를 계산하기 위한 산정 방식을 마련할 필요가 있다. 지역산업연관표를 활용한 특정 광역시·도에 관한 이출입량 데이터에서 유역 내 다른 광역시·도와 이루어지는 교역은 유역 내 교역이므로, 중복산정을 피하기 위해 산정 과정에서 이를 제외해야 한다. 예를 들어, 〈그림 2-6〉과 같이 특정 유역(W)의 경계와 해당 유역에 일부 속하는 광역시·도 A, B, C, D가 있고, 유역에 속하지 않는 E, F, G 등 그 외의 광역시·도가 있다고 가정할 때, 광역시·도 A 중 유역(W) 내에 포함되는 A′의 타 지역으로부터 이입은 먼저 광역시·도 A의 타 지역으로부터 이입을 합한 값에서 유역 내의 B′, C′, D′로부터의 이입을

제외함으로써 광역시·도 A의 타 지역으로부터 이입을 구한다. 그리고 A′가 A에서 차지하는 경제규모(지역 총생산)의 비율로 이입($DI_{A'}$)을 유추하는 방식을 활용할 수 있다. 이러한 방식으로 유역의 국내 타 지역으로부터 총 이입량은 $DI_{A'}$, $DI_{B'}$, $DI_{C'}$, $DI_{D'}$를 합하여 산정한다.

$DI_{A'} = r(A)\cdot(\Sigma DM_{iA} - \Sigma DM_{jA}\cdot r(j))$

$DI_{A'}$: 유역 내 A′지역의 총 국내 이입

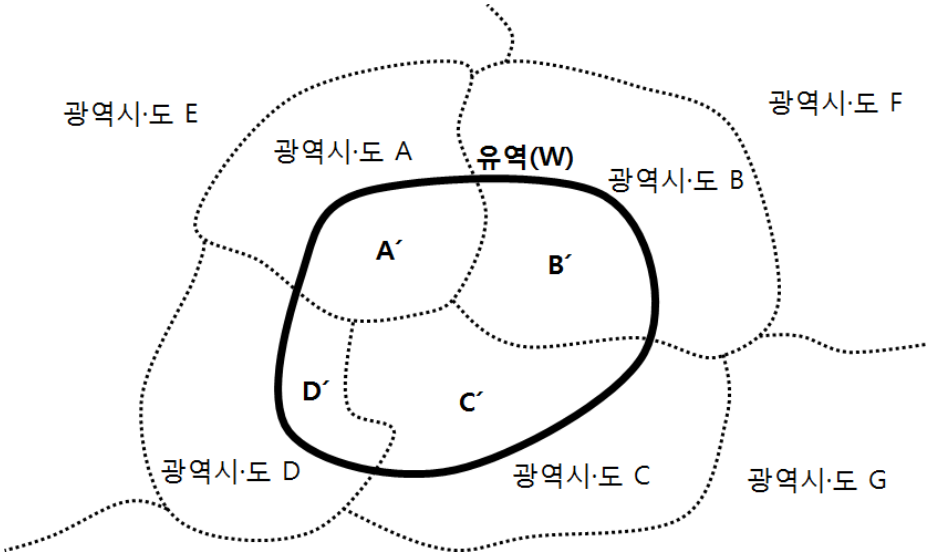
r(A): 광역시·도 A지역의 총 생산 중 유역 내에 속하는 지역의 총 생산 비율

DM_{iA}: 국내 이출입을 통한 i지역으로부터 A지역으로 이동량(화폐량)

i: A를 제외한 각 광역시·도

j: 유역 내에 속하는 지역 중 A를 제외한 광역시·도(B, C, D)

$DI_W = DI_{A'} + DI_{B'} + DI_{C'} + DI_{D'}$



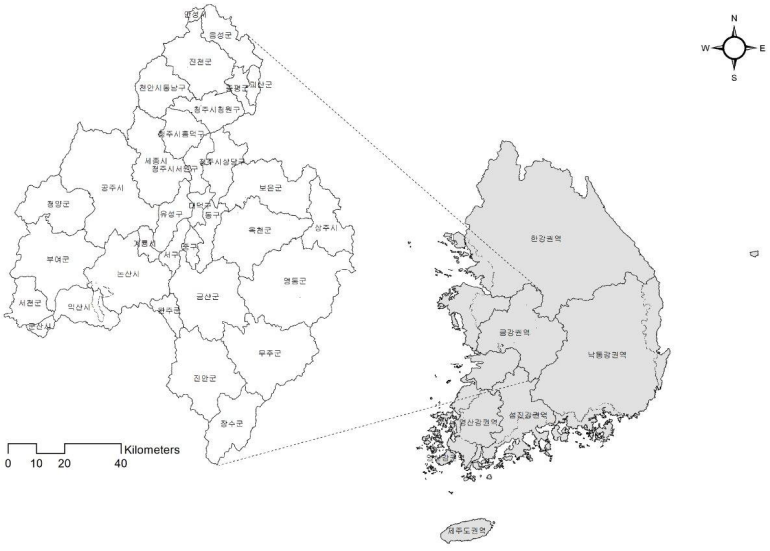
〈그림 2-6〉 유역과 광역시·도 경계의 모형

제3장

금강유역의 에머지 평가

1. 금강유역의 개요

총 면적 9,901.21km^{2}인 금강유역은 행정구역으로는 대전광역시 전체와 충청남도, 충청북도, 전라북도, 세종특별자치시, 경상북도, 경기도의 일부 지역을 포함한다(그림 3-1; 표 3-1 참조).



주: WAMIS 2013년 기준 데이터 활용.
자료: WAMIS, 검색일: 2017.9.15.

〈그림 3-1〉 금강유역에 포함되는 시·군·구 행정구역 지도

〈표 3-1〉 금강유역에 포함되는 행정구역의 면적

광역시·도	시·군·구	시·군·구 전체 면적 (km^2)	유역에 포함되는 시·군·구 면적 (km^2)	유역에 포함되는 면적비율
대전광역시	동구	136.27	136.27	1.000
	중구	61.73	61.73	1.000
	서구	95.91	95.91	1.000
	유성구	175.51	175.51	1.000
	대덕구	69.77	69.77	1.000
세종특별자치시	세종특별자치시	465.43	443.56	0.953
경기도	안성시	554.14	20.69	0.037
충청북도	청주시 상당구	402.85	224.60	0.558
	청주시 서원구	123.23	123.23	1.000
	청주시 흥덕구	197.37	197.37	1.000
	청주시 청원구	215.36	215.34	1.000
	보은군	583.65	445.82	0.764
	옥천군	541.31	541.31	1.000
	영동군	852.48	851.75	0.999
	진천군	407.23	407.19	1.000
	괴산군	840.70	52.80	0.063
	음성군	520.25	220.56	0.424
	증평군	81.80	81.76	1.000
충청남도	천안시 동남구	437.46	263.61	0.603
	공주시	863.08	862.69	1.000
	논산시	551.84	551.81	1.000
	계룡시	60.35	60.35	1.000
	금산군	577.17	577.17	1.000
	부여군	624.85	568.84	0.910
	서천군	371.78	178.42	0.480
	청양군	480.26	355.96	0.741
전라북도	군산시	397.25	40.03	0.101
	익산시	508.58	230.11	0.452
	완주군	821.35	85.88	0.105
	진안군	789.56	533.13	0.675
	무주군	629.50	629.05	0.999
	장수군	530.90	317.53	0.598
경상북도	상주시	1250.23	281.46	0.225
		합계	9901.21	-

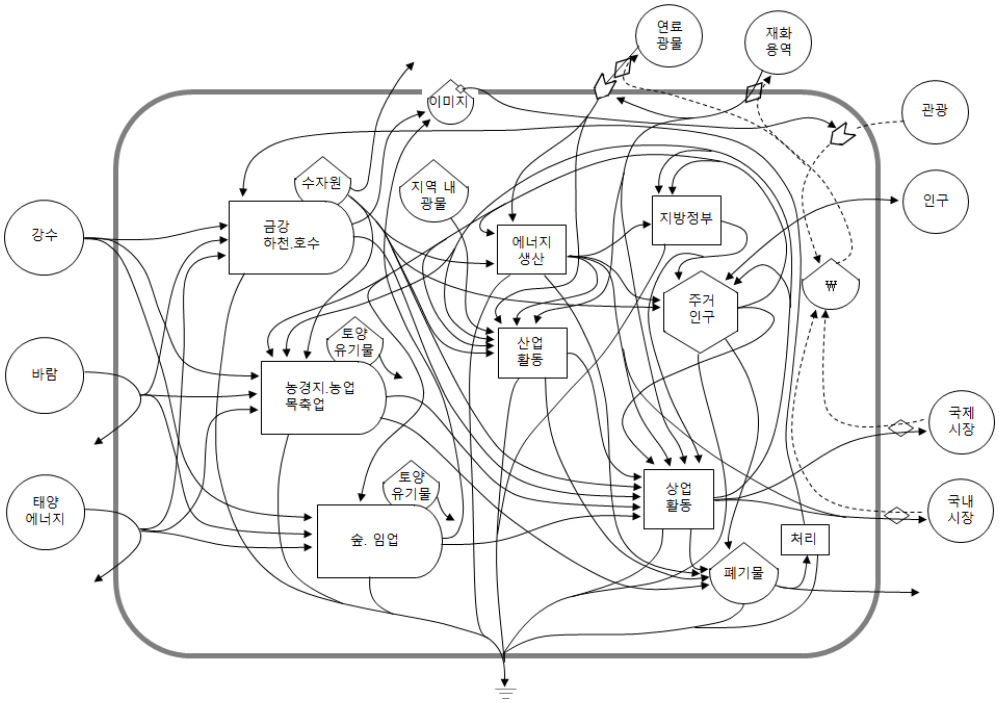
주: WAMIS 2013년 기준 데이터 활용.
자료: WAMIS, 검색일: 2017.9.15.

금강유역을 이루는 기본 골격인 금강은 전라북도 장수군 신무산에서 발원하여 충청북도와 충청남도를 거쳐 서해로 흘러들어가며, 총 길이(유로연장)는 388km이다(WAMIS 2011년 데이터 기준). 또한 유역 내 지류를 포함한 하천 총 길이는 24,889.11km이다(WAMIS 2011년 데이터 기준). 금강유역은 면적비로 볼 때 충청남도와 충청북도가 각각 34.53%와 33.95%로 가장 많은 면적을 차지하고 있다. 2013년 기준 시·군·구별 지역내총생산(GRDP) 자료(KOSIS '지역계정')를 바탕으로, 금강유역 내에 속하는 시·군·구별 면적비를 활용하여 산정한 금강유역의 총 생산은 81조 8,000억 원에 달했다.

금강유역 전체의 지속가능성을 정량적으로 산정한 연구는 거의 없으나, 금강유역 내에서 가장 큰 면적을 차지하는 충청남도의 현황을 평가한 연구를 통해 금강유역의 현황을 간접적으로 살펴볼 수 있다. 생태발자국 모델을 활용하여 충청남도 환경용량을 평가한 주용준, 사공희 외(2014)에 따르면, 충청남도에서는 지속적인 개발을 바탕으로 2001년부터 2011년까지 생태발자국이 약 50% 증가하여 환경부하가 커지고 있음을 볼 수 있었다. 충청남도의 소비부문 생태발자국값에서는 에너지가 약 86%로 상당 부분을 차지하였다. 시·군·구별로 금강유역에 일부 속하는 천안시는 충청남도 시·군·구 중 가장 큰 생태적자(1,707%)를 나타냈고, 그 외에 공주시(95%), 부여군(98%)도 생태적자를 나타냈으며, 계룡시(853%)는 충청남도 평균보다 높은 생태적자를 기록하였다. 금강유역에 속한 지역들의 행정 중심지로서 역할이 점차 증대됨에 따라, 개발이 활발해지고 에너지를 포함한 자원이용이 늘어나 이 지역의 환경부하는 더욱 커질 것으로 예상된다.

이에 에머지 평가를 위한 단계로 먼저 금강유역의 개념모형을 작성하였다(그림 3-2 참조). 한강, 낙동강, 금강 등 주요 권역의 자연환경과 사회경제환경의 경우 세부적인 특성은 다를지라도 기본적인 요소들은 대부분 유사할 것이다. 태양에너지, 바람, 강수와 같은 기본적인 재생가능 자원을 바탕으로 금강의 하천과 호수 생태계와 수자원이 유지되고, 농업, 목축업, 산림 생태계, 임업 등이 유지된다. 농경지나 산림 등에서는 농업이나 임업활동 등을 통해 토양이 유실되고 여기에 포함된 유기물도 함께 유실된다. 이러한 자연환경에서 얻는 생산물은 산업활동이나 상업활동을 통해 가공되어 유역 내의 주거나 행정, 산업 등을 유지하기 위한 재화나 용역으로 공급된다. 한편 산업활동이나 상업활동에 따른 생산물은 국내 타 지역이나 국외로 수출되고, 이는 화폐량의 증가로 곧 유역의 생산이 증가함을 의미한다.

유역은 지역 내의 광물을 이용하거나 외부에서 구매한 연료나 광물을 활용하여 에너지를 생산하고 산업활동과 상업활동 등을 활성화한다. 이러한 활동을 위해 필요한 것은 인력이며, 지방정부는 경제활동이 원만하게 이루어질 수 있도록 인구나 주거 등과 관련된 다양한 문제를 해결한다. 유역 내의 자원만으로는 경제활동을 활성화하기에 부족하므로, 생산과 외부 판매를 통해 얻은 경제력을 활용하여 외부로부터 재화와 용역, 연료, 광물 등을 구매하고 이를 생산과정에 활용한다. 강을 중심으로 하는 유역은 다양한 자연환경을 창출하는데, 이는 곧 그 지역 특유의 이미지로 자리 잡아 관광 수단으로 활용되기도 한다. 에머지는 투입물을 기준으로 산정하기 때문에 유역의 사회경제활동을 이루기 위해 투입된 재생가능 자원, 내부 비재생자원, 외부로부터 구매한 자원을 주의 깊게 살펴볼 필요가 있다. 유역 경계 내부에서 일어나는 자연환경과 사회경제활동의 다양한 요소들 간 상호작용과 변화는 투입된 에머지를 기반으로 이루어진다.



〈그림 3-2〉 금강유역의 개념모형

2. 에머지 평가를 위한 요소 및 데이터

가. 재생자원 데이터

금강유역의 재생자원 흐름(renewable flows)은 태양에너지를 비롯하여 바람에너지, 물에너지 등을 포함할 수 있다. 태양에너지의 양으로는 기상청 기상연보의 일사량 데이터를 활용하였는데, 2013년 기준으로 금강유역 인근 관측소 중 일사량 데이터를 제공하는 지역은 대전, 청주, 전주였다. 따라서 유역에 속하는 각 시·군·구별 일사량은 가까운 지역의 일사량 데이터를 활용하여 추정하였다. 그리고 유역 전체의 면적과 일사량, 반사율을 활용하여 연간 태양에너지의 양을 구하였다.

바람 에너지는 바람이 갖는 운동 에너지를 의미하며, 유역 전체 면적과 평균 풍속을 활용하여 산정하였다. 지면의 풍속을 산정할 때는 기상청 기상연보의 평균 풍속 자료를 활용하였는데, 유역 내 해당 시·군·구의 풍속 자료가 없을 경우 인접 지역의 풍속 데이터를 활용하여 추정하였다.

물 에너지는 비로 인해 유입되는 물이 지형의 높이 차에 의해 흘러 작용하는 위치 에너지(geopotential energy)와 해수의 염도에 대한 빗물의 상대적인 농도 차이에 따른 화학에너지(chemical energy)로 나뉜다. 강수량 데이터를 산정할 때는 기상청 기상연보의 지역별 연간 강수량 데이터를 활용하였고, 유역 내 시·군·구 지역 중 강수량 데이터가 없는 경우는 인접 지역의 강수량 데이터를 활용하여 추정하였다. 위치 에너지를 계산하려면 유역의 높은 지역과 낮은 지역 간 평균적인 표고 차에 관한 정보가 필요한데, 유역의 평균표고와 출구점 표고의 차이를 평균적인 표고 차로 간주하여 계산하였다.

나. 유역 내 비재생자원 데이터

본 연구에서는 유역 내 비재생자원 데이터와 관련하여, 강우를 통한 총 유입량 중 자연적으로 흐르는 수자원 양의 25%를 초과하는 물이용 부분에 대해서는 비재생자원의 활용으로 간주하여 산정하였다. 금속과 비금속 광물의 생산에 관한 데이터로는 각 광역시·도에서 제공하는 광물 생산량 데이터를 활용할 수 있다. 광물 생산량 데이터는 시·군·구별로 주요

광물별 생산량에 관한 정보를 제공한다. 각 시·군·구별로 광종별 생산량에 유역 내에 포함되는 면적비율을 곱하면 유역 내 해당 시·군·구의 광종별 생산량을 계산할 수 있다. 만약 각 시·군·구의 광종별 생산이 유역 내에서 발생하는지 여부를 명확하게 확인할 수 있다면, 유역 내 포함되는 영역의 면적비율을 활용하지 않고 유역 내에 포함되는 생산량 정보를 적용할 수 있을 것이다.

다. 수출입 및 이출입 데이터

수출입 데이터와 관련하여 본 연구에서는 관세청에서 제공하는 시·군·구별 수출입 자료를 활용하였는데, 시·군·구별 수출입 총액으로 데이터가 제공된다. 따라서 에머지/화폐 비율을 활용하여 에머지를 산정하였다. 이출입 데이터와 관련해서는 한국은행이 제공하는 지역산업연관표를 활용하였는데, 2017년 현재 지역산업연관표는 2013년 기준 자료를 가장 최신 데이터로 제공하고 있다.

3. 금강유역의 에머지 평가

에머지 평가 절차에 따라 각 지역 단위 데이터를 활용하여 항목별로 에머지를 산정하였다(표 3-2 참조). 평가결과 2013년 기준 금강유역에 투입된 총 연간 에머지는 3.82E+23sej로 나타났다.

〈표 3-2〉 금강유역의 에머지 평가

번호	Item	Flow	Unit (/yr)	UEV (sej/Unit)	Emergy (sej/yr)	Emvalue (Em₩/yr)
Renewable Flows						
1	Sunlight	3.94E+19	J	1	3.94E+19	8.44E+09
2	Wind	6.85E+15	J	2,450	1.68E+19	3.60E+09
3	Water(rain geopotential)	1.46E+16	J	46,600	6.80E+20	1.46E+11
4	Water(rain chemical)	5.89E+16	J	30,500	1.80E+21	3.85E+11
				Sub Total	**2.48E+21**	5.31E+11
Indigenous nonrenewable extraction						
5	Water	4.91E+15	J	81,400	4.00E+20	8.57E+10
6	Topsoil loss	3.77E+15	J	12,300	4.64E+19	9.94E+09
7	Minerals	-		-	8.14E+21	1.74E+12
8	Metals	-		-	1.53E+16	3.28E+06
				Sub Total	**8.58E+21**	1.84E+12
Imports						
9	International	1.02E+10	$	2.29E+12	2.33E+22	4.99E+12
10	Domestic	8.53E+13	₩	4.07E+09	3.47E+23	7.44E+13
				Sub Total	**3.71E+23**	7.94E+13
Exports						
11	International	1.71E+10	$	4.92E+12	8.40E+22	1.80E+13
12	Domestic	7.61E+13	₩	4.67E+09	3.55E+23	7.61E+13
				Sub Total	**4.39E+23**	9.41E+13

주: 1) Sunlight(Area: WAMIS 2013년 자료 기준; Insolation: 기상청, 2013)
= Area×Insolation×(1-albedo)
= (9,901,210,000m^2)×(4,972,110,348J/m^2/yr)×(1-0.2); 육지의 albedo를 0.2로 가정
= 3.94E+19J/yr
2) Wind(Area: WAMIS 2013년 자료 기준; Air density & drag coefficient: NEAD; wind speed: 기상청, 2013)
= Area×Air density×drag coefficient×(wind speed)^3
= (9,901,210,000m^2)×(1.23kg/m^3)×0.001×(1.568/0.6)^3; 지면 바람속도를 상층의 60%로 가정
= 6.85E+15J/yr

UEV(wind) = 2,450sej/J(Odum et al., 2000)

3) Water, rain geopotential(Area & Elevation gradient: WAMIS 2013년 자료 기준; Annual rainfall: 기상청, 2013; Runoff rate: 국토교통부, 2013)
= Area×Annual rainfall×Runoff rate×Elevation gradient×(1,000kg/m^3)×(9.8m/s^2)
= (9,901,210,000m^2)×(1.203m)×(0.58)×(223.9m-8.35m)×(1,000kg/m^3)×(9.8m/s^2)
= 1.46E+16J/yr
UEV(water, rain geopotential) = 46,600sej/J(Odum et al., 2000)

4) Water, rain chemical(Area: WAMIS 2013년 자료 기준; Annual rainfall: 기상청, 2013)
= Area×Annual rainfall×(1,000kg/m^3)×(4,940J/kg)
= 5.89E+16J/yr
UEV(water, rain chemical) = 30,500sej/J(Odum et al., 2000)

5) Water
(1) Total renewable water(Area: WAMIS 2013년 자료 기준; Annual rainfall: 기상청, 2013; Runoff rate: 국토교통부, 2013)
= (Area×Annual rainfall)×(Runoff rate)
= (9,901,210,000m^2)×(1.203m)×(0.58)
= 6.91E+09m^3/yr
(2) Total water use(WAMIS 2013년 자료 기준)
= 2.72E+09m^3/yr
(3) Nonrenewable use
= (2.72E+09-0.25×6.91E+09)×(1,000kg/m^3)×(4,940J/kg)
= 4.91E+15J/yr
UEV(water extraction, 지표수 기준) = 81,400sej/J(Odum et al., 2000)

6) Topsoil loss(Area: WAMIS 2013년 자료 기준; erosion rate: 농업과학기술원, 2005; OM%: 국립농업과학원, 2009)
(1) Paddy field OM loss
= (paddy field area)×(paddy field erosion rate)×(paddy field OM%)
= (1,321,740,000m^2)×(1MT/ha/yr)×(0.0243)
= 3,212MT/yr
(2) Dry field OM loss
= (dry field area)×(dry field erosion rate)×(dry field OM%)
= (814,150,000m^2)×(37.7MT/ha/yr)×(0.0217)
= 66,605MT/yr
(3) Forest OM loss
= (forest area)×(forest erosion rate)×(forest OM%)
= (6,169,990,000m^2)×(3.5MT/ha/yr)×(0.0449)
= 96,961MT/yr
Total soil OM loss
= (3,212MT+66,605MT+96,961MT)×(1,000,000g/MT)×(5.4kcal/g)×(4,186J/kcal)
= 3.77E+15J/yr
UEV(topsoil loss) = 12,300sej/J(Brown and Ulgiati, 2011)

7 & 8) Minerals & Metals
광종별 광물생산량 자료(광업, 제조업 및 에너지)
- 충청남도(2014), http://www.chungnam.net/statsMain.do#
- 충북통계정보시스템, http://stat.chungbuk.go.kr/stat/index.do
- 전라북도(2014), http://stat.jeonbuk.go.kr
- 경상북도통계포털, http://www.gb.go.kr/open_content/stat/index.jsp

- 경기통계, http://stat.gg.go.kr/statgg/kr/dataMng/PublicationForm.html?pub_seq=568

Name	Production (g/yr)	UEV (sej/g)	emergy (sej/yr)
Non-metalic minerals			
고령토	5.50E+10	2.90E+09	1.59E+20
규석	8.77E+10	1.68E+09	1.47E+20
석회석	8.00E+11	9.50E+09	7.60E+21
장석	1.37E+11	1.68E+09	2.30E+20
		총합	8.14E+21
Metals			
금	2,846	5.04E+11	1.43E+15
은	30,985	4.48E+11	1.39E+16
		총합	1.53E+16

UEV(minerals & metals): Cohen et al.(2007)

9 & 11) Imports & Exports(International) (관세청, 2013)
시·군·구별 수출입 금액을 바탕으로 각 시·군·구별 유역 면적비로 환산
유역의 총 수입금액 = $10,162,049,762/yr
유역의 총 수출금액 = $17,050,148,865/yr

10 & 12) Imports & Exports(Domestic) (한국은행, 2015)
유역 외의 지역과 유역 내의 지역 간 이출입 산정

Imports(단위: 조원/yr)

행정구역	수도권	충청권	호남권	대경권	동남권	강원	제주	유역의 이입
대전광역시	17.0	8.4	3.0	2.5	4.3	0.7	0.3	33.54
충청북도	27.2	9.3	5.2	4.5	6.0	1.1	0.2	24.33
충청남도	59.3	10.8	9.8	11.6	15.0	1.4	0.3	20.93
전라북도	20.1	7.4	7.2	4.1	6.7	0.6	0.7	5.89
경상북도	41.9	19.3	17.6	11.0	21.5	1.5	0.3	0.45
경기도	123.5	50.2	27.3	29.3	41.2	5.0	2.0	0.20
							총합	85.34

Exports(단위: 조원/yr)

행정구역	수도권	충청권	호남권	대경권	동남권	강원	제주	유역의 이출
대전광역시	9.9	6.7	2.2	2.4	3.1	0.6	0.1	22.88
충청북도	24.4	8.5	3.8	6.5	6.0	1.1	0.4	23.14
충청남도	56.6	13.3	16.1	16.5	22.0	2.5	1.0	24.64
전라북도	16.5	6.7	5.1	3.8	5.6	0.7	0.6	4.87
경상북도	41.8	15.0	9.1	7.7	27.5	2.1	0.6	0.42
경기도	92.4	54.6	25.0	28.4	36.2	6.8	1.9	0.17
							총합	76.14

자료: 각 광역시·도 및 시·군·구의 GRDP: KOSIS '지역계정'을 바탕으로 산정.

4. 금강유역의 지속가능성 평가

가. 금강유역의 에머지 지수

금강유역의 에머지 평가결과를 활용하여 환경, 경제 그리고 지속가능성에 관한 에머지 지수를 산정하였다(표 3-3 참조). 금강유역의 에머지 생산을 의미하는 Y는 3.82E+23sej/yr 였고 외부로부터 구매한 자원 F는 3.71E+23sej/yr로 최종적으로 에머지 생산율(EYR) 값은 1.03을 나타냈다. EYR값이 1에 가까울수록 R, N, F 중 F의 비율이 크다고 볼 수 있으며, 외부로부터 구매한 자원인 F만 에머지 생산에 활용할 경우 EYR값은 1이 된다.

〈표 3-3〉 금강유역의 에머지 지수

번호	지수	의미	지수값	단위
1	R	Renewable flow (외부에서 유입된 재생자원 에머지)	2.48E+21	sej/yr
2	N	Indigenous nonrenewable extraction (내부 비재생자원 활용)	8.58E+21	sej/yr
3	F	Purchased resources (외부로부터 구매한 자원)	3.71E+23	sej/yr
4	Y	Emergy yield (에머지 생산) = R+N+F	3.82E+23	sej/yr
5	EYR	Emergy Yield Ratio (에머지 생산율) = Y/F	1.03	-
6	%Renew	Percent renewable (에머지 생산 중 재생자원 비율) = R/Y	0.0065	-
7	ELR	Environmental Loading Ratio (환경부하 비율) = (N+F)/R	153.18	-
8	EIR	Emergy Investment Ratio (에머지 투자비율) = F/(N+R)	33.52	-
9	ESI	Emergy Sustainability Index (에머지 지속가능성 지수) = EYR/ELR	0.0067	-

%Renew값은 전체 에머지 생산에 대한 재생자원의 에머지 비율을 의미하는데, 투입된 에머지 중 재생자원 에머지 비율을 나타내며 0.0065로 나타났다. 값이 클수록 재생자원에 의존하는 경제로 볼 수 있고, 값이 작을수록 비재생자원이나 구매한 자원을 활용한다는 의미로 볼 수 있다. 재생자원만 활용할 경우 값은 1이 되고 비재생자원이나 외부로부터 구매한 자원의 이용 비율이 늘어날수록 값은 작아진다.

ELR은 환경부하 비율로 에머지 지수체계에서는 일반적으로 비재생자원 활용비율이 높아질수록 환경에 더 큰 부하가 걸린다고 가정한다. 금강유역의 ELR값은 153.18로 나타나, 재생자원에 비해 상대적으로 비재생자원의 활용 비율이 높아 환경부하가 높은 것으로 나타났다.

EIR은 에머지 투자율로 외부로부터 구매한 자원(F)의 비중을 나타내는데, 금강유역의 EIR값은 33.52로 나타났다. 이는 시스템 차원에서 비용이 들지 않는 자원의 에머지에 비해 외부로부터 구매하는 자원의 에머지가 33.52배라는 의미이다.

2013년 금강유역의 ESI(에머지 지속가능성 지수)는 낮은 에머지 생산율(EYR)과 높은 환경부하 비율(ELR)로 인해 그 값이 0.0067로 나타났다.

나. 에머지 지수의 비교

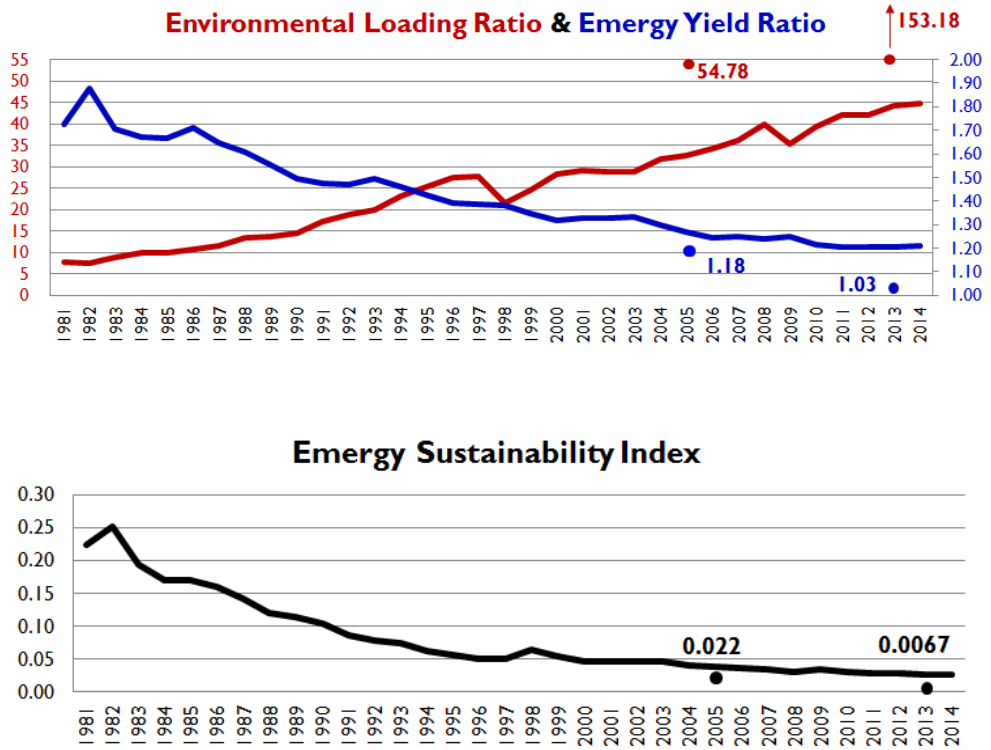
금강유역의 에머지 지수 중 지속가능성과 관련된 핵심지수인 EYR, ELR, ESI를 기존 연구결과와 비교해 보았다(그림 3-3 참조). 비교자료로는 2005년 기준 한강유역의 지속가능성을 평가한 강대석(2007)의 연구결과와 1981년부터 2014년까지 매년 한국의 에머지를 평가한 Kang(2016)의 연구결과를 활용하였다.

먼저 한국의 국가 에머지 지수의 경우 1981년 이후 일부 큰 경제적 변동(예: 1997년 IMF 위기 등)을 제외하고 ELR은 지속적으로 증가하는 추세를 보였으며, EYR은 반대로 지속적으로 감소하는 추세를 보였다. 즉, 경제개발에 따라 소득수준은 높아졌으나 환경부하 비율은 증가하였고 에머지 생산율은 감소하였다. 그 결과 에머지 지속성 지수(ESI)가 지속적으로 감소하였다.

강대석(2007)의 연구결과에서 2005년 기준 한강유역의 ELR은 한국 전체의 ELR인

32.73보다 높은 54.78로 나타났고, EYR은 한국 전체의 EYR인 1.27보다 낮은 1.18로 나타났다. 2005년 한국의 ESI는 0.04인데 비해 강대석(2007)의 연구에서 도출한 한강유역의 2005년 기준 ESI는 0.022로 더 낮게 나타났다.

본 연구에서 산정한 2013년 기준 금강유역의 에머지를 바탕으로 한 ELR은 한국 전체의 ELR인 44.19보다 높은 153.18로 나타났고, EYR은 한국 전체의 EYR인 1.21보다 낮은 1.03으로 나타났다. 결과적으로 2013년 기준 금강유역의 ESI는 한국 전체의 ESI인 0.03보다 낮은 0.0067을 나타냈다.



주: 그래프 선은 한국 전체의 에머지를 바탕으로 하는 각 에머지 지수를 나타내고, 2005년 점으로 나타난 데이터는 강대석(2007)의 한강유역 에머지 지수이며, 2013년 점으로 나타난 데이터는 본 연구에서 도출한 금강유역 에머지 지수임.
자료: 강대석(2007); Kang(2016).

〈그림 3-3〉 기존 연구결과와 금강유역 에머지 지수의 비교

제4장

정책적 시사점 및 결론

1. 금강유역의 지속가능성

본 연구에서는 에머지 방법론을 활용하여 금강유역의 지속가능성을 평가하였다. 금강유역의 에머지 지수를 한국 전체의 에머지 지수와 비교한 결과 2013년 기준 금강유역의 환경부하 비율은 한국 전체의 환경부하 비율에 비해 3배 이상 높은 수치를 나타냈고, 금강유역의 에머지 생산율은 한국 전체의 에머지 생산율보다 더 낮은 수치를 나타냈다. 결과적으로 금강유역의 에머지 지속가능성 지수도 한국 전체의 값보다 낮게 나타났다.

금강유역의 에머지 지수가 한국 전체의 에머지 지수에 비해 환경부하 비율이 높고 에머지 생산율과 에머지 지속가능성 지수가 낮게 나타나는 주요 원인 중 하나로 조석(tide)을 들 수 있다. 금강유역에 대한 에머지 평가에서는 조석이 포함되지 않았지만, 한국 전체의 에머지를 산정하는 데 있어서는 물 에너지와 조석이 재생가능 자원에 포함된다. 2013년 기준 한국의 에머지 평가에서는 재생가능 자원의 총 에머지 중 조석의 비중이 86.2%를 차지하였다(Kang, 2016). 삼면이 바다로 둘러싸인 우리나라에서는 이와 같이 재생가능 자원 중 조석의 역할이 매우 큰 편이다. 여러 에머지 요소들이 자연 및 사회경제적 상황을 기준으로 산정되므로 특정 요소를 제외하여 가정하기에는 무리가 있지만, 만약 2013년 한국의 에머지 평가 결과(Kang, 2016)에서 조석을 제외할 경우 환경부하 비율은 321.29로 나타났고 에머지 생산율 지수는 1.18, 에머지 지속가능성 지수는 0.0037로 나타났다. 한국의 에머지 평가에서 조석을 제외한 이 값을 기준으로 할 경우 금강유역의 환경부하 비율은 한국 전체의 환경부하 비율보다 낮고, 금강유역의 에머지 생산율 지수는 한국 전체의 지수보다 낮으며, 금강유역의 에머지 지속가능성 지수는 한국 전체보다 높게 나타난다.

금강유역과 같이 내륙에 포함된 유역의 경우 우리나라 전체의 에머지와 달리 재생가능 자원에서 물 에너지가 차지하는 비중이 대부분이기 때문에, 물 에너지가 어느 정도인지에 따라 재생자원 유입에 따른 에머지값이 달라지고, 에머지 생산율이나 환경부하 비율, 에머지 지속가능성 지수가 달라진다. 물 에너지의 양을 결정하는 주요 변수는 강수량인데, 재난으로 이어지지 않는 범위에서 강수량이 증가하면 재생가능 자원의 에머지 유입량이 커진다. 실제로 활발한 강수활동은 유역 내 물질과 에너지의 이동이 더욱 활발해지는 것을 의미한다. 그리고 물의 이용과 증발산에 따른 생산량 증가도 뒤따라 전반적으로 자연환경의 생산성 향상을 유도하며, 이러한 1차 생산의 증가는 사회경제적 생산의 증가로 이어진다.

우리나라는 자원이 풍부하지 못한 국가로서 많은 자원을 수입에 의존하고 있다. 따라서 에머지를 산정할 때 외부로부터 구매한 자원의 비율이 매우 높은 편이다. 한국 전체의 에머지를 산정할 경우 재생가능 자원 중 조석이 차지하는 비율이 높으므로, 환경부하 비율을 낮추고 에머지 지속가능성 지수를 높이는 데 해양 부문이 큰 역할을 하는 셈이다. 해양 부문은 환경부하에 있어서 완충역할을 하며 전반적인 환경 부담을 줄여 주는 역할을 한다. 유역의 경우 주로 내륙의 자원이나 외부로부터 수입한 자원을 활용하여 사회경제활동을 영위한다는 점에서 환경부하 비율이 높고 에머지 지속가능성 지수가 낮게 나타나는 경향이 있다.

우리나라 환경 특성상 외부로부터 수입한 자원에 대한 의존도가 높기 때문에, 단순히 에머지 지속가능성 지수만을 바탕으로 유역이 지속가능한가의 문제에 대한 답을 얻기는 어렵다. 다만 국외로부터 수입되는 자원 혹은 국내 타 지역으로부터 유역으로 이입되는 자원의 비율이 높을수록 지속가능성이 낮게 나타나는 점이 시사하는 바는 분명히 있다. 자원안보(resource security) 측면에서 자원 수입에 의존하는 것이 과연 지속가능성을 보장할 것인지 고민해 볼 필요가 있다. 국내 사정도 마찬가지이지만 전 세계적으로도 예상치 못한 재난이 빈번히 발생하고 국제정세도 빠르게 변화하고 있다. 국제정세의 변화로 어느 날 갑자기 현재 수입되는 자원 공급이 하루아침에 중단될 가능성도 배제할 수 없으며, 국내의 물자 이동도 물가의 급상승이나 재난의 발생으로 중단될 가능성을 배제할 수 없다. 이러한 점을 상기할 때 현재와 같이 국가나 유역으로 투입되는 에머지에서 국외로부터 수입 혹은 국내 타 지역으로부터 이입되는 양이 상당 부분을 차지하는 현실을 개선할 필요가 있다. 지역에서 부족한 자원을 외부로부터 구매하고 지역에서 생산되는 재화나 용역을 외부로

수출하는 것은 현대사회에서 어느 정도 거스를 수 없는 현상이다. 그러나 지역의 환경용량을 초과하는 자원을 외부로부터 들여올 경우 발생하는 환경오염 문제나 자원의 외부 의존에 따른 자원안보 약화는 지속가능성을 보장할 수 없게 하는 요인이 될 것이다.

본 연구에서는 데이터의 한계로 2013년 기준으로 금강유역의 지속가능성을 평가하였다. 2012년 7월 1일 금강유역에 속하는 세종특별자치시가 출범한 이후 5년이 지난 현재 여전히 개발은 진행 중이다. 2013년은 세종특별자치시가 출범한 초창기로 금강유역 일대에 어느 정도 변화가 일어났는지 알기 어려운 시기이다. 따라서 본 연구에서 사례로 제시한 금강유역의 지속가능성 관련 결과물은 2017년 현재의 상황을 충분히 반영하고 있다고 말하기는 어렵다. 그럼에도 불구하고 향후 유역의 지속가능성 평가를 위한 방향과 시사점을 제시한다는 점에서 본 연구의 의의를 찾을 수 있을 것이다. 또한 세종특별자치시의 초기 상황을 바탕으로 향후 지속적인 평가를 통해 변화하는 상황을 모니터링 할 수 있는 발판을 마련하였다고 평가할 수 있다.

2. 에머지 방법론을 활용한 유역의 평가

에머지 방법론은 생산물을 만드는 데 투입된 한 종류의 에너지를 기준으로 투입물 간의 질적 차이를 고려하여 가치를 평가한다는 점에서, 자연환경과 사회경제환경의 연계성을 고려하여 특정 시스템을 정량적이고 종합적으로 평가할 수 있는 잠재력을 지니고 있다. 본 연구에서 수행한 금강유역의 에머지 평가에 있어서도 자연환경 부분과 사회경제활동 부분에서 질적 차이를 고려하여 동일한 에머지 단위로 산정하고, 각 요소들의 가치 비중을 비교할 수 있었다.

기존의 국가 단위 혹은 행정구역 단위 에머지 평가와 달리 유역의 에머지 평가는 현재의 데이터 체계를 고려할 때 다소 불확실성을 포함할 수밖에 없다. 현재 국가 혹은 행정구역으로 구분된 지역 중심으로 대부분의 통계 데이터를 수집하고 관리한다. 자연환경 중 기상 관련 데이터도 행정구역으로 구분된 지역별 관측소를 기준으로 제공하며, 광물이나 에너지 등 지역의 비재생자원 생산이나 수출입 및 이출입 통계도 행정구역 단위의 데이터로 관리한다. 따라서 행정구역 단위의 데이터를 유역 단위 데이터로 전환하는 과정이 다소 까다로우

며, 그 과정에서 일부 값들을 추정하기 때문에 결과의 불확실성이 발생한다. 특히 유역 경계와 행정구역 경계가 일치하지 않기 때문에 유역 내에 포함되는 행정구역의 자연환경 및 사회경제환경 데이터를 얻기 위해서는 면적비, 인구비, 혹은 경제생산량비 등을 활용하게 된다. 면적비를 사용하는 것에는 자연환경과 사회경제환경의 자산이 땅에 기초한다는 철학이 담겨 있고, 인구비를 사용하는 것에는 인간의 노동력을 중심으로 추정하는 개념이 녹아 있다. 경제생산량비는 경제활동이 지역의 총 경제생산량에 비례한다는 가정을 포함한다. 본 연구에서는 사회경제활동에 연관해서는 주로 경제생산량비를 활용하였고, 자연환경과 연관해서는 주로 면적비를 활용하였다.

데이터 가공 과정에서 어느 정도 불확실성이 발생함에도 불구하고 유역 단위 지속가능성 평가는 나름대로 의의가 있다. 우리나라는 외국과의 수출입 혹은 지역 간 이출입이 경제의 큰 부분을 차지하기 때문에 행정구역 단위의 관리가 가능하기도 하지만, 지속가능성 측면에서 환경, 경제, 사회가 균형 있게 발전하기 위해서는 재생가능한 자원과 에너지를 활용하여 사회경제활동을 영위할 필요가 있다. 국가 차원에서는 외부에 변화가 있더라도 국가 내에서 지속가능한 사회경제활동을 유지할 수 있도록 내부 자원의 개발 및 활용과 순환이 필요하다. 그리고 지역 차원에서는 외부에 변화가 있더라도 지역 내에서 지속가능한 사회경제활동을 유지할 수 있는 내부 자원의 개발 및 활용과 순환이 필요하다. 즉, 지속가능한 사회를 위해서는 자연환경과 사회경제환경의 연계성을 고려하여 자연환경을 적절히 활용함으로써 내부 자원에 대한 의존도를 높일 필요가 있다. 자연환경으로부터 얻는 자원의 양과 질은 지리적, 환경적 조건에 매우 큰 영향을 받는다. 특히 유역은 수자원을 바탕으로 물질과 에너지가 이동하는 단위이므로 지속가능한 환경관리에 있어서 유역 단위 관리의 중요성이 높아질 것이다. 미래사회에서 유역 단위 환경관리가 중요해질수록 행정구역도 유역 단위로 재편할 것을 고려해 볼 필요가 있다.

에머지 평가가 정량적인 방법론이라는 점에서 데이터는 매우 중요한데, 유역 단위 평가를 위해서는 기존의 데이터를 개선할 필요가 있다. 자연자원의 유역 단위 측정이 필요하고, 사회경제활동과 관련해서는 상세 행정구역 단위 혹은 유역 단위의 보다 세부적인 품목에 대한 거래량이 필요하다. 현실적으로 지역 단위의 물자 이동을 물량 데이터로 수집하지 못하고 화폐량으로 추정하는 수준에 머물러 있으므로, 에머지 산정에 있어서 어느 정도 불확

실성을 감안할 수밖에 없다. 에머지는 물질, 에너지, 정보 등의 투입을 기준으로 산정하므로, 투입물의 화폐가치로 에머지를 산정할 경우 자원 고유의 가치가 누락되어 에머지가 저평가될 가능성이 높다. 따라서 투입물 자체의 물량에 관한 데이터가 있다면 에머지 산정의 정확성을 높여 줄 수 있을 것이다.

에머지 방법론에서 활용하는 지수에는 환경부하 비율, 에머지 생산율, 에머지 지속가능성 지수 등이 있는데, 이들의 특성을 이해하고 적절히 활용할 필요가 있다. 환경부하 비율(ELR)의 경우 재생가능한 자원(R) 대비 내부 비재생자원(N)과 외부에서 구매한 자원(F)의 합으로 산정한다. 에머지 지수체계에서 환경부하는 근본적으로 비재생자원의 활용에 따라 발생하는 것으로 보고 있다. 재생가능한 자원은 활용되고 재순환되는 특성을 지닌다. 그러나 화석연료와 같은 비재생자원은 그 양에도 한정이 있을뿐더러 그것을 사용함으로써 주로 재생되지 못하고 주변 환경에 부담을 주는 특성이 있다. 하지만 환경부하 비율 산정에 포함되는 외부에서 구매한 자원(F)이 반드시 환경에 부하가 된다고 할 수 있을지는 명확하지 않다. 지역의 환경용량을 초과하는 수입에 대해서는 환경부하 가능성이 높지만, 일부 외부에서 구매한 자원 중에 환경부하를 일으키지 않는 경우도 생각해 볼 수 있기 때문이다. 따라서 기존의 Brown and Ulgiati(1997)가 제시한 에머지 지수체계가 환경부하나 지속가능성을 보다 정확하게 반영하기 위해서는 지수의 개선이 필요할 것이다. 특히 환경부하 비율과 관련하여 내부의 비재생자원과 외부에서 구매하는 자원 모두가 환경부하를 높인다고 가정하기보다는 그러한 자원들 중 환경부하를 일으키는 것이 명백한 항목만 지수계산에 포함하는 방식을 고려해 볼 필요가 있다. 그리고 지수계산에 있어서 지역의 기본적인 환경용량을 고려하여 이를 초과하는 환경 부담이 어느 정도인지 세부적으로 산정할 필요가 있다.

에머지 방법론에서 제시하는 지수체계가 우리 사회의 지속가능성을 평가하기 위한 모든 요소를 포함하고 있다고 말하기는 어렵다. 다만 에머지 지수체계에는 환경요소가 사회경제 요소와 연계되어 있다는 시스템적 관점이 녹아있고, 이러한 철학을 바탕으로 지속가능성을 평가한다는 점을 명확히 할 필요가 있다. 정책 결정과정에서 유일한 지수가 아닌 다양한 관점을 가진 지수들 중 하나로 활용한다면 충분히 가치가 있을 것이다.

3. 결론 및 향후과제

본 연구에서는 에머지 방법론을 활용한 유역 단위의 지속가능성 평가방안을 고찰하고, 그 사례로 금강유역의 지속가능성을 평가하였다. 지속가능성이 환경, 경제, 사회를 포괄하는 개념인 만큼 가치평가에 있어서 환경과 경제, 사회의 연계성을 고려하는 시스템적 접근 기반의 에머지 방법론을 유용하게 활용할 수 있는 가능성을 엿볼 수 있었다. 특히 환경이 사회 및 경제와 연계성을 가질 때, 사회경제계가 환경의 가치를 어느 정도 충실히 평가하고 정책에 반영할 수 있는가는 지속가능성을 위한 중요한 문제이다. 에머지 방법론은 투입물을 중심으로 자원의 고유 가치를 평가할 수 있는 도구이고, 자연환경 및 사회경제환경의 다양한 요소들의 질적 차이를 고려하는 동시에 동일한 에머지 단위로 가치를 산정한다. 따라서 전체적인 지속가능성을 평가하는 데 정량적인 방법론으로서 유용하게 활용될 수 있다.

서론에서 언급한 최근의 국책사업들과 관련한 논의에서는 경제성 기반의 평가가 초점이 되어 왔다. 어느 정도 비용을 들여서 어느 정도 수익을 얻을 수 있는지에 대한 평가가 주를 이루었다. 물론 비용이라는 항목에 환경비용도 어느 정도 포함은 될 것이다. 그러나 자원 활용에 대한 평가에 있어서 자원이 가진 고유의 가치를 반영하지 못하거나 여러 요소들의 질적 차이, 즉 가중치를 적용하지 않거나 적용하더라도 정성적인 방식으로 적용하여 여전히 객관성이 결여되는 결과를 낳았다. 에머지 방법론이 그 자체로 완전하거나 객관적인 방식이라고 할 수는 없다. 그러나 기존 의사결정을 위한 평가방법론들 중에 비교적 정량적이고 객관적인 잣대를 바탕으로 가치를 산정하는 방식이라는 점에서 여타의 방법론에서 도출된 결과들과 함께 정책 의사결정의 도구로 활용할 가치는 충분하다고 판단된다. 국책사업이나 환경영향 평가, 생태계서비스 평가 등에 두루 활용함으로써 여타의 방법론들이 평가하지 못하는 환경자원 고유의 가치를 보다 정량적으로 평가하여 기존의 정성적 방식을 보완할 수 있을 것으로 기대된다.

본 연구 결과를 바탕으로 향후에는 에머지 방법론을 활용한 유역 단위의 지속가능성 평가를 다른 권역에도 적용하여 연구할 필요가 있다. 해양 환경으로 인해 유역 환경과 우리나라 국토 전체의 환경 조건이 달라 금강유역을 국토 전체와 비교하는 데는 무리가 있었다. 본 연구와 같이 우리나라의 유역별로 에머지 평가와 지속가능성 평가를 수행하여 유역 간 비

교·분석한 결과를 바탕으로, 각 권역별로 환경이나 경제 측면에서 지속가능성을 높이기 위한 다양한 정책적 시사점을 얻을 수 있을 것이다. 보다 면밀한 비교·분석을 위해서는 데이터를 개선할 필요가 있고, 연구를 통해 환경부하 비율과 같은 에머지 지수체계도 보다 정교하게 활용할 수 있도록 개선이 필요하다.

장기적으로는 자연환경과 사회경제환경의 연계성 속에서 지속가능발전을 이루어 나갈 수 있도록 유역 중심의 환경평가와 관리체계를 구축하기 위한 정책적 지원과 노력이 필요하다.

| 참고문헌 |

[국내문헌]

강대석(2007), “한강유역의 자연환경과 사회경제활동에 대한 에머지 평가: 한강유역 및 한강하구 관리를 위한 정책제언”, 「한국해양환경공학회지」, 10(3), pp.138-147.

국립농업과학원(2009), 「농업환경변동조사사업」, 국립농업과학원.

국토교통부(2013), 「수자원장기종합계획(2011-2020)」, 국토교통부, p.12.

기상청(2013), 「기상연보」, 기상청.

농업과학기술원(2005), 「비점오염원 관리와 국토 보전을 위한 전국 토양 침식 위험성 평가」, 농업과학기술원.

이도원(2004), 「한국의 전통생태학」, 사이언스북스, p.22.

이승준(2016), 「시스템과 네트워크 이론을 활용한 미래 환경정책 방향 연구」, 한국환경정책·평가연구원.

전라북도(2014), 「제54회 전북통계연보」, 전라북도.

주용준, 사공희 외(2014), 「충청남도 환경용량 평가 연구」, 충청남도.

충청남도(2014), 「제54회 충남통계연보」, 충청남도.

한국은행(2015), 「지역산업연관표(2013)」, 한국은행.

[국외문헌]

Acreman, M. et al.(2008), “Developing Environmental Standards for Abstractions from UK Rivers to Implement the EU Water Framework Directive”, *Hydrological Sciences*, 53(6), pp.1105-1120.

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, pp.51-69.

Brown, M. T. and S. Ulgiati(2011), "Handbook of Emergy Evaluation Folio #6: The Global Emergy Budget and the Emergy of Global Processes Revisited", Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, FL, USA.

Cohen, M. J., S. Sweeney, and M. T. Brown(2007), "Computing the Unit Emergy Value of Crustal Elements", In: M.T. Brown, E. Bardi, D.E. Campbell, S.-L. Huang, E. Ortega, T. Rydberg, D. Tilley, S. Ulgiati (eds.), *Proceedings of the 4th Biennial Emergy Research Conference*, Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, FL, USA.

Kang, D.(2016), Emergy Evaluation Database for Korea, Unpublished.

Montague, C. L.(2007), *Dynamic Simulation with Energy Systems Language. In: Fishwick, P.A. (ed.)*, Handbook of Dynamic System Modeling, Chapman & Hall/CRC, Boca Raton, FL, pp.28.1-28.32.

Odum, H. T.(1996), *Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making*, Wiley.

Odum, H. T., M. T. Brown, and S. Brandt-Williams(2000), "Handbook of Emergy Evaluation Folio #1: Introduction and Global Budget", Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, FL, USA, p.7.

Sweeney, S. et al.(2007), "Creation of a Global Emergy Database for Standardized National Emergy Synthesis", In: M.T. Brown, E. Bardi, D.E. Campbell, S.-L. Huang, E. Ortega, T. Rydberg, D. Tilley, S. Ulgiati (eds.), Proceedings of the 4th Biennial Emergy Research Conference, Center for Environmental Policy, University of Florida, Gainesville, FL, USA,

United Nations(UN)(1987), *Our Common Future – Brundtland Report*, Oxford University Press.

United Nations(UN)(2015), *Transforming Our World: the 2030 Agenda for Sustainable Development*, Resolution(A/RES/70/1) Adopted by the General Assembly on 25 September 2015.

[온라인 자료]

경기통계, “경기통계연보 2014”, http://stat.gg.go.kr/statgg/kr/dataMng/PublicationForm.html?pub_seq=568, 검색일: 2017.10.15.

경상북도통계포털, “2014 통계연보”, http://www.gb.go.kr/open_content/stat/index.jsp, 검색일: 2017.10.15.

관세청, “지역별 무역통계”, https://unipass.customs.go.kr:38030/ets, 검색일: 2017.10.15.

충북통계정보시스템, “2014 통계연보”, http://stat.chungbuk.go.kr/stat/index.do, 검색일: 2017.10.15.

KOSIS(통계청 국가통계포털), “국내통계”, http://www.kosis.kr, 검색일: 2017.9.20.

NEAD(National Environmental Accounting Database), https://cep.ees.ufl.edu/nead, 검색일: 2017.9.20.

WAMIS(국가수자원관리종합시스템), “지도로 검색”, http://wamis.go.kr/watermap2013/watermap.aspx?paramTab=searchmap, 검색일: 2017.9.15.

Abstract

Emergy-based Sustainability Assessment of Watershed : Assessment of Geum River Watershed

Seungjun Lee

As sustainability is a concept oriented toward the balanced development of environment, economy, and society, a proper valuation of the environment is required to compensate the previous policy direction that has focused on the economy. The environmental management based on a watershed, which is a unit of material and energy circulation, considers the interaction between natural and socioeconomic environments. The purpose of this study is to introduce the emergy methodology, which has been built upon systems approach, as a valuation tool and suggest an evaluating method of the watershed sustainability. As a case study, the study evaluates the sustainability of the Geum River watershed, where development pressure has recently been increasing, using the method suggested in this study.

Since the current national and local statistics are arranged by administrative district units, uncertainty may increase in the transformation of the data into the one for a watershed unit. Although the renewable resource data like weather or area is relatively straightforward for a watershed unit, socioeconomic data such as imports and exports requires the transformation of the data for a watershed unit by a proportion of area, gross production, or population. Since the emergy is generally evaluated using the quantity of material, energy, and information previously used to make a product, the

socioeconomic data, which is typically represented by a monetary unit, may underestimate the emergy of a product.

As a result of the emergy evaluation of the Geum River watershed using the method suggested in this study, the Emergy Yield Ratio(EYR) is as low as 1.03, and the Environmental Loading Ratio(ELR) is as high as 153.18. The Emergy Sustainability Index(ESI), which is calculated by EYR/ELR, is as low as 0.0067. The dependence of the economy on the externally purchased resources is the major factor that influences the low EYR and the high ELR. That is, most of the emergy of the Geum River watershed comes from the domestic and international imports.

Emergy would be valuable as a quantitative assessment tool if it is used with other methodologies, which have different perspectives on valuation, in the decision-making and assessment processes, such as national projects, environmental impact assessments, and ecosystem service assessments.

As a future study, the watershed-based sustainability assessment using the emergy methodology needs to be carried out for other watersheds. By assessing emergy indices of other watersheds and comparing them, one would get insights on policy recommendations for sustainable development. For the better emergy evaluation of a watershed, data needs to be arranged in a watershed unit and emergy indices such as ELR and ESI need to be improved to reflect the environmental loading and sustainability concept better. In addition, policy should facilitate the watershed-based environmental assessment and management for the sustainable development under the linkage between natural and socioeconomic environments.

Keywords : Emergy, Sustainability, Geum River watershed, Environmental loading, Quantitative valuation

저자약력

이승준

미국 University of Florida 환경공학 박사
한국환경정책·평가연구원 연구위원(현)
E-mail : leesj@kei.re.kr

주요 연구실적

- 시스템과 네트워크 이론을 활용한 미래 환경정책 방향 연구 (2016)
- 신기후체제의 기후변화 적응 및 손실과 피해에 관한 대응방안 (2016)

| KEI Working Paper 목록 | 2015~2017

2017년 2017-01 불확실성과 학습효과를 반영한 기후경제 모형 방법론 연구(황인창)
2017-02 환경경제 분석에서 행위자 기반 모형의 활용 방안 연구(채여라, 정예민)
2017-03 인도 물관리 정책의 비교분석과 환경협력 확대 방향(김익재)
2017-04 산림경영사업지의 개발용지 전환 사례조사 및 개선사항의 도출(방상원)
2017-05 환경분야 빅데이터 수집방법 연구(한국진)
2017-06 에머지 방법론을 활용한 유역의 지속가능성 평가: 금강유역을 중심으로(이승준)
2017-07 도시재생 활성화지역 노후 건물의 재정비 시나리오별 환경적 지속가능성 평가를 위한 기초연구(송지윤)
2017-08 Smart waste 및 환경정보 제공을 위한 주민참여형 애플리케이션 활용 연구 (이소라, 임혜숙)
2017-09 2차생성 미세먼지 저감을 위한 암모니아 관리정책마련 기초연구(신동원)
2017-10 주요국가 환경정책 트렌드 분석연구(명수정, 문현주, 신용승, 전호철)
2017-11 한국의 녹색경제지수 산정(김종호)
2017-12 합성생물 관리방안 마련을 위한 국내외 연구동향(오일찬)

2016년 2016-01 시스템과 네트워크 이론을 활용한 미래 환경정책 방향 연구(이승준)
2016-02 공공자료 분석을 통한 친환경적 풍력에너지 개발 기초 연구(김태윤)
2016-03 환경영향평가에서 활용 가능한 주민참여 방법 기초 연구(이상윤)
2016-04 자율주행 자동차의 친환경성 제고를 위한 기초 연구(이승민)
2016-05 미래 고온환경 변화와 직종 간 임금격차 추정(김동현)
2016-06 드론을 이용한 환경재난 사후대응 기술 및 연구동향 분석 연구(손승우)
2016-07 건물부문의 환경 부하 평가 모형 개발을 위한 기초연구(송지윤)
2016-08 근지표환경 임계영역(critical zones)의 환경적 중요성과 환경관리의 미래 이슈(현윤정)
2016-09 시민과학의 자연환경조사 적용방안 연구(김윤정)
2016-10 환경평가 자료의 공공서비스 지원을 위한 기초연구(김태형)
2016-11 토지환경분야의 지속가능발전목표(SDGs) 이행을 위한 정책방향 설정(명수정)
2016-12 건강영향평가 분야에서의 위해소통을 위한 리스크 테이블 제작 연구(하종식)
2016-13 해외 환경정책 인벤토리 구축 연구: 환경전략/대기환경/물환경/국토자연/자원순환 부문 (조일현, 공성용, 한대호, 홍현정, 한상운)
2016-14 해외 환경정책 인벤토리 구축 연구: 환경평가 부문(박하늘)
2016-15 해외 환경정책 인벤토리 구축 연구: 온실가스 감축 부문(김이진, 간순영)
2016-16 지하수 개발사업의 환경영향평가 개선을 위한 기초연구(김경호)
2016-17 토양자원 관리를 위한 전략환경영향평가 개선을 위한 기초연구: 도시개발사업을 중심으로(양경)

2016-18 미세조류 바이오매스의 자원화 활용에 대한 연구: 바이오 (기능성)소재를 중심으로 (지민규)
2016-19 2016 국민환경의식조사 연구(곽소윤)

2015년 2015-01 싱크홀 방지를 위한 환경영향평가 개선방안 연구(김윤승)
2015-02 이슈스캐닝(Horizon Scanning) 기법 활용을 통한 물환경관리 부문 이머징 이슈 발굴 연구(한혜진)
2015-03 기후경제통합-지역평가모형(Regional Integrated Assessment Model of Climate and the Economy) 비교분석 및 국내 모형개발을 위한 기초연구(황인창)
2015-04 기후변화로 인한 고온환경 근로자의 작업역량 저하 추정과 공간적 군집 파악(김동현)
2015-05 환경영향평가 설명회·공청회 운영현황 분석(조공장)
2015-06 도로 및 철도 사업의 토양분야 환경영향평가 사례 연구(신경희)
2015-07 빅데이터를 활용한 환경보건서비스에 관한 기초연구(간순영, 윤성지)
2015-08 자원순환분야 지속가능발전목표(SDGs) 이행 기반 마련을 위한 기초연구(임혜숙)
2015-09 내륙습지에 대한 환경영향평가 개선방안 연구 I: 환경부 전국내륙습지 조사 지침(2011)의 적용을 중심으로(방상원)
2015-10 자원순환성 평가제도 대상 확대를 위한 기초연구(이소라)
2015-11 환경소음 빅데이터의 정책 활용성 제고 방안(박영민)
2015-12 인과지도(Causal Loop)를 활용, 미래 물수급관리 정책 지원을 위한 기초연구 (류재나)
2015-13 생물안전 법제 기초연구(홍현정)
2015-14 지방자치단체 환경영향평가 조례 운영현황 및 효율화 방안(선효성)
2015-15 개발사업의 비점오염 영향평가방법 개발을 위한 기초연구(이진희)
2015-16 환경영향평가제도에서의 생태계보전협력금 활용 개선방안(이상범)
2015-17 환경가치 중장기 연구수요 조사(곽소윤)
2015-18 세종특별자치시의 대기질 관리 기획 연구(심창섭)
2015-19 2015 국민환경의식조사 연구(곽소윤)

※ KEI 설립 이후 현재까지의 보고서 원문은 KEI 홈페이지(www.kei.re.kr)에서 보실 수 있습니다.

에머지 방법론을 활용한 유역의 지속가능성 평가

금강유역을 중심으로

KEI 한국환경정책·평가연구원
Korea Environment Institute

30147 세종특별자치시 시청대로 370
세종국책연구단지 B동(과학 · 인프라동) 8~11층
http://www.kei.re.kr

93530
9 791159 801471
ISBN 979-11-5980-147-1

본 책자는 친환경용지로 인쇄되었습니다