

工學博士 學位論文

낙동강 유역의 오염총량관리계획에
대한 환경회계



2007年 8月

釜慶大學校 大學院

環 境 工 學 科

金 珍 利

工學博士 學位論文

낙동강 유역의 오염총량관리계획에 대한 환경회계

指導教授 李 錫 謨

이 論文을 工學博士 學位論文으로 提出함

The background of this section features a large, light blue watermark of the Pukyong National University logo. The logo is circular, with the university's name in English 'PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY' around the top and in Korean '부경대학교' around the bottom. In the center is a stylized emblem consisting of two curved shapes facing each other, forming a larger shape that resembles a compass or a stylized 'G'.

2007年 8月

釜慶大學校 大學院

環 境 工 學 科

金 珍 利

金珍利의 工學博士 學位論文을

認准함

2007年 8月 日

主 審 工學博士 姜 壬 錫



委 員 工學博士 姜 大 錫



委 員 工學博士 金 上 旦



委 員 工學博士 辛 星 敎



委 員 工學博士 李 錫 謨



목 차

I. 서 론	1
II. 이론적 배경	5
1. 오염총량관리제도	5
1.1 오염총량관리제의 개념	5
1.2 오염총량관리계획 주요내용	5
1.3 오염총량관리 추진체계	8
2. 낙동강수계의 오염총량관리계획	9
2.1 낙동강수계 구간별 목표	10
2.2 낙동강수계 제1차 오염총량관리 기본계획 현황	13
2.2.1 기존 및 최종배출부하량 (2010년)	13
2.2.2 할당부하량	14
2.2.3 삭감부하량	15
2.3 오염총량관리 시행계획 대상지역의 오염부하 현황	17
2.4 오염총량관리 시행계획 대상지역의 투자계획 현황	20
3. 환경회계	24
3.1 환경정책의 비용/편익분석	25
3.2 가치척도로서의 emergy	26
3.3 Emergy 분석에 의한 환경회계	27
4. Emergy 평가법	28
4.1 Emergy 개념	28

4.2 Transformity	28
4.3 EmWon	30
Ⅲ. 연구방법	31
1. 대상지역	31
2. 낙동강유역의 Emergy 분석	33
2.1 에너지 시스템 다이어그램 작성	33
2.2 Emergy 분석표 작성	34
2.3 Emergy 지표 계산	37
3. 총량관리계획에 대한 환경회계	42
3.1 Emergy 분석	42
3.2 Emergy 분석에 따른 환경회계	48
4. 총량관리계획에 대한 개선방안	49
4.1 유역내 발생원 저감을 위한 개선방안	49
4.2 질소·인 제거를 위한 저감방안	49
4.2.1 고도처리시설을 이용한 질소·인 제거	50
4.2.2 인공습지를 이용한 질소·인 제거	51
Ⅳ. 결과 및 고찰	53
1. 낙동강유역의 Emergy 분석	53
1.1 에너지 시스템 다이어그램	53
1.2 Emergy 분석결과	55
1.3 Emergy 지표	60

1.3.1	Emergy 지표를 통한 지속성 평가	60
1.3.2	영속성 에너지원의 점유율	61
1.3.3	Emergy 생산비	62
1.3.4	Emergy 투자비	62
1.3.5	1인당 Emergy 사용량	63
1.3.6	인구수용력	63
1.3.7	단위 면적당 Emergy 사용량	63
1.3.8	환경 부하율	64
1.3.9	지속성 지수	64
1.3.10	낙동강의 수자원에 대한 가치평가	65
2.	총량관리계획에 대한 환경회계	68
2.1	총량관리계획 도입 이전의 emergy 분석	68
2.1.1	에너지 시스템 다이어그램	68
2.1.2	Emergy 분석결과	70
2.2	총량관리계획 수립 이후의 emergy 분석	72
2.2.1	에너지 시스템 다이어그램	72
2.2.2	Emergy 분석결과	74
2.3	환경회계	76
3.	총량관리계획에 대한 개선방안	78
3.1	유역내 발생원 저감을 위한 개선방안	78
3.2	질소·인 제거를 위한 저감방안	78
3.2.1	고도처리시설을 이용한 질소·인 제거	78
3.2.2	인공습지를 이용한 질소·인 제거	82
3.2.3	저감시설에 대한 환경회계	85
3.3	비점오염원 제거를 위한 저감방안	86

3.3.1 저감시설의 현황	86
3.3.2 저류형 습지를 이용한 비점오염원 제거	87
V. 결 론	90
<i>Appendix</i>	93
감사의 글	116
참고문헌	118



표 목 차

Table 2.1. Water quality standard of each boundary between metropolitans cities and provinces	11
Table 2.2. Final discharge of BOD in the Nakdong river basin	14
Table 2.3. Load allocation of the Nakdong river basin in 2010	15
Table 2.4. Load reduction of the Nakdong river basin	16
Table 2.5. Load allocation of the Nakdong river basin	18
Table 2.6. Investment plan for the reduction facilities by city and county	21
Table 2.7. Investment plan for the reduction facilities of the Nakdong river basin after Total Maximum Daily Loads(TMDL) program	23
Table 3.1. Tabular format of emergy analysis table	35
Table 3.2. Data for calculating energy flows of environmental and purchased inputs	36
Table 3.3. BOD discharge of the Nakdong river basin	46
Table 3.4. Tabular format for environmental accounting	48
Table 3.5. Parameters of Ha-Dong Sewage treatment plant	50
Table 3.6. Parameters of constructed wetland	51
Table 4.1. Emergy evaluation of resource basis for Nakdong river basin(2004)	56
Table 4.2. Summary of flows in the Nakdong river basin	58
Table 4.3. Indices using emergy for overview of the Nakdong river basin	60
Table 4.4. A comparison of emergy indices of the Nakdong river basin with other basins	61
Table 4.5. Emergy analysis of treated water and river water in each basin	67
Table 4.6. Economic analysis of water resources in each basin	67

Table 4.7. Emergy analysis of point sources treatment system before Total Maximum Daily Load(TMDL) Program	71
Table 4.8. Emergy analysis of point and non-point sources treatment system after Total Maximum Daily Load(TMDL) Program	75
Table 4.9. Environmental accounting of the Nakdong river basin before Total Maximum Daily Loads(TMDL) program	77
Table 4.10. Environmental accounting of the Nakdong river basin after Total Maximum Daily Loads(TMDL) program	77
Table 4.11. Emergy analysis of advanced treatment for the 1 kg of N reduction ..	81
Table 4.12. Emergy analysis of advanced treatment for the 1 kg of P reduction ...	81
Table 4.13. Emergy analysis of constructed wetland for the 1kg of N reduction ...	84
Table 4.14. Emergy analysis of constructed wetland for the 1kg of P reduction	84
Table 4.15. Cost accounting of reduction facilities for 1kg of N and P reduction ·	85
Table 4.16. Investment plan for the reduction facilities of the Nakdong river basin after Total Maximum Daily Loads(TMDL) program	86
Table 4.17. Emergy analysis of natural wetland	89

그 립 목 차

Fig. 2.1. TDML station of the Nakdong river basin	12
Fig. 2.2. Emergy quality chain, used to calculate solar transformity(Odum, 1988). 28	
Fig. 2.3. Hierarchical chain of energy transformations : (a)decrease of energy in successive transformations : by-product pathways are omitted : (b) energy-transformation ratios in solar equivalents : (c) spatial hierarchy characteristics	29
Fig. 2.4. Emergy inputs used to evaluate the emergy/money ratio of the national economy	30
Fig. 3.1. Map of the Nakdong river basin	32
Fig. 3.2. Typical energy sources driving an environmental system arranged in order from low quality on left to high quality on right	34
Fig. 3.4. Correlation between BOD concentration and conductivity	44
Fig. 3.5. BOD reduction plan for the Nakdong river basin before and after Total Maximum Daily Loads(TMDL) program	47
Fig. 4.1. Complex energy diagram of the Nakdong river basin	54
Fig. 4.2. Emergy signature of energy source in Nakdong river basin	57
Fig. 4.3. Contribution of emergy from renewable sources, nonrenewable sources, fossil fuel and goods & services	57
Fig. 4.4. Aggregated diagram of the Nakdong river basin	59
Fig. 4.5. Energy diagram of point sources treatment system before Total Maximum Daily Load(TMDL) Program	69
Fig. 4.6. Energy diagram of point and non-point sources treatment system after Total Maximum Daily Load(TMDL) Program	73

Fig. 4.7. Energy diagram of advanced treatment system	80
Fig. 4.8. Energy diagram of constructed wetland	83
Fig. 4.9. Energy diagram of natural wetland	88



Appendix

Appendix 1. A section table of the Nakdong river basin	93
Appendix 2. Formulas for calculating energy flows in joules per year	94
Appendix 3. Solar transformity used in emergy analysis of Nakdong river basin	95
Appendix 4. Summary flows for the Korea in 2004	96
Appendix 5. Correlation coefficient and significance test between BOD and conductivity	98
Appendix 6. Emergy analysis table in Jang-you sewage treatment plant	100
Appendix 7. Emergy evaluation of resource basis for the Nakdong river basin ..	102
Appendix 8. Footnote for Table 4.5	104
Appendix 9. Footnote for Table 4.6	105
Appendix 10. Footnote for Table 4.7	107
Appendix 11. Footnote for Table 4.8	109
Appendix 12. Footnote for Table 4.11	111
Appendix 13. Footnote for Table 4.12	112
Appendix 14. Footnote for Table 4.13	113
Appendix 15. Footnote for Table 4.14	114
Appendix 16. Footnote for Table 4.17	115

*Environmental Accounting of the Total Maximum Daily Loads
Program in the Nakdong River Basin*

Jin Lee KIM

Department of Environmental Engineering, Graduate School, Pukyong National University,

Abstract

In present day, there is limited to accomplish environmental standards in the river by the concentration regulation of water quality, due to the high population growth, crowding and densely located industrial facilities on the middle and downstream area of Nakdong river.

It is difficult to control increasing pollution load by only the concentration regulation of water quality focused on the standard of discharge permission. Therefore, the government should regulate the increase of pollution load by introduce Total Maximum Daily Loads(TMDL) Program to control pollutant load.

Under this background, this study was carried out environmental accounting of the Total Maximum Daily Loads(TMDL) Program in the Nakdong river basin by emergy analysis which was evaluated both natural

environment and human economic activity from the same measure.

To evaluate the contribution for the economic systems and the essential value in the Nakdong river basin, this study is estimated by the emergy analysis prior to environmental accounting for the TMDL. Environmental accounting for TMDL is evaluated to separate the condition before and after TMDL program.

This study discussed for the improvement countermeasure of TMDL is as below:

First, emergy analysis of Nakdong river basin was carried out, the emergy input of whole Nakdong river basin was calculated $1.55\text{E}+23$ sej/yr, and Emergy Yield Ratio and Emergy Investment Ratio were 1.06 and 17.50. In this result, it showed the local production contributes the main economy in Nakdong river basin and the area in Nakdong river basin has high environmental pressure. Emergy Sustainability Index was 0.03 which means sustainable development ability in this area is a little low.

Second, emergy from the outside of goods and services after introduced with TMDL was calculated $7.90\text{ E}+20$ sej/yr. Although river's real yield value after investment was still high(before : $9.7118\text{E}+20$ sej/yr and after : $9.7224\text{E}+20$ sej/yr) the real improvement effect is not great compared with the investment cost. Environmental Accounting result after TMDL shows us a decrease on benefit/cost ratio from 1.493 to 1.230 due to the cost on treatment facilities.

Third, the input emergy of advanced treatment plant for N and P reduction by 1kg of N and P reduction were estimated $4.14\text{E}+14$ sej, $5.02\text{E}+15$ sej, and the input emergy of wetland for the 1kg of N and P reduction were estimated $2.48\text{E}+14$ sej, $3.38\text{E}+15$ sej, respectively. To reduce 1kg of N and P, it costs 197,466 and 2,388,739 won by advanced treatment plant and 117,976 and 1,609,213 won by constructing artificial wetland.

Fourth, In the case of wetland for reduction of non-point source, the share of renewable source showed 100%. According to the result of emergy analysis for the natural wetland, river was highest in the renewable resources by $2.92\text{E}+19$ sej /yr, and waterfowls was highest in the storages by $3.37\text{E}+19$ sej/yr. If we make efforts to use natural wetland with abundant natural resource or construct wetland for reduction facilities of non point source, the wetland will not provide only the effect of reduction of non point pollution source, but also flood control ability and habitat of animals or plants.

In conclusion, it is necessary that ecological treatment facilities to use efficiently environmental resource with spending few cost of investment and management is suggested to the Total Maximum Daily Loads(TMDL) Program. If the structure of water management depending on expansion of the waste water treatment facilities to use high environmental cost should alternate with the efficient natural formation that is supported by the renewable source in the region, the system and water resource of Nakdong river basin will develop and be sustainable use of this structure.

I. 서 론

현재 낙동강유역은 대도시와 대규모 산업단지가 집중되어 있으며 오·폐수 발생량의 증가로 중·하류지역의 수질개선이 점차 어려운 실정이다. 또한 식수원으로 이용되는 낙동강 하류지역의 오염부하량 증가는 상수원수의 수질을 위협하는 요인이 되었고, 특히 강우가 부족한 갈수기에는 수자원확보와 수질문제가 동시에 대두되어 낙동강의 수질관리를 위한 여러 정책들이 추진되어 왔다. 그 결과 상대적인 수질개선 효과는 있었으나 여전히 오염물질의 발생을 근원적으로 제어할 수 있는 방안이 부족하고, 무분별한 개발로 인한 유역생태계 파괴와 이에 따른 자정능력의 감소 등과 같은 수자원이용의 문제점은 물론 수질오염을 비롯한 갈등이 끊임없이 야기되고 있어 낙동강의 수자원에 대한 효율적인 관리가 절실히 요구되고 있다.

기존 농도규제 중심의 수질관리는 오염의 양적인 증가를 통제할 수 없으며, 오염원이 지속적으로 증가하는 경우 일반적인 농도규제 방식만으로는 수질개선에 한계가 있어 총량중심으로 관리하는 ‘오염총량관리제도’를 도입하게 되었다. 총량관리제는 수질오염원의 근원적 해결을 위하여 끊임없이 제기되어 왔던 제도로써 1999년에 팔당호 상류 수계를 대상으로 시범적으로 실시한 후 2002년부터 단계적으로 확대되기 시작하였다. 낙동강수계의 경우 구간별로 목표수질을 설정하고 그 목표수질을 달성하기 위하여 지역과 배출원에 오염물질 배출총량을 할당하였다. 특히 낙동강의 하류지역은 물금지점이 상수원으로 이용되고 있기 때문에 목표수질 BOD 3.0mg/L을 달성하기 위한 많은 노력을 하고 있다(환경부, 2006). 수질개선을 위한 노력은 유역 내에서 발생되는 오염물질을 감소시키고 점오염원의 저감시설인 환경기초시설을 확충하며 비점오염원의 저감시설인 자연형 하천정화사업, 인공습지 조성 등이 있다. 이러한 삭감시설을 신설하고 그에 따른 투자계획이 오염총량관리 시행계획에 포함되어 있으며 현재 시행계획 이행평가 단계에 있다. 그러나 수질개선을 위한 노력으로 설치되는 저감시설에 대한 투자비용과 수질개선 효과를 생태·경제학적 관점에서 실질적인 가치를 비교·

평가한 연구는 아직 국내·외에 없는 실정이다. 그러므로 자연환경과 경제활동에 대한 유역의 통합적 평가와 수질개선 효과 및 저감시설에 대한 생태·경제적 가치평가를 동일한 척도로 평가하는 시스템 생태학적 접근방법을 도입할 필요가 있다. 따라서 자연환경과 인간경제활동을 동일한 가치 척도로 평가하는 emergy 분석법을 이용한 유사 분야에 관한 연구는 국내·외의 많은 연구자들로부터 진행되고 있다.

국내의 경우 강(1999)은 emergy 개념을 이용한 다목적 댐건설의 생태·경제학적인 평가방법에 관한 연구를 수행하였고, 김(2000)은 환경회계에 의한 하천 유역의 환경정책결정에 관한 연구로서 낙동강유역 관리뿐만 아니라 상수원수로의 가치평가 및 상류·중류·하류로 구분하여 구역별 수질관리와 수량확보를 위한 관리방안을 제시하였다. 최근에 신(2007)은 하수슬러지처리에 대하여 해양배출과 소각 및 매립으로 구분하여 각각을 분석하였으며, 이(2007)는 낙동강 하구 독의 기능에 대한 에머지 분석에 관한 연구를 수행하였다. 또한 강(2003)은 에머지 개념을 이용한 해양환경자원의 가치평가와 정책 활용 방안, 제(2004)는 낙동강하구역의 생태·경제성 평가와 보전방안에 관한 연구를 수행한 바가 있다.

국외에서는 Odum이 1962년 이후 에너지 언어를 생태계 시스템의 분석, 합성 그리고 시뮬레이션에 이용하였으며, 자연환경과 경제활동을 하나의 시스템에서 동일한 가치 척도로 비교하는 emergy 개념을 이용하여 농업, 임업 그리고 수산업의 기여도, 국가의 자연환경과 경제활동에 대한 통합 평가, 국가 간 무역의 emergy 손익평가 등에 관한 연구 결과를 발표하였다. Bjorklund(2001)는 폐수처리시스템의 자연생태계와 구매자원간의 관계에 대한 emergy 평가를 수행하였고, Buenfil(2001)은 플로리다 8개 지역 급수시설의 식수 공급에 대한 emergy 비용 평가, Brown과 Ulgiati(2002)가 전력생산시설에 관한 emergy 평가와 환경부하를 연구하여 구조물에 관한 emergy 분석을 수행하였으며, Huang(1995) 등이 타이페이의 도시 건설에 대한 Material flow에 대하여 emergy 분석을 수행하였다.

한편, 오염총량관리제에 대하여 많은 연구가 수행되고 있는 가운데 김(2004)은 오염

총량관리제도 수립의 경제적인 효과를 생태경제모형을 설정하여 분석한 결과 지역총생산 증가율은 둔화시키고 있으나 오염배출량의 개선효과는 있는 것으로 분석하였다. 미시적으로 접근하는 경우 규제를 받는 기업의 대응이 기업의 생산기술 및 오염저감 기술 형태에 따라 달라 지역별로 다른 경제적 효과가 나올 수 있음을 제시하였으며, 비점오염원관리를 위해 토지이용변화를 분석할 수 있는 틀을 구성하였다. 또한 경기개발연구원(2000)에서는 「팔당호 수질보전을 위한 오염총량관리제의 효율적인 시행방안」으로 한강유역의 오염총량관리제의 시행에 따른 경기도의 대응전략을 다루고 있으며, 한국환경정책·평가연구원(2005)에서는 오염총량관리제도 하에서 지역별·산업별 비용분석을 수행한 결과 지역의 업체별 생산량, 생산비용과 같은 생산관련정보와 오염처리비용에 관한 정보가 미비한 것으로 나타났고 지역 산업체들의 자세한 오염비용부담정도에 대한 파악이 시급하며 현실적으로 총량관리제를 수립한 후 지역 간의 발생원 저감대책으로 산업구조 재편성과 같은 근원적인 발생원 저감대책이 필요함을 제시하였다.

또한 환경에 대한 비용/편익분석(환경부, 2003)에서는 환경영향평가(Environmental impact analysis), 경제영향평가(Economic impact analysis), 규제영향평가(Regulatory impact analysis), 환경피해평가(Damage assessment), 환경위험평가(Risk assessment) 등이 제시된 바 있다. 본 지침서의 사례분석을 살펴보면 먼저, 영월 동강댐 건설사업의 비용/편익분석에서 편익은 댐건설로 인해 발생하는 수자원의 증대와 이 지역 홍수피해의 방지로 얻어지는 것이고, 비용은 댐건설로 인해 계곡 등 하천의 경관파괴와 석회암지대의 희귀생물종의 멸종 및 백룡동굴 등을 포함한 동굴 및 동굴생물의 피해, 그리고 고인돌 등의 문화유적지의 손실과 각종 레저 활동기회의 손실, 인근주민의 피해 등을 대상으로 분석하였다. 국외의 경우, 워싱턴 주 Elwha River Restoration Project에서는 Elwha강의 Elwha댐, Glines 댐에 의한 생태계의 변화와 이 지역의 생태계를 보전하며 수질을 개선시키는 것에 관한 비용/편익 분석을 실시하였다.

따라서, 본 연구에서는 에너지, 환경, 경제가 상호 관련되어 이루어져 있는 시스템에 대해 자연환경과 인간경제활동 등이 어떻게 상호작용하고 영향을 미치는지를 파악하는 Top-Down 방식의 접근법을 기초로 emergy 분석을 수행하였다. 이러한 emergy 분석결과를 바탕으로 사전예방적인 차원에서의 오염원 저감방안을 제시하고, 환경보존과 경제개발에 관련된 정책 및 계획시 상반되는 의사결정과 혼란 등을 조율해 주는 환경회계의 개념을 도입하여 수질개선 효과와 저감시설의 투자비용을 생태·경제학적 관점에서 비용/편익분석을 실시하여 오염총량관리계획에 대한 저감시설의 개선방안을 제시하고자 한다.



Ⅱ. 이론적 배경

1. 오염총량관리제도

1.1 오염총량관리제의 개념

오염총량관리제는 관리대상 하천의 목표수질을 설정하고 그 기준을 달성하는데 있으며 수질을 지속적으로 유지하기 위하여 오염물질의 허용부하량(허용총량)을 산정하여 해당유역에서 배출되는 오염물질의 부하량(배출부하량)을 허용부하량 이하로 규제 또는 관리하는 제도이다. 농도규제만으로는 하천에서 오염부하의 양적증가를 통제할 수 없어 수질개선에 한계가 있어 왔으며 우리나라 하천이 중·하류에는 인구 및 산업 시설이 과도하게 밀집되어 있어 현재와 같은 농도규제방식으로는 하천의 환경기준 달성에 근본적으로 어려움이 존재해 왔다(환경부, 2005).

오염총량관리제는 목표수질을 초과한 수계지역에서 시행되며 해당 지자체에서 오염물질의 배출량을 줄이면 줄일수록 해당지역에서 개발할 수 있는 지역개발 용량이 커지게 되고 수질보전에 대한 지자체의 노력자체가 인센티브가 될 수 있다.

1.2 오염총량관리계획 주요내용

지자체장은 지역개발계획의 구체적인 내용, 지역 내에서 발생하는 오염부하량의 총량 및 연차별 삭감계획, 지역개발계획으로 인한 오염부하량 및 오염부하량 삭감 계획 등이 포함된 지역 수질관리를 위한 오염총량관리계획을 수립하여 환경부 장관의 승인 후 시행하도록 한다. 총량 관리대상 오염물질의 종류, 총량관리의 목표, 기간, 오염부하량 산정·평가기준 등 시장·군수가 준수해야 할 오염총량관리 계획수립 지침은 환경부장관이 고시한다.

제1차(2004~2010년) 오염총량관리의 대상오염물질은 BOD를 대상으로 하며, 생활계, 산업계, 축산계 및 비점오염원에 적용하고 제2차(2011~2015년) 이후는 조사·연구반의 조사·연구를 거쳐 TN, TP 등으로 확대되었으나 낙동강 등 3대강은 BOD와 TP를 제Ⅱ단계 수질오염총량관리 대상물질로 선정하였다(환경부, 2005).

오염부하량 산정은 인구, 산업, 축산, 토지 등 오염원별로 오염부하량을 산출하기 위해 발생, 삭감, 배출 원단위를 표준화하고 시·군별로 실시한 오염원 전수조사 결과에 표준 원단위를 적용하여 오염부하량을 산정한다.

오염총량관리 목표수질은 용도(상수원수, 농업용수 등), 오염원 밀도, 지역 개발정도, 환경기초시설 투자정도, 수량 및 수질, 수중생태계의 건전성 등을 고려하여 설정한다.

목표년도의 오염총량은 목표년도의 예상 배출부하량에서 삭감 가능량을 제한한 것이며, 목표년도 내에서 연차적으로 삭감하여 달성하고 총량 관리계획의 적정한 이행과 이행상황 평가를 위해 연차별 삭감 목표량을 설정하여 관리한다. 해당 연도의 삭감목표량은 삭감 가능량을 고려하여 설정하며, 오염부하 총량이 전년도의 오염부하 총량을 초과하지 않도록 설정한다.

총량관리는 수계 해당지점의 수질이 목표수질에 미치지 못할 경우, 지역적 여건을 고려한 효율적 방법으로 지역 내 오염배출 총량을 일정수준 이내로 관리하는 것이다. 오염총량관리 적용의 대상은 원칙적으로 목표수질을 초과한 오염총량관리 단위유역내의 모든 수질오염원이지만 실제 오염부하량 할당 대상은 공공처리시설과 1일 200m³ 이상 오·폐수 배출 또는 방류 시설로서 산업의 경우 3종 이상에 해당된다. 그리고 오염총량관리제도가 기존의 농도규제에 기초한 오염관리제도와 공존하므로 시행 상에 두 제도의 조정 등이 요구된다. 즉, 오염총량관리제도가 기존 관리제도에 우선해서 적용되는 것이나, 문제는 기존의 제도에 의한 배출규정과 총량관리의 적용에 따른 배출규정간의 상충 및 총량관리제 하에서 배출오염총량 할당 대상과 비대상간의 형평성 문제 등이 발생한다.

기존의 농도규제의 장점은 기준설정이 용이하여 지역별로 기준농도만 정하면 되므

로 업소별 기준을 설정하지 않음에 따라 기준설정의 불공평 등 시비 소지가 없고, 집행이 간단하고 저비용으로 순간의 채수에 의한 농도검사만을 기준으로 준수여부 확인이 가능하여 단속이 용이한 장점이 있었다. 그러나 단점으로는 규제효과가 미흡하여 오염원 밀집지대 또는 다량 폐수배출업소가 있는 경우 농도기준을 준수하더라도 오염물질 배출총량은 다량 배출되어 환경기준 준수가 곤란하였다.

총량관리규제의 장점은 규제의 효과가 높아 배출되는 오염물질의 총량이 환경용량 이하로 항시 유지되므로 환경기준 준수 보장과 오염자간 형평성 유지로 오염물질 다량 배출자에게는 많은 부담을 소량 배출자에게는 적은 부담을 주게 되는 점이다. 그러나 단점으로는 허용 오염총량의 설정에 어려움이 있어 수역별 오염원 현황, 하천유량, 자연정화율, 환경기준(목표수질) 등 방대한 정보를 바탕으로 모델링을 수행하고 입력정보, 모델링기법, 허용총량의 배분방법 등의 정확성에 대한 논란의 소지가 많다. 또한 집행의 어려움 및 고비용으로 순간의 채수만으로 일정기간 동안 허용량 이내로 배출하였는지 알 수 없는 등 단속에 어려움이 있다.

환경기준과의 관계에서는 기존 농도규제의 경우 간접적으로 폐수배출시설에만 환경기준에 따라 3단계의 차등기준을 적용하였으며 하수처리장 등에는 환경기준과 관계없이 전국일률기준을 적용하였다. 그러나 총량관리 규제방식의 경우 직접적으로 환경기준을 달성할 수 있는 허용부하량 이내로 배출오염물질의 총량을 할당하고 그 양을 초과하는 것을 규제하는 방식을 적용하고 있다.

1.3 오염총량관리 추진체계

오염총량관리제 기본방침은 목표수질에 의한 총량관리단위유역별 오염부하량 할당을 제시한 후 광역시·도 기본계획을 수립하고 시행계획 수립이후 '낙동강수계물관리 및주민지원등에관한법률'에 의거 시행계획 및 이행평가를 실시한다.

오염총량관리제도의 시행체계에서 총량관리계획의 수립 및 승인과정을 살펴보면 먼저 시장·군수는 지침에 따라 오염총량관리계획을 수립하고 관계 전문가 및 지역주민의 의견을 수렴하여 환경부장관에게 승인신청을 한다. 이 경우 환경부장관은 오염부하량 및 삭감량 산정 등 전문적 사항에 대해 수계관리위원회와 협의를 거쳐 승인을 하도록 한다. 환경부장관은 승인 과정에서 오염물질 발생량, 처리량, 배출량 등의 적정산정 여부, 목표설정의 적정성 여부, 오염부하량 삭감수단의 실행가능성 여부 및 총량관리계획 수립지침의 이행 여부 등을 검토하여 승인을 결정하게 된다. 이행상황의 평가를 위해서 시장·군수는 오염총량관리계획에 대한 이행평가보고서를 매년 환경부장관에게 제출하고 환경부장관은 이행이 미흡한 사항에 대하여 시장·군수에게 적절한 삭감대책의 수립·시행을 요구할 수 있다.

환경부장관은 개발계획이 오염총량계획과 현저히 다르게 시행되거나 정상적인 추진이 불가능하다고 판단될 경우, 또는 허위로 오염총량관리계획을 작성한 것으로 판명된 경우에는 총량관리계획의 승인을 취소할 수 있고 행위제한 적용배제의 효력 또한 상실된다.

2. 낙동강수계의 오염총량관리계획

사전오염예방 대책의 일환인 오염총량관리제가 포함된 낙동강수계 물관리종합대책이 1999년에 수립되었고 이를 뒷받침하기 위한 ‘낙동강수계물관리및주민지원등에관한 법률’이 2002년에 제정되어 낙동강수계에서의 오염총량관리제가 의무적으로 시행되게 되었다. 그동안 우리나라의 수질관리는 배출원의 지역과 규모에 따라 배출허용기준을 정해주는 농도규제와 특정지역에 오염원이 입지하지 못하도록 하는 입지규제를 병용해 왔으나 도시의 발전으로 개발 오염원의 수가 증가함에 따라 수질오염이 가속화되었고, 그 문제점을 해결하기 위하여 수체의 환경용량 범위 내에서 수용 가능한 오염총량을 관리하는 오염총량관리제를 새로이 수립하게 되었다.

오염총량관리제는 관리항목과 수계구간별 목표수질을 설정하고 광역자치단체에서 관할구역 내 오염총량을 관리하기 위한 오염총량관리 기본계획을 수립하였다. 그리고 목표수질을 초과하는 지역에 대해서는 기초자치단체가 목표수질을 달성할 수 있도록 오염총량관리 시행계획을 수립하여 오염부하량의 삭감을 시행하고 있다.

총량관리제의 제 I 단계 시행은 현재 수립단계(2004~2011년)에 있고 그 이후 5년 단위로 개정될 계획이다. 수계별, 지역규모별 I 단계 시행일정은 낙동강수계의 경우 광역시는 2004년 8월 1일, 시의 경우는 2005년 8월 1일, 군의 경우는 2006년 8월 1일로 시행되었으며 현재는 이행평가 단계에 있다. 또한 제 II 단계 목표수질을 2007년 12월 까지 설정하여 고시한 후 2008년을 기준으로 II 단계(2011~2015년) 기본계획을 수립할 예정이다.

낙동강수계 오염총량관리 시·군별 시행계획 수립보고서를 살펴보면 기본계획 대상 지역이면서 시행계획 수립적용 지자체의 경우 총 2개의 광역시, 19개의 시, 22개의 군(43개 시·군)으로 총 8개 시도이다. 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시의 울주군, 강원도의 태백시, 경상북도의 경우 안동시, 경산시, 구미시, 김천시, 군위군, 봉화군, 성주군, 고령군, 예천군, 의성군, 청도군, 청송군, 칠곡군, 경주시, 문경시, 포항시, 영주

시, 영천시, 상주시, 영양군, 울진군, 경상남도의 경우 김해시, 밀양시, 거창군, 산청군, 의령군, 창녕군, 함안군, 함양군, 합천군, 창원시, 마산시, 사천시, 양산시, 진주시, 고성군, 하동군, 전라북도의 남원시, 전라남도의 구례군이 해당된다.

2.1 낙동강수계 구간별 목표

목표수질은 오염총량관리 목표설정을 위한 기준치로서 하천의 용도(상수원수, 농업용수 등), 오염원 밀도, 지역개발정도, 환경기초시설 투자정도, 수량 및 수질, 수중생태계의 건전성 등을 고려하여 설정하였다.

‘낙동강수계물관리및주민지원등에관한법률’ 제9조 제1항, 동법시행령 제12조 제1항 제2호의 규정에 의거 2003년 9월 환경부장관은 낙동강수계 광역시·도 경계지점의 목표수질을 Table 2.1과 같이 고시하였다(환경부고시 제2003-156호). 이 목표는 물금지역의 BOD 목표 수질 3.0mg/L를 달성하기 위한 기준으로 이 목표수질을 달성하기 위해 각 지역별 허용 오염배출량을 결정하게 된다. 낙동강수계 유역 구분표는 Appendix 1에 수록하였으며 목표수질 설정지점 및 총량관리 단위유역은 Fig. 2.1과 같다(환경부고시 제292-163호).

Table 2.1. Water quality standard of each boundary between metropolitans cities and provinces

Name of reach	Point	Water quality standard (unit : mg/L)
Nakdong river main stream A	Boundary of Gangwon province and Kyeongsangbuk province in the Nakdong river main stream	1.5
Nakdong river main stream F	Boundary of Kyeongsangbuk province and Daegu metropolitan city in the Nakdong river main stream	2.0
Gumho river stream B	Boundary of Kyeongsangbuk province and Daegu metropolitan city in the Gumho river stream	2.4
Gumho river stream C	Boundary of Daegu metropolitan city and Kyeongsangbuk province in the Gumho river stream	4.0
Nakdong river main stream G	Boundary of Daegu metropolitan city and Kyeongsangnam province in the Nakdong river main stream	2.9
Hyoichen stream A	Boundary of Kyeongsangbuk province and Kyeongsangnam province in the Hyoichen stream	1.5
Miryang river stream A	Boundary of Kyeongsangbuk province and Kyeongsangnam province in the Miryang river	1.4
Nakdong river main stream L	Boundary of Kyeongsangbuk province and Busan metropolitan city in the Nakdong river main stream	3.1

*) Ministry of Environment's announcement, 2003-156.

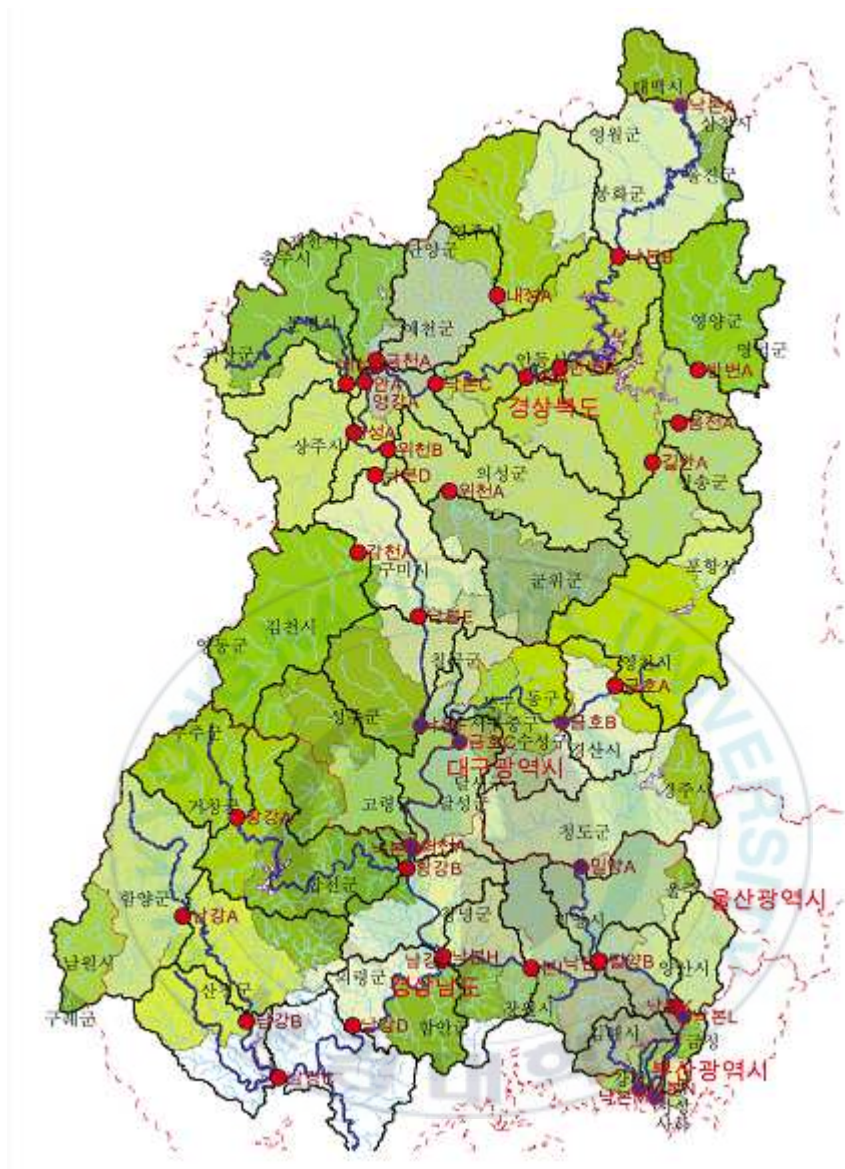


Fig. 2.1. TDML station of the Nakdong river basin(Ministry of Environment's announcement, 2002-163).

2.2 낙동강수계 제1차 오염총량관리 기본계획 현황

오염총량관리제를 시행하는 낙동강유역은 환경부고시 제2002-163호(2002)에 따라 Fig. 2.1에서 보는바와 같이 41개의 오염총량관리 단위유역으로 구분하였고 낙동강본류 15개 유역, 유입하천 26개 유역으로 구성되어 있다.

낙동강유역의 광역시·도(강원도, 경상남·북도, 부산·대구광역시)별 기본계획 수립 결과를 살펴보면 현재 배출량은 경남, 경북이 두드러지게 많으며 2010년 최종배출부하량 추정에 있어서 경남, 경북, 부산은 기존배출 대비 평균 10% 정도의 증가를 예측하고 있다. 또한 부산을 제외한 모든 지역에서 개발계획에 의한 추가 배출부하량을 상당한 수준으로 추정하고 있는데, 강원도 지역은 개발계획에 의한 추가적 배출부하량을 기존배출에서 56%나 증가하는 것으로 추정하고 있다.

2.2.1 기존 및 최종배출부하량 (2010년)

낙동강수계의 최종배출부하량은 총량관리계획에 의한 추가삭감이 없다는 전제하에 서 2010년도에 예측되는 배출부하량(자연증가+개발계획)이며 시도별 기존배출부하량과 최종배출부하량은 Table 2.2와 같다. 광역시·도(강원도, 경상남·북도, 부산·대구광역시)별 오염총량관리 기본계획 수립결과 2002년의 기존배출부하량을 살펴보면 강원도가 1,887kg/일, 경상북도 179,794kg/일, 대구광역시 46,912kg/일, 경상남도 112,424kg/일, 부산광역시가 10,527kg/일이다. 또한 2010년의 최종배출부하량을 살펴보면 강원도 2,894kg/일, 경상북도 204,463kg/일, 대구광역시 46,427kg/일, 경상남도 139,341kg/일, 부산광역시 11,682kg/일이다. 기존년도인 2002년보다는 최종년도인 2010년에 다소 증가추세로 전망되었다. 최종배출부하량을 살펴보면 점오염원이 164,197kg/일, 비점오염원이 240,610kg/일로 비점오염원이 다소 높게 전망되었다. 이는 지역 간의 특수성에 따라 차이는 있을 수 있지만 대부분 개발계획에 따른 토지이용변화가 전, 답, 임야, 기타에서 대지로 크게 변하기 때문이다.

Table 2.2. Final discharge of BOD in the Nakdong river basin

(Unit : BOD kg/day)

City	Existed discharge	Final discharge (2010year)						
		Total	Point source			Non point source		
			Sum	Natural	Development plan	Sum	Natural	Development plan
Gangwon province	1,887	2,894	1,437	1,069	368	1,457	772	685
Kyeongsangbuk province	179,794	204,463	77,347	71,361	5,986	127,116	123,328	3,788
Daegu metropolitan city	46,912	46,427	24,492	23,521	971	21,935	20,724	1,211
Kyeongsangnam province	112,424	139,341	57,746	48,820	8,926	81,595	75,232	6,363
Busan metropolitan city	10,527	11,682	3,175	3,175	0	8,507	8,507	0
Total	351,544	404,807	164,197	147,946	16,251	240,610	228,563	12,047

*) Result of TMDL master plan of each metropolitan city and province

2.2.2 할당부하량

낙동강수계의 할당부하량은 목표수질을 달성하기 위하여 단위(소)유역별로 할당한 배출량으로 기준배출부하량에서 안전부하량을 제외한 값이며 시도별 할당부하량은 Table 2.3과 같다.

광역시·도(강원도, 경상남·북도, 부산·대구광역시)별 오염총량관리 기본계획 수립 결과 2010년 할당부하량을 살펴보면 강원도가 2,118kg/일, 경상북도 196,933kg/일, 대구광역시 40,475kg/일, 경상남도 127,656kg/일, 부산광역시 11,431kg/일이다.

Table 2.3. Load allocation of the Nakdong river basin in 2010

(Unit : BOD kg/day)

City	Total	Load allocation			Margin of safety
		Sum	Point source	Non Point source	
Gangwon Province	2,118	1,906	969	937	212
Kyeongsangbuk province	196,933	177,240	64,742	112,498	19,693
Daegu Metropolitan City	40,475	36,427	17,153	19,274	4,048
Kyeongsangnam province	127,656	114,888	42,113	72,775	12,768
Busan Metropolitan City	11,431	10,288	2,857	7,431	1,143
Total	378,613	340,749	127,834	212,915	37,864

*) Result of TMDL master plan of each metropolitan city and province

2.2.3 삭감부하량

낙동강수계의 삭감부하량은 할당부하량을 준수하기 위해 삭감하는 양으로 최종(예상) 배출부하량과 할당부하량의 차이 값이며 시도별 삭감부하량은 Table 2.4와 같다.

광역시·도(강원도, 경상남·북도, 부산·대구광역시)별 오염총량관리 기본계획 수립 결과 삭감부하량을 살펴보면 강원도가 988kg/일, 경상북도 27,223kg/일, 대구광역시 10,000kg/일, 경상남도 24,453kg/일, 부산광역시 1,394kg/일이다.

각 지역은 할당된 부하량 이내로 배출오염총량을 관리하기 위한 부하량 삭감계획을 각 지역의 여건을 고려하여 효율적인 방안으로 수립하도록 되어 있는데 오염총량관리 기본계획에 나타난 각 지역별 삭감계획을 살펴보면 점오염원과 비점오염원의 저감계

획이 수립되어 있으나 낙동강수계의 경우 대체로 점오염 저감계획의 비율이 높은 실정이다.

향후 최종년도인 2010년까지 최종배출되는 부하량과 목표수질을 달성하기 위해 각 지역별 할당받은 부하량은 점오염원보다 비점오염원이 다소 높는데 그 할당부하량을 준수하기 위해 삭감하여야 할 부하량은 점오염원이 34.6%, 비점오염원이 6.3%, 안전부하량이 59.1%를 차지하고 있다. 여기서 안전부하량은 최종년도까지 목표수질을 달성하기 위하여 기준부하량의 10% 안전율을 고려한 부하량으로 이 또한 삭감하여야만 이 목표수질을 달성할 수 있으며 각 지자체는 목표수질 초과 시 시행계획 대상지역은 안전부하량을 반드시 수립하도록 되어 있다.

Table 2.4. Load reduction of the Nakdong river basin

(Unit : BOD kg/day)

City	Sum	Point source	Non point source	Margin of safety
Gangwon province	988	363	413	212
Kyeongsangbuk province	27,223	5,415	2,115	19,693
Daegu metropolitan city	10,000	5,433	519	4,048
Kyeongsangnam province	24,453	10,957	728	12,768
Busan metropolitan city	1,394	0	251	1,143
Total	64,058	22,168	4,026	37,864

*) Result of TMDL master program of each metropolitan city and province

2.3 오염총량관리 시행계획 대상지역의 오염부하 현황

오염총량관리 기본계획 및 단위유역별 목표수질 고시·공고에 따른 목표수질을 초과하는 지역에 대해서는 목표수질을 달성할 수 있도록 오염총량관리 시행계획을 수립해야 하며 이는 ‘낙동강수계물관리및주민지원등에관한법률’에 규정되어 있다.

오염총량관리 시행계획은 광역시의 경우 2004년, 시 지역의 경우 2005년, 군 지역의 경우 2006년부터 수립·시행하고 매년 오염총량관리 시행계획의 이행여부를 평가하여 낙동강유역환경청(대구지방환경청) 및 수계관리위원회에 보고하도록 하고 있다.

오염총량관리제 시행대상 지역은 목표수질을 초과한 지역에서만 시행되며 시행시 지자체에서 오염물질의 배출량을 줄이면 줄일수록 해당지역에서 개발할 수 있는 지역개발 용량은 커지므로 지자체의 수질보전에 대한 노력 그 자체가 해당지자체의 인센티브로 돌아오게 되어 지자체의 환경 친화적 지역개발을 촉진하게 된다.

낙동강수계의 경우 기본계획을 수립한 후 목표수질을 초과한 단위유역은 병성A, 위천B, 금호B, 금호C, 낙본F, 낙본G, 낙본N, 황강A, 남강D 단위유역으로 총 9개 단위유역이 시행계획 대상지역이다. 행정구역별 시행계획 대상지역은 부산광역시의 강서구, 대구광역시의 전지역, 경상북도의 경우는 상주시, 경산시, 영천시, 안동시, 김천시, 칠곡군, 의성군, 고령군, 성주군, 군위군, 청도군이며 경상남도의 경우는 진주시, 김해시, 창원군, 고성군, 거창군으로 총 18개 시·군이 시행계획을 수립하여 현재 이행평가 단계에 있다.

낙동강유역에 해당되는 시행지역의 기존배출부하량은 113,038kg/일이며 목표수질을 만족하기 위한 할당부하량은 85,767kg/일, 삭감목표량은 24,482kg/일이다. 오염부하량 할당내역의 총괄표는 Table 2.5와 같다.

Table 2.5. Load allocation of the Nakdong river basin

(Unit : BOD kg/day)

City	Basin	Existed discharge load	Reduction plan			Existed final discharge load	Load allocation	Local develop Load allocation				Exhaust load of final year
			Sum	Plan reduction	Natural			Sum	Natural	Develop- ment plan	Excess	
		A	B (a+b)	a	b	C (A-B)	D	E (D-C)	c	d	e (E-c-d)	F (A+E-B)
Seongju-gun	N.M. F	4,985	574	413	161	4,411	4,985	574	67	161	346	4,985
Chilgok-gun	N.M. F	4,457	472	401	71	3,985	4,456	471	185	285	1	4,456
Gimchen-si	N.M. F	116	9	6	3	106	155	49	2	2	45	155
Daegu-si	N.M. F	100	9	9	-	91	91	-	-	-	-	91
Sangju-si	Byung sung A	7,536	1,130	869	261	6,406	7,272	866	521	123	222	7,272
Andong-si	Wichen B	5	-	-	-	5	5	-	-	-	-	5
Sangju-si	Wichen B	36	2		2	34	39	5			5	39
Uiseong-gun	Wichen B	6,489	706	412	294	5,783	6,706	923	134	38	751	6,706
Gunwi-gun	Wichen B	43	1	-	1	42	42	-	-	-	-	42
Gyeongsan-si	Gumho B	8,425	866	800	66	7,559	9,992	2,433	2,100	267	66	9,992
Yeongcheon-si	Gumho B	2,066	297	242	55	1,769	2,380	611	538	4	69	2,380
Daegu-si	Gumho B	256	99	13	86	243	157	-	-	-	-	157
Daegu-si	Gumho C	23,450	4,812	4,536	276	18,914	19,642	998	-	998	-	19,642
Goseong-gun	Hwang river A	4,820	749	633	116	4,071	4,523	452	127	68	257	4,523

*)1. Nakdong river main stream - N.M.

2. Result of the TMDL operating program in the Nakdong river basin

Table 2.5. (continued)

(Unit : BOD kg/day)

City	Basin	Existed discharge load	Reduction plan			Existed final discharge load	Load allocation	Local develop Load allocation				Exhaust load of final year
			Sum	Plan reduction	Natural			Sum	Natural	Develop-ment plan	Excess	
		A	B (a+b)	a	b	C (A-B)	D	E (D-C)	c	d	^e (E-c-d)	F (A+E-B)
Daegu-si	N.M. G	23,107	7,262	4,957	2,305	18,150	16,537	699	-	699	-	16,537
Goryeong-gun	N.M. G	1,662	218	172	46	1,444	2,081	637	248	286	103	2,081
cheongdo-gun	N.M. G	5	0	0	0	5	5	0	0	0	0	5
Chilgok-gun	N.M. G	271	54	47	7	217	363	146	19	121	6	363
Changnyeong-gun	N.M. G	682	136	74	62	546	638	92	57	27	8	638
Jinju-si	Nam river D	13,133	5,034	4,932	102	8,099	10,127	2,028	1,044	842	142	10,127
Goseong-gun	Nam river D	1,582	107	39	68	1,475	1,922	447	135		312	1,922
Gimhae-si	N.M. N	7,863	5,461	5,461	-	2,402	7,775	5,373	2,913	806	1,654	7,775
Busan-si	N.M. N	1,950	466	466		1,484	2,485	1,001	829	172	4	2,485
Total		113,038	28,464	24,482	3,982	85,767	102,378	17,805	8,919	4,899	3,991	102,378

*)1. Nakdong river main stream - N.M.

2. Result of the TMDL operating program in the Nakdong river basin

2.4 오염총량관리 시행계획 대상지역의 투자계획 현황

낙동강수계의 오염총량관리 시행계획 대상지역의 시·군별 삭감부하량의 추가 삭감 계획에 따른 연차별 투자비는 Table 2.6과 같다.

점오염원 저감시설로는 마을하수도, 하수처리시설, 하수관거, 고도처리시설, 축산처리시설 등의 대부분 환경기초시설 확충계획이며, 비점오염원 저감시설로는 자연형 하천정화사업, 저류지 조성 등이 계획되어져 있다.

삭감계획의 투자비는 국비와 지방비, 수계기금 및 기타로 재원조달이 이루어지는데 각 시행계획 대상 지역의 재정적 여건 및 특수성을 고려하여 투자계획을 설정하였다.

총량관리 수립 이전인 1999~2005년까지 주요 상수원의 수질을 I~II급수 이상으로 개선하고 수질개선사업에 대한 점오염원과 비점오염원으로 구분한 투자계획을 살펴보면 점오염원 저감시설을 위해 환경기초시설 확충 등 2005년까지 4조 2,472억원이 투자되었다. 낙동강수계의 2005년까지 총 투자액의 대부분인 90.9%가 하수처리비용과 하수관거정비 비용이며 그 외 기타 수질개선사업으로 녹조방지사업, 축산공공폐수처리장, 분뇨처리장 등에 투자되었다.

전체 낙동강유역에서 오염총량관리계획이 시행되고 있는 지역의 저감시설을 살펴보면 Table 2.7과 같다. 하수관거 신설이 5,180억원으로 가장 많았으며 다음으로 하수종말처리시설 신설로 2,306억원 등의 순으로 조사되었다. 비점오염원 저감시설로써는 완충저류지와 자연형 하천정화사업 등이 있다. 대구광역시 하수처리장의 방류수를 재이용하는 것으로 500억원이 포함되어 있으며 기타 비용으로 도로유출시 비점저감대책 등 총 59억원으로 산정되었다. 또한 현재 시행계획을 수립한 낙본N 단위유역은 물금지점의 하류에 있으므로 본 연구의 공간적 범위에서 제외되었다.

Table 2.6. Investment plan for the reduction facilities by city and county

City	Reduction facilities	Total capacity (m ³ /day)	Investment plan (Unit : million won)					
			2005	2006	2007	2008	2009	2010
Daegu-si	Sewage treatment plan	23,495	2,515	1,200		62,300		
	Sewer pipe						95,000	
	Swine wastewater treatment plant	100				2,000		
	River purification			233				
	Constructed wetland				11,700	9,200		
	Reuse of sewage treatment plant effluent							50,000
Busan-si	Sewage treatment plan	6,362		9,273	3,841	14,177	14,590	12,656
	constructed wetland			72		72		
	The others							
Sangju-si	Sewage treatment plan	26,300				10,699		
	Sewer pipe	138		12,989			147,100	
	Swine wastewater treatment plant	250						15,000
	The others			4,000				
Gimchen-si	Sewage treatment plan	50				1,400		
Yeongcheon-si	Sewer pipe					14,353	15,000	9,000
	Swine wastewater treatment plant					10,000		
Gyeongsan-si	Sewage treatment plan	90		1,116				
	Sewer pipe						26,200	21,800
	Intercepting sewer				3,100	6,909	6,000	
Jinju-si	Sewage treatment plan	197,340		28,791	23,587	52,548	9,113	12,389
	Sewer pipe	50				33,239		
	Intercepting sewer	7				4,245		
	Swine wastewater treatment plant	60			5,138			
	River purification				3,600	2,200		
	Buffer zone					1,100		
	The others				580	1,175	145	

*) Result of the TMDL operating program in the Nakdong river basin

Table 2.6 (continued)

City	Reduction facilities	Total capacity (m ³ /day)	Investment plan (Unit : million won)					
			2005	2006	2007	2008	2009	2010
Gimhae-si	Sewage treatment plan	152,510	156,302			12,442	139,530	2,830
	Sewer pipe	103				91,850		
	Buffer zone						72	144
Changnyeong-gun	Sewage treatment plan	600				3,505	4,557	2,443
	River purification							5,000
Geochang-gun	Sewage treatment plan	15,360		3,506	16,791	4,645		8,562
	Sewer pipe	39						38,000
	Swine wastewater treatment plant	120					18,000	
Goseong-gun	Sewage treatment plan	280		975	2,000		1,529	
Seongju-gun	Sewage treatment plan	5,870		29,450		6,748	4,387	8,845
	Sewer pipe	39						15,600
	Swine wastewater treatment plant						8,241	
	Buffer zone							1,178
Chilgok-gun	Sewage treatment plan	4,080		15,515				14,559
	Swine wastewater treatment plant	45				4,734		
	River purification					3,810		
Uiseong-gun	Sewage treatment plan	3,700					23,205	
	Sewer pipe					32,077	37,356	
Goryeong-gun	Sewage treatment plan	5,230			1,000	6,000	14,065	

*) Result of the TMDL operating program in the Nakdong river basin

Table 2.7. Investment plan for the reduction facilities of the Nakdong river basin after Total Maximum Daily Loads(TMDL) program

(Unit : million won)

Reduction facilities	Investment (million won)	The component ratio (%)
Sewage treatment plant	377,945	35.89
Sewer pipe	517,968	49.19
Swine wastewater treatment plant	63,113	6.00
Reuse of sewage treatment plant effluent	50,000	4.75
River purification	14,843	1.41
constructed wetland	23,178	2.20
The others	5,900	0.56
Total	1,052,947	100.00

*) Result of the TMDL operating program in the Nakdong river basin

3. 환경회계

환경회계는 회계의 대상이 기업의 사회적 책임의 수행 또는 환경보전 및 개선의 노력과 그와 관련된 회계정보를 측정하여 회계정보이용에게 보다 유용한 정보로서 보고하는 데에 그 의의가 크다. 장(1999)에 의하면 환경회계란 “환경비용을 규명하고 측정하여 적절히 배분하며, 그 결과를 이해관계자들에게 공시함으로써 기업의 이해관계자들이 해당 기업의 환경성과와 환경위험을 평가하고 이를 통하여 그 기업의 가치를 평가할 수 있도록 정보를 제공하는 시스템”이라고 정의하였다.

개인과 기업의 영리추구는 공공복리의 기초가 되는 자연환경의 고갈과 훼손을 가속화시킴에 따라 환경보존과 경제발전 사이의 갈등은 점차 심화되어 모든 공공정책 토론은 물론 정치 선거에까지 그 중요성이 점차 증대되고 있다.

시스템 생태학에 근거한 환경회계학은 에너지, 환경 그리고 경제(3E: Energy, Environment, Economics)가 상호 연관되어 이루어져 있는 광범위한 시스템에 대한 관찰을 기초로 환경영향요인과 환경인자를 묶어서 자연환경과 경제활동 등을 포괄하는 전체시스템에서 어떻게 작용하고, 어떻게 영향을 미치는지를 파악하는 Top-Down 방식의 접근법을 기초로 하고 있다(Odum, 1996). 이러한 접근법에 기초한 환경회계학은 과학적 평가체제에 근거한 동일한 가치 척도인 *emergy*를 이용하여 환경보존과 경제개발에 관련된 정책 및 계획에서 야기되고 있는 서로 상반되는 의사결정, 적대감 그리고 혼란 등을 조율해 주고 있으며, 또한 기존의 경제성 분석에서 정량화하지 못한 비용과 편익 분석을 가능하게 한다.

따라서, 본 연구에서는 시스템 생태학에 근거한 환경회계학을 바탕으로 오염총량관리계획 도입 전과 후의 수질개선을 위한 저감시설의 투자비용과 수질개선 효과를 *emergy* 분석법으로 비용/편익으로 구분한 후 환경회계를 실시하였다.

3.1 환경정책의 비용/편익분석

환경정책의 비용/편익분석은 정책의 긍정적 효과와 기회비용을 비교하는 것이다. 비용/편익분석에 있어서의 비용과 편익은 오염의 피해와 환경질 개선과 같은 사회나 국가 전체의 관점에서의 비용과 편익에 영향을 주는 요소들을 모두 포함하여야 한다. 환경정책의 편익은 환경정책에 따라 자연환경이 개선되면서 자연환경이 제공하는 물리적 편익이 증대되거나 아니면 환경피해가 감소하기 때문에 발생한다. 환경편익이란 환경정책이 제공하는 물리적 변화를 화폐가치로 환산한 것이라 할 수 있다. 예를 들어 수질관련 정책의 시행결과 한강수질이 현재보다 개선된다고 가정하면 환경재의 소비뿐만 아니라 소득수준으로부터도 효용을 얻는다고 볼 수 있으므로 한강 수질이 개선되는 대신 개인의 소득이 어느 정도 변하면 환경정책 도입 전과 후에 동일한 효용을 얻을 수 있는 지를 추정하여 환경개선으로 인해 발생한 후생증대분을 화폐액으로 환산할 수 있다(환경부, 2003). 환경정책의 비용은 정부가 정한 규제수준을 오염원이 달성하기 위해 사용할 수 있는 여러 방법을 실행하는데 필요한 모든 장비, 노동력, 투입물의 사용량을 계산하여 목표규제 수준을 달성할 수 있는 각각의 투입물 조합과 각 조합을 선택할 경우 소요되는 설치비와 운영비를 모두 계산하여야 한다. 각 오염원이 이용 가능한 투입물 조합 가운데 설치비와 운영비의 합이 가장 적은 투입물 조합을 찾아내고 환경정책이 전체 오염원에게 가져다주는 비용을 추정하기 위해 각 오염원의 최소 저감비용을 모두 합하여 계산된 비용이 바로 환경정책비용이다(환경부, 2003). 오염원이 환경규제를 준수하고 시행하는데 소요되는 비용을 정확한 정보와 자료를 통해 도출한 후 오염원의 저감비용을 분석한다.

수질개선과 맑은 물 공급을 위해 중앙정부 및 지방정부에서 시행하는 환경정책은 각종 환경투자사업과 수질오염물질의 배출을 억제하는 규제정책으로 구분할 수 있다. 환경투자사업으로는 하수종말처리장, 분뇨처리장, 축산폐수처리장, 폐수종말처리장, 하천정화사업, 하수도정비와 같은 환경기초시설에 대한 투자와 식수 댐건설과 같은 수자원 개발사업이 포함되고 규제정책으로는 수질환경기준의 강화, 폐수배출허용기준의

강화, 경제적 규제수단의 도입 및 상수원보호구역의 변경 등이 포함된다. 정부가 추진하는 환경정책은 경제성 평가를 통해 비용/편익분석 및 대안을 제시할 수 있다(환경부, 2003).

3.2 가치척도로서의 *emergy*

지구의 자연환경과 인간경제활동을 지구 외부의 태양에너지 및 조력 그리고 지구내부의 지열과 같은 에너지원에서 비롯한 기상현상, 해수유동 그리고 지각활동 등의 상호작용에 의하여 비롯된다. 이러한 각 부분들이 서로 연결되어 상호 작용하는 집합체를 시스템이라 하며 각 시스템은 비록 시·공간적 규모가 다르더라도 모든 시스템에서 관찰되는 에너지와 물질에는 생산, 소비, 재순환 과정의 공통된 기본 특성이 존재하고 있다. 기존 물리학에서 에너지에 대한 측정 단위는 여러 형태의 에너지가 열로 변환될 때 생성되는 열량으로 정의하고 있으며 현존하는 모든 자연시스템의 생산, 소비, 재순환 과정을 통한 에너지 흐름은 저급의 다량에너지에서 고급의 소량에너지로 수렴하는 계층구조를 가지고 있다. 따라서 에너지 시스템 내부의 각 단계에서 각각의 에너지가 가지는 실질적인 가치는 다르며 이러한 사실이 각 에너지원의 실질적인 가치를 과학적 척도로 평가할 수 있는 이론적 근거를 제공한다.

에너지 계층구조의 각 단계에서 실질적인 가치를 평가하는 *emergy*는 한가지의 상품이나 용역을 생산하기 위하여 직·간접적으로 이용된 모든 에너지를 나타낸 것이며, 태양에너지를 기준으로 한 *solar emergy*의 단위는 *solar emjoule(sej)*로 표현된다. 스스로 구성된 효율적인 시스템에서 생산된 상품이나 용역의 *emergy*는 이용된 에너지의 척도일 뿐만 아니라 이용될 경우 실질적인 기여도의 척도이기도 하다. 따라서 *emergy*는 자연환경활동 뿐만 아니라 인간경제활동에 대한 실질적인 가치의 척도로 이용될 수 있다.

3.3 Emergy 분석에 의한 환경회계

최근 화석연료의 고갈과 자연환경의 파괴가 가속화됨에 따라 대체에너지 개발은 물론 자연환경에 의존하는 환경 친화적인 생산 활동을 시도하려는 노력들이 시도되고 있다. 그러나 대부분의 정책들은 아직까지는 전적으로 경제적인 비용·편익분석에만 의존되고 있으며 이러한 개인의 경제활동이나 시장경제체제하에서 경제적인 분석은 생태학적인 영향, 환경영향 그리고 자연환경자원의 지속가능한 이용 등과 같은 자연 환경활동에 대한 실질적인 평가가 어렵다.

과학적 평가체제에 근거한 공통의 척도인 emergy는 상품이나 용역을 생산하는데 기여한 자연과 인간의 역할 모두를 동일한 단위로 표현할 수 있다. 따라서 emergy의 생산과 이용을 최대화 할 수 있는 환경회계학에 의한 정책 선택과 의사결정을 통해서만 진정한 부와 전체의 경제적 이익 그리고 공공의 편익을 최대화 창출할 수 있게 된다.

Emergy 분석에 의한 환경회계는 여러 가지 개발계획과 대안을 비교하기 위하여 시스템에서 이용되고 있는 모든 에너지를 포함하는 각 시스템의 emergy 평가표를 만들어 지역의 평균적인 구매에 의한 emergy와 자연환경 emergy비에 기초하여 보존할 경우의 잠재 생산력과 각종 개발 계획 및 대안에 따른 emergy 변화를 환경회계에 의하여 평가할 수 있다. 여러 환경정책 중 수질개선을 위한 저감시설의 투자비용과 그에 따른 수질개선 효과를 비교분석하여 정책대안 전과 후를 비용/편익으로 구분하여 환경회계를 실시할 수 있다.

이러한 개념하에 본 연구에서는 하천수질을 관리하기 위한 정책으로 총량관리제의 도입 전과 후 수질개선을 위한 저감시설의 투자비용과 그에 따른 수질개선 효과에 대하여 emergy 분석에 의해 환경회계를 실시하였다.

4. Emergy 평가법

4.1 Emergy 개념

지구 순환과정은 각 에너지원이 다량의 저급 에너지로부터 소량의 고급에너지로 전환되는 계층 구조를 가지고 있으므로 물리학적으로 같은 크기의 에너지라도 실질적으로 일을 할 수 있는 능력에는 차이가 있다. 이러한 차이를 지구생산활동의 원동력인 태양에너지를 기준으로 동일한 척도로 평가하기 위하여 각기 다른 형태의 재화와 용역이 형성되기까지 직·간접적으로 소모된 태양 에너지를 solar emergy라고 정의한다 (Odum, 1988).

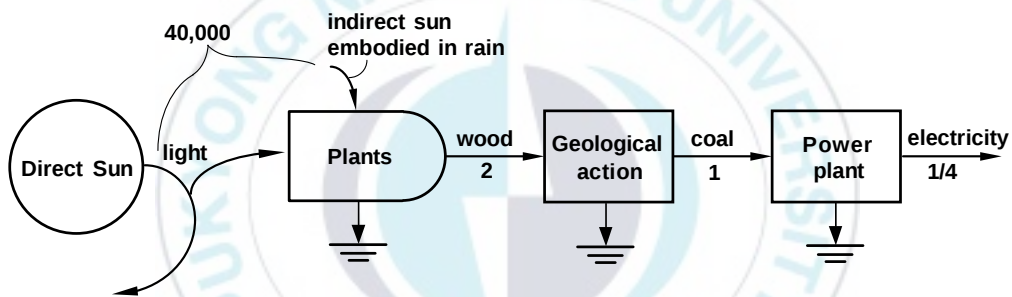


Fig. 2.2. Emergy quality chain, used to calculate solar transformity (Odum, 1988).

4.2 Transformity

에너지의 흐름은 에너지 변환, 되먹임, 상호작용 그리고 재순환으로 구성된 연결망 구조를 가지고 있다. 이러한 흐름의 연결망 구조는 에너지 변환이 수렴하는 계층구조 (hierarchy)를 형성한다. 에너지의 형태가 다르면 에너지의 질이 다르기 때문에, 한가지의 에너지 질은 이 에너지가 에너지 변환과정을 통해 형성되기 위해 사용된 다른

형태의 에너지량, 즉 내재된 에너지(embodied energy)로 환산하여 측정하게 된다. Energy는 각 에너지원에 내재된 태양에너지에 대한 척도이며, 이를 계산하기 위해 지구 시스템 내에서 태양에너지로부터의 전환정도를 나타내는 solar transformity가 사용된다(Fig. 2.3). 이는 에너지질의 척도로 어떤 형태의 에너지 1 joule을 만들기 위해서 직·간접적으로 소모된 태양에너지 양으로 정의되며, 단위는 solar emjoules per joule(sej/j)로 표현된다. Transformity는 에너지 계층구조를 따라 진행하면서 점차적으로 증가되며, 에너지 계층구조내의 에너지 흐름이나 보유량에 대한 질의 척도로 이용된다(Odum, 1983).

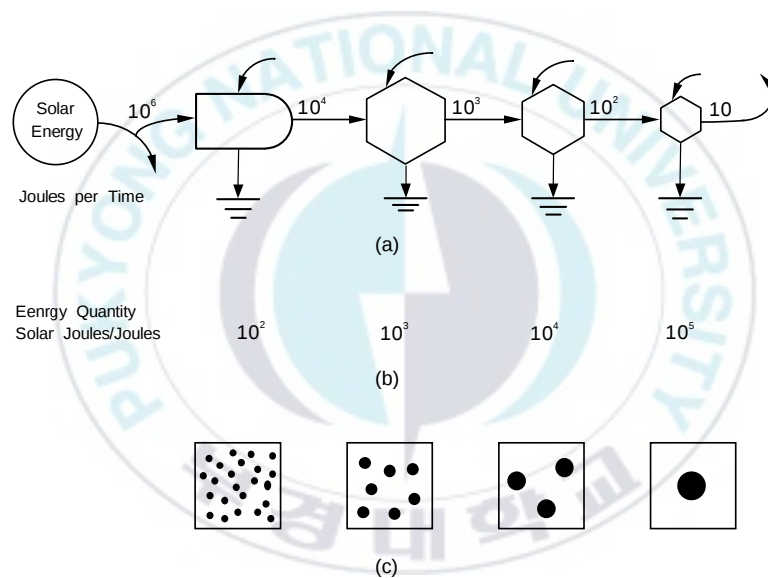


Fig. 2.3. Hierarchical chain of energy transformations : (a) decrease of energy in successive transformations : by-product pathways are omitted : (b) energy-transformation ratios in solar equivalents : (c) spatial hierarchy characteristics(Odum, 1983).

4.3 EmWon

Emergy를 화폐단위로 환산한 것으로 경제적 생산을 위하여 소모된 총 emergy와 생산된 화폐가치와의 비를 이용하여 계산한다(Fig 2.4). 이 가치는 단순화폐가치가 아니라 과학적 척도로서 실질적인 부를 평가하는 emergy에 기초한 생태·경제적 가치이다(Odum, 1996). 예를 들면 2004년 한국의 emergy/money ratio는 2.10E+09 sej/won이다(Appendix 4).

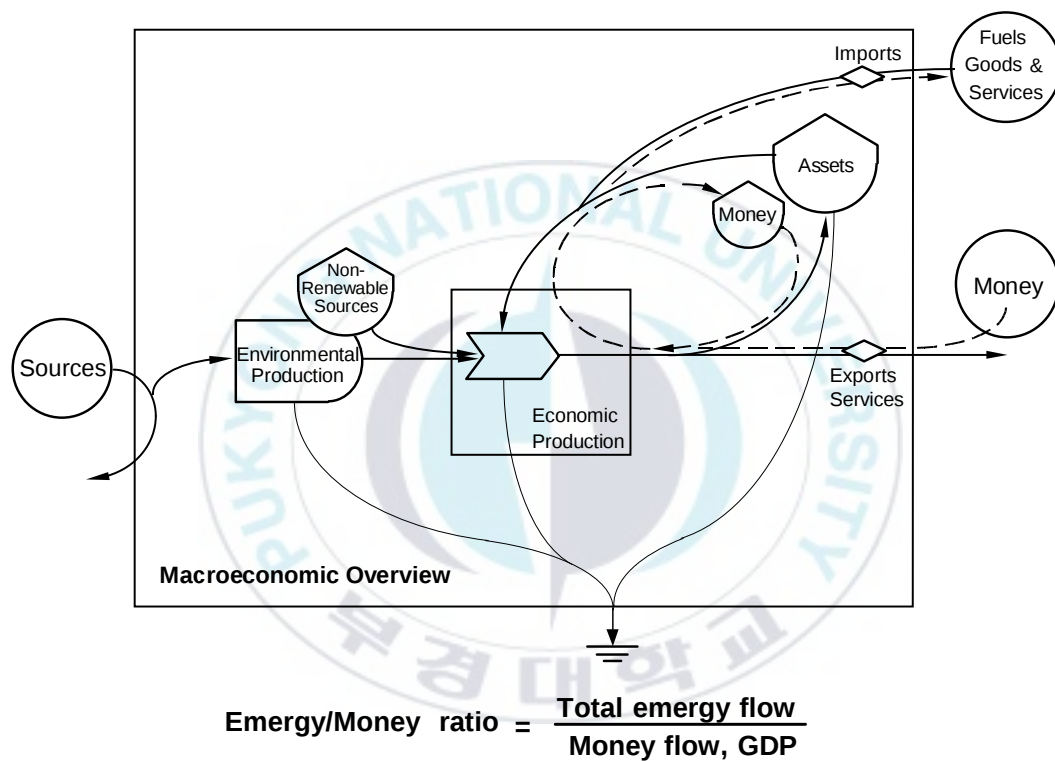


Fig. 2.4. Emergy inputs used to evaluate the emergy/money ratio of the national economy(Odum, 1996).

Ⅲ. 연구방법

1. 대상지역

낙동강유역은 우리나라 동남부(동경 127°29' ~ 129°13', 북위 35°06' ~ 37°13')에 위치하며 북·서로는 백두대간(소백산맥)이 한강유역과 금강유역, 섬진강유역과의 분수령을 이루고, 동으로는 낙동정맥(태백산맥), 남으로는 낙남정맥(남해안을 따라 형성된 산지)으로 둘러싸인 커다란 분지이다. 낙동강은 동서 폭이 약 180km, 남북길이 120km 가량이며 총 하천길이는 510.4km로 남한에서는 가장 길다. 낙동강의 유역면적은 23,384km²으로서 남해 전체면적의 약 1/4, 영남의 3/4쯤에 해당되는 면적이다. 낙동강유역의 행정구역은 경상남·북도와 부산·대구광역시 등을 포함하며 흔히, 영남지역으로 지칭되어 왔다. 낙동강은 영남지역 주민생활의 활력소이며 한국의 기층문화 형성에도 큰 영향을 미친 배경으로서 중요시되고 있다(부산시·부산발전연구원, 2006).

낙동강유역의 자연환경을 형성하는 주된 요소인 강우량은 연평균 1,372mm이고, 수자원 총량은 연간 385억m³이며 이중 하천유출량 197억m³과 증발산량 189억m³을 제외한 총 이용가능량은 95억m³에 불과한 실정이다. 이 양은 경상남도와 경상북도에 거주하는 주민의 생활용수 및 공업용수, 농업용수와 하천유지용수로 이용되고 있다.

낙동강유역의 자연환경과 지역 경제시스템에 대한 기여도 평가, 하천 이용에 따른 energy 수지 및 지속성 평가를 위해서 유역전체를 공간적 경계로 설정하였다. 그리고 낙동강수계의 수자원 가치평가를 위해서는 상·중·하류로 나누어 경제성 분석을 하였다. 그리고 낙동강유역은 오염총량관리계획 수립 이후 낙동강 하류의 물금지점 목표수질 BOD 3.0mg/L를 달성하기 위해 중·상류의 수질개선 노력에 따른 수질개선 효과와 제1차 낙동강수계 오염총량관리 시행지역 18개 시·군을 대상으로 저감시설에 따른 투자계획을 조사하였다.

본 연구의 시간적인 경계는 낙동강유역의 자연환경자원과 인간경제활동을 동일한 가치척도인 emergy 분석을 위하여 2004년의 각종 통계 자료를 이용하였다. 낙동강수계의 오염총량관리계획 수립 이전은 1999년부터 2003년까지 설정하였으며 수립이후는 제1차 오염총량관리계획 기간인 2004년부터 2010년까지 설정하여 자료를 조사하였다.



Fig. 3.1. Map of the Nakdong river basin.

2. 낙동강유역의 *Emergy* 분석

2.1 에너지 시스템 다이어그램 작성

Odum(1996)이 제안한 에너지 시스템 언어를 이용하여 시스템의 자연환경과 경제활동에 대한 생산, 소비, 재순환 등을 전체적(Top-down)으로 파악하기 위해서 다이어그램을 Fig. 3.2와 같이 작성한다.

다이어그램의 작성 절차는 첫째, 대상 시스템의 경계를 낙동강유역으로 설정하고, 둘째, 시스템 외부로부터의 주요 에너지원, 그리고 대상 시스템내의 생산, 소비, 그리고 재순환 과정을 파악한다. 낙동강유역의 경우 외부의 주요 에너지원으로는 태양, 비, 지질작용, 연료, 그리고 교역과 교환을 통해 유입되는 재화 및 용역이 있고, 시스템 내의 생산자는 자연 시스템, 농경지가 있으며, 보유자원으로써는 수자원과 광물자원이 있다. 소비자는 인간의 경제활동 및 도시기능 등이 있으며 재순환 과정은 생산 및 산업 활동에서 발생하는 폐수 등이 있다. 낙동강의 수자원은 생활용수, 공업용수, 농업용수로 이용되며 중·상류에서는 대규모 공장과 대도시화가 형성되어져 있어 경제활동으로 인한 산업화가 활발한 지역이다. 여기에서 발생하는 폐수는 강우에 의해 직접 유역 밖으로 유출되기도 하고 하·폐수 종말처리시설에 유입되어 처리된 물로써 유역 밖으로 방류되거나 재이용되기도 한다. 셋째, 외부 에너지원을 transformity 순으로 왼쪽에서 오른쪽으로 시스템의 경계 외부에 차례로 배열하고, 시스템 경계 밖의 외부 에너지원으로부터 시작하여 내부의 생산자, 소비자에 대한 에너지, 물질 그리고 화폐의 흐름에 따라 선을 연결하여 다이어그램을 완성한다.

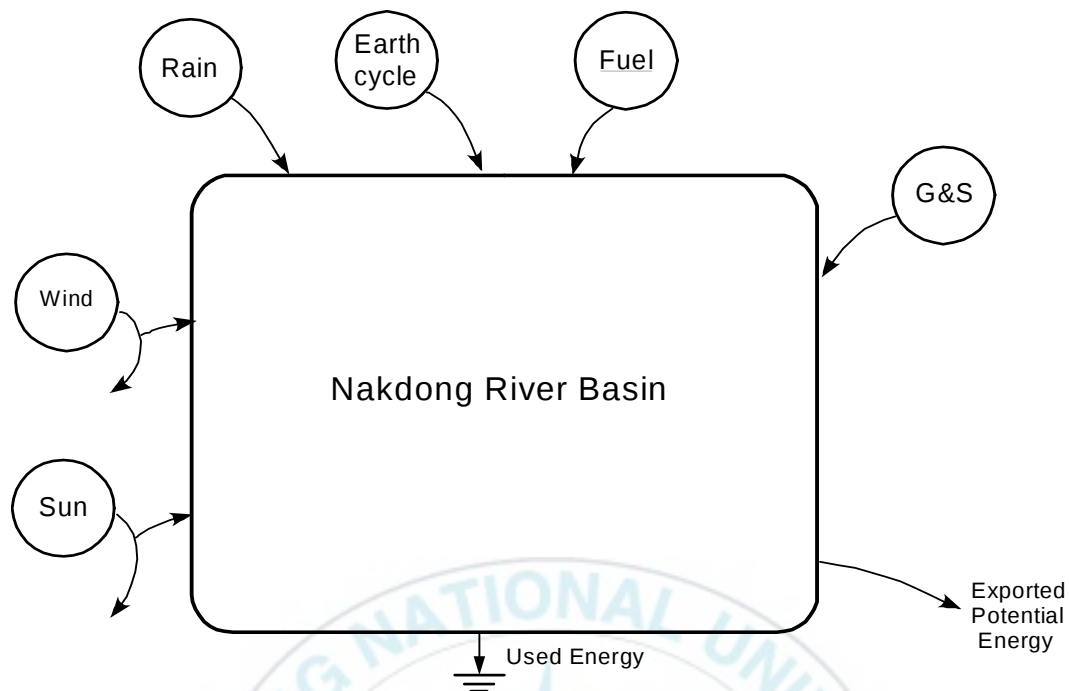


Fig. 3.2. Typical energy sources driving an environmental system arranged in order from low quality on left to high quality on right.

2.2 Emergy 분석표 작성

대상 시스템의 자연환경과 경제활동에 있어 외부에너지원의 역할과 가치를 평가하기 위해서 Table 3.1과 같은 형식의 emergy 분석표를 작성한다.

첫 번째 열에는 대상 시스템의 자연환경과 인간의 경제활동을 가능케 하는 외부의 주요 에너지원을 기입한다. 본 연구에서는 자연환경과 경제활동을 가능케 하는 외부의 주요에너지원을 태양, 비, 바람, 지질작용, 연료, 그리고 교역과 교환을 통해 유입되는 재화 및 용역으로 파악한다.

Table 3.1. Tabular format of emergy analysis table(Odum, 1996)

Energy source	Energy inflow (J, g, ₩/yr)	Solar transformity (sej/J)	Solar emergy (sej/yr)	Emwon (₩/yr)
------------------	----------------------------------	----------------------------------	-----------------------------	-----------------

(one line here for each source, process, or storage of interest)

두 번째 열에는 주요 에너지원이 가지는 실제 에너지, 물질 또는 화폐 단위의 값을 기입한다. 본 연구에서는 Table 3.2의 수집 자료와 Appendix 2의 계산식을 이용하여 태양, 비, 바람, 지질작용, 연료는 에너지 단위로, 교역과 교환을 통한 재화와 용역은 원(₩) 화폐단위로 계산하였다.

본 연구는 2004년을 기준으로 주요에너지원의 실질적인 에너지, 화폐 단위의 값을 산정하기 위해서, 자연환경 활동에서 기인한 태양에너지는 기상연보에 수록된 수평면 일사량 값을 인용하였고, 바람에너지는 기상청 발행의 고층기상연보를 기초로 바람의 구배(wind gradient) 값을 계산하였다. 강우는 기상연보에 수록된 낙동강유역의 연간 강수량 자료를 인용하였고, 화석연료와 재화 및 용역에 관련된 자료는 지역통계연보와 지역내총생산에서 인용하였다. 그리고 이중산정을 배제하기 위해서 대상지역에서 연간 사용된 화석연료와 전기 사용량에 해당하는 금액은 연간 교역과 교환을 통해 유입된 재화와 용역의 금액에서 공제하였다.

세 번째 열에는 주요 에너지원에 대한 solar transformity와 재화 및 용역에 대한 emergy per won ratio를 나열한다. 본 연구에서는 solar transformity의 경우 Appendix 3과 같이 기존의 평가치를 이용하였고, emergy per won ratio는 한국의 1년간 사용한 총 emergy량을 그 해의 총생산(GDP)으로 나눈값을 이용하였다(Appendix 4).

네 번째 열에는 두 번째 열의 주요 에너지원이 가지는 실제 값에 세 번째 열의 solar transformity와 emergy per won를 곱하여 emergy 값을 기입한다.

다섯 번째 열에는 주요 에너지원의 emergy 값을 emergy won ratio로 나누어 계산한 생태 경제적 가치(macroeconomic value)를 기입한다. 낙동강유역의 경우 emergy won ratio는 낙동강유역의 연간 emergy 유입량(total emergy inflow)을 낙동강유역의 지역내총생산(GRDP)으로 나눈 값을 이용하였다.

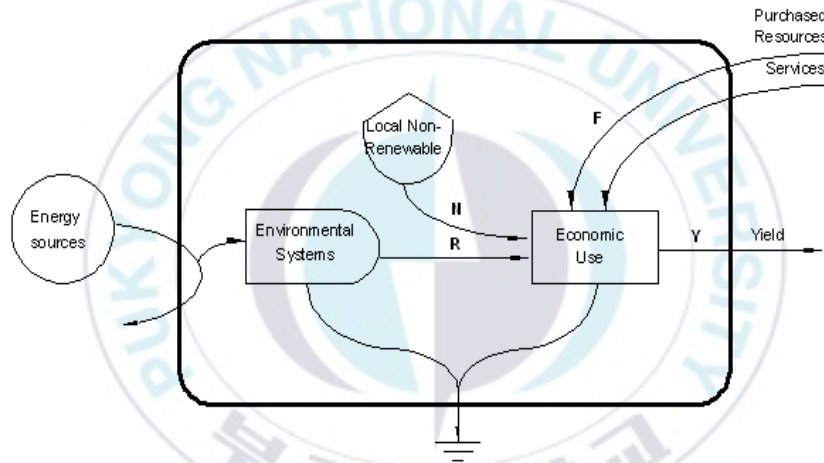
Table 3.2. Data for calculating energy flows of environmental and purchased inputs

Input source	Item	Reference
Sun	Average of insolation (MJ/m ² /yr)	Korea meteorological administration, 2004
Wind	Eddy diffusion coefficient (m ³ /m/sec)	Odum, H.T., 1994
	Wind gradient (m/sec/m)	Korea meteorological administration, 2004
Rain	Rainfall (mm/yr)	Korea meteorological administration, 2004
	TDS(mg/L)	Huh, C.G., 1984
Fuel	Fuel used (bbl)	Korea energy and economics institute, 2004
G&S	Imported goods & services, GRDP (Gross Regional Domestic Production)	Local statistical yearbook, 2004 Local chamber of commerce & industry, 2004

2.3 Emergy 지표 계산

Emergy 분석에서 구한 emergy 값을 기초로, 시스템의 특성을 평가하기 위해 Fig. 3.3과 같이 emergy 지표가 계산되었다.

본 연구에서는 낙동강유역 시스템의 지속적인 발전 가능성을 평가하기 위해서 이중 산정을 배제한 강우를 영속성 에너지원의 emergy(R)로 구분하고, 시스템 내부의 석탄과 광물질의 이용량으로부터 기여된 비영속성 보유에너지원의 emergy(N)로 하였으며, 그리고 경계 밖으로부터 교역과 교환을 통해 유입되는 화석연료, 전기 그리고 각종 재화와 용역의 emergy를 교역과 교환을 통해 유입되는 에너지원의 emergy(F)로 구분하여 emergy 지표를 작성하였다.



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

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

$$\text{Emergy Yield Ratio (EYR)} = Y/F$$

$$\text{Emergy Investment Ratio (EIR)} = F / (R+N)$$

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

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

Fig. 3.3. Emergy based indices, accounting for local renewable emergy input(R), local nonrenewable input(N), and purchased input from outside the system(F)(Brown and Ulgiati, 1997).

2.3.1 영속성 에너지원의 점유율 (% *Renew*)

대상 시스템에 유입되는 에너지원의 전체 *emergy* 양은 영속성의 에너지원(R), 내부의 비영속성 보유에너지원(N) 그리고 경계 밖으로부터 교역과 교환을 통해 유입된 에너지원(F)의 합으로 계산되고, 이중 영속성 에너지원이 차지하는 *emergy* 비율을 계산하여 점유율로 나타낸다.

지역시스템의 자연환경과 경제활동을 가능케 하는 전체 에너지원 중에서 영속성 에너지원의 점유율은 장기적으로 볼 때 시스템의 지속적인 발전가능성을 결정하는 주요 인자로 *emergy* 투자비, 인구수용력, 환경부하율, 지속성지수 등의 여러 *emergy* 지수에 영향을 미친다.

2.3.2 *Emergy* 생산비 (*Emergy yield ratio*)

Emergy 생산비는 시스템으로부터 생산된 생산물이 가지는 전체 *emergy* 양에 경계 밖으로부터 교역과 교환을 통해 유입된 에너지원의 *emergy* 양(F)으로 나누어 계산하며, 생산물(product)이 가지는 생산성과 시스템의 효율성을 평가하는데 이용한다.

국가나 지역시스템에 대한 *emergy* 생산비는 자원에 대한 평가와는 다소 상이하나 국가나 지역시스템의 총 생산 *emergy*를 교역과 교환에 의해 유입된 *emergy*를 나누어 계산할 수 있으며 이것은 총생산이 주 경제에 미치는 *emergy* 기여로 볼 수 있다 (Brown and Ulgiati, 1997).

2.3.3 *Emergy* 투자비 (*Emergy investment ratio*)

Emergy 투자비(*Emergy investment ratio*)는 대상시스템으로부터 생산물이 만들어지기까지 사용된 에너지원 중에서, 외부로부터의 교역과 교환을 통해 유입된 에너지원의 *emergy* 양(F)을 자연환경활동에서 기인한 영속성 에너지원의 *emergy* 양(R)으로 나누어 계산한다. 이 비는 지역의 산업화, 도시화의 정도를 나타내는 것이며 이 비율

이 낮을수록 경쟁력이 큰 시스템이다. 한 경제시스템의 경쟁력은 내부에서 공급 가능한 재화와 용역과 외부로부터 구입하여야 하는 재화와 용역사이의 비율로 나타낼 수 있다.

2.3.4 1인당 *Emergy* 사용량 (*Use per capita*)

Use per capita는 연간 전체 emergy 이용량을 인구수로 나눈 값이며, 이는 한 사람이 누릴 수 있는 실질적인 부(wealth)로서 지역별, 국가별 생활수준의 지표이다.

경제적 복지수준을 의미하는 1인당 소득과 비교하여 경제활동에서 기인한 화석연료, 재화와 용역의 사용량뿐만 아니라 자연환경으로부터 기인한 에너지원의 사용량을 포함하는 1인당 emergy 사용량은 보다 더 실질적인 복지수준을 의미한다.

2.3.5 인구수용력 (*Carrying capacity*)

낙동강유역의 인구수용력은 현재의 emergy 이용 수준으로 영속성 에너지원에만 의존할 경우 수용할 수 있는 인구수를 나타내며, 이러한 renewable carrying capacity는 영속성 자원의 총 emergy 양을 인구 1인당 emergy 사용량으로 나누어 계산한다. 영속성 에너지원에 대한 교역과 교환을 통한 에너지원의 유입이 선진국의 수준을 유지할 때, 수용할 수 있는 인구수를 의미하는 developed carrying capacity는 영속성 emergy 양과 선진국 수준의 투자비 7/1을 적용시켜 외부로부터 유입된 emergy 양을 합한 총 emergy 양을 인구 1인당 emergy 양으로 나누어 계산한다.

2.3.6 단위 면적당 *Emergy* 사용량 (*Use per unit area*)

Use per unit area는 연간 전체 emergy 이용량을 면적으로 나눈 값으로 empower density로 표현할 수 있으며, 토지 이용별(Use per unit area) 값은 공간적인 empower density 분포를 파악하는 데에 이용된다(Odum, 1996). Empower density가 높은 지역

일수록 경제활동의 강도가 높다는 것을 의미한다. 일반적으로 저개발 국가나 면적이 큰 국가일수록 단위면적당 emergy 사용량이 적게 나타난다.

2.3.7 환경 부하율 (Environmental loading ratio)

자연환경 활동에서 기인한 영속성의 에너지원에 대한 비영속성 에너지원의 유입률을 의미하는 환경 부하율(environmental loading ratio)은 비영속성 에너지원의 emergy 이용량(F+N)에 대해 영속성 에너지원의 emergy 이용량(R)으로 나누어 계산하며, 시스템의 생산과정 중, 자연환경에 대한 환경적 부하의 정도를 파악하는 지표이다.

Brown and Ulgiati(1997)에 의하면 3단계로 구분하여, 환경부하율이 3보다 적을 경우에는 환경적 영향이 적은 시스템으로 평가하고 있으며 반면 10이상의 값을 나타낼 경우에는 상대적으로 환경에 대한 영향이 큰 시스템으로 평가하고 있고, 3과 10 사이에서는 환경에 대한 영향이 온건한 것으로 파악하고 있다.

2.3.8 지속성 지수 (Sustainability index)

지속성 지수는 주어진 시스템의 생산성을 나타내는 emergy 생산비와 사회경제활동이 환경에 미치는 영향을 의미하는 환경 부하율의 비로서 계산된다.

Brown and Ulgiati(1997)는 지속성지수가 1보다 작은 경우는 선진국형 소비경제로, 10보다 클 경우는 지속적인 발전 가능성인 높은 시스템 즉 저개발 경제로 구분한다. 또한 지속성지수가 1에서 10사이의 경우에는 지속적인 발전 가능성이 변동적인 시스템으로 개발도상국형 경제를 나타내는 것이다.

2.3.9 낙동강의 수자원에 대한 가치 평가

하천수의 이용 중에서 상수생산과 관련하여, 자연환경 에너지원인 하천수와 이를 수량·수질 측면에서 관리하기 위한 노력인 댐의 수리·수문학적 관리, 상수생산, 그리고 하수처리와 같은 경제적 활동을 동일한 가치 척도로 나타내기 위해 경제성 분석표를 작성하고 평가에 이용된 자료로 낙동강 상·중·하류 유역의 하천 유출량, 댐 방류량, 상수 생산량, 하수 발생량, 원수 가격, 상수생산 원가, 하수 원가 등은 각종 통계 자료로부터 인용하였다(환경부, 2006).

낙동강 수자원의 상·하류간 실질적인 자원으로서의 가치를 평가하기 위하여 낙동강 전체 유역면적에 대한 배수구역 구분에 의해서 상류유역은 본류구간 발원지부터 위천합류점까지, 중류유역은 본류 구간 위천합류 후부터 황강합류 전까지, 하류유역은 황강합류 후부터 하구 독까지로 구분하였다.

상·중·하류에서 각각 1m³의 처리된 물을 생산하기 위해 투자되는 관리 및 처리비용과 처리된 수자원의 실질적인 가치를 비교·평가하고자 한다.

3. 총량관리계획에 대한 환경회계

오염총량관리제가 실시되는 낙동강유역은 단위유역별로 목표수질을 설정하고 목표수질을 달성할 수 있는 범위 내에서 오염물질 배출총량을 유역내 전체적으로 내·외부 에너지원의 상호작용을 파악한다.

또한 오염총량관리계획 수립 전과 후인 1999년부터 2004년 이전까지의 수질개선을 위한 저감시설 설치 투자비용을 환경비용으로 설정하고 수질개선 효과를 편익으로 설정한 후 emergy 분석을 통해 환경회계를 실시하였다.

첫째, 오염총량관리계획에 대한 에너지 시스템 다이어그램을 작성한다.

둘째, Emergy 분석표 작성을 위한 각종 자료를 분석한다. 오염총량관리계획에 따른 emergy 분석표는 먼저 총량관리제 수립 이전과 이후로 구분하여 낙동강유역 수자원에 대해 파악하고 낙동강유역의 전체 emergy 분석을 통해 환경부하량을 파악한 후 유역의 수질개선 노력을 위한 저감시설에 대하여 총량관리 수립 이전과 이후를 분석한다. 다음으로 수질개선을 위한 저감시설에 대해 시설공사에 따른 원자재량 및 공사비, 유지관리비로 구분하여 작성한다. 저감시설에 따른 시설의 사용년수는 20년으로 설정한다. 이러한 자료를 통해 에너지원들의 실질적인 에너지를 구한 후 transformity를 곱하여 emergy를 구한다. 다음으로 emergy값에 emergy money ratio로 나누어 생태 경제적 가치를 나타내는 emwon을 구한다.

셋째, emwon을 구한 후 비용과 편익으로 에너지원을 구분하고 총량관리계획에 따른 환경회계표를 작성한다.

3.1 Emergy 분석

제1차 오염총량관리계획의 수립은 최종년도인 2010년까지 물금지점의 목표수질 BOD 3.0mg/L을 달성하는 것이다. 수립 이전의 물금지점 수질은 4.1mg/L로 환경부에서 물금지점 목표수질 3.0mg/L 설정할 때 물금지점의 2000~2002년도의 평균수질은

2.8mg/L로 수질목표 II등급 수질을 만족하지만 연평균 수질이 아니라 수질 악화조건으로 수질을 반영하여 기준수질로 보정하였다. 보정을 위한 기준수질은 2000~2002년 기간 중 대수정규분포를 가정한 90% 평균수질로 4.1mg/L이다. 기준유량은 1990~1999년의 평균저수량인 77CMS를 적용하여 2010년의 목표수질 3.0mg/L으로 설정하게 되었다. 평균수질의 산정방법은 “낙동강수계물관리및주민지원등에관한법률” 시행규칙 별표 3에 평균수질 산정공식이 제시되어져 있다(환경부, 2002).

총량관리계획 수립 전과 후의 수질농도를 각각 4.1mg/L과 3.0mg/L으로 설정하였으며 이에 따른 수질개선 효과와 수질개선을 위한 삭감계획 시설에 대하여 emergy 분석을 실시하였다.

먼저, 하천의 화학적 에너지를 구하기 위하여 TDS값을 이용한다. TDS값은 전도도값을 이용하여 환산하였다. 전환식은 $TDS = 0.64 \times Conductivity(\mu S/cm)$ 이며 전기전도도에 전환계수 0.64 (Peter A. Krenkel, 1980)를 곱하여 TDS를 구한다. 전기전도도는 환경부의 수질자동측정망 물금지점의 11년 평균(1996~2006년)자료를 이용하였다.

BOD와 TDS의 상관관계를 알아보기 위하여 물금지점의 10년간 연평균 BOD와 전기전도도의 측정결과에 대하여 상관분석을 구하였고 상관관계에 대한 피어슨(Pearson) 상관계수 r 및 분석의 유의성 검증은 Appendix 5에 첨부하였다.

그 결과 BOD와 전기전도도의 상관관계 계수는 $r=0.843$ 으로서 상관관계가 강한 것으로 나타났고, 유의성 검증결과 적합한 것으로 나타났다(Appendix 5).

이에 BOD와 전기전도도의 단순선형회귀분석을 실시하여 단순회귀식을 도출하였으며 BOD를 통한 전기전도도 값을 예측하였다. 낙동강수계 물금지점에 대한 전기전도도와 BOD 단순회귀식은 Fig. 3.4와 같다.

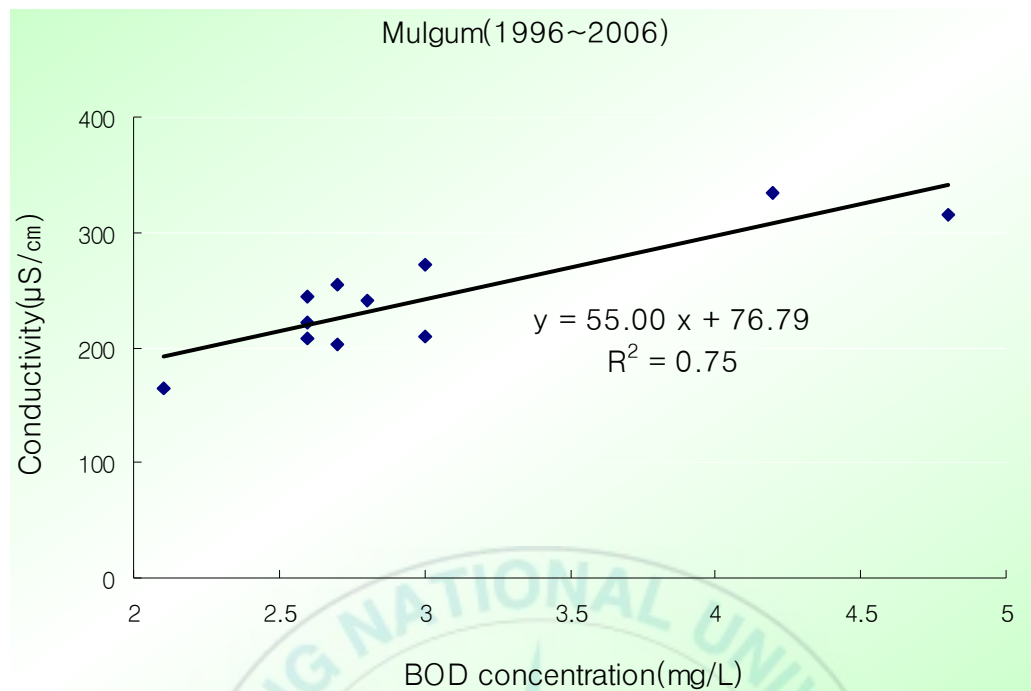


Fig. 3.4. Correlation between BOD concentration and conductivity.

낙동강유역의 2010년까지의 BOD 발생부하량은 Table 3.3과 같다. 오염총량관리계획 수립이후 2010년까지 예측한 발생부하량은 $8.35\text{E}+08\text{kg/yr}$ 이며 발생농도(C)는 344mg/L , 기준유량(Q)은 77CMS으로 산정되었다. 또한 배출부하량은 수립 전(4.1mg/L)과 이후(3.0mg/L)로 나누어 산정하였다. 오염총량관리계획 수립 이전의 물금지점 배출부하량은 기준유량(Q) 77CMS와 수질농도(C) 4.1mg/L 를 곱하여 $9.96\text{E}+06\text{kg/yr}$ 로 산정되었다. 수립 이후의 물금지점 배출부하량은 기준유량(Q) 77CMS와 수질농도(C) 3.0mg/L 를 곱하여 $7.28\text{E}+06\text{kg/yr}$ 로 산정되었다.

낙동강유역의 오염총량관리계획 수립 이후 제1차 오염총량관리계획 최종년도 2010년까지 상수원수로 이용되는 낙동강수계의 물금지점 목표수질 3.0mg/L 를 달성하기 위하여 수질개선 투자비 $2.65\text{E}+11\text{won/yr}$ 로 기존 저감시설 노력의 $2.125\text{E}+11\text{won/yr}$ 에 $5.25\text{E}+10\text{won/yr}$ 이 추가 삭감계획의 투자비로 산정되어 오염총량관리계획이 수립되었다(Table 2.6).

총량관리계획이 수립되면서 지자체에서는 수질개선 노력으로 저감시설에 따른 시설 투자비를 제시하였다. 본 연구에서는 emergy 분석을 통한 실질적인 가치를 평가하기 위하여 에너지 및 화폐단위로 산정하였다. 삭감계획에 따른 시설공사는 토목, 건축, 전기 등의 원자재와 공사비로 구분하였으며 사용연수 20년을 고려하였다. 또한 유지관리를 위한 전력, 석유, 화학약품 등은 에너지단위로 나타낼 수 있지만 기타 슬러지 처분비와 인건비의 기타 유지관리비는 화폐단위로 조사하였다.

본 연구에서는 오염총량관리 시행계획 대상지역에서 할당된 부하량 이내로 배출하기 위한 노력이 점오염원에서 95% 이상을 차지하였다. 하수처리시설의 신설, 하수관거 정비계획, 축산폐수공공처리장, 분뇨처리장 등으로 각 지역에 할당된 부하량을 저감시키기 위해 많은 투자를 계획하고 있다. 이 중 하수관거정비계획이 49.19%로 가장 많았으며 다음으로 하수처리시설의 신설이 35.89%로 나타났다(Table 2.7).

수질개선을 위한 저감시설들 중 삭감효과가 큰 하수처리시설은 고도처리를 고려한 시설이며 2005년부터 신설되어 가동 중인 김해시 장유하수종말처리장을 대상으로 하

수 1m³을 처리하는데 공사시 필요한 시설계획을 조사하여 emergy 분석을 하였다 (Appendix 6). 이를 기초로 오염총량관리계획 수립 전인 2003년까지 유역내 운영 중인 환경기초시설의 시설용량을 고려하여 emergy 분석을 하였으며 수립 이후의 경우 2004년부터 2010년까지 신설계획 중인 환경기초시설의 시설용량을 고려하여 emergy 분석한 결과에 수립 이전의 값을 더하여 낙동강유역 전체에 대한 저감시설에 의 emergy 분석을 실시하였다(Appendix 9, 10).

Table 3.3. BOD discharge of the Nakdong river basin

(Unit : kg/yr)

	Total	Gangwon province	Kyeongsangbuk province	Daegu metropolitan city	Kyeongsangnam province
Load generation	8.35E+08	3.52E+06	4.70E+08	1.77E+08	1.84E+08
Load discharge	1.34E+08	1.06E+05	7.46E+07	1.69E+07	4.28E+07

*) Result of TMDL master program of each metropolitan city and province

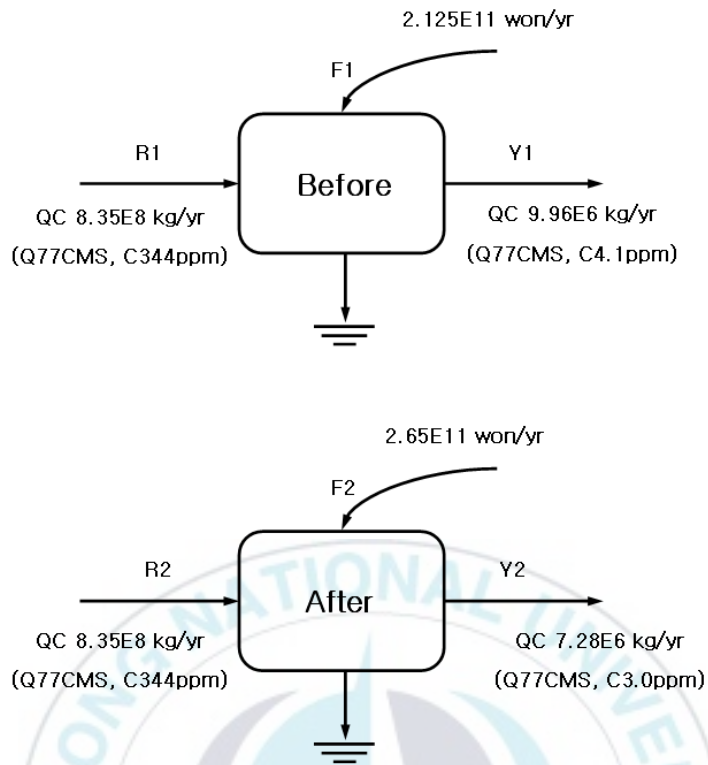


Fig. 3.5. BOD reduction plan for the Nakdong river basin before and after Total Maximum Daily Loads(TMDL) program.

3.2 Emergy 분석에 따른 환경회계

현재 오염총량관리계획이 시행되고 있는 지역을 파악한 후 저감시설에 따른 수자원의 개선효과와 저감시설의 투자계획에 대하여 환경회계를 실시하고자 한다. 저감시설을 점오염원과 비점오염원 처리시설로 구분하였으며 점오염원에 대한 대책 및 효과로는 환경기초시설 확충과 처리시설의 수질환경기준 강화로 인한 수질개선이 있다. 하·폐수 등 점오염원에 대해서는 제도정비 및 처리시설 설치·운영 등 관리대책이 활발히 추진되고 있으나 불특정하게 발생하는 비점오염원은 제도적 기반 및 대책추진이 미흡하다. 비점오염원의 저감시설로서는 자연형 하천정화사업과 강우 유출시 비점오염원을 제거할 수 있는 저류형 습지를 조성하여 유역관리 및 수질개선을 위한 노력을 하고 있다.

본 연구에서는 오염총량관리계획 수립 전과 후의 emergy 분석에 의한 비용/편익 분석을 실시하기 위하여 저감시설의 시설공사시 투입되는 원자재 및 공사비와 유지관리비와 같은 구매자원은 환경비용으로 설정하고 저감시설에 따른 수질개선 효과를 편익으로 설정하였다. 총량관리계획 수립 이후 현재 경제성 분석에서 정량화하지 못한 자연환경자원인 수질개선 효과와 저감시설에 따른 투자계획을 비교분석하여 환경비용과 편익을 과학적 평가체제에 근거한 동일한 가치 척도인 emergy를 이용하여 Table 3.4와 같이 환경회계표를 작성하였다.

Table 3.4. Tabular format for environmental accounting

Item	Environmental cost (Emwon/yr)	Environmental benefit (Emwon/yr)
Water quality improvement		
Facility investment		
Management		
Total		
Cost-benefit		

4. 총량관리계획에 대한 개선방안

4.1 유역내 발생원 저감을 위한 개선방안

낙동강유역의 발생원 저감을 위하여 낙동강유역 전체의 emergy 분석을 통해 사후 처리보다는 사전예방 차원의 개선방안을 제시하고자 한다. 유역분석을 통해 유역전체의 자연환경자원과 외부자원의 투자비를 고려한 환경부하비 및 지속성 지수 등을 살펴본 후 유역내 환경부하를 줄이고 지속가능한 시스템이 되는 사전예방 차원의 오염원 저감대책을 위하여 emergy 지표를 비교·분석한다.

4.2 질소·인 제거를 위한 저감방안

하수처리장 유출수의 질소·인을 제거하기 위하여 기존의 하수처리장에 고도처리시설을 확충하거나 3차 처리의 하수종말처리장을 신설계획하고 있다.

오염원의 저감시설을 살펴보면 점오염원 저감시설로 하수관거 신설과 하수처리장 신설이 대부분이다. 이러한 저감시설은 비용이 많이 소요되는 단점이 있다. 그러므로 저비용으로 질소와 인을 제거할 수 있는 인공습지를 하수처리장 유출수 말단부에 설치하여 고도처리시설의 역할을 대신할 수 있도록 하는 방법이 있다. 이러한 인공습지 조성의 경우 토지매입비와 초기 투자비가 다소 소요되지만 장기적으로 살펴보면 유지관리비가 저렴하고 자연환경자원으로 질소와 인을 제거하는데 큰 효과가 있다. 현재 국내의 많은 연구자들은 인공습지를 이용한 질소·인 제거 설계인자 도출 및 조성에 따른 결과를 제시하고 있다(환경관리공단, 2005).

4.2.1 고도처리시설을 이용한 질소·인 제거

기존의 2차 처리시설에 고도처리시설을 확충하여 영양염(TN, TP)을 제거하고자 추가 신설되는 하동 하수종말처리장의 고도처리시설 확충계획을 근거하여 필요한 자료를 검토한 후 emergy 분석을 실시한다.

하동 하수종말처리장은 표준활성슬러지법으로 현재 가동 중이며 향후 강화된 방류수 수질기준을 준수하기 위해 고도처리시설로 개량화하여 영양염류 처리를 한 후 소독하여 방류할 계획이다. 처리장의 처리용량은 $6,000\text{m}^3/\text{일}$ 이며 현재 항목별 유입·유출되는 인자와 제거량은 Table 3.5와 같다.

고도처리시설의 확충은 기존의 하수처리시설을 개량하는 것이므로 부지는 필요 없으며 기존의 시설을 활용하는 방향으로 제시하였다. 포기조의 경우 생물반응조로 변경하여 혐기조와 무산소조, 호기조와 소독설비를 신설 설치하여 고도처리 설치공사를 하였다. 고도처리시설 확충 이후 질소와 인의 제거효율은 각각 50.8%, 56.7%이다(하동군, 2006). 본 연구에서는 고도처리시설 확충에 대하여 계획되어진 시설투자비와 유지관리를 조사한 후 emergy 분석표를 작성하였다.

Table 3.5. Parameters of Ha-Dong Sewage treatment plant(Ha-Dong county, 2006)

Item	BOD	COD	SS	TN	TP
Inflow(m^3/day)	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000
Inflow concentration(mg/L)	137.9	109.8	131.7	26.4	3.0
Load inflow(kg/day)	827.4	658.8	790.2	158.4	180.0
Outflow concentration(mg/L)	8.5	15.0	8.5	13.0	1.3
Load outflow(kg/day)	51.0	90.0	51.0	78.0	7.8
Treatment(%)	93.8	86.3	93.5	50.8	56.7

4.2.2 인공습지를 이용한 질소·인 제거

인공습지를 통한 질소·인 제거에 관하여 emergy 분석을 실시하였다.

하동 하수처리시설에서 2차 처리 후 방류되는 유출수를 고도처리하지 않고 저류형 인공습지를 통해 질소와 인을 제거하는 경우와 고도처리시설을 통해 질소와 인을 제거하는 경우를 비교분석 하였다.

수질정화를 목적으로 하는 인공습지의 경우 유기물질의 처리보다는 TN과 TP 같은 영양염 제거에 효과적이다. 본 연구에서도 영양염의 처리효율을 계산하기 위하여 인공습지 내부에서 진행되는 질산화·탈질에 의한 질소제거와 침전에 의한 인 제거 메커니즘을 기초로 하여 인공습지를 조성하고자 한다.

인공습지에 유입되는 유량은 하동 하수종말처리장의 2차 처리 후 방류되는 유량으로 고도처리시설의 통한 영양염 제거효율과 동일한 조건의 인공습지를 조성하여 영양염 1kg을 제거하는데 필요한 면적과 공사비를 산정하였다(환경관리공단, 2005).

인공습지 조성시 질소와 인 1kg을 제거하는데 필요한 면적을 각각 44,973 m², 54,089 m²으로 산정하였다. 이 때 인공습지를 통해 유입되는 유량은 6,000m³/일이다. 2차 처리된 하수처리장의 유출수가 유입되는 것이므로 식생의 갈대, 수초식물 등을 식재하여 서로 상호작용하게 하여 질소와 인을 제거한 후 유출수를 방류한다.

Table 3.6. Parameters of constructed wetland

Item	TN	TP
Load inflow(kg/day)	94.44	10.82
Reduction(kg/day)	47.52	4.19
Plan area(m ² /kg)	44,973	54,089

*) Environmental Management Corporation, 2005.

4.3 비점오염원 제거를 위한 저감대책

비점오염원의 저감시설로는 습지가 효과가 큰 것으로 알려져 있다. 환경부에서는 전국내륙습지 자연환경조사를 통해 국내의 내륙습지를 대상으로 지형, 수리수문, 식생, 수질, 저질, 어류, 곤충, 조류에 이르기까지 광범위한 조사를 하였다(환경부, 2001).

오염총량관리계획에 따르면 점오염원 저감시설이 95%, 비점오염원의 저감시설이 5%로 대부분 점오염원 저감시설에 의존하고 있다(Table 2.7). 향후 2010년까지 배출부하량을 살펴보면 점오염원보다는 비점오염원의 배출이 많다. 따라서 점오염원 저감시설 외 비점오염원 삭감계획을 위한 노력이 필요하다고 볼 수 있다.

이러한 비점오염원을 제거하기 위하여 저류형 습지를 조성하거나 기존의 저류형 습지를 이용하여 비점오염원을 제거한다면 저감시설에 따른 처리비용의 절감은 물론 생물의 서식처 조성 등의 생태·경제적 가치가 높을 것이다.

IV. 결과 및 고찰

1. 낙동강유역의 *Emergy* 분석

1.1 에너지 시스템 다이어그램

낙동강유역의 자연환경과 경제활동에 대한 에너지 시스템 다이어그램은 Fig. 4.1과 같다. 시스템 외부로부터 자연환경활동에서 기인한 태양, 바람, 비와 지질작용과 같은 영속성 에너지원과 경제활동을 통한 석탄, 천연가스, 석유, 그리고 재화와 용역 등이 유입되고 있다.

시스템 내부에서는 자연녹지 및 농업의 생산활동과 교역 및 교환을 통하여 유입된 에너지를 이용한 각종 산업 및 상업활동 그리고 도시의 소비활동이 이루어지고 있다. 시스템 내부의 생산자인 자연녹지 및 농경지에서는 시스템 외부의 자연활동으로부터 유입되는 태양, 바람, 비를 이용하여 생산이 이루어지고 있으며, 자연녹지 및 농경지가 차지하는 면적은 낙동강유역 전체 면적 23,817km²의 각각 70%, 20%를 차지하고 있으나 시스템 내부의 인간의 경제활동 및 도시기능에 소요되는 면적은 10%에 불과하다. 낙동강유역의 경제활동은 자연녹지 및 농경지에서의 생산물을 기초로 한 교환과 교역을 통해 유입되는 화석연료와 각종 재화와 용역을 이용하여 시스템 내부의 총 경제활동을 형성하며, 이를 화폐가치로 평가한 것이 지역내총생산(GRDP)이다.

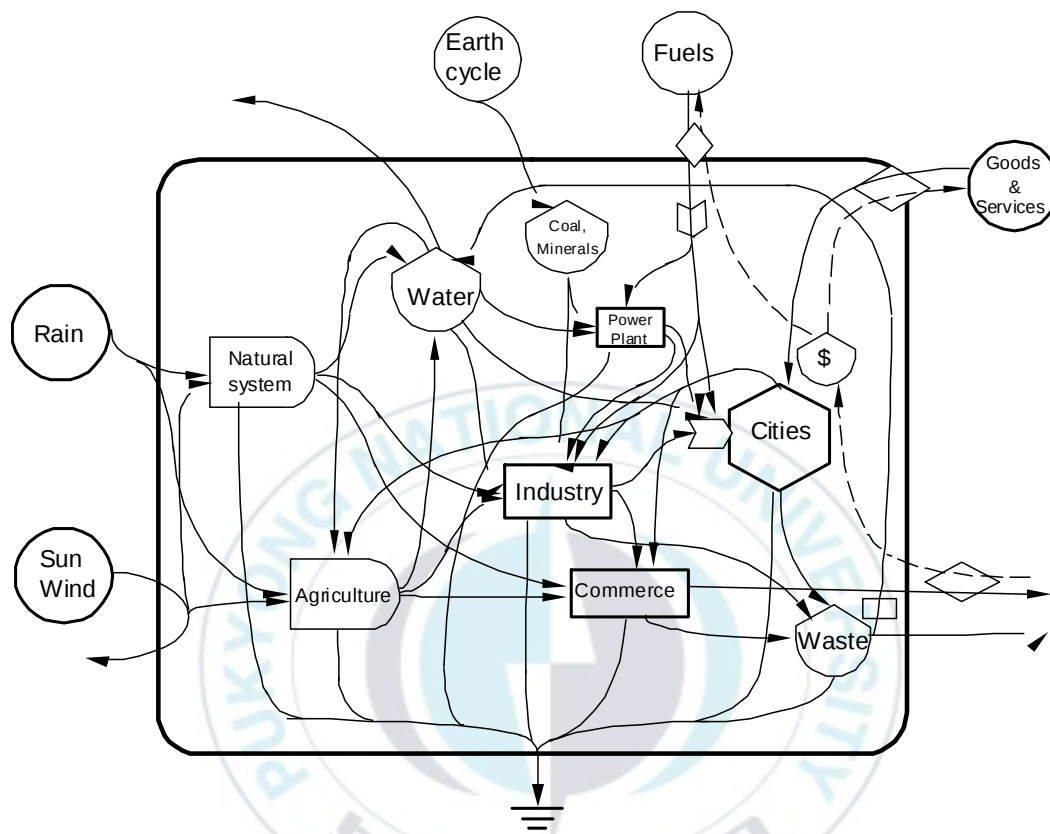


Fig. 4.1. Complex energy diagram of the Nakdong river basin.

1.2 Emergy 분석결과

낙동강유역의 자연환경과 경제활동을 유지시켜 주는 주요 에너지원을 물리·화학적 에너지 및 emergy 단위로 계산한 결과는 Table 4.1과 같다. Fig. 4.2는 자연환경자원과 인간경제활동으로 유입되는 에너지원에 대하여 emergy 값의 크기를 나타낸 것이다. 에너지 단위로 계산할 때 산림지역, 농경지의 1차 생산활동을 유지시켜 주는 태양에너지가 전체 에너지 유입량의 90.0%를 차지하고 있어, 다량의 저급 에너지(low quality energy)인 태양에너지를 비롯한 자연 에너지와 소량의 고급에너지(high quality energy)인 화석연료 그리고 재화와 용역이 상호작용하는 에너지 계층(energy hierarchy) 구조를 형성하고 있다.

Emergy 분석을 통한 각 에너지원의 실질적인 기여 측면에서 살펴보면, 자연환경 활동에서 기인한 에너지원의 경우, 태양에너지로부터 $7.21\text{E}+19$ sej/yr, 바람으로부터 $6.98\text{E}+19$ sej/yr, 비로부터 $4.88\text{E}+21$ sej/yr, 지질작용으로부터는 $1.82\text{E}+21$ sej/yr가 유입되고 있어, 비, 지질작용, 태양, 바람 순으로 실질적인 기여도가 평가되었다. 외부로부터 유입되는 구매자원은 재화와 용역 $8.60\text{E}+22$ sej/yr, 유류 $5.10\text{E}+22$ sej/yr, 가스 $5.85\text{E}+21$ sej/yr, 석탄 $3.95\text{E}+21$ sej/yr의 순으로 평가되었다(Appendix 7).

그리고 각 에너지원을 영속성 에너지, 비영속성 에너지, 그리고 재화와 용역으로 구분할 경우, 자연환경 자원으로부터의 영속성 에너지원은 3%, 내부 보유자원의 비영속성 에너지원은 2%, 시스템 외부로부터 유입된 비영속성 에너지원인 화석연료는 39%, 재화와 용역의 경우는 56%의 emergy 기여를 나타내었다(Fig. 4.3). 이러한 결과는 이 지역의 경제활동이 다량의 저급 에너지보다는 소량의 고급에너지에 의존하는 특성을 나타내고 있는 것으로 판단된다.

Table 4.1. Emergy evaluation of resource basis for Nakdong river basin(2004)

Note	Item	Raw Units (J,g,₩/yr)		Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/yr)	Emwon (₩/yr)
RENEWABLE RESOURCES:						
1	Sunlight	7.21E+19	J	1	7.21E+19	3.43E+10
2	Wind	2.78E+16	J	2513	6.98E+19	3.32E+10
3	Rain	1.60E+17	J	30574	4.88E+21	2.32E+12
4	Earth cycle	3.16E+16	J	57600	1.82E+21	8.66E+11
INDIGENOUS RENEWABLE ENERGY:						
5	Hydroelectricity	8.43E+18	J	2.91E+05	2.45E+24	1.17E+15
6	Agricultural production	6.89E+16	J	3.36E+05	2.32E+22	1.10E+13
7	Fuelwood production	3.49E+14	J	5.86E+04	2.05E+19	9.75E+09
8	Forest extraction	4.34E+15	J	5.86E+04	2.54E+20	1.21E+11
9	Water supply	1.19E+16	J	8.13E+04	9.71E+20	4.62E+11
NONRENEWABLE SOURCES FROM WITHIN SYSTEM:						
10	Mineral	1.57E+12	g	1.68E+09	2.63E+21	1.25E+12
11	Top soil	7.11E+15	J	1.24E+05	8.81E+20	4.20E+11
IMPORTS AND OUTSIDE SOURCES:						
12	Coal	5.87E+16	J	6.72E+04	3.95E+21	1.88E+12
13	Oil	5.62E+17	J	9.07E+04	5.10E+22	2.43E+13
14	Gas	7.26E+16	J	8.06E+04	5.85E+21	2.79E+12
15	Goods & Services	4.10E+13	₩	2.10E+09	8.60E+22	4.10E+13
EXPORTS:						
16	Export Goods & Services	6.56E+13	₩	2.36E+09	1.55E+23	7.39E+13

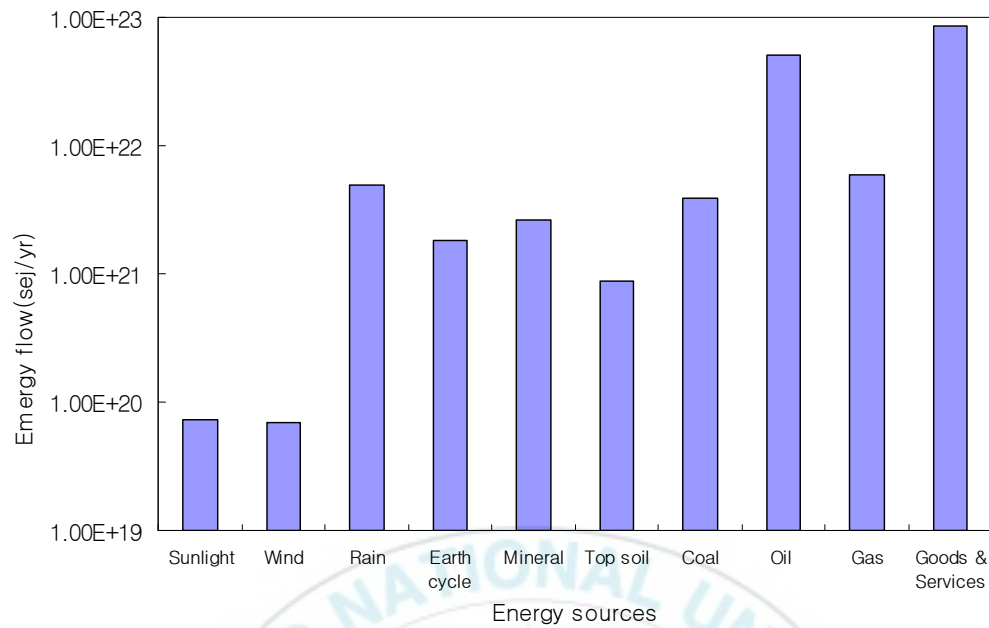


Fig. 4.2. Emery signature of energy source in Nakdong river basin.

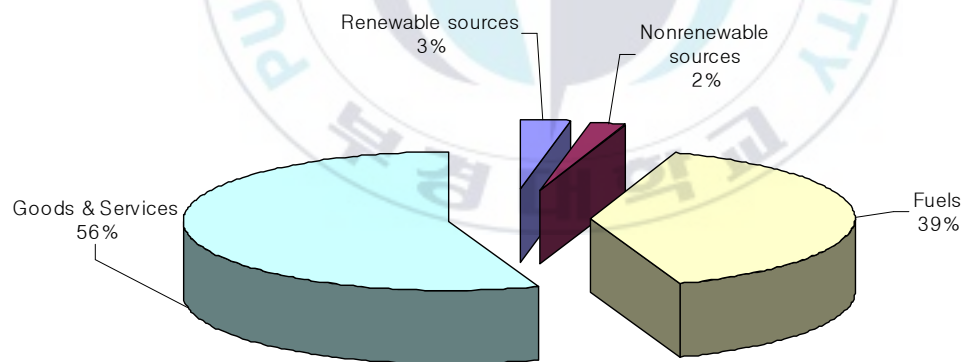


Fig. 4.3. Contribution of energy from renewable sources, nonrenewable sources, fossil fuel and goods & services.

영속성 에너지원의 경우 동일 에너지원에 의한 이중 산정을 배제하기 위해서, 강우에서 기인한 emergy 유입량으로 계산하고, 구매를 통해 유입된 emergy 양의 경우에는 교환과 교역을 통해 유입된 재화와 용역의 가격에 화석연료의 금액을 공제하였다.

낙동강유역의 경우, 영속성 에너지원의 emergy 유입량은 $48.8\text{E}+20$ sej/yr이었고, 비영속성 내부자원의 emergy 사용량은 $35.1\text{E}+20$ sej/yr로서 전체 emergy의 5%로 낮은 비율을 차지하였다. 외부로부터 구매에 의한 emergy는 $1.470\text{E}+20$ sej/yr, 낙동강유역으로 유입되는 연간 전체 emergy 양은 $1.550\text{E}+20$ sej/yr이었다(Table 4.2, Fig. 4.4).

Table 4.2. Summary of flows in the Nakdong river basin

Variable	Item	Solar emergy	Untis
R	Renewable resources	$4.88\text{E}+21$	sej/yr
N	Nonrenewable resources from within Nakdong river basin	$3.51\text{E}+21$	sej/yr
F	Imported fuels and minerals	$1.47\text{E}+23$	sej/yr
U	Total emergy inflow	$1.55\text{E}+23$	sej/yr
P	Korea emergy/₩ ratio	$2.10\text{E}+09$	sej/₩
X	Gross regional domestic product	$1.47\text{E}+14$	₩/yr
I	Total paid for input	$4.10\text{E}+13$	₩/yr
E	Total paid for output	$6.56\text{E}+13$	₩/yr
P*E	Total output of goods & services	$1.55\text{E}+23$	sej/yr

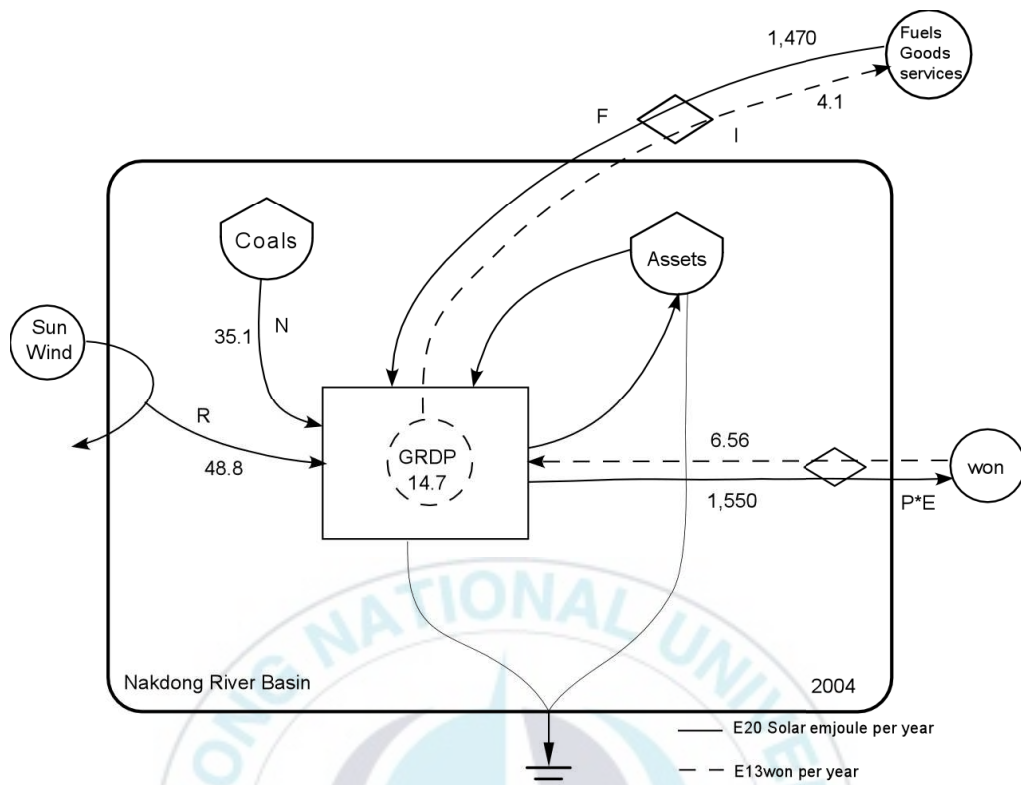


Fig. 4.4. Aggregated diagram of the Nakdong river basin.

1.3 Emergy 지표

1.3.1 Emergy 지표를 통한 지속성 평가

2004년의 emergy 분석표를 이용하여 낙동강유역의 emergy 지표를 계산한 결과는 Table 4.3과 같으며, 다른 유역과의 비교 자료는 Table 4.4와 같다.

Table 4.3. Indices using emergy for overview of the Nakdong river basin

Name of index	Expression	Value	Unit
Renewable emergy flow	R	4.88E+21	sej/yr
Flow from indigenous nonrenewable reserves	N	3.51E+21	sej/yr
Flow of imported emergy	F	1.47E+23	sej/yr
Total emergy inflow	R+N+F	1.55E+23	sej/yr
Total emergy used	U=N+R+F	1.55E+23	sej/yr
Total exported emergy	P1E	1.55E+23	
Emergy to money ratio	P1=U/GNP	2.10E+09	sej/₩
Fraction used, locally renewable (%Renew)	(R/U)*100	3.14	
Emergy Yield Ratio (EYR)	U/(F+P2I)	1.06	
Use per unit area (2.34 E+10 m ²)	U/(area)	6.63E+12	sej/m ²
Use per capita (7.22 E+06 people)	U/(population)	2.15E+16	sej/cap.
Renewable carrying capacity at present living standard	(R/U)*(population)	2.27E+05	
Developed carrying capacity at present living standard	8(R/U)*(population)	1.82E+06	
Emergy Investment Ratio(EIR)	(F)/(R+N)	17.50	
Environmental Loading Ratio(ELR)	(N+F)/R	30.82	
Emergy Sustainability Index (ESI)	EYR/ELR	0.03	

Table 4.4. A comparison of emergy indices of the Nakdong river basin with other basins

Name of Index	Nakdong river basin (2004)	Nakdong river basin (1996)	Mississippi river basin	Amazon basin
% renew(R)	3.14	3.40	6.50	88.0
Emergy Yield Ratio(EYR)	1.06	1.07	2.51	12.04
Emergy Investment Ratio(EIR)	17.50	14.90	0.49	0.10
Environmental Loading Ratio(ELR)	30.82	28.52	17.65	0.20
Emergy Sustainability Index(ESI)	0.03	0.04	0.14	60.20

1.3.2 영속성 에너지원의 점유율

낙동강유역에 작용하는 에너지원에는 태양, 바람, 비, 그리고 지열작용이 있으며, 동일 에너지원에 의한 이중 산정을 배제할 경우 낙동강유역의 영속성 에너지원은 이 대상 지역에 내린 강우에 의존하고 있다. 지역시스템의 자연환경과 경제활동을 가능케 하는 전체 에너지원 중에서 영속성 에너지원의 점유율은 장기적으로 볼 때 시스템의 지속적인 발전가능성을 결정하는 주요인자로 emergy 투자비, 인구수용력, 환경부하율, 지속성 지수 등의 여러 emergy 지수에 영향을 미친다.

낙동강유역의 경우에는 전체 emergy 사용량에 대해 영속성 에너지원의 점유율은 3.14%로서, Table 4.4에서 같이 과거 1996년도 낙동강유역 분석결과와 다른 하천유역에 대하여 계산한 결과와 비교해 보면, 1996년도 낙동강유역은 3.40%, 미시시피 강 유역의 6.50%에 비해서 다소 낮은 수치를 보였으며 자연자원이 풍부한 브라질의 아마존 유역의 88.00%에 비해서 매우 낮은 비율을 나타내고 있었다.

1.3.3 Emergy 생산비

낙동강유역의 emergy 생산비는 Table 4.3과 같이 1.06로서 지역의 생산이 주경제에 적게나마 기여하고 있는 것으로 평가되었다.

Emergy 생산비는 화석연료, 광물, Top soil 등에 대하여 자원으로서의 가치를 평가하는 척도로서 각 에너지원이 생산되기까지 이용된 emergy 양에 대해 생산된 emergy의 비로서 계산된다. 석유, 석탄과 같은 1차 에너지원의 경우에는 emergy생산비가 5이상이며, 철강, 시멘트와 같은 2차 에너지원의 경우에는 emergy 생산비가 2에서 5사이의 범위이며, emergy 생산비가 2보다 낮은 경우에는 자원으로의 가치보다는 소비재의 성격을 가진다. 즉 emergy 생산비는 자원 생산의 시스템에서 효율 (efficiency)을 평가하는데 이용될 수 있다.

낙동강유역의 경우에는 emergy 생산비가 1.06으로써 한국 경제에 대하여 평균적인 수준으로 기여하는 것으로 평가되었다. 그리고 Table 4.4에 있는 것과 같이 과거 1996년도 낙동강유역 분석결과와 다른 하천유역의 emergy 생산비와 비교해 보면, 1996년 낙동강유역은 1.07, 미시시피 강 유역의 생산비 2.51, 브라질의 아마존 유역의 생산비 12.04에 비해서는 다소 낮은 수준을 나타내고 있었다.

1.3.4 Emergy 투자비

Emergy 투자비는 지역 간 생산활동의 경제적인 경쟁력과 자연환경에 의한 개발의 강도를 나타내는데 Table 4.4에 있는 과거 1996년도 낙동강유역 분석결과의 emergy투자비 14.90, 미시시피 강 유역의 emergy 투자비 0.49, 브라질의 아마존 유역의 emergy 투자비 0.10에 비해서, 낙동강유역의 emergy 투자비는 17.50의 값으로서 공업화가 집중되어 환경압박이 큰 지역임을 알 수 있다.

1.3.5 1인당 *Emergy* 사용량

낙동강유역 주민들의 실질적인 풍요와 안녕에 대한 지표로서 생활수준을 나타내는 1인당 연간 *emergy* 사용량은 Table 4.3과 같이 $2.15E+16$ sej/yr/cap.로서 한국의 72% 정도 수준으로 낙동강유역의 주민들의 실질적인 풍요와 안녕의 정도는 열악함을 입증하고 있다. 경제적 복지수준을 의미하는 1인당 소득과 비교하여, 경제 활동에서 기인한 화석연료, 재화와 용역의 사용량뿐만 아니라 자연환경으로부터 기인한 에너지원의 사용량을 포함하는 1인당 *emergy* 사용량은 보다 더 실질적인 복지수준을 의미한다.

1.3.6 인구수용력

현재의 *emergy* 소비수준을 유지하면서 자연환경 자원에만 의존할 경우 낙동강유역의 인구수용 능력은 Table 4.3과 같이 22.7만명으로 현재 인구의 4% 정도밖에 수용할 수 없으며, 선진국 형으로 자연환경 자원의 약 7배의 *emergy*가 유입될 경우에는 약 27% 정도밖에 수용할 수 없으므로 현재의 낙동강유역의 인구수용 능력은 이미 포화상태를 넘어섰음을 알 수 있다. 따라서 낙동강유역의 인구수용력은 상수원수, 공업·농업용수로 이용되는 낙동강의 하천 유입량에 크게 영향을 받는 것으로 평가되었다.

1.3.7 단위 면적당 *Emergy* 사용량

단위 면적당 *emergy* 사용량은 Table 4.3에서와 같이 낙동강유역 전체의 경우 $6.63E+12$ sej/ m^2 /yr로 한국 전체의 약 1/2배 가량 낮은 *emergy* 사용량을 나타내고 있었다. 이는 한정된 수자원을 이용하기 위하여 경제적인 재화와 용역이 과다하게 투자되어 *emergy* 투자비는 높지만 개발되지 않은 산림 및 녹지지역이 한국 전체의 평균적인 수준에 비하여 비교적 많이 분포되어 있음을 뜻한다.

1.3.8 환경 부하율

낙동강유역의 환경 부하율은 Table 4.3과 같이 30.82의 값으로 다소 높은 값을 보이고 있었다. Table 4.4에 있는 과거 1996년도 낙동강유역 분석결과와 다른 지역과 비교해 보면 1996년 낙동강유역은 28.52, 미시시피 강 유역은 17.65로서 비교적 높은 환경 부하율을 나타내고 있으며 브라질의 아마존 강 유역은 0.20로 매우 낮은 환경부하율을 나타내고 있다.

Brown and Ulgiati(1997)에 의하면, 환경부하율이 3보다 적을 경우에는 환경적 영향이 적은 시스템으로 평가하고 있으며, 반면 10 이상의 값을 나타낼 경우에는 상대적으로 환경에 대한 영향이 큰 시스템으로 평가하고 있고, 3과 10 사이에서는 환경에 대한 영향이 온건한 것으로 파악하고 있다. 낙동강의 경우 상대적으로 자연환경 활동에 비해 화석연료를 비롯한 비영속성 energy가 많이 투입되어, 환경부하율이 높고, 자연환경에 대한 압박이 큰 시스템으로 평가되었다.

1.3.9 지속성 지수

낙동강유역의 지속성 지수는 Table 4.3과 같이 0.03의 값을 나타내고 있었으며, 다른 지역과 비교해 보면 Table 4.4와 같이 과거 1996년도 낙동강유역은 0.04, 미시시피 강 유역은 0.14로서 비교적 낮으며 자연환경이 풍부한 브라질의 아마존 강 유역은 60.20으로 매우 높은 지속성 지수를 나타내고 있었다. 낙동강유역의 경우 도시화, 공업화되면서 지속성 지수 또한 점차 낮아지는 것으로 평가되었다.

낙동강유역은 경제 활동의 측면에서는 교역과 교환을 통한 비영속성 에너지원의 투입이 낙동강유역의 부를 유지하고 있으나, 장기적인 측면 즉, 자연활동을 포괄하는 시스템 생태학의 관점에서 보면 지속성 지수가 0.03으로 나타나 지역의 지속적인 발전 가능성이 다소 낮은 시스템으로 평가되었다.

따라서 낙동강유역의 경우 수년간 산업화와 도시화가 되면서 환경부하가 높아지고

지속성지수가 떨어진 것으로 평가되었다. 유역내 대규모의 공장들이 입지해 있고 대도시가 집약적으로 형성되어 있어 유역으로부터 오염부하가 다량 발생되고 있는 실정이다. 사전 오염예방책으로 도입한 총량관리제가 성공적으로 정착하기 위해서는 오염부하 발생의 근원부터 제어해야만 한다. 즉 유역의 발생원을 줄이기 위해서는 낙동강 유역내 지속적으로 증가하는 개발계획과 대규모의 산업단지 조성을 억제시키고 기존의 산업구조를 재편성하는 등 많은 노력을 도모하여야 한다.

또한 오염물질 발생 후 사후저감대책 중심으로 계획된 총량관리계획은 낙동강유역의 산업구조 재편성과 같은 오염원 저감부터 계획되는 총량관리제도의 기본개념에 맞게 재설계 되어야 한다.

1.3.10 낙동강의 수자원에 대한 가치평가

낙동강 본류수인 하천 유지용수를 양질의 수자원으로 보호하기 위해서는 유역내에서 발생하는 하·폐수 배출유량을 줄여야 하며 상수원수로 이용이 되고 있는 하류 물금지역의 목표수질인 BOD 3.0 mg/L 이내로 유지하기 위해 많은 노력을 하고 있다. 또한 유역내 오염부하가 높아 원수의 가치가 하락되어 있으며 처리 비용이 하류지역으로 갈수록 증가되어 있음을 알 수 있다. 낙동강 수질개선을 위해서는 각종 오염원에서 배출되는 오염물질인 영양염과 유기물을 하천이 수용할 수 있는 수준까지 삭감시켜야 한다.

생활용수로 이용이 되는 상수의 가치를 평가하기 위해 자연환경자원의 상수원수와 상수생산과정에 투입된 관리비 등을 경제성 분석을 통해 생산된 수돗물이 가지는 실질적인 가치를 Table 4.5와 같이 평가하였다(Appendix 8).

상수원수와 처리를 통해 생산된 수돗물은 emergy 분석을 통해 실질적인 가치를 평가하였다. 상류·중류·하류유역의 수자원으로부터 생산된 상수의 가치는 $1.02\text{E}+12$ sej/ m^3 이며 상수원수인 하천수가 내재된 자연환경자원의 가치를 단위체적(m^3)당 emergy로 나타내면 상류는 $4.01\text{E}+11$ sej/ m^3 , 중류는 $3.99\text{E}+11$ sej/ m^3 , 하류는

3.97E+11 sej/m³으로 하류로 갈수록 자원으로서의 가치는 저하되는 것으로 평가되었다. 하천수가 가지는 실질적인 가치평가를 살펴보면 상류는 190.86Emwon/m³, 중류는 190.09Emwon/m³, 하류는 188.93Emwon/m³으로 산정되어 하류로 갈수록 낮게 평가되었다. 하지만 수자원으로부터 생산된 수돗물의 실질적인 가치는 487.97Emwon/m³으로 평가되었다.

수돗물의 Transformity는 207,438 sej/m³(김, 2000)이며 하천수의 Transformity는 81,300 sej/m³으로 수돗물을 생성하기 위해 소모된 에너지가 하천수보다 훨씬 많이 소모되었다는 의미이며 이는 하천수를 처리하여 상수를 생산하는데 그만큼 많은 비용이 소요되었음을 보여준다. 이는 동일한 상수생산에 대한 수질악화와 경제적 비용이 하류로 갈수록 증가하여 자원으로서의 가치를 저하시켜 처리비용을 증가시키는 것으로 평가되었다.

상수를 생산하는 과정과 관련하여 상류의 댐 관리비, 상수처리비 등과 같은 경제활동에 소모된 비용을 단위체적(m³)당으로 경제성 분석한 결과 Table 4.6과 같다(Appendix 9). 상류지역은 537.91₩/m³, 중류지역은 552.78₩/m³, 하류지역은 563.90₩/m³이며 하류로 갈수록 처리비용이 증가되는 것으로 평가되었다. 특히 낙동강유역에서는 영남 주민의 약 80%가 낙동강 본류수를 직접 취수하여 생·공용수로 이용되고 또한 하·폐수로 회귀되는 실정이다. 따라서 낙동강수계 내에서의 상·중류의 하·폐수 처리는 하류의 상수원 수질개선을 위한 노력으로 파악되었다. 유역별 상수생산과정에 대하여 경제성 분석을 수행한 결과를 정리하면, 낙동강의 경우 처리된 상수 1m³을 생산하는데 하류로 갈수록 상수원수가 가지는 생태·경제적 가치는 다소 낮아지고 처리비용이 증가하는 시스템적 특징을 가지고 있는 것으로 평가되었다.

Table 4.5. Emergy analysis of treated water and river water in each basin

Note	Item	Raw units (J/ m ³)		Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/ m ³)	Emwon (₩/ m ³)
Treated water						
1	Treated water	4.94E+06	J	207438	1.02E+12	487.97
River water						
2	Raw water of upper basin	4.93E+06	J	81300	4.01E+11	190.86
3	Raw water of middle basin	4.91E+06	J	81300	3.99E+11	190.09
4	Raw water of lower basin	4.88E+06	J	81300	3.97E+11	188.93

Table 4.6. Economic analysis of water resources in each basin

Note	Item	Cost		
	Upper basin :			
1	Raw water	190.86	₩	(Table 4.5)
2	Cost of upper dam management	7.90	₩	
3	Cost of upper water treatment	339.14	₩	
	Sum	537.91	₩	
	Middle basin :			
4	Raw water	190.09	₩	(Table 4.5)
5	Cost of upper dam management	7.90	₩	
6	Cost of upper waste treatment	0.80	₩	
7	Cost of middle dam management	0.36	₩	
8	Cost of middle water treatment	353.62	₩	
	Sum	552.78	₩	
	Lower basin :			
9	Raw water	188.93	₩	(Table 4.5)
10	Cost of upper dam management	7.90	₩	
11	Cost of upper waste treatment	0.80	₩	
12	Cost of middle dam management	0.36	₩	
13	Cost of middle waste treatment	2.66	₩	
14	Cost of lower dam management	0.41	₩	
15	Cost of lower water treatment	362.83	₩	
	Sum	563.90	₩	

2. 총량관리계획에 대한 환경회계

2.1 총량관리계획 도입 이전의 *emergy* 분석

2.1.1 에너지 시스템 다이어그램

총량관리계획 도입 이전에 물금지점 수질 목표는 II급수(3.0mg/L)로 개선하는 것이다. 그간의 수질정책으로 정부에서는 낙동강의 수질관리를 위해 많은 노력을 기울여 왔으나 개선효과가 높지 않았으며 개선효과를 얻기 위해 대부분이 점오염원을 저감시키는 환경기초시설 확충에 치중해 왔다.

낙동강의 경우 하천 유입수량이 급격히 줄어드는 갈수기에 수질이 악화되고 있는 실정이며 특히 하류지역이 상수원으로 이용되기 때문에 수질이 악화되는 것에 대한 민감도가 높은 상태였다.

본 연구에서 총량관리계획 도입 이전의 저감시설에 대한 다이어그램은 Fig. 4.5와 같다. 점오염원의 저감시설인 하수처리시설을 시스템 대상으로 설정한 후 유입원으로는 유역내에서 발생하는 점오염원과 이를 저감하기 위한 노력으로 정부에서는 시설공사 및 유지관리비를 투자하고 있으며 하천수의 경우 하류지역인 물금지점에서 식수원으로 이용되고 있다.

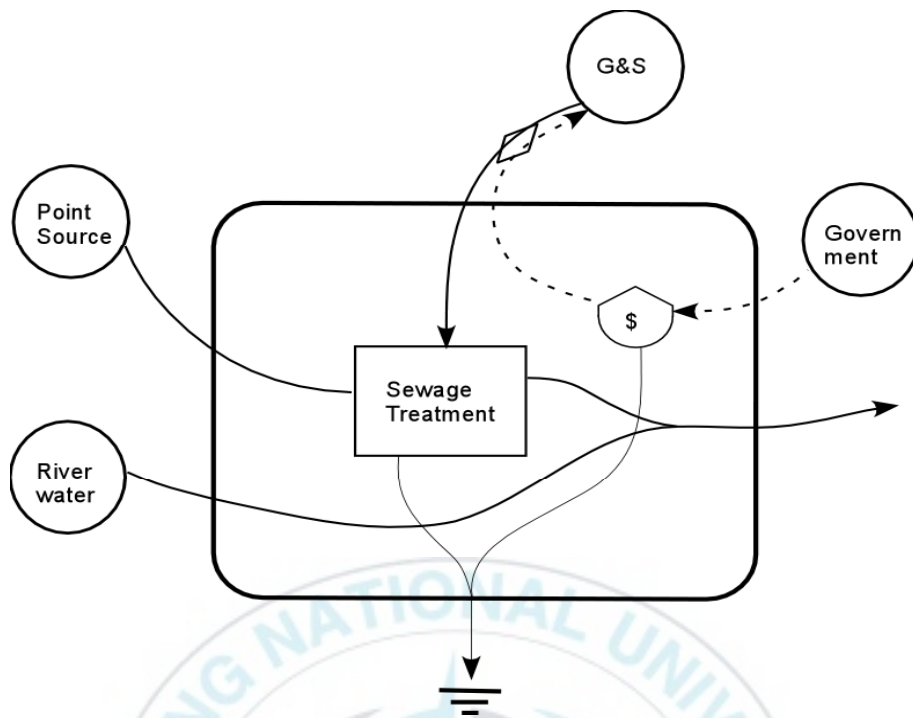


Fig. 4.5. Energy diagram of point sources treatment system before Total Maximum Daily Load(TMDL) Program.

2.1.2 Emergy 분석결과

낙동강수계의 오염총량관리계획 수립 전의 emergy 분석결과는 Table 4.6과 같다.

먼저, 오염총량관리계획 수립이전의 2005년까지 4조 2,472억원을 투자하여 낙동강하류 물금지점의 수질 II급수를 달성하려는 노력을 하였다. 오염총량관리계획 수립 이전의 emergy를 분석한 결과는 Table 4.7과 같다(Appendix 10).

Table 4.6은 점오염원의 저감시설 중 하수처리시설을 대상으로 하루 1m³을 처리를 기초로(Appendix 6) 총량관리 도입 이전의 전체 처리시설용량 2.38E+06 m³/day를 고려하여 산정하였다.

오염총량관리계획 수립 이전 수질개선 노력으로 2005년까지 낙동강유역내의 기존 환경기초시설 현황을 파악한 후 시설투자비와 유지관리비를 산정하였다. 점오염원을 처리하는 환경기초시설 현황 중 90%이상이 하수종말처리시설로 파악되었다.

오염총량관리계획 수립 이전의 물금지역 하천수질 4.1mg/L의 emergy값은 9.7118 E+20 sej/yr로 산정되었다. 시설공사에 투자된 원자재 및 시설비는 4.80E+20 sej/yr이며 이중 기타 공사비가 3.12E+20 sej/yr로 가장 높게 산정되었다. 유지관리비는 총 1.70E+20 sej/yr로 전력사용량이 6.05E+19 sej/yr로 가장 높게 산정되었다.

낙동강수계의 수질개선 노력은 각 지역에서 저감시설 투자계획을 수립하였고 각 지역별, 처리공법별로 아주 다양하였다. 이중 환경기초시설 계획에 따른 정보를 이용하여 저감시설의 시설공사에 관한 자료 및 공사비, 향후 유지관리비 등을 산정하여 평가하였다.

Table 4.7. Emergy analysis of point sources treatment system before Total Maximum Daily Load(TMDL) Program

Note	Item	Raw units (J,g,₩/yr)		Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/yr)	Emwon (₩/yr)
1	Water quality improvement	1.195E+16		81300	9.7118E+20	4.625E+11
<i>FACILITY INVESTMENT</i>						
Treatment plant for the point sources						
2	Electricity	1.04E+14	J	2.91E+05	3.03E+19	1.44E+10
3	Oil	4.27E+14	J	9.07E+04	3.87E+19	1.84E+10
4	Concrete	9.34E+10	g	7.34E+08	6.86E+19	3.26E+10
5	Iron	1.16E+10	g	2.65E+09	3.07E+19	1.46E+10
6	Cost of construction	1.49E+11	₩	2.10E+09	3.12E+20	1.49E+11
	Sum				4.80E+20	2.29E+11
<i>MANAGEMENT</i>						
Treatment plant for the point sources						
7	Chemicals	7.84E+09	g	2.65E+09	2.08E+19	9.9E+09
8	Electricity	2.08E+14	J	2.91E+05	6.05E+19	2.88E+10
9	Oil	1.64E+14	J	9.07E+04	1.49E+19	7.09E+09
10	Sludge disposal	1.75E+10	₩	2.10E+09	3.67E+19	1.75E+10
11	Labor	1.08E+10	₩	2.10E+09	2.26E+19	1.08E+10
12	Management	6.95E+09	₩	2.10E+09	1.46E+19	6.95E+09
	Sum				1.70E+20	8.10E+10

2.2 총량관리계획 수립 이후의 *emergy* 분석

2.2.1 에너지 시스템 다이어그램

오염총량관리제도는 수질관리정책의 일환으로 지역의 환경관리정책 및 개발정책과 연계되어 지역 오염부하 관리목표 및 오염원별 할당·관리과정에 지역특성을 반영한 합리적인 지역 내 오염원관리 정책으로 실행되고 있다.

총량관리제도의 시행에 따라 지역적 오염관리 정책과 시행에 미치는 영향을 점오염원과 비점오염원으로 구분하여 분석하고자 한다.

행정구역별로는 상주시, 안동시, 김천시, 경산시, 대구광역시, 영천군, 군위군, 청도군, 의성군, 성주군, 칠곡군, 고령군, 부산광역시, 김해시, 진주시, 창녕군, 거창군, 고성군으로 18개 시·군이며 단위유역별로는 병성A, 위천B, 금호B, 금호C, 낙본F, 낙본G, 낙본N, 황강A, 남강D 단위유역으로 9개 단위유역이다.

낙동강수계는 상수원수로 이용되는 하천으로 하류지역의 물금 취수원(낙본F)의 목표수질인 BOD 3.0mg/L를 달성하기 위하여 오염총량관리계획 수립 이후 점오염원과 비점오염원의 저감시설에 따른 다이어그램은 Fig. 4.6과 같다.

오염총량관리 수립 이후의 경우 점오염원은 하수처리시설을 통해 삭감을 하고 비점오염원 제거를 위해서는 인공습지나 저류형 습지와 같은 시설을 조성하여 제거하고자 하였다. 또한 2차 처리된 하수처리시설에서의 방류수를 질소와 인제거를 위한 고비용이 고도처리시설을 설치할 경우 정부의 지원이 과대하게 필요하며 인공습지를 이용할 경우 저비용의 저감효과를 기대할 수 있다.

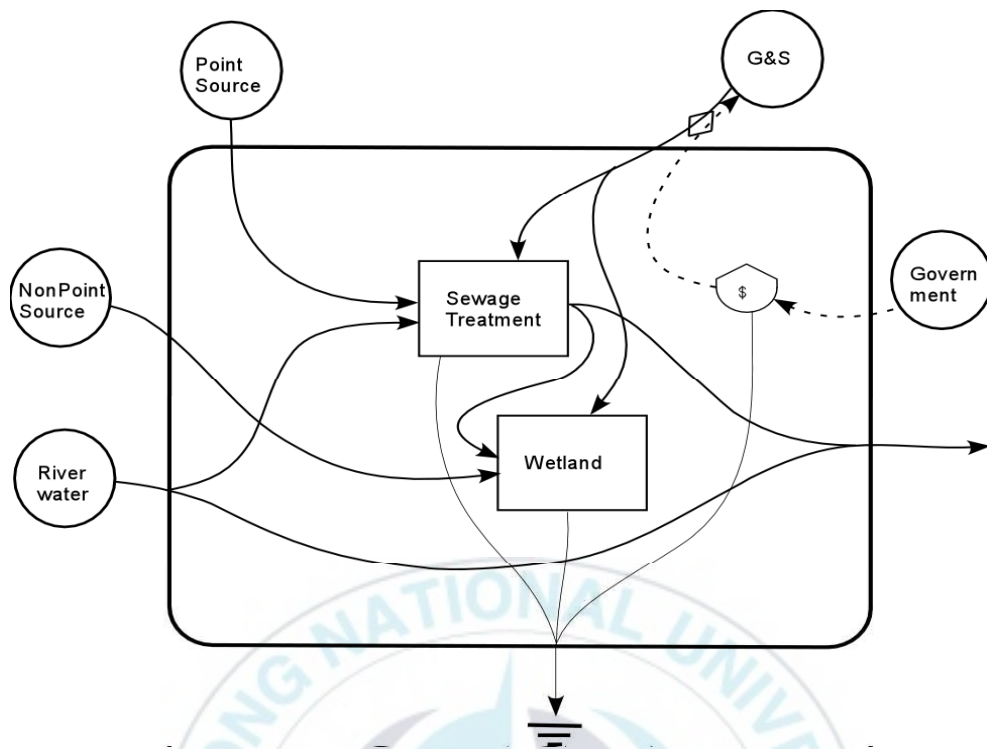


Fig. 4.6. Energy diagram of point and non-point sources treatment system after Total Maximum Daily Load(TMDL) Program.

2.2.2 Emergy 분석결과

제1차 오염총량관리제 적용기간인 2004년부터 2010년까지 낙동강하류의 물금지점 목표수질을 달성하기 위한 수질개선 노력은 현재 각 단위유역별·행정구역별로 오염총량관리 시행계획에서 제시된 계획대로 추진 중에 있다. 또한 목표수질 달성여부를 판단하는 시행계획 이행평가의 절차가 현재 진행 중에 있다. 낙동강유역의 오염총량관리 시행계획 수립시 제시된 저감시설은 95%이상이 환경기초시설 확충계획이며 그 외 비점오염원을 저감시키기 위한 노력으로 자연형 하천정화사업과 저류지 조성이 계획되어져 있다.

현재 광역시·도에서 실시한 기준년도 2004년부터 최종년도인 2010년까지 낙동강유역내의 신설 환경기초시설 현황을 파악한 후 시설용량에 대한 공사시 사용되는 원자재 및 유지관리비를 산정하였다. 수질개선 노력으로 투자된 비용은 총 $1.05\text{E}+12$ won이다. 이는 물금지점인 낙본K지역 이후의 단위유역 및 행정구역은 제외하였다. 환경기초시설의 사용년수는 20년으로 산정하였다. 20년을 고려한 제1차 오염총량관리계획에서 제시한 저감시설의 연간 투자계획을 살펴보면 $5.25\text{E}+10$ won으로 산정되었다.

오염총량관리계획 수립 이후 점오염원과 비점오염원에 대한 저감시설의 시설투자비와 유지관리비에 대하여 emergy 분석표를 살펴보면 Table 4.8과 같다(Appendix 11).

Table 4.8은 점오염원의 저감시설 중 하수처리시설을 대상으로 하루 1 m^3 을 처리를 기초로(Appendix 6) 총량관리 도입 이후의 전체 처리시설용량 $2.66\text{E}+06\text{ m}^3$ 를 고려하여 산정하였다. 오염총량관리계획 수립 이후의 물금지역 하천수질 3.0mg/L 의 emergy 값은 $9.7224\text{E}+20\text{ sej/yr}$ 로 산정되었다. 시설공사에 투자된 원자재 및 시설비는 총 $6.00\text{E}+20\text{ sej/yr}$ 이고 점오염원 저감시설은 $5.08\text{E}+20\text{ sej/yr}$ 이며 이 중 시설공사비용이 $3.20\text{E}+20\text{ sej/yr}$ 로 가장 많이 사용되었다. 반면 비점오염원 저감시설에 대한 투자계획은 $9.22\text{E}+19\text{ sej/yr}$ 로 산정되었다. 유지관리에 따른 총 emergy 값은 $1.90\text{E}+20\text{ sej/yr}$ 로 산정되었으며 이 중 전력사용량이 $6.77\text{E}+19\text{ sej/yr}$ 로 가장 크게 산정되었다. 하지만 시설공사비가 많이 투자되고 향후 유지보수를 위한 관리가 많이 투자되는 환경기

초시설 설치는 재정적인 부담이 큰 것으로 사료된다.

Table 4.8. Emergy analysis of point and non-point sources treatment system after Total Maximum Daily Load(TMDL) Program

Note	Item	Raw units (J,g,₩/yr)	Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/yr)	Emwon (₩/yr)
1	Water quality improvement	1.196E+16	81300	9.7224E+20	4.630E+11
FACILITY INVESTMENT					
Treatment plant for the point sources					
2	Electricity	1.17E+14 J	2.91E+05	3.39E+19	1.62E+10
3	Oil	4.77E+14 J	9.07E+04	4.33E+19	2.06E+10
4	Concrete	1.04E+11 g	7.34E+08	7.67E+19	3.65E+10
5	Iron	1.30E+10 g	2.65E+09	3.43E+19	1.64E+10
6	Cost of construction	1.52E+11 ₩	2.10E+09	3.20E+20	1.52E+11
Treatment plant for the non point sources					
7	Wetland	4.40E+10 ₩	2.10E+09	9.24E+19	4.40E+10
	Sum			6.01E+20	2.86E+11
MANAGEMENT					
Treatment plant for the point sources					
8	Chemicals	8.77E+09 g	2.65E+09	2.33E+19	1.11E+10
9	Electricity	2.33E+14 J	2.91E+05	6.77E+19	3.22E+10
10	Oil	1.84E+14 J	9.07E+04	1.67E+19	7.93E+09
11	Sludge disposal	1.95E+10 ₩	2.10E+09	4.10E+19	1.95E+10
12	Labor	1.20E+10 ₩	2.10E+09	2.53E+19	1.20E+10
13	Management	7.77E+09 ₩	2.10E+09	1.63E+19	7.77E+09
	Sum			1.90E+20	9.06E+10

2.3 환경회계

저감체계를 구축하여 하천 및 상수원의 수질개선을 위한 노력으로는 유역내 발생부하량 저감과 오염총량관리계획으로의 총량관리가 절실히 필요하다. 이에 따른 저감대책으로는 환경기초시설 확충, 지역별 수질환경기준 설정 등 오염총량관리계획 실시에 따른 자치단체에 대한 재정적, 행정적 지원방안이 강구되어야 하므로 경제적인 비용 부담이 클 것이다.

낙동강의 상류에서부터 하류까지 저감시설의 투자계획에 따른 생태·경제적인 가치평가의 환경비용/편익 분석표는 Table 4.9와 Table 4.10과 같다.

오염총량관리계획 수립 전의 경우 Table 4.9와 같다. 낙동강하류 물금지점의 수질은 4.1mg/L이며 이에 대한 편익은 연간 4.625E+11 won이다. 수질개선 노력의 저감시설 투자비에 따른 환경비용은 연간 3.098E+11 won이며 오염총량관리계획 수립전의 환경비용/편익분석 결과 연간 1.527E+11 won의 편익으로 평가되었다. 오염총량관리계획 수립 이후 기본계획에 따른 시행계획을 기초하여 저감시설에 대한 환경비용/편익분석을 살펴보면 향후 제1차 오염총량관리계획 최종년도인 2010년까지 낙동강하류 물금지역의 낙동K지점 목표수질인 3.0mg/L에 대한 편익은 연간 4.630E+11 won이며 저감시설 투자비에 따른 환경비용은 연간 3.765E+11 won으로 수립 전보다 저감시설 투자계획이 추가되어 높게 산정되었다.

총량규제 이전의 환경비용은 연간 약 3,098억원이었으며 이 때 수자원의 실질적 가치는 연간 약 4,625억원으로 편익/비용의 비는 1.494로 산정되었다. 총량규제계획 이후 환경비용은 Table 4.10과 같으며 연간 약 3,765억원의 비용으로 평가되었다. 이 때 수자원의 실질적 가치는 연간 약 4,630억원으로 편익/비용의 비는 1.230로 다소 낮아진 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 BOD 4.1mg/L에서 3.0mg/L으로 수질개선이 이루어질 경우 동일한 유량하에서 emergy 분석한 결과 연간 약 5억원의 생태·경제적인 가치가 증가되는 것으로 평가되었다.

수질개선을 위한 새로운 정책인 오염총량관리제를 도입한 후에 적게나마 오염총량

관리계획의 도입 이전보다 편익이 발생하였다. 그러나 오염총량관리계획 도입 이후 계획되거나 설치된 저감시설을 살펴보면 점오염원에 치중되어 고비용의 저감시설에 의존하고 있음을 알 수 있다. 따라서 향후 증가하는 오염부하를 줄이기 위해서는 점오염원의 저감계획보다는 비점오염원을 제거하는 저감시설에 더 많은 노력을 하여야 할 것이다. 향후 제2차 오염총량관리계획의 대상물질은 BOD와 TP로 유기물은 물론 영양염까지 목표수질을 설정한 후 달성하는데 노력을 기울여야 한다.

Table 4.9. Environmental accounting of the Nakdong river basin before Total Maximum Daily Loads(TMDL) program

No.	Item	Environmental cost (Emwon/yr)	Environmental benefit (Emwon/yr)
1	Water quality improvement		4.625 E+11
2	Facility investment	2.288 E+11	
3	Management	8.099 E+10	
	Subtotal	3.098 E+11	4.625 E+11
	Cost-Benefit		1.527 E+11
	Benefit/Cost		1.493

Table 4.10. Environmental accounting of the Nakdong river basin after Total Maximum Daily Loads(TMDL) program

No.	Item	Environmental cost (Emwon/yr)	Environmental benefit (Emwon/yr)
1	Water quality improvement		4.630 E+11
2	Facility investment	2.859 E+11	
3	Management	9.058 E+10	
	Subtotal	3.765 E+11	4.630 E+11
	Cost-Benefit		8.650 E+10
	Benefit/Cost		1.230

3. 총량관리계획에 대한 개선방안

3.1 유역내 발생원 저감을 위한 개선방안

총량관리계획에 따른 삭감계획은 Table 2.7과 같이 발생원 저감방안보다는 발생 후 사후처리계획으로 일관되어 있다. 발생원 저감방안을 제안하기 위하여 낙동강 유역 전체의 emergy 분석 결과는 Table 4.4와 같다.

낙동강유역은 급속한 도시화와 산업화가 지속적으로 증가되어 emergy 생산비 1.06, emergy 투자비 17.50, 환경부하비 30.82, 지속성 지수 0.03으로 비교적 공업화가 집중되어 환경압박이 큰 지역이며 지속성이 낮은 시스템으로 평가되었다.

따라서 유역의 발생원 저감을 위해서 유역내 산업구조를 재편성하거나 환경 친화적인 산업 및 도시화로 재편성되어야 하며 총량관리제도의 기본개념에 맞게 재설계되어야만 한다.

3.2 질소·인 제거를 위한 저감방안

3.2.1 고도처리시설을 이용한 질소·인 제거

점오염원 저감시설계획 중 투자비용이 가장 큰 것은 하수종말처리시설에 의한 삭감 계획이다.

본 연구에서는 삭감계획 중 고도처리시설의 확충으로 질소와 인을 제거하기 위한 2차 처리시설의 하수처리장을 선정하여 고도처리시설을 확충할 계획인 하동 하수처리시설을 분석대상으로 하였으며 다이어그램은 Fig. 4.7과 같다.

질소와 인을 제거하기 위한 고도처리시설의 건설은 유입수로는 2차 처리된 하수이며 공사시에는 콘크리트, 철, 기타 공사비의 유입으로 설정하였다. 고도처리시설의 준공시 운영 및 유지관리 하는데 소요되는 전력, 질소와 인을 제거하는데 소비되는 화

화약품, 기타 유지관리비로 설정하였다. 고도처리를 위한 화약품 소비는 슬러지를 증가시키고 증가된 슬러지는 슬러지 처분비를 증가시켰다.

고도처리 공법과 하수 및 지역적 특수성을 고려하여 선정하여야 하지만 본 연구에서는 하동 하수종말처리시설 2차 처리수의 질소와 인을 제거하기 위한 고도처리시설을 분석대상으로 하였다. 고도처리시설의 계획유량 $6,000 \text{ m}^3/\text{일}$ 내 질소와 인의 1 kg 을 제거하는데 소요된 공사비 및 유지관리는 각각 Table 4.11과 Table 4.12와 같다 (Appendix 12, 13).

질소 1 kg 을 제거하는데 필요한 시설 투자비의 emergy 값은 $2.08\text{E}+14 \text{ sej}$ 이며 유지관리비의 emergy 값은 $2.06\text{E}+14 \text{ sej}$ 이며, 인 1 kg 을 제거하는데 필요한 시설 투자비의 emergy 값은 $2.74\text{E}+15 \text{ sej}$ 이며 유지관리비의 emergy 값은 $2.28\text{E}+15 \text{ sej}$ 이며 공사비와 유지관리비 모두 전량사용량이 가장 많이 소요되는 것으로 산정되었다.

또한 하동 하수처리장의 고도처리시설 확충은 토지매입비 등 기존의 시설을 개량하므로 비용이 다소 적게 소요된 것으로 평가되었다. 그러나 고도처리시설의 경우 외부로부터 유입되는 구매자원에 100% 의존하는 것으로 평가되었다.

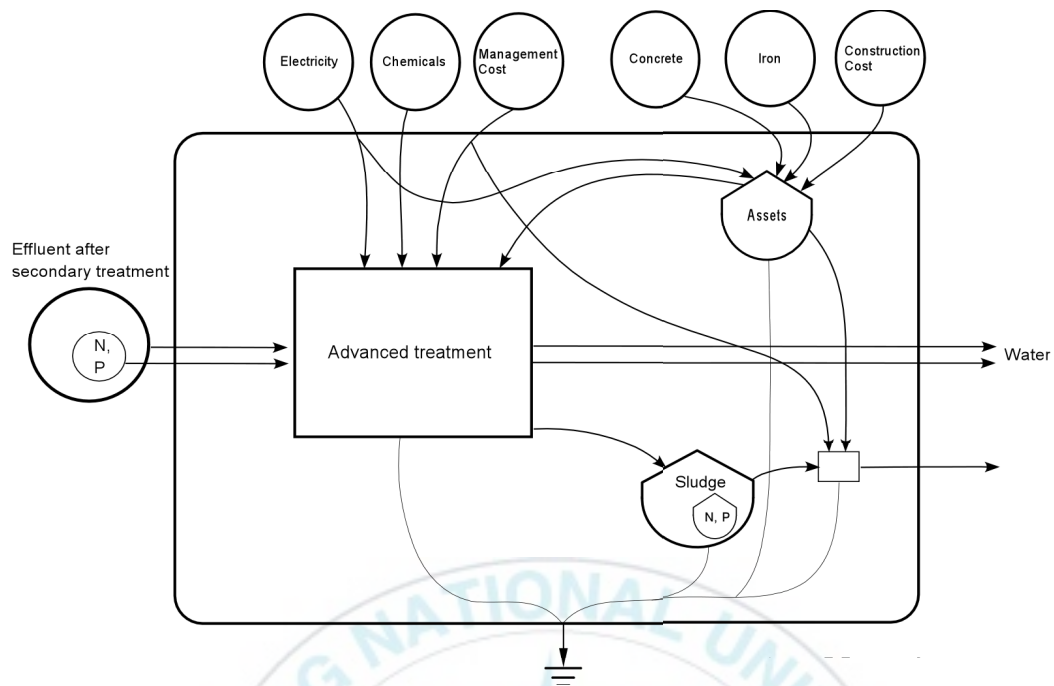


Fig. 4.7. Energy diagram of advanced treatment system.

Table 4.11. Emergy analysis of advanced treatment for the 1 kg of N reduction

Note	Item	Raw units (J, ₩/kg-N)		Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/kg-N)	Emwon (₩/kg-N)
FACILITY INVESTMENT						
1	Electricity	5.77E+08	J	2.91E+05	1.68E+14	79,903
2	Concrete	5,947	g	7.34E+08	4.37E+12	2,079
3	Iron	8.88	g	2.65E+09	2.35E+10	11
4	Cost of construction	17,169	₩	2.10E+09	3.61E+13	17,169
	Sum				2.08E+14	99,162
MANAGEMENT						
5	Chemicals	0.56	g	2.65E+09	1.49E+09	1
6	Electricity	4.67E+08	J	2.91E+05	1.36E+14	64,647
7	Sludge disposal	1,111	₩	2.10E+09	2.33E+12	1,111
8	Management	32,545	₩	2.10E+09	6.83E+13	32,545
	Sum				2.06E+14	98,304

Table 4.12. Emergy analysis of advanced treatment for the 1 kg of P reduction

Note	Item	Raw units (J, ₩/kg-P)		Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/kg-P)	Emwon (₩/kg-P)
FACILITY INVESTMENT						
1	Electricity	6.37E+09	J	2.91E+05	1.85E+15	882,941
2	Concrete	657,142	g	7.34E+08	4.82E+14	229,687
3	Iron	98.08	g	2.65E+09	2.60E+11	124
4	Cost of construction	189,721	₩	2.10E+09	3.98E+14	189,721
	Sum				2.74E+15	1,302,473
MANAGEMENT						
5	Chemicals	6.21	g	2.65E+09	1.64E+10	8
6	Electricity	5.16E+09	J	2.91E+05	1.50E+15	714,354
7	Sludge disposal	12,274	₩	2.10E+09	2.58E+13	12,274
8	Management	359,630	₩	2.10E+09	7.55E+14	359,630
	Sum				2.28E+15	1,086,266

3.2.2 인공습지를 이용한 질소·인 제거

낙동강수계의 오염원 저감시설로 비점오염원 제거보다는 점오염원 저감을 위한 노력을 많이 해왔다. 습지는 상류로부터 유입되는 물 때문에 자연적으로 영양염과 탁도 그리고 병원성 미생물을 걸러주는 여과지 역할을 한다. 또한 2차 처리된 유출수가 유입될 경우 습지가 자연적인 수처리 기능을 제공하고 있어 수초나 토탄과 같은 유용한 생산물의 성장이 촉진될 뿐만 아니라 수십억원의 기술적인 처리비용까지 절약된다.

본 연구에서의 인공습지는 자연환경자원과 내부에너지원의 상호작용 및 인공습지 구성에 따른 재화와 용역을 고려한 다이어그램으로 Fig. 4.8과 같다.

시스템 내부는 갈대식재, 수초식재 등으로 구성되어 있으며 외부로부터는 자연환경 자원과 2차 처리된 하수가 유입되고 있다. 물론 토지매입비나 조성비가 소요되지만 장기적으로 볼 때 하수처리시설에 의한 고도처리시설보다 훨씬 비용이 싸면서 동일한 가치를 가질 수 있게 조성하고자 한다. 인공습지 구성에 의한 2차 처리된 유출수의 계획유량 $6,000\text{m}^3/\text{일}$ 은 하동 하수처리시설의 고도처리 계획유량과 동일하다.

본 연구는 고도처리를 계획한 하동 하수종말처리시설의 처리 조건을 동일하게 하고 하수내 질소와 인 1 kg 을 제거하는데 필요한 면적을 계산하였다.

질소와 인 1 kg 을 제거하는데 조성된 인공습지로 유입되는 자연환경자원과 저장고, 그리고 인공습지 조성을 위한 시설투자비와 유지관리비를 산정한 결과 Table 4.13, Table 4.13과 같다(Appendix 13, 14). 인공습지 구성에 따른 재화와 용역은 토지매입비와 유지관리비 등 모두 포함되었다.

질소와 인은 서로 처리효율이 다르다. 서로 다른 질소와 인 1 kg 을 제거하는데 필요한 재화와 용역은 각각 $2.48\text{E}+14\text{ sej}$, $3.38\text{E}+15\text{ sej}$ 이며 인을 제거하기 위해 조성되는 습지의 emergy 값이 다소 높은 것으로 평가되었다.

이러한 자연환경자원이 풍부한 인공습지의 경우 하수처리시설에서 3차 처리되는 고도처리시설에 비해 재화와 용역이 다소 유입되기는 하지만 자연환경자원에 보다 의존하고 있음을 알 수 있다.

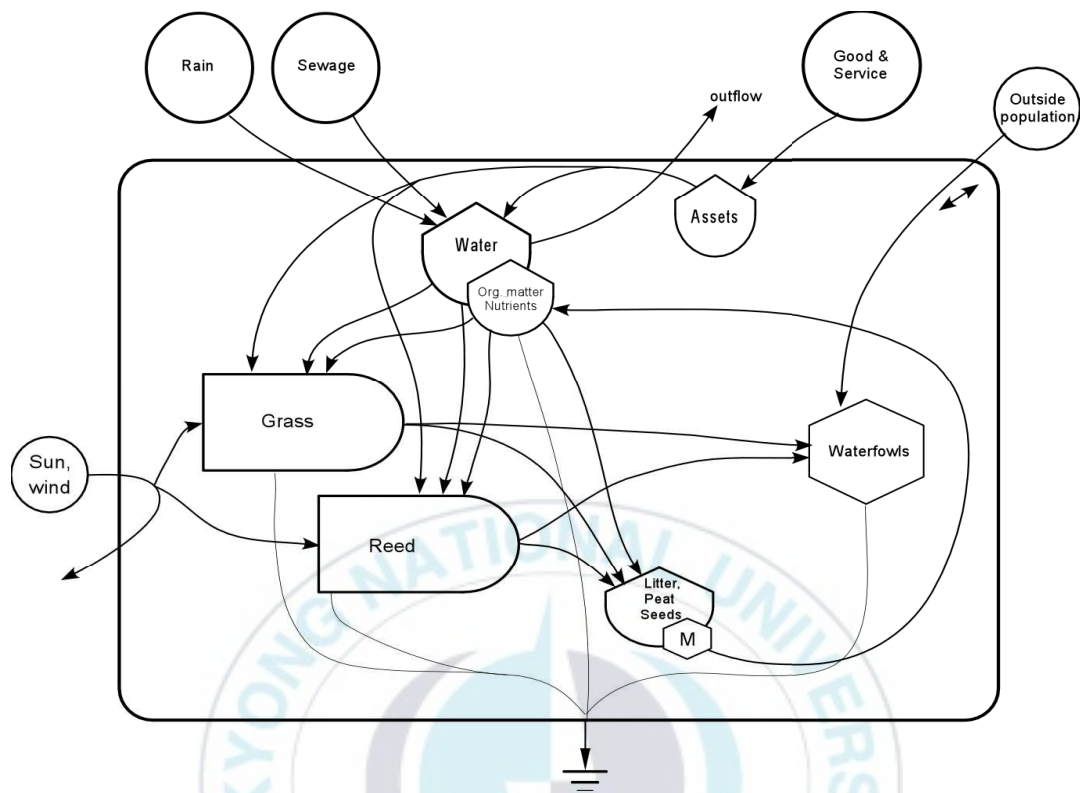


Fig. 4.8. Energy diagram of constructed wetland.

Table 4.13. Emergy analysis of constructed wetland for the 1kg of N reduction

Note	Item	Raw units		Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/kg-N)	Emwon (₩/kg-N)
RENEWABLE SOURCES						
1	Sunlight	1.81E+13	J/yr	1	1.81E+13	8,596
2	Wind	2.13E+11	J/yr	2513	5.36E+14	255,348
3	Rain, chemical	3.0E+14	J/yr	30574	9.16E+18	4.36E+09
PURCHASED INPUT						
4	Goods & Services	117,976	₩/kg	2.10E+09	2.48E+14	117,976

Table 4.14. Emergy analysis of constructed wetland for the 1kg of P reduction

Note	Item	Raw units		Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/kg-P)	Emwon (₩/kg-P)
RENEWABLE SOURCES						
1	Sunlight	2.17E+13	J/yr	1	2.17E+13	10,338
2	Wind	2.57E+11	J/yr	2513	6.45E+14	307,07
3	Rain, chemical	3.60E+14	J/yr	30574	1.10E+19	4.36E+09
PURCHASED INPUT						
4	Goods & Services	1,609,213	₩/kg	2.10E+09	3.38E+15	1,609,213

3.2.3 저감시설에 대한 환경회계

저감시설에 대해 환경회계를 한 결과 Table 4.15와 같다.

질소와 인 1 kg를 제거하기 위해서 고도처리의 경우 각각 197,466원과 2,388,739원이며 인공습지의 경우 각각 117,976원과 1,609,213원으로 인공습지가 다소 저비용의 저감시설로 평가되었다.

향후 질소와 인제거만을 위한 저감시설은 자연환경자원을 이용한 인공습지에 의해 처리하는 것이 생태·경제적 가치가 높은 저감시설로 평가되었다. 대규모 하수처리장 방류수의 질소와 인을 제거하기 위한 고도처리시설과 자연환경자원을 이용한 인공습지에서의 질소와 인을 제거하기 위해 비교검토 할 경우 다소 무리가 있을 수 있으나 소규모의 하수처리장 방류수의 질소와 인을 제거하기 위해서는 고비용의 고도처리시설 확충보다는 저비용의 인공습지를 조성하여 제거하는 것이 바람직한 것으로 평가되었다.

Table 4.15. Cost accounting of reduction facilities for 1kg of N and P reduction

Item	Advanced treatment (Emwon/kg)	Constructed wetland (Emwon/kg)
Cost (N-reduction)	197,466	117,976
Cost (P-reduction)	2,388,739	1,609,213

3.3 비점오염원 제거를 위한 저감방안

3.3.1 저감시설의 현황

오염총량관리계획을 수립한 이후 각 지자체별로 수질개선 효과를 위해 많은 노력을 하고 있으며 수립 이전과 마찬가지로 점오염원에 대한 삭감계획이 95% 이상으로 대부분을 차지하고 있었다. 반면 비점오염원에 대한 저감방안은 5% 이내로 다소 낮았다.

향후 증가하는 오염부하를 고려할 때 점오염원뿐만 아니라 비점오염원에 대한 오염부하의 많은 증가가 예상된다. 따라서 점오염원에 대한 저감시설 신설설치보다는 비용절감 차원 및 홍수조절, 생물 서식처로 제공되는 자연습지를 이용하거나 저류형 습지를 조성하는 등 비점오염원에 대한 저감방안이 절실히 요구된다.

Table 4.16. Investment plan for the reduction facilities of the Nakdong river basin after Total Maximum Daily Loads(TMDL) program

(Unit : million won)			
Reduction facilities	Investment (million won)	The component ratio (%)	Sources
Sewage treatment plant	377,945	35.89	Point sources
Sewer pipe	517,968	49.19	
Swine wastewater treatment plant	63,113	6.00	
Reuse of sewage treatment plant effluent	50,000	4.75	
Sum	1,009,026	95.83	
River purification	14,843	1.41	Non-point sources
constructed wetland	23,178	2.20	
The others	5,900	0.56	
Sum	43,921	4.17	
Total	1,052,947	100	

3.3.2 저류형 습지를 이용한 비점오염원 제거

저류형 습지를 이용하여 비점오염원을 저감하기 위해서는 하천변의 배후습지와 같은 자연습지를 이용하거나 또는 저류형 습지를 조성하여 비점오염원을 제거하여야 한다. 저류형 습지의 경우 생물의 다양성을 고려하여야 하는데 식물보다는 곤충과 새 그리고 다른 동물들의 다양성이 다소 높은 편이다. 이들은 생태계의 서식처 역할을 하면서 비점오염원을 제거해 주는 것이 바로 자연습지이다.

침수식물을 이용한 저류형 습지의 다이어그램은 Fig.4.9와 같다. 외부로부터 유입되는 에너지원은 자연환경자원이 100%이며 본 연구에서는 시스템 내부에 침수식물에 의해 수생태계가 형성되고 토탄과 같은 저장고에서 침전되어 생물의 종다양성, 곤충, 조류의 이동을 고려하여 Table 4.17과 같이 작성되었다.

침전된 토탄과 침수식물의 식물플랑크톤에 의해 수생태계가 형성되며 물새들의 이동으로 생물의 서식처는 물론 홍수 및 가뭄조절을 위한 완충지 역할을 한다. 또한 자연습지는 초기 강우유출수에 의한 비점오염원을 저감시켜 준다.

침수식물들로부터 습지를 조성하면 그 지역의 수분을 유지시키고 수자원을 보전하게 되어 보다 많은 양의 물이 침투되어 지하수를 형성하거나 하류로 흘러가게 되어 유용하게 이용될 것이다.

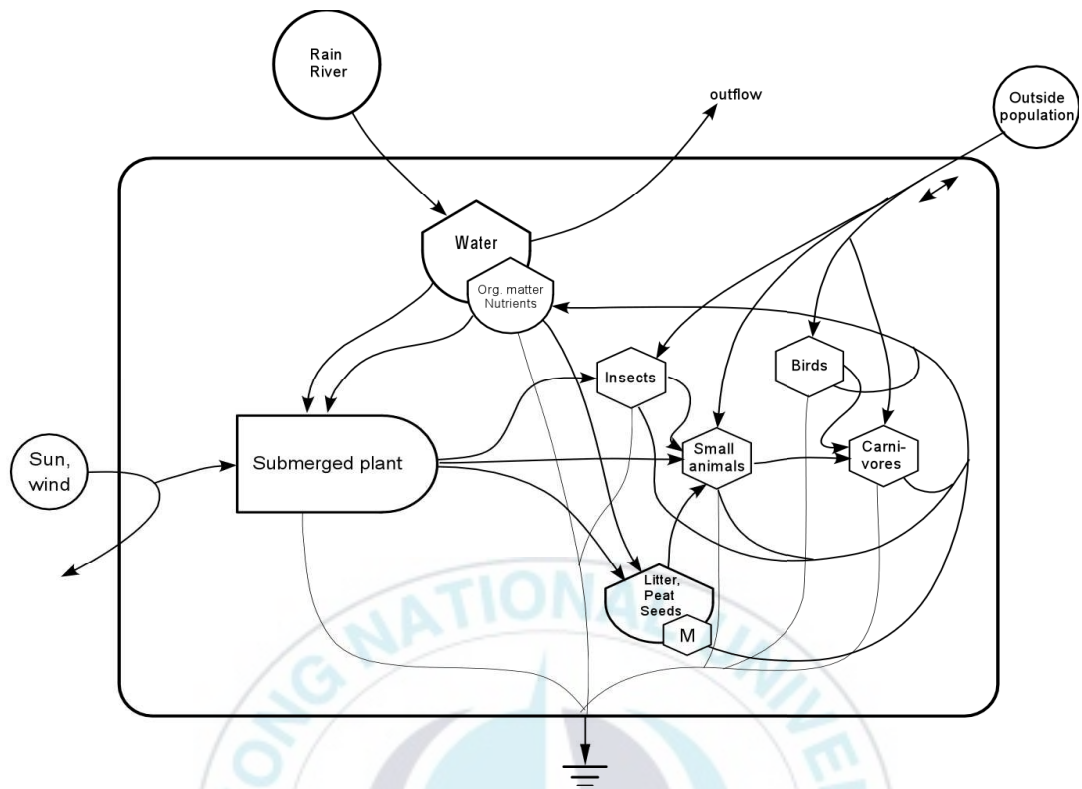


Fig. 4.9. Energy diagram of natural wetland.

Table 4.17. Emergy analysis of natural wetland

(a) Flows

Note	Item	Raw units		Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej/yr)	Emwon (₩/yr)
RENEWABLE SOURCES						
1	Sunlight	2.73E+13	J/yr	1	2.73E+13	12,978
2	Wind	3.22E+11	J/yr	2513	8.10E+14	385,523
3	Rain, chemical	3.63E+14	J/yr	30574	1.11E+19	5.29E+09
4	River	3.60E+14	J/yr	81300	2.92E+19	1.39E+10

(b) Storages

Note	Item	Raw units		Transformity (sej/unit)	Solar emergy (sej)	Emwon (₩)
STORAGES						
1	Mud and sediments energy	2.51E+12	J	3.51E+03	8.79E+15	4.19E+06
2	Phytoplankton	4.40E+12	J	1.84E+04	8.10E+16	3.86E+07
3	Waterfowls	8.04E+11	J	4.19E+07	3.37E+19	1.60E+10

V. 결 론

낙동강유역의 오염총량관리계획에 대한 환경회계와 개선방안을 제안하기 위하여 낙동강유역의 전체에 대하여 emergy 분석을 실시하고 수자원에 대한 가치평가를 통해 유역내 발생원 저감방안을 제시하였다. 그리고 총량관리계획 도입 전과 후의 수질개선 노력을 위한 저감시설 및 개선효과에 대하여 emergy 분석을 통해 환경회계를 실시하였으며 향후 총량관리계획에 대한 개선방안을 제시하였다.

첫째, 총량관리계획에 따른 삭감계획은 발생원 저감방안보다는 발생 후 사후처리계획으로 일관되어 있다. 낙동강유역의 emergy 분석을 실시한 결과 유역의 전체 emergy 유입량은 $1.55E+23$ sej/yr이고, emergy 생산비는 1.06으로서 지역의 생산이 주경제에 적게나마 기여하고 있는 것으로 평가되었다. Emergy 투자비는 17.50와 환경부하비 30.82의 값으로써 비교적 공업화가 집중되어 환경압박이 큰 지역임을 알 수 있다. 지속성 지수가 0.03으로 나타나 지역의 지속적인 발전 가능성이 다소 낮은 시스템으로 평가되었다. 따라서 낙동강유역의 효율적인 관리를 위해 emergy 분석을 통해 살펴본 결과 발생원 저감을 위한 노력으로 우선 유역내 산업구조를 재편성하거나 환경친화적인 도시화로 재편성하여 사전 오염예방차원의 유역관리로 전환되어야 환경부하가 낮고 지속가능한 시스템으로 거듭날 것이다.

둘째, 낙동강 수자원으로부터 생산된 수돗물 1m³의 실질적인 가치는 487.97원이며 상수원수의 가치는 상류에서 하류로 갈수록 190.9원, 190.1원, 188.9원으로 떨어지는 것으로 평가되었다. 또한 상·중·하류로 구분하여 수자원의 댐 관리비 및 하·폐수 처리비용에 관하여 가치평가를 한 결과 상수원수 1m³을 처리하는데 드는 비용은 537.91원, 552.78원, 563.90원으로 원수가치가 하락하여 처리비용이 증가되는 것으로 평가되었다. 이는 낙동강을 원수로 상수처리하는 데는 관리 및 처리비용이 과다하게

소요됨을 알 수 있으며 대체상수원의 개발이 필요함을 입증하고 있다.

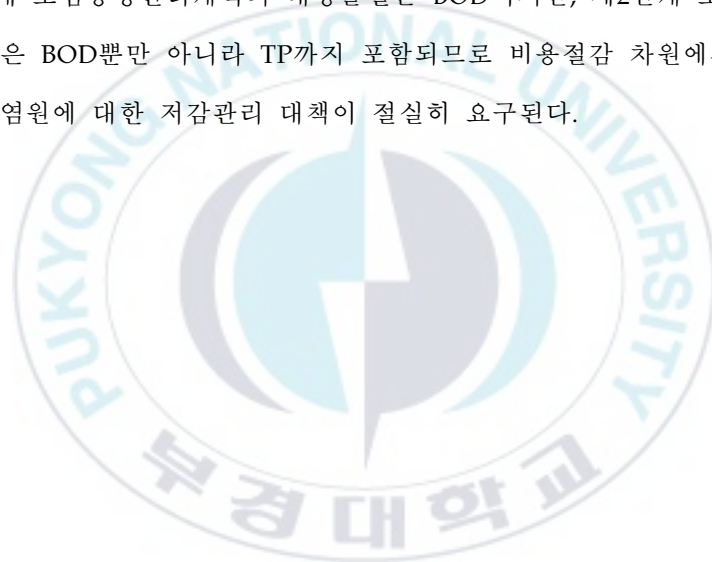
셋째, 총량관리계획에 대한 환경회계 결과를 살펴보면 수질개선 효과를 위한 노력으로 수립전과 후 모두 편익이 발생하지만 수립 이후 추가 저감시설의 투자비용으로 편익/비용의 비율은 1.493에서 1.230으로 낮아졌다. 추가 저감시설의 투자비용에 비해 BOD 4.1mg/L에서 3.0mg/L로 동일한 유량하에서의 수질개선 효과가 다소 미비한 것으로 평가되었다. 비용/편익을 통해 생태·경제적인 가치를 살펴보면 약 5억원 정도 증가되는 것으로 평가되었다. 이는 최근 수질개선을 위한 새로운 정책인 오염총량관리제를 도입한 후에 적게나마 도입 이전보다는 이후에 편익이 발생한 것으로 평가되었다. 그러나 오염총량관리계획 도입 이후의 저감시설계획을 살펴보면 점오염원이 대부분이므로 고비용의 저감시설에 의존하고 있음을 알 수 있다. 따라서 향후 오염부하량을 줄이기 위해서는 저비용의 점오염원의 저감시설 계획과 비점오염원의 저감시설 계획을 증가시켜야 할 것이다.

넷째, 총량관리계획에 대한 개선대책으로 먼저 2차 처리된 유출수의 질소·인 제거를 위해 고도처리시설을 확충하거나 신설하여 제거하는 고비용의 저감시설보다는 저비용의 습지조성으로 질소와 인을 제거하면 보다 자연친화적인 저감시설이 될 것이다. 질소와 인 1kg를 제거하기 위해서 고도처리의 경우 각각 197,466원과 2,388,739원이며 인공습지를 조성할 경우 각각 117,976원과 1,609,213원의 비용이 소요되는 것으로 평가되었다. 또한 총량관리계획에서 제시된 저감시설의 경우 95%이상이 점오염원 저감시설이며 5%이하가 비점오염원 저감시설이다. 비점오염원을 제거하기 위한 저감시설인 저류형 습지의 경우 외부로부터 유입되는 에너지원은 자연환경자원이 100%이다. 따라서, 총량관리계획에 따른 유역관리를 위해서는 비점오염원 저감시설에 대한 노력으로 자연환경자원이 풍부한 자연습지를 이용하거나 조성하게 되면 비점오염원제거 뿐만 아니라 홍수 조절 역할과 생물의 서식처로 제공하게 될 것이며 생태·경제적 가치 또

한 높아질 것이다.

낙동강유역의 지속적인 유역관리를 위해서는 유역내에서 발생하는 오염부하를 근원적으로 줄여야 하며 또한 산업활동이 지역 내의 영속성 에너지와 보유자원에 의존하여 이를 효율적으로 이용할 수 있는 자연친화적 산업구조로 재편성되어야 할 것이며 아울러 낙동강의 수자원도 지속적으로 이용할 수 있을 것이다. 그리고 오염총량관리계획에 따른 낙동강수계의 수질개선을 위해서는 환경비용만을 유발하는 에너지 소모적인 고비용의 하수처리시설 확충 및 고도처리시설에 의존한 수질관리보다는 시설투자비와 유지관리비가 적게 투자되고 보다 효율적인 자연환경자원을 이용하는 생태공학적인 처리시설로 점차 전환되어야 할 것이다.

또한, 제1단계 오염총량관리계획의 대상물질은 BOD이지만, 제2단계 오염총량관리계획의 대상물질은 BOD뿐만 아니라 TP까지 포함되므로 비용절감 차원에서의 인공습지조성과 비점오염원에 대한 저감관리 대책이 절실히 요구된다.



Appendix

Appendix 1. A section table of the Nakdong river basin

연번	유역명	수계구간 및 그 영향을 주는 유역
1	낙본A	낙동강수계구간중 발원지부터 강원도와 경상북도 경계점전까지 전 구간 및 유역
2	낙본B	낙동강수계구간중 강원도와 경상북도 경계점 후부터 봉화군과 안동시 경계점전까지 전 구간 및 유역
3	반변A	반변천 수계구간중 발원지부터 영양군과 청송군 경계점전까지 전 구간 및 유역
4	용전A	용전천 수계구간중 발원지부터 신흥천 합류점까지 전 구간 및 유역
5	길안A	길안천 수계구간중 발원지부터 청송군과 안동시 경계점전까지 전 구간 및 유역
6	반변B	반변천 수계구간중 영양군과 청송군 경계점 후부터 낙동강 합류점전까지 전 구간 및 유역
7	미천A	미천 수계구간중 발원지부터 낙동강 합류점전까지 전 구간 및 유역
8	낙본C	낙동강수계구간중 봉화군과 안동시 경계점 후부터 안동시와 예천군 경계점전까지 전 구간 및 유역
9	내성A	내성천 수계구간중 발원지부터 영주시와 예천군 경계점전까지 전 구간 및 유역
10	내성B	내성천 수계구간중 영주시와 예천군 경계점후부터 낙동강 합류점전까지 전 구간 및 유역
11	금천A	금천 수계구간중 발원지부터 내성천 합류점전까지 전 구간 및 유역
12	영강A	영강 수계구간중 발원지부터 낙동강 합류점전까지 전 구간 및 유역
13	이안A	이안천 수계구간중 발원지부터 영강 합류점전까지 전 구간 및 유역
14	병성A	병성천 수계구간중 발원지부터 낙동강 합류점전까지 전 구간 및 유역
15	위천A	위천 수계구간중 발원지부터 군위군과 의성군 경계점전까지 전 구간 및 유역
16	위천B	위천 수계구간중 군위군과 의성군 경계점후부터 낙동강 합류점전까지 전 구간 및 유역
17	낙본D	낙동강수계구간중 안동시와 예천군 경계점후부터 상주시와 구미시 경계점전까지 전 구간 및 유역
18	감천	감천 수계구간중 발원지부터 김천시와 구미시 경계점전까지 전 구간 및 유역
19	낙본E	낙동강수계구간중 상주시와 구미시 경계점후부터 구미시와 칠곡군 경계점전까지 전 구간 및 유역
20	낙본F	낙동강수계구간중 구미시와 칠곡군 경계점후부터 성주군과 고령군 경계점전까지 전 구간 및 유역
21	금호A	금호강 수계구간중 발원지부터 영천시와 경산시 경계점전까지 전 구간 및 유역
22	금호B	금호강 수계구간중 영천시와 경산시 경계점후부터 경산시의 대구시 수성구 경계점전까지 전 구간 및 유역
23	금호C	금호강 수계구간중 경산시의 대구시 수성구 경계점후부터 낙동강 합류점전까지 전 구간 및 유역
24	낙본G	낙동강수계구간중 성주군과 고령군 경계점후부터 회천 합류점전까지 전 구간 및 유역
25	회천A	회천 수계구간중 발원지부터 낙동강 합류점전까지 전 구간 및 유역
26	황강A	황강 수계구간중 발원지부터 남하교(거창군 남하면 무룡리)까지 전 구간 및 유역
27	황강B	황강 수계구간중 남하교(거창군 남하면 무룡리)부터 낙동강 합류점전까지 전 구간 및 유역
28	낙본H	낙동강수계구간중 회천 합류점후부터 남강 합류점전까지 전 구간 및 유역
29	남강A	남강 수계구간중 발원지부터 함양군과 산청군 경계점전까지 전 구간 및 유역
30	남강B	남강 수계구간중 함양군과 산청군 경계점후부터 임석천 합류점전까지 전 구간 및 유역
31	남강C	남강 수계구간중 임석천 합류점후부터 판문천 합류점전까지 전 구간 및 유역
32	남강D	남강 수계구간중 판문천 합류점후부터 진주시와 의령군 경계점전까지 전 구간 및 유역
33	남강E	남강 수계구간중 진주시와 의령군 경계점후부터 낙동강 합류점전까지 전 구간 및 유역
34	낙본I	낙동강수계구간중 남강 합류점후부터 밀양시 청도천 합류점전까지 전 구간 및 유역
35	낙본J	낙동강수계구간중 밀양시 청도천 합류점후부터 밀양강 합류점전까지 전 구간 및 유역
36	밀양A	밀양강 수계구간중 발원지부터 청도군 청도천 합류후 상동교까지 전 구간 및 유역
37	밀양B	밀양강 수계구간중 청도군 청도천 합류후 상동교부터 낙동강 합류점전까지 전 구간 및 유역
38	낙본K	낙동강수계구간중 밀양강 합류점후부터 양산천 합류점전까지 전 구간 및 유역
39	낙본L	낙동강수계구간중 양산천 합류점후부터 경상남도과 부산광역시 경계점전까지 전 구간 및 유역
40	낙본M	낙동강수계구간중 경상남도과 부산광역시 경계점후부터 낙동강하구언1지점까지 전 구간 및 유역
41	낙본N	낙동강수계구간중 김해시 대동면과 부산시 강서구 경계점(대저수문)후부터 하구(녹산수문)까지 전 구간 및 유역

Appendix 2. Formulas for calculating energy flows in joules per year

Flow source	Formulas	Units
Direct sunlight	(area of region)(average of insolation) = (m^2)($\text{J}/\text{m}^2/\text{yr}$)	J/yr
Kinetic energy of wind use at surface	(height)(density)(diffusion coefficient)(wind gradient)(area) = (1000m)(1.23kg/m ³)(-m ³ /m/sec)(3.154 × 10 ⁷ sec/yr)($\text{m}/\text{sec}/\text{m}$) ² (m^2)	J/yr
Chemical potential energy in rain	(Area including shelf)(rainfall)(G)	J/yr
Chemical potential energy in river	(volume flow)(density)(G)	J/yr
Earth cycle	(land area)(heat flow per area)	J/yr
Net uplift	(area)(uplift rate)(density)(0.5)(uplift)(gravity) = (m^2)(m/yr)($\text{m} \times 10^3 \text{kg}/\text{m}^3$)(0.5)(m)(9.8m/sec ²)	J/yr
Net loss of earth	(erosion outflow)–(formation rate)(area of region) = (g/yr)–($\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$)(m)	g/yr
Chemical potential energy in imported and exported commodities	(weight per year)(G) = (Tn/yr)(G J/g)(1 × 10 ⁶ g/yr)	J/yr
Net loss of topsoil	(farmed area)(erosion rate)–(successional area)(formation rate) = (m^2)($\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$)–(m^2)($\text{g}/\text{m}^2/\text{yr}$)	J/yr
Geopotential in inflowing rivers	(flow volume)(density)(height of river entry–river egress)(gravity) = (m/yr)(m)(1 × 10 ³ kg/m ³)(9.8m/sec ²)	J/yr
Geopotential in rain used	1. (area)(mean elevation ³)(runoff)(density)(gravity) 2. = (m^3)(m)(m/yr)(1 × 10 ³ kg/m ³)(9.8m/sec ²)	J/yr
Ocean waves absorbed at the shore	(shore length)(1/8)(density)(height squared)(velocity) = (m)(1/8)(1.025 × 10 ³ kg/m ³)(9.8m/sec ²)(m^2)(m/sec)(3.154 × 10 ⁷ sec/yr)	J/yr
Tide absorbed in estuaries	(area elevated)(0.5)(tides/yr)(height squared)(density)(gravity) = (m^2)(0.5)(706/yr)(m^2)(1.0253 × 10 ³ kg/m ³)(9.8m/sec ²)	J/yr
Coal flows or outflows	(weight/yr)(energy/unit weight)=(Tn/yr)(3.18 × 10 ¹⁰ J/Tn)	J/yr
Oil inflows or outflows	(barrels/yr)(energy/bbl)=(bbl/yr)(6.28 × 10 ⁹ J/bbl)	J/yr
Natural-gas inflows or outflows	(volume of gas/yr)(energy/unit volume) = ($\text{thousand cubic ft}/\text{yr}$)(1.1 × 10 ⁹ J/thousand cubic ft)	J/yr
Flow of electric power	(power units for a time)(energy per unit of power for a time) = (kWh/yr)(3.60 × 10 ⁶ J/kWh)	J/yr
Electrical output of nuclear plants	(kWh/yr)(3.60 × 10 ⁶ J/kWh)	J/yr
Heat production of fission	(weight of uranium use per time)(fraction ²³⁵ U)(energy per unit ²³⁵ U)=(Tn/yr U ₃ O ₈)(0.007)(1 × 10 ⁶ g/Tn)(7.95 × 10 ¹⁰ J/g ²³⁵ U)	J/yr

Appendix 3. Solar transformity used in emergy analysis of Nakdong river basin

Energy source	Solar transformity(sej/J)
Sunlight	1
Wind	2,513
Rain	30,574
Earth cycle	57,600
Coal	67,200
Gas	80,600
Oil	90,700
Electricity	291,000
Goods & services	2.10E+09(sej/₩)



Appendix 4. Summary flows for the Korea in 2004¹⁾

1. Emergy table

No.	Item	Raw units	Tranfomity (sej/unit)	Solar emergy (sej/yr)	Macroeconomic value, (2004 won)
RENEWABLE RESOURCES:					
1	Sunlight	4.89E+20 J	1	4.89E+20	2.33E+11
2	Wind	2.33E+17 J	2.51E+03	5.85E+20	2.78E+11
3	Rain, geopotential	1.79E+17 J	4.68E+04	8.36E+21	4.92E+09
4	Rain, chemical	1.96E+18 J	3.12E+04	6.12E+22	5.41E+10
5	Waves	4.97E+17 J	5.13E+04	2.55E+22	2.26E+10
6	Tide	4.21E+18 J	2.83E+04	1.19E+23	1.06E+11
7	Earth cycle	9.96E+16 J	5.76E+04	5.74E+21	5.08E+09
INDIGENOUS RENEWABLE ENERGY:					
8	Hydroelectricity	2.18E+16 J	2.06E+05	4.49E+21	3.97E+09
9	Agricultural production	2.57E+17 J	3.36E+05	8.65E+22	7.65E+10
10	Livestock production	4.05E+15 J	3.36E+06	1.36E+22	1.20E+10
11	Fisheries production	6.76E+15 J	3.36E+06	2.27E+22	2.01E+10
12	Fuelwood production	2.37E+15 J	5.86E+04	1.39E+20	1.23E+08
13	Forest extraction	6.22E+16 J	5.86E+04	3.65E+21	3.23E+09
NONRENEWABLE SOURCE USE FROM WITHIN SYSTEM:					
14	Coal production	9.25E+16 J	6.71E+04	6.21E+21	5.50E+09
15	Metallic minerals	5.93E+11 g	1.68E+09	9.96E+20	8.81E+08
16	Industrial minerals	9.66E+13 g	1.68E+09	1.62E+23	1.44E+11
17	Top soil	3.47E+16 J	1.24E+05	4.32E+21	3.82E+09
IMPORTS AND OUTSIDE SOURCES:					
18	Coal, import	2.21E+18 J	6.71E+04	1.49E+23	1.31E+11
19	Oil, crude	5.19E+18 J	9.06E+04	4.70E+23	4.16E+11
20	Petroleum products	5.57E+18 J	1.11E+05	6.17E+23	5.46E+11
21	Metallic minerals	4.62E+12 g	1.68E+09	7.77E+21	6.87E+09
22	Industrial minerals	4.27E+12 g	1.68E+09	7.18E+21	6.36E+09
23	Natural gas	1.18E+18 J	8.05E+04	9.48E+22	8.39E+10
24	Goods & Services	2.61E+08 \$	1.13E+12	2.95E+20	2.61E+08
Exports:					
25	Goods & Services	2.84E+08 ₩	2.10E+09	5.98E+17	5.29E+05

1) 신(2007) 부경대학교 대학원 석사논문.

2. Indices using emergy for overview of the Korea in 2004

Name of Index	Expression	Value
Renewable emergy flow	R	1.19E+23
Flow from indigenous nonrenewable reserves	N	1.74E+23
Flow of imported emergy	F+P2I	1.35E+24
Total emergy inflow	R+N+F+P2I	1.64E+24
Total emergy used	U=N+R+F+P2I	1.64E+24
Total exported emergy	P1E	5.98E+17
Emergy to money ratio	P1=U/GDP	2.10E+09
Fraction of emergy used derived from home sources	(N+R)/U	0.18
Imports minus exports	(F+P2I)-P1E	1.35E+24
Ratio of imports to exports	(F+P2I)/P1E	2.25E+06
Fraction used, locally renewable	R/U	0.07
Fraction of emergy used derived from home sources	(N+R)/U	0.18
Fraction of emergy used purchased (imports)	(F+P2I)/U	0.82
Emergy Yield Ratio	U/(F+P2I)	1.22
Use per unit area (9.96 E10 m ²)	U/(area)	1.64E+13
Emergy investment ratio	F+P2I/R+N	4.59
Environmental loading ratio	(N+F+P2I)/R	1.27E+01
SI	EYR/ELR	0.10

Appendix 5. Correlation coefficient and significance test between BOD and conductivity

※ 물금지역의 10년간 BOD, 전기전도도 자료의 Pearson 상관관계계수(r) 및 유의성 검증.

□ 상관관계계수

$$r = \frac{SS_{xy}}{\sqrt{SS_x SS_y}}, SS_x = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2, SS_y = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2, SS_{xy} = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})$$

□ 검증통계량

$$t = \frac{r \sqrt{(n-2)}}{\sqrt{1-r^2}} (d.f. = n-2)$$

year	BOD (Xi)	conductivity (Yi)	(Yi-Y)	(Xi-X)	(Yi-Y)(Xi-X)	(Xi-X) ²	(Yi-Y) ²	r	t
1996	4.8	315	72.73	1.79	130.25	3.21	5289.26		
1997	4.2	334	91.73	1.19	109.24	1.42	8413.89		
1998	3.0	209	-33.27	-0.01	0.30	0.00	1107.07		
1999	2.8	240	-2.27	-0.21	0.48	0.04	5.17		
2000	2.7	202	-40.27	-0.31	12.45	0.10	1621.89		
2001	3.0	271	28.73	-0.01	-0.26	0.00	825.26		
2002	2.6	245	2.73	-0.41	-1.12	0.17	7.44	0.8643	4.55
2003	2.1	165	-77.27	-0.91	70.25	0.83	5971.07		
2004	2.6	207	-35.27	-0.41	14.43	0.17	1244.17		
2005	2.6	222	-20.27	-0.41	8.29	0.17	410.98		
2006	2.7	255	12.73	-0.31	-3.93	0.10	161.98		
Average	242.3	3.01							
Total					340.37	6.19	25058.18		

유의도수준 0.05, 자유도 $n=9$

$H_0 : \rho = 0$, $H_1 : \rho \neq 0$

$$t_{obs} = \frac{r\sqrt{(n-2)}}{\sqrt{1-r^2}} = 4.5465 \text{ , } t_{crit} = t(\alpha/2; n-2) = (0.025; 9) = 2.26$$

$$|t_{obs}| = |4.5465| > t_{crit} = 2.26$$

$\alpha=0.05$ 에서 귀무가설(H_0)은 기각되며, BOD와 전기전도도간에는 상관관계가 있다고 할 수 있음.

상관관계의 실제적 유의성

상관관계계수의 범위	상관관계크기에 대한 기술
$\pm 0.81 \sim \pm 1.00$	매우 강함
$\pm 0.61 \sim \pm 0.80$	강함
$\pm 0.41 \sim \pm 0.60$	어느 정도 있음
$\pm 0.21 \sim \pm 0.40$	약함
$\pm 0.00 \sim \pm 0.20$	없음

Appendix 6. Emergy analysis table in Jang-you sewage treatment plant

1	Sunlight	$\begin{aligned} \text{Land Area} &= 1.38\text{E}+05 \text{ m}^2 \\ \text{Insolation} &= 4.40\text{E}+09 \text{ J/m}^2/\text{yr} \\ \text{Albedo} &= 0.1 \text{ (\%given as decimal)} \\ \text{Energy(J)} &= (\text{Land area})(\text{avg insolation}) \\ &= (1.38\text{E}+5\text{m}^2)(4.40\text{E}9\text{J/m}^2/\text{y})(1-0.3) \\ &= 5.46\text{E}+14 \text{ J/yr} \end{aligned}$
2	Wind	$\begin{aligned} \text{Energy(J)} &= (\text{height})(\text{density})(\text{diff.coefficient})(\text{wind gradient})(\text{area}) \\ &= (1000\text{m})(1.23\text{kg/m}^3)(3.9\text{m}^3/\text{m}/\text{sec})(3.154\text{E}7\text{sec}/\text{yr}) \\ &\quad (2.8\text{E}-3\text{m}/\text{sec}/\text{m})^2(1.38\text{E}5\text{m}^2) \\ &= 1.64\text{E}+11 \text{ J/yr} \end{aligned}$
3	Rain:	$\begin{aligned} \text{Land Area} &= 1.38\text{E}+05 \text{ m}^2 \\ \text{Rainfall} &= 1.38 \text{ m/yr} \\ \text{Energy (J)} &= (\text{area})(\text{rainfall})(\text{Gibbs no.}) \\ &= (1.38\text{E}5\text{m}^2)(1.38\text{m})(1\text{E}3\text{kg}/\text{m}^3)(4.94\text{E}3\text{J}/\text{kg}) \\ &= 9.40\text{E}+11 \text{ J/yr} \end{aligned}$
4	Electricity	$\begin{aligned} \text{Consumer} &= 1.44\text{E}+06 \text{ KWh} \\ \text{Total purchased} &= (1.44\text{E}6\text{KWh}/\text{yr})*(3.6\text{E}6 \text{ J/KWh})/(3.54\text{E}+07 \text{ ton}/\text{yr}) \\ &= 5.20\text{E}+12 \text{ J/ton} \end{aligned}$
5	Oil	$\begin{aligned} \text{Purchased to plant} &= 0.013 \text{ L/ton} \\ &= (0.013\text{L}/\text{ton})*(3.78\text{E}7 \text{ J/L}) \\ &= 491400 \text{ J/yr} \end{aligned}$

6	Concrete			
		Consumer =	7.61E+10 g	
		=	3.54E+07 m ³ /yr	
		Total amount of concrete =	(7.61E10g)/(20yr)/(3.54E07ton/yr)	
		=	3.81E+09 g/ton	
7	Iron			
		Consumer =	9.44E+09 g	
		Total amount of concrete =	(9.44E9g)/(20yr)/(3.54E07ton/yr)	
			4.72E+08 g/ton	
8	Machinery			
		=	(1.08E10+6.66E9+4.92E9+3.12E9₩)/(20yr)/(3.54E7ton/yr)	
		=	1.28E+09 ₩/ton	
9	Cost of construction			
		=	(1.56E11-1.46E10-2.77E9-1.08E10-6.66E9)/(20yr)/(3.54E7ton/y	
		=	6.06E+09 ₩	
10	Chemicals			
		NaOH+CH ₃ OH =	(5.2g/ton)+(3.83g/ton)	
		=	9.03E+00 g/ton	10.71
11	Electricity			
		Consumer =	8.52E+04 KWh	432
		Total purchased =	(8.52E4KWh/ton)*(3.6E6 J/KWh)	
		=	3.07E+11 J/ton	1555200000
12	Oil			
			0.005 L/ton	
		Consumer =	(0.005L/ton)*(283,000ton/day)*(365day/yr)*(3.78E7 J/L)	
		Total purchased =	189000 J/yr	
13	Sludge disposal			
		=	2.01E+01 J/ton	
14	Labor			
		=	12 원/ton	
15	Maintenance			
		=	8 원/ton	

Appendix 7. Emergy evaluation of resource basis for the Nakdong river
basin(2004) - Footnotes for Table 4.1

RENEWABLE RESOURCES:

1 Sunlight

$$\begin{aligned}\text{Land Area} &= 2.34\text{E}+10 \text{ m}^2 \\ \text{Insolation} &= 4.40\text{E}+09 \text{ J/m}^2/\text{yr} \\ \text{Albedo} &= 0.3 \text{ (%given as decimal)} \\ \text{Energy(J)} &= (\text{Land area})(\text{avg insolation}) \\ &= (2.34\text{E}+10\text{m}^2)(4.40\text{E}9\text{J/m}^2/\text{y})(1-0.3) \\ &= 7.21\text{E}+19 \text{ J/yr}\end{aligned}$$

2 Wind

$$\begin{aligned}\text{Energy(J)} &= (\text{height})(\text{density})(\text{diff.coefficient})(\text{wind gradient})(\text{area}) \\ &= (1000\text{m})(1.23\text{kg/m}^3)(3.9\text{m}^3/\text{m/sec})(3.154\text{E}7\text{sec/yr}) \\ &\quad (2.8\text{E}-3\text{m/sec/m})^2(2.34\text{E}10\text{m}^2) \\ &= 2.78\text{E}+16 \text{ J/yr}\end{aligned}$$

3 Rain:

$$\begin{aligned}\text{Land Area} &= 2.34\text{E}+10 \text{ m}^2 \\ \text{Rainfall} &= 1.38 \text{ m/yr} \\ \text{Energy (J)} &= (\text{area})(\text{rainfall})(\text{Gibbs no.}) \\ &= (2.34\text{E}10\text{m}^2)(1.38\text{m})(1\text{E}3\text{kg/m}^3)(4.94\text{E}3\text{J/kg}) \\ &= 1.60\text{E}+17 \text{ J/yr}\end{aligned}$$

4 Earth cycle

$$\begin{aligned}\text{Land Area} &= 2.34\text{E}+10 \text{ m}^2 \\ \text{Heat flow} &= 1.35\text{E}+06 \text{ J/m}^2 \\ \text{Energy (J)} &= 2.34\text{E}10\text{m}^2(1.35\text{E}6\text{J/m}^2) \\ &= 3.16\text{E}+16 \text{ J}\end{aligned}$$

INDIGENOUS RENEWABLE ENERGY:

5 Hydroelectricity

$$\begin{aligned}\text{Production} &= 2.34\text{E}+06 \text{ KWh/yr} \\ \text{Energy (J)} &= (2.34\text{E}6\text{KWh/yr})(3.6\text{E}6 \text{ J/KWh}) \\ &= 8.43\text{E}+18 \text{ J/yr}\end{aligned}$$

6 Agricultural Production

$$\begin{aligned}\text{Production} &= 4.70\text{E}+06 \text{ MT} \\ \text{Energy (J)} &= (4.70\text{E}6 \text{ MT})(1 \text{ E}6 \text{ g/MT})(80\%)(4.0 \text{ kcal/g})(4186 \text{ J/kcal}) \\ &= 6.89\text{E}+16 \text{ J/yr}\end{aligned}$$

7 Fuelwood Production

$$\begin{aligned}\text{Production} &= 2.32\text{E}+04 \text{ MT} \\ \text{Energy (J)} &= (2.32\text{E}04\text{MT})(0.5\text{E}6 \text{ g/MT})(3.6 \text{ kcal/g})(4186 \text{ J/kcal}) \\ &= 3.49\text{E}+14 \text{ J/yr}\end{aligned}$$

8 Forest Extraction

$$\begin{aligned}\text{Harvest} &= 2.88\text{E}+05 \text{ MT} \\ \text{Energy(J)} &= (2.88\text{E}05 \text{ MT})(1 \text{ E}6 \text{ g/MT})(3.6 \text{ kcal/g})(4186 \text{ J/kcal}) \\ &= 4.34\text{E}+15 \text{ J/yr}\end{aligned}$$

9 WATER SUPPLY

$$\begin{aligned}
 \text{TDS} &= 193.4656 && \text{전기전도도} \times 0.64 \\
 \text{Gibb's free energy(J/g)} &= (8.33\text{J/mole/deg})(300^\circ\text{C})(\text{mole}/18\text{g})\ln((1000000\text{-s})\text{ppm}/965000) \\
 &= 4.919377757 \text{ J/g} \\
 \text{volume flow} &= 2.43\text{E}+09 \text{ m}^3/\text{yr} && \text{취수지점의 유량} \\
 \text{Energy (J)} &= (\text{volume flow}(\text{m}^3))(\text{density}(\text{g}/\text{m}^3))(\text{G}(\text{J}/\text{g})) \\
 &= (2.87\text{E}+09\text{m}^3/\text{yr})(1000000\text{g}/\text{m}^3)(4.92\text{J}/\text{g}) \\
 &= 1.19\text{E}+16 \text{ J}
 \end{aligned}$$

NONRENEWABLE RESOURCE USE FROM WITHIN NAKDONG RIVER BASIN:

10 Mineral

$$\begin{aligned}
 \text{Production} &= 1.57\text{E}+06 \text{ MT/yr} \\
 \text{Mass(g)} &= (1.57\text{E}06\text{MT}) \times (1\text{E}6 \text{ g/MT}) \\
 &= 1.57\text{E}+12 \text{ g/yr}
 \end{aligned}$$

11 Topsoil:

$$\begin{aligned}
 \text{Soil loss} &= 2.60\text{E}+02 \text{ g/m}^2/\text{yr} && 4.34\text{E}+12 \\
 \text{Mountain zone} &= 1.67\text{E}+10 \text{ m}^2 \\
 \text{Energy(J)} &= (4.34\text{E}12\text{g/yr})(0.03 \text{ organic})(5.4 \text{ Kcal/g})(4186 \text{ J/Kcal}) \\
 &= 2.94\text{E}+15 \text{ J/yr} \\
 \text{Soil loss} &= 8.60\text{E}+02 \text{ g/m}^2/\text{yr} \\
 \text{Ag. zone} &= 7.14\text{E}+09 \text{ m}^2 && 6.14\text{E}+12 \\
 \text{Energy(J)} &= (6.14\text{E}12\text{g/yr})(0.03 \text{ organic})(5.4 \text{ Kcal/g})(4186 \text{ J/Kcal}) \\
 &= 4.16\text{E}+15 \text{ J/yr} \\
 \text{Total} &= 7.11\text{E}+15 \text{ J/yr}
 \end{aligned}$$

IMPORTS OF OUTSIDE ENERGY SOURCES:

12 Coal

$$\begin{aligned}
 \text{Imports} &= 2.03\text{E}+06 \text{ MT/yr} \\
 \text{Energy(J)} &= (2.03\text{E}06\text{MT/yr}) \times (2.9 \text{ E}10 \text{ J/MT}) \\
 &= 5.87\text{E}+16 \text{ J/yr}
 \end{aligned}$$

13 Oil

$$\begin{aligned}
 \text{Imports} &= 9.22\text{E}+07 \text{ b/yr} \\
 \text{Energy (J)} &= (9.22\text{E}07 \text{ b/yr})(6.1 \text{ E}9 \text{ Joules/barrel}) \\
 &= 5.62\text{E}+17 \text{ J/yr}
 \end{aligned}$$

14 Gas

$$\begin{aligned}
 \text{Imports} &= 1.23\text{E}+06 \text{ m}^3/\text{yr} \\
 \text{Energy (J)} &= (1.23\text{E}6\text{m}^3/\text{yr})(5.91\text{E}10\text{J}/\text{m}^3) \\
 &= 7.26\text{E}+16 \text{ J/yr}
 \end{aligned}$$

15 Import G. & S.

$$\text{Import} = 4.10\text{E}+13 \text{ /yr}$$

EXPORTS:

16 Export of G. & S. =

$$\text{Export} = 6.56\text{E}+13 \text{ /yr}$$

Appendix 8. Footnote for Table 4.5

1 Treated water

(treated water per m3)*(G)

(1000000g/m3)*(4.94J/g)

4.94E+06

2 Raw water in upper basion(per m3)

(raw water per m3)*(G)

(1000000g/m3)*(4.93J/g)

4.93E+06

3 Raw water in middle basin(per m3)

(raw water per m3)*(G)

(1000000g/m3)*(4.91J/g)

4.91E+06

4 Raw water in lower basin(per m3)

(raw water per m3)*(G)

(1000000g/m3)*(4.88J/g)

4.88E+06



Appendix 9. Footnote for Table 4.6

2 Cost of upper dam management
(cost in upper dam manage.)*(water from dam)/(water in upper)
$(47.93\text{won/m}^3) * (1.04\text{e}9\text{m}^3) / (1.45\text{e}9\text{ m}^3/\text{yr})$
7.90
3 Cost of upper water treatment
(cost of upper water treatment)
$(288-30.25\text{won/m}^3) * (100/76)$
339.14
5 Cost of upper dam management
(cost in upper dam manage.)*(water from dam)/(water in upper)
$(47.93\text{won/m}^3) * (1.42\text{e}9\text{m}^3) / (8.61\text{e}9\text{ m}^3/\text{yr})$
7.90
6 Cost of upper waste treatment
(cost of upper waste treatment)*(waste from upper)/(water in middle)
$(325\text{won/m}^3) * (100/60) * (5.7\text{e}7 * 0.8 * 0.9\text{m}^3/\text{yr}) / (2.77\text{E}10\text{ m}^3/\text{yr})$
0.80
7 Cost of middle dam management
(cost in middle dam manage.)*(water from middle dam)/(water in middle)
$(47.93\text{won/m}^3) * (2.1\text{E}8\text{ m}^3) / (2.77\text{E}10\text{m}^3/\text{yr})$
0.36
8 Cost of middle water treatment
(cost of middle water treatment)
$(299-30.25\text{won/m}^3) * (100/76)$
353.6184211

10 Cost of upper dam management

(cost in dam manage.)*(water from dam)/(water in upper)

$(47.93\text{won/m}^3) \cdot (1.42\text{e}9\text{m}^3) / (8.61\text{e}9\text{ m}^3/\text{yr})$

7.90

11 Cost of upper waste treatment

(cost of upper waste treatment)*(waste from upper)/(water in middle)

$(325\text{won/m}^3) \cdot (100/60) \cdot (5.7\text{e}7 \cdot 0.8 \cdot 0.9\text{m}^3/\text{yr}) / (2.77\text{E}10\text{ m}^3/\text{yr})$

0.80

12 Cost of middle dam management

(cost in middle dam manage.)*(water from middle dam)/(water in middle)

$(47.93\text{won/m}^3) \cdot (2.1\text{E}8\text{ m}^3) / (2.77\text{E}10\text{m}^3/\text{yr})$

0.36

13 Cost of middle waste treatment

(cost of middle waste treatment)*(waste from middle)/(water in lower)

$(325\text{won/m}^3) \cdot (100/60) \cdot (5.9\text{e}8 \cdot 0.8 \cdot 0.9\text{m}^3/\text{yr}) / (8.64\text{E}10\text{ m}^3/\text{yr})$

2.66

14 Cost of lower dam management

(cost in lower dam manage.)*(water from lower dam)/(water in lower)

$(47.93\text{won/m}^3) \cdot (7.4\text{E}8\text{ m}^3) / (8.64\text{E}10\text{m}^3/\text{yr})$

0.41

15 Cost of lower water treatment

(cost of lower water treatment)

$(306-30.25\text{won/m}^3) \cdot (100/76)$

362.8289474

Appendix 10. Footnote for Table 4.7

River water			
1	TDS =	193.4656 ppm	전기전도도*0.64
	Gibb's free energy(J/g) =	(8.33J/mole/deg)(300℃)(mole/18g)ln((1000000-s)ppm/965000)	
	=	4.9194 J/g	
	volume flow =	2.43E+09 m3/yr	낙본F 기준유량
	Energy (J) =	(volume flow(m3))(density(g/m3))(G(J/g))	
		(2.43E+09m3)(1000000g/m3)(4.9194J/g)	
		1.195E+16 J/yr	
FACILITY INVESTMENT			
2	Electricity		
	Consumer =	1.18E+06 KWh/yr	
	volume flow =	3.54E+07 m3/yr	
	Total purchased =	(1.18E6KWh/yr)*(3.6E6 J/KWh)/(3.54E+07 ton/yr)	
	=	1.20E+05 J/m3	
	volume flow =	8.69E+08 m3/yr	(2.38E+06m3/day)
	Energy =	1.04E+14 J/yr	
3	Oil		
	Purchased to plant =	0.013 L/ton	
	=	(0.013L/ton)*(3.78E7 J/L)	
	=	491400 J/m3	
	volume flow =	8.69E+08 m3/yr	(2.38E+06m3/day)
	Energy =	4.27E+14 J/yr	
4	Concrete		
	Consumer =	7.61E+10 g	
	Total amount of concrete =	(7.61E10g)/(20yr)/(3.54E07ton/yr)	
	=	1.08E+02 g/ton	
	volume flow =	8.69E+08 m3/yr	(2.38E+06m3/day)
	Energy =	9.34E+10 g/yr	
5	Iron		
	Consumer =	9.44E+09 g	
	Total amount of concrete =	(9.44E+09g)/(20yr)/(3.54E07ton/yr)	
	=	1.33E+01 g/ton	
	volume flow =	8.69E+08 m3/yr	(2.38E+06m3/day)
	Energy =	1.16E+10 g/yr	
6	Cost of construction		
	=	(1.2117E+11₩)/(20yr)/(3.54E7ton/yr)	
	=	1.71E+02 ₩	
	volume flow =	8.69E+08 m3/yr	(2.38E+06m3/day)
	Energy =	1.49E+11 ₩/yr	

MANAGEMENT

7 Chemicals

NaOH+CH₃OH = (5.2g/m³+3.83g/m³)
9.03 g/m³
volume flow = 8.69E+08 m³/yr (2.38E+06m³/day)
Energy = 7.84E+09 g/yr

8 Electricity

Consumer = 2.35E+06 KWh
Total purchased = (2.35E6KWh/yr)*(3.6E6 J/KWh)
= 2.39E+05 J/ton
volume flow = 8.69E+08 m³/yr (2.38E+06m³/day)
Energy = 2.08E+14 J/yr

9 Oil

0.005 L/ton
Consumer = (0.005L/ton)*(3.78E7 J/L)
Total purchased = 1.89E+05 J/yr
volume flow = 8.69E+08 m³/yr (2.38E+06m³/day)
Energy = 1.64E+14 J/yr

10 Sludge disposal

= 2.01E+01 J/ton
volume flow = 8.69E+08 m³/yr (2.38E+06m³/day)
Energy = 1.75E+10 J/yr

11 Labor

= 12.4 ₩/ton
volume flow = 8.69E+08 m³/yr (2.38E+06m³/day)
Energy = 1.08E+10 ₩/yr

12 Maintenance

= 8.0 ₩/ton
volume flow = 8.69E+08 m³/yr (2.38E+06m³/day)
Energy = 6.95E+09 ₩/yr

Appendix 11. Footnote for Table 4.8

River water		
1	TDS =	154.7456 ppm 전기전도도*0.64
	Gibb's free energy(J/g) =	$(8.33\text{J/mole/deg})(300^{\circ}\text{C})(\text{mole}/18\text{g})\ln((1000000-s)\text{ppm}/96500)$
	=	4.92475432 J/g
	volume flow =	2.43E+09 m3/yr 낙본F 기준유량
	Energy (J) =	$(\text{volume flow}(\text{m}^3))(\text{density}(\text{g}/\text{m}^3))(\text{G}(\text{J}/\text{g}))$
		$(2.7814\text{E}+10\text{m}^3)(1000000\text{g}/\text{m}^3)(4.92\text{J}/\text{g})$
		1.196E+16 J/yr
FACILITY INVESTMENT		
2	Electricity	
	Consumer =	2.36E+06 KWh/yr
	volume flow =	7.08E+07 m3/yr
	Total purchased =	$(2.36\text{E}6\text{KWh}/\text{yr}) * (3.6\text{E}6 \text{ J/KWh}) / (7.08\text{E}+07 \text{ ton}/\text{yr})$
	=	1.20E+05 J/m3
	volume flow =	9.72E+08 m3/yr
	Energy =	1.17E+14 J/yr
3	Oil	
	Purchased to plant =	0.026 L/ton
	=	$(0.026\text{L}/\text{ton}) * (3.78\text{E}7 \text{ J/L})$
	=	9.83E+05 J/m3
	volume flow =	9.72E+08 m3/yr
	Energy =	4.77E+14 J/yr
4	Concrete	
	Consumer =	1.52E+11 g
	Total amount of concrete =	$(1.52\text{E}11\text{g}) / (20\text{yr}) / (7.08\text{E}07\text{ton}/\text{yr})$
	=	1.08E+02 g/ton
	volume flow =	9.72E+08 m3/yr
	Energy =	1.04E+11 g/yr
5	Iron	
	Consumer =	1.89E+10 g
	Total amount of concrete =	$(1.89\text{E}10\text{g}) / (20\text{yr}) / (7.08\text{E}07\text{ton}/\text{yr})$
	=	2.67E+01 g/ton
	volume flow =	9.72E+08 m3/yr
	Energy =	1.30E+10 g/yr
6	Cost of construction	
	=	$\{(1.467\text{E}11)\text{₩} / (20\text{yr}) / (3.54\text{E}7\text{ton}/\text{yr})\}$
	=	2.07E+02 ₩
	volume flow =	9.72E+08 m3/yr
	Energy =	1.52E+11 ₩/yr
7	Wetland	
	=	4.40E+10 ₩

MANAGEMENT

8 Chemicals

NaOH+CH₃OH = (18.06g/ton)
= 18.06 g/m³
volume flow = 9.72E+08 m³/yr
Energy = 8.77E+09 g/yr

9 Electricity

Consumer = 4.70E+06 KWh
Total purchased = (4.70E6KWh/yr)*(3.6E6 J/KWh)/(3.54E+07 ton/yr)
= 4.78E+05 J/ton
volume flow = 9.72E+08 m³/yr
Energy = 2.33E+14 J/yr

10 Oil

0.01 L/ton
Consumer = (0.01L/ton)*(3.78E7 J/L)
Total purchased = 3.78E+05 J/yr
volume flow = 9.72E+08 m³/yr
Energy = 1.84E+14 J/yr

11 Sludge disposal

= 4.02E+01 J/ton
volume flow = 9.72E+08 m³/yr
Energy = 1.95E+10 J/yr

12 Labor

= 2.48E+01 ₩/ton
volume flow = 9.72E+08 m³/yr
Energy = 1.20E+10 ₩/yr

13 Maintenance

= 1.60E+01 ₩/ton
volume flow = 9.72E+08 m³/yr
Energy = 7.77E+09 ₩/yr

Appendix 12. Footnote for Table 4.11

FACILITY INVESTMENT	
1 Electricity	
	Consumer = 2.71E+06 KWh
	Total purchased = (2.71E6KWh/yr)*(3.6E6 J/KWh)
	= 9.74E+12 J/yr
	= 1.69E+04 kg/yr N, yearly reduction
	= 5.77E+08 J/kg
2 Concrete	
	Consumer = 2.01E+09 g
	Total amount of concrete = (2.01E+09)g/(20yr)
	= 1.01E+08 g/yr
	= 1.69E+04 kg/yr N, yearly reduction
	= 5,947 g/kg
3 Iron	
	Consumer = 3.00E+06 g
	Total amount of concrete = (3.0E+06)g/(20yr) g/yr
	= 1.50E+05 g/yr
	= 1.69E+04 kg/yr N, yearly reduction
	= 8.88 g/kg
4 Cost of construction	
	Total purchased = 5.80E+09 ₩
	= (5.80E+09)₩/(20yr)
	= 2.90E+08 ₩/yr
	= 1.69E+04 kg/yr N, yearly reduction
	= 17,169 ₩/kg
MANAGEMENT	
5 Chemicals	
	Consumer = 9490 kg/yr
	= 1.69E+04 kg/yr N, yearly reduction
	Energy = 0.56 kg/kg
6 Electricity	
	Consumer = 2.19E+06 KWh
	Total purchased = (2.19E6KWh/yr)*(3.6E6 J/KWh)
	= 7.88E+12 J/yr
	= 1.69E+04 kg/yr N, yearly reduction
	= 4.67E+08 J/kg
7 Sludge disposal	
	= 1.88E+07 ₩/yr
	= 1.69E+04 kg/yr N, yearly reduction
	= 1,111 ₩/kg
8 Maintenance	
	= 5.50E+08 ₩/yr
	= 1.69E+04 kg/yr N, yearly reduction
	= 32,545 ₩/kg

Appendix 13. Footnote for Table 4.12

FACILITY INVESTMENT	
1	Electricity
	Consumer = 2.71E+06 KWh
	Total purchased = (2.71E6KWh/yr)*(3.6E6 J/KWh)
	= 9.74E+12 J/yr
	= 1.53E+03 kg/yr P, yearly reduction
	= 6.37E+09 J/kg
2	Concrete
	Consumer = 2.01E+10 g
	Total amount of concrete = (2.01E+10)g/(20yr)
	= 1.01E+09 g/yr
	= 1.53E+03 kg/yr P, yearly reduction
	= 6.57E+05 g/kg
3	Iron
	Consumer = 3.00E+06 g
	Total amount of concrete = (3.0E+06)g/(20yr) g/yr
	= 1.50E+05 g/yr
	= 1.53E+03 kg/yr P, yearly reduction
	= 9.81E+01 g/kg
4	Cost of construction
	Total purchased = 5.80E+09 ₩
	= (5.80E+09)₩/(20yr)
	= 2.90E+08 ₩/yr
	= 1.53E+03 kg/yr P, yearly reduction
	= 1.90E+05 ₩/kg
MANAGEMENT	
5	Chemicals
	Consumer = 9490 kg/d
	= 1.53E+03 kg/yr P, yearly reduction
	Energy = 6.21E+00 kg/kg
6	Electricity
	Consumer = 2.19E+06 KWh
	Total purchased = (2.19E6KWh/yr)*(3.6E6 J/KWh)
	= 7.88E+12 J/yr
	= 1.53E+03 kg/yr P, yearly reduction
	= 5.16E+09 J/kg
7	Sludge disposal
	= 1.88E+07 ₩/yr
	= 1.53E+03 kg/yr P, yearly reduction
	= 1.23E+04 ₩/kg
8	Maintenance
	= 5.50E+08 ₩/yr
	= 1.53E+03 kg/yr P, yearly reduction
	= 3.60E+05 ₩/kg

Appendix 14. Footnote for Table 4.13

1 Sunlight

$$\begin{aligned} \text{Area} &= 4.50\text{E}+04 \quad \text{m}^2 \\ \text{Insolation} &= 4.46\text{E}+02 \quad \text{MJ/m}^2/\text{year} \\ \text{Albedo} &= 0.1 \\ \text{Energy(J)} &= \text{Area} * (1 - \text{Albedo}) * \text{Insolation} * (1\text{E}06\text{J/MJ}) \\ &= 1.81\text{E}+13 \quad \text{J/yr} \end{aligned}$$

2 Wind kinetic energy

$$\begin{aligned} \text{Area} &= 4.50\text{E}+04 \quad \text{m}^2 \\ \text{Atomosphere layer} &= 1000 \quad \text{m} \\ \text{Air density} &= 1.23 \quad \text{kg/m}^3 \\ \text{Average wind range} &= 4 \quad \text{m/s (Zhang, 1988)} \\ \text{Energy(J)} &= (\text{height})(\text{density})(\text{diff.coefficient})(\text{wind gradient})(\text{area}) \\ &= (1000\text{m})(1.23\text{kg/m}^3)(3.9\text{m}^3/\text{m}^2/\text{sec})(3.154\text{E}7\text{sec/yr}) \\ &= 2.13\text{E}+11 \quad \text{J/yr} \end{aligned}$$

3 Rain chemical potential energy

$$\begin{aligned} \text{Area} &= 4.50\text{E}+04 \quad \text{m}^2 \\ \text{Rainfall} &= 1349 \quad \text{m/yr} \\ \text{Density} &= 1.00\text{E}+03 \quad \text{kg/m}^3 \\ \text{Gibbs free energy per gram} &= 4.94\text{E}+03 \quad \text{J/kg} \\ \text{Energy(J)} &= \text{Area} * \text{Rainfall} * \text{Density} * \text{Gibbs free energy per gram} \\ &= 3.00\text{E}+14 \quad \text{J/yr} \end{aligned}$$

4 Goods & Services

$$\begin{aligned} \text{Goods \& Services} &= 4.55\text{E}+04 \quad \text{won/m}^2 \\ &= 44973 \quad \text{m}^2/\text{kg} \\ &= 2.05\text{E}+09 \quad \text{won/kg} \\ &= 1.73\text{E}+04 \quad \text{kg/yr} \quad \text{N, yearly reduction} \\ &= 1.18\text{E}+05 \quad \text{W/kg} \end{aligned}$$

Appendix 15. Footnote for Table 4.14

1 Sunlight	
	Area = 5.41E+04 m ²
	Insolation = 4.46E+02 MJ/m ² /year
	Albedo = 0.1
	Energy(J) = Area*(1-Albedo)*Insolation*(1E06J/MJ)
	= 2.17E+13 J/yr
2 Wind kinetic energy	
	Area = 5.41E+04 m ²
	Atmosphere layer = 1000 m
	Air density = 1.23 kg/m ³
	Average wind range = 4 m/s(Zhang, 1988)
	Energy(J) = (height)(density)(diff.coefficient)(wind gradient)(area)
	(1000m)(1.23kg/m ³)(3.9m ³ /m/sec)(3.154E7sec/yr)
	(2.8E-3m/sec/m) ² (2.34E10m ²)
	= 2.57E+11 J/yr
3 Rain chemical potential energy	
	Area = 5.41E+04 m ²
	Rainfall = 1349 m/yr
	Density = 1.00E+03 kg/m ³
	Gibbs free energy per gram = 4.94E+03 J/kg
	Energy(J) = Area*Rainfall*Density*Gibbs free energy per gram
	= 3.60E+14 J/yr
4 Goods & Services	
	Goods & Services = 4.55E+04 won/m ²
	= 54089 m ² /kg
	= 2.46E+09 won/kg
	= 1529.35 kg/yr P, yearly reduction
	= 1.61E+06 ₩/kg

Appendix 16. Footnote for Table 4.17

(a) FLOW

1 Sunlight

$$\begin{aligned}\text{Area} &= 6.79\text{E}+04 \text{ m}^2 \\ \text{Insolation} &= 4.46\text{E}+02 \text{ MJ/m}^2/\text{year} \\ \text{Albedo} &= 0.1 \\ \text{Energy(J)} &= \text{Area} \times (1 - \text{Albedo}) \times \text{Insolation} \times (1\text{E}06\text{J/MJ}) \\ &= 2.73\text{E}+13 \text{ J/yr}\end{aligned}$$

2 Wind kinetic energy

$$\begin{aligned}\text{Area} &= 6.79\text{E}+04 \text{ m}^2 \\ \text{Atmosphere layer} &= 1000 \text{ m} \\ \text{Air density} &= 1.23 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Average wind range} &= 4 \text{ m/s (Zhang, 1988)} \\ \text{Energy(J)} &= (\text{height})(\text{density})(\text{diff.coefficient})(\text{wind gradient})(\text{area}) \\ &\quad (1000\text{m})(1.23\text{kg/m}^3)(3.9\text{m}^3/\text{m/sec})(3.154\text{E}7\text{sec/yr}) \\ &\quad (2.8\text{E}-3\text{m/sec/m})^2(2.34\text{E}10\text{m}^2) \\ &= 3.22\text{E}+11 \text{ J/yr}\end{aligned}$$

3 Rain chemical potential energy

$$\begin{aligned}\text{Area} &= 6.79\text{E}+04 \text{ m}^2 \\ \text{Rainfall} &= 1083 \text{ m/yr} \\ \text{Density} &= 1.00\text{E}+03 \text{ kg/m}^3 \\ \text{Gibbs free energy per gram} &= 4.94\text{E}+03 \text{ J/kg} \\ \text{Energy(J)} &= \text{Area} \times \text{Rainfall} \times \text{Density} \times \text{Gibbs free energy per gram} \\ &= 3.63\text{E}+14 \text{ J/yr}\end{aligned}$$

4 River chemical potential energy

$$\begin{aligned}\text{Volume flow} &= 7.35\text{E}+07 \text{ m}^3/\text{yr} \\ \text{Gibbs free energy per gram} &= 4.89 \text{ J/g} \\ \text{Energy(J)} &= (2.31\text{E}+07\text{m}^3/\text{yr})(4.89\text{J/g})(1.0\text{E}+06\text{g/m}^3) \\ &= 3.60\text{E}+14 \text{ J/yr}\end{aligned}$$

(b) STORAGES

1 Mud and sediments energy

$$\begin{aligned}\text{Area} &= 6.79\text{E}+04 \text{ m}^2 \\ \text{Peaty sediments energy} &= 3.69\text{E}+07 \text{ J/m}^2 \\ \text{Energy(J)} &= \text{Area} \times \text{Peaty sediments energy} \\ &= 2.51\text{E}+12 \text{ J/yr}\end{aligned}$$

2 Phytoplankton

$$\begin{aligned}\text{Water area} &= 6.79\text{E}+04 \text{ m}^2 \\ \text{Average depth} &= 1.14\text{E}+00 \text{ m} \\ \text{Concentration of chl.a} &= 6.86\text{E}+01 \text{ mg/m}^3 \\ \text{Ratio of algal biomass to chl.a} &= 1.00\text{E}-02 \text{ g algae/ mg chl.a} \\ \text{Primary producer} &= 1.67\text{E}+04 \\ \text{Energy(J)} &= (68.6\text{mg chl.a/m}^3)(0.01\text{g algae/mg chl.a}) \\ &\quad (1.14\text{m})(1.92\text{E}8 \text{ m}^2)(16700\text{J/g-dry}) \\ &= 4.40\text{E}+12 \text{ J}\end{aligned}$$

3 Waterfowls

$$\begin{aligned}\text{Number} &= 140 \text{ head} \\ \text{Average weight} &= 900 \text{ g/head} \\ \text{Vertebrate dry wt. to live wt. ratio} &= 0.6 \\ \text{Wt.-energy conversion} &= 2.09\text{E}+04 \text{ J/g-dry wt.} \\ \text{Energy(J)} &= (7.12\text{E}+04\text{head})(900\text{g/head})(0.6)(2.09\text{E}+04\text{J/g-dry wt.}) \\ &= 8.04\text{E}+11 \text{ J}\end{aligned}$$

감사의 글

오늘의 결실이 있기까지 부족한 저에게 격려와 용기를 주신 많은 분들께 진심으로 감사드립니다. 그리고 지난 긴 시간동안 포기하지 않고 한편의 논문이 완성되기까지 지도해 주시고 기회를 주신 이석모 교수님께 진심으로 머리숙여 감사드립니다. 논문 심사과정에서 조언해 주시고 많이 부족하지만 올바른 학문의 길로 걸어 갈 수 있도록 아낌없는 질타와 지도를 해주신 강대석 교수님, 신성교 박사님, 강임석 교수님, 김상단 교수님께 진심으로 감사드립니다. 바쁘신 중에 부족한 저를 지도해 주시느라 고생 많으셨습니다. 앞으로 부족함을 채워나가도록 정말 열심히 하겠습니다.

이제 학교를 떠나셨지만 늘 부경인의 곁에 계시는 박청길 교수님께 감사드립니다. 교수님 건강하십시오. 그리고 대학원 생활을 할 때 늘 격려해 주시고 항상 웃음으로써 반갑게 맞이해 주시던 이제근 교수님, 이병헌 교수님, 여석준 교수님, 김일규 교수님께도 감사드립니다.

더 넓은 세상으로 떠나 경남발전연구원에 들어와 많은 경험을 하게 되었습니다. 무엇보다도 늘 세심한 연구와 작업을 하면서 믿음으로 이끌어 주신 윤성윤 박사님과 많은 관심과 조언을 해 주신 민말순 박사님, 홍종욱 박사님, 김한도 박사님, 황인식 박사님, 한상우 박사님을 비롯한 훌륭하신 여러 박사님들께 감사를 드립니다. 그리고 생태공학과 교수님이 되신 멋진 김동명 교수님과 일을 하면서 많이 묻고 의지한 부산발전연구원의 백경훈 박사님, 늘 친절하게 가르쳐 주고 도움을 주신 이원찬 박사님, 홍석진 박사님, 박해식 박사님께 고마움을 전합니다. 늘 든든하고 따뜻한 마음으로 관심을 보여주신 손지호 박사님, 최영근 박사님, 이성호 박사님, 김진만 박사님과 정신적으로 버팀목이 되어준 대학원 동기인 송미경 박사님께도 고마움을 전합니다. 열심히 회사 생활하면서 힘이 되어준 동기 김우석, 멀리 있지만 가까이 있는 것처럼 도움이 된 후배 김남국에게도 고마움을 전합니다.

오래간만에 학교 연구실에 들어갔을 때 반갑게 맞아주고 함께 늦게까지 남아 작업을 도와준 정혁이와 타 전공을 했지만 생태공학 연구실에 들어와 열심히 공부하는 모습이 보기 좋았던 문보, 석사때 따뜻한 공부를 하고 늘 신중한 모습으로 고민하고 열

심히 하는 봉군이, 방장으로써 후배들한테 모범이 되고 뭐든 열심히 하고 잘하는 영윤이, 공부도 열심히 하겠지만 운동도 열심히 하는 멋진 종명, 직장생활 하다가 학교로와 열심히 적응 잘하고 있는 선혁, 머나먼 타국에서 열심히 공부하는 오미와 주말에도 열심히 도와주고 아 도움을 좀 받아야겠다 싶었는데 사회생활하게 되어 조금 아쉬웠지만 사회생활에 적응을 잘하고 있는 모습에 정말 이쁜 혜현이! 정말 고맙다. 늘 공부하면서 멋진 모습을 유지하고 못하는게 하나 없는 혜옥, 어리게만 봤었는데 어느날 대학원생으로 변신해 있던 하나, 의젓한 졸업반으로 알찬 꿈을 위해 열심히 노력하는 광섭아 졸업을 축하한다. 방장이자 학부생 막둥이인 귀염둥이 보라, 늘 행복해 하고 즐겁게 사는 동주야 너네들이 있어 몇 달 동안 즐겁게 생활하고 이겨나갈 수 있었던 것 같다. 너무 고맙구나. 그리고 멀리서 열심히 일하고 알찬 생활을 하고 있는 윤미와 은지를 비롯한 하천 및 해양생태공학연구실 선배님과 후배님들께 감사드립니다. 그리고 열심히 하여 좋은 후배와 선배가 되도록 하겠습니다.

무엇보다도 오늘이 있기까지 옆자리에서 동료로서 연구원의 업무를 나눠하고 후배로서 작업을 도와준 주용수 후배님의 도움이 없었더라면 어떻게 해 낼 수 있었을까 싶습니다. 뿐만 아니라 연구원을 떠났지만 도움이 많이 된 이성용 박사님, 양영훈 선생님, 안병영 선생님, 알찬 계획으로 살아가는 이채하 선생님, 힘들고 지쳐있을 때 에너지를 준 윤지수 선생님, 늘 도움을 준 서상래 팀장님, 예쁜 공주님들의 엄마이자 우리 연구원의 왕언니인 정미언니 덕분에 힘내어 무사히 마치게 되었습니다. 뿐만 아니라 다른 연구원들의 도움으로 마무리하게 되어 진심으로 고마움을 전하고 싶습니다.

그동안 오랜 시간을 참고 기다려 주신 어머니, 아버님과 사랑과 희생으로 이 부족한 자식을 끝까지 지켜봐 주신 고향에 계신 아버지, 엄마 그리고 늘 힘이 되어준 큰 오빠네 가족과 작은 오빠네 가족들과 시댁 식구들께도 감사드립니다. 정신적으로 학업에 정진할 수 있도록 도와 준 남편, 씩씩하게 잘 기다려 주고 잘 참아준 사랑스런 아들 준형에게도 고마움을 전합니다. 사랑하는 가족들이 있기에 힘이 되고 지치지 않았습니니다.

이 작은 결실을 밑거름 삼아 더욱 성실하고 노력하는 마음으로 충실한 삶을 이어나갈 것을 다짐합니다. 그리고 항상 배움의 자세로 겸손하게 살아가겠습니다.

감사합니다.

참 고 문 헌

- Andres A. Buenfil (2001) : Emergy Evaluation water, p248.
- Braat, L. C. (1987) : Systems ecology and sustainable development : Links on two levels In C.A.S. Hall (1995) : Maximum Power. Univ. Press of Colorado, p164~174.
- Daly, H. E. (1990) : Toward some operational principles of sustainable development. Ecol. Econ. 2, p1~6.
- Doherty S. J. and M. T. Brown (1993) : Emergy synthesis perspectives, sustainable development, and public policy options for papua newguinea, Research studies under contract to The Cousteau Society. Center for Wetlands, Univ. of FL.
- G.Diracusa·A.D.La Rosa (2006) : Design of a ed wetland for wastewater treatment in a Sicilian town and environmental evaluation using the emergy analysis, Ecological Modelling, 97, p490-497.
- Huang S. L., Shu-Chi Wu and Wei-Bin Chen (1995) : Ecosystem, environmental quality and ecotechnology in the Taipei metropolitan region. Ecological Engineering, 4, p233-248.
- Johanna Bjorklund, Ulrika Geber,Torbjorn Rydberg (2000) : Emergy analysis of municipal wastewater treatment and generation of electricity digestion of sewage sludge.
- Jeron C.J.M. van den Bergh (1992) : Ecological Economics and Sustainable Development. Edward Elgar, Cheltenham, UK · Brookfield, US. p312.
- Lee, S. M. and H.T. Odum (1994) : Emergy analysis overview of Korea. J. of the Korean Env. Sci. Soc. 3(2). p165~175.

- Mitch, W. J. and S. E. Jørgensen. (1989) : Ecological engineering, an introduction to ecotechnology. John Wiley & Sons, New York, p472.
- 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, p51-69.
- Brown, M. T. and T. R. McClanahan (1996) : Emergy analysis perspectives of Thailand and Mekong River dam proposals. Ecological Modelling, 91, p105-130.
- Odum, H. T. and E. C. Odum (1983) : Energy analysis overview of nations. Working paper WP-83-82, International Institute for Applied System Analysis, Luxemburg, Austria, p469.
- Odum, H. T. (1983) : Systems Ecology. John Wiley & Sons, New York, p644.
- 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 Environment Programme, Nairobi, Kenya, p109.
- Odum, H. T. (1988) : Self organization, transformity, and information. Science, 242, 1132-1139.
- Odum, H. T. (1983) : Systems Ecology. John Wiley & Sons, New York, p644.
- Odum, H. T. (1996) : Environmental Accounting. John Wiley & Sons, New York, p370.
- 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 Environment Programme, Nairobi, Kenya, p109.
- Odum, H. T. and E. C. Odum (1996) : Modeling for All Scales : An Introduction to Systems and Simulation, p398.
- Odum, H. T., Craig Diamond and Mark T. Brown (1987) : Energy systems

- overview of the Mississippi river basin, p107.
- Odum, H. T, M. T. Brown and Robert A. Christianson (1996) : Energy systems overview of the Amazon basin.
- Peter, A. K. (1980) : Water Quality management, Vladimir Novony, p59~68.
- Resources, Conservation and Recycling 31 (2001) p293-316.
- U.S. Environmental Protection Agency (1985) : Computer program documentation for the enhanced stream water quality model QUAL 2EU, p188.
- 강대석 · 박석순, 1999, 에머지(Emergy) 개념을 이용한 다목적 건설의 생태경제학적인 평가방법에 관한 연구, 환경영향평가 학회지, 8(2), p45~51.
- 강원도, 2005, 낙동강수계 강원도 오염총량관리 기본계획.
- 거창군, 2006, 낙동강수계 거창군 오염총량관리 시행계획.
- 경산시, 2006, 낙동강수계 경산시 오염총량관리 시행계획.
- 경상남도, 2005, 낙동강수계 경상남도 오염총량관리 기본계획.
- 경상남도, 2006, 경상남도 습지로드맵, p256.
- 경상북도, 2005, 낙동강수계 경상북도 오염총량관리 기본계획.
- 고령군, 2006, 낙동강수계 고령군 오염총량관리 시행계획.
- 고성군, 2006, 낙동강수계 고성군 오염총량관리 시행계획.
- 국립환경연구원 · 수질총량관리센터, 2005, 외국의 수질총량관리제도, p44.
- 국토연구원, 2001, 물부족 해소를 위한 수자원 관리방안 연구, p264.
- 국토연구원, 2004, 하천유역별 오염총량관리제도의 수립에 따른 지역경제 및 토지이용 변화전망과 정책과제, p163.
- 국토연구원, 김종원, 합리적 수자원 배분모형 설정에 관한 연구, p147.
- 국토연구원, 김광목·박희경·이승복·차동훈, 물부족 해소를 위한 수자원 관리방안 연구.
- 군위군, 2006, 낙동강수계 군위군 오염총량관리 시행계획.
- 김영진, 2000, 환경회계에 의한 하천 유역의 환경정책 결정에 관한 연구, 부경대학교

- 대학원 박사학위논문.
- 김우석, 2002, 환경회계에 의한 공유수면매립사업의 사전환경성검토방법 개발과 적용, 부경대학교 대학원 석사학위논문.
- 김진이, 2000, 시스템 생태학적 접근법에 의한 낙동강유역의 지속적인 발전가능성 평가, 부경대학교 대학원 석사학위논문.
- 김영윤, 2006, 비점오염물질 저감시설의 삭감효율 평가에 관한 연구, 부경대학교 대학원 석사학위논문.
- 김천시, 2006, 낙동강수계 김천시 오염총량관리 시행계획.
- 김해시, 2002, 장유하수처리장 고도처리시설 기본 및 실시설계 보고서.
- 김해시, 2006, 낙동강수계 김해시 오염총량관리 시행계획.
- 대구광역시, 2005, 낙동강수계 대구광역시 오염총량관리 기본계획.
- 대구광역시, 2005, 낙동강수계 대구광역시 오염총량관리 시행계획.
- 문현생 · 이혁 · 이윤아, 대한상하수도학회 · 한국물환경학회, 성공적인 유역관리정보시스템을 구축하기 위한 전략, p368-371.
- 백경훈, 1998, 낙동강유역의 수질오염부하량산정, 부경대학교 대학원 석사학위논문
- 백경훈, 2005, 하천하류지역 수질을 고려한 댐 용수 최적취수량 산정에 관한 연구, 부경대학교 대학원 박사학위논문.
- 부산광역시, 2004, 낙동강수계 부산광역시 오염총량관리 기본계획.
- 부산광역시, 2004, 낙동강수계 부산광역시 오염총량관리 시행계획.
- 부산발전연구원, 2006, 낙동강백서, p298.
- 부산발전연구원, 제윤미 · 송교육, 2004, 낙동강하구역의 생태 · 경제학적 가치평가와 보전방안에 관한 연구, p125.
- 산림청, 2005, 임업통계요람, p392.
- 상주시, 2006, 낙동강수계 상주시 오염총량관리 시행계획.
- 서울시정개발연구원, 1999, 서울시 환경용량 평가에 관한 연구, p144.

성주군, 2006, 낙동강수계 성주군 오염총량관리 시행계획.

손지호 · 신성교 · 조은일 · 이석모, 1996, 한국 수산업의 EMERGY 분석, 한국수산학회지, 29(5), p689~700.

손지호, 1999, EMERGY 분석법에 의한 도시의 지속적인 발전가능성 평가, 부경대학교 대학원 환경공학과 박사학위 논문, p141.

신라대학교부설낙동강연구, 1998, 낙동강연구논총, p202.

신봉균, 2007, 하수슬러지의 처분에 대한 생태경제성 평가, 부경대학교 대학원 석사학위논문.

안동시, 2005, 낙동강수계 안동시 오염총량관리 시행계획.

엄기혁 · 손지호 · 조은일 · 이석모 · 박창길, 1996, EMERGY 분석법에 의한 득량만의 환경용량 산정, 한국수산학회지, 29(5), p629~636.

영천시, 2006, 낙동강수계 영천시 오염총량관리 시행계획.

울산지역환경기술개발센터, 2005, 이철영, 하천수질개선 및 생태복원을 위한 습지조성 타당성 조사연구, p89.

의성군, 2006, 낙동강수계 의성군 오염총량관리 시행계획.

이경미, 2007, 저류형 습지의 비점원오염물질 저감능력 평가, 부경대학교 대학원 석사학위논문

이시경(계명대학교 행정학과), 지속 가능한 수자원 관리를 위한 지방정부간 협력방안 : 낙동강 유역을 중심으로

이영애, 2007, 낙동강 하구둑의 기능에 대한 에머지 분석, 부경대학교 대학원 석사학위논문

이정호 · 김종대, 1998, 환경원가회계의 구조 및 현황, 경영논집, 서울대학교 경영대학 경영연구소, 32(2), p117-166.

이현동 · 배철호, 2002, 비점오염원 유출특성과 저감을 위한 최적관리방안, 한국물환경학회지, 18(6), p569-576.

인제대학교 NURI 수자원재해관리사업단, 낙동강유역 수질관리를 위한 산학연관 심포지움.

인제대학교 NURI 수자원재해관리사업단, 비점오염과 유역관리, p273.

진주시, 2005, 낙동강수계 진주시 오염총량관리 시행계획.

정용준, 2006, 하수종말처리장 방류수와 비점오염원 처리를 위한 주암호 인공습지 2년 운영사례, 한국물환경학회, 22(6), No.6, p1031-1037.

장지인, 1999, 환경회계연구의 현황과 과제, 환경회계의 과제와 전망, 제9회 중앙대학교 경영포럼, 중앙대학교 경영연구소, p1-43.

창녕군, 2006, 낙동강수계 창녕군 오염총량관리 시행계획.

청도군, 2006, 낙동강수계 청도군 오염총량관리 시행계획.

최영근, 2003, 국가와 지역시스템의 지속성 평가에 대한 연구, 부경대학교 대학원 박사학위논문.

춘천 물포럼, 이상헌, 낙동강수계 오염총량관리제도와 지역갈등, p537-559.

충남발전연구원, 2002, 오염총량관리제의 효율적 추진방안연구, p41.

칠곡군, 2006, 낙동강수계 칠곡군 오염총량관리 시행계획.

통계청, 2005, 강서구통계연보, p680.

통계청, 2005, 경남통계연보, p710.

통계청, 2005, 대구통계연보, p720.

통계청, 2005, 물가연보, p491.

통계청, 2005, 부산통계연보, p658.

통계청, 2005, 북구통계연보, p189.

통계청, 2005, 산업생산연보, p777.

통계청, 2005, 지역내총생산, p360.

통계청, 2005, 태백통계연보, p435p.

하동군, 2006, 하동하수종말처리시설 고도처리시설 계획 보고서.

한국수자원공사, 1998. 12, 기존댐 용수공급능력조사(낙동강,금강), p218.

한국수자원공사, 반양진 · 조용덕, 댐건설사업 시행에 따른 환경가치를 감안한 경제성 분석(영월댐과 용담댐 검토결과를 바탕으로 한탄강댐의 분석), p22.

한국은행, 2005, 경제통계연보, p365.

한국해양수산개발원, 강대석 · 남정호, 2003, 에머지 개념을 이용한 해양환경자원의 가치평가와 정책활용 방안, p107.

한국환경정책 · 평가연구원, 1998, 문현주, 수계 수질개선을 위한 효율적인 관리체계 및 적정투자 · 비용분담 정책에 관한 연구, p104.

한국환경정책 · 평가연구원, 1998, 비점오염원의 제도적 관리방안 연구, 최지용, p163.

한국환경정책 · 평가연구원, 1999, 물자원의 효율적 이용을 위한 유역관리 방안, p145.

한국환경정책 · 평가연구원, 2003, 낙동강 오염총량관리를 위한 기준유량 설정 최종보고서, p162.

한국환경정책 · 평가연구원, 문현주 · 황석준, 총량관리체제하에서의 지역환경관리, p129.

한국회계연구원, 2001, 환경회계, p154.

한국수자원학회지(물과 미래, 2007), 우포늪의 생태치수기능 개선을 위한 천변저류지 검토, p14-19.

환경관리공단, 2004, 환경기술검증보고서(자연통풍형 호기조/습지조를 이용한 하수고도처리시설(SNR공법), p166.

환경관리공단, 2005, 한강수계비점오염관리시설 시범설치사업(2차년도) 기본 및 실시계획보고서, pp4-15.

환경부, 2002, 지속가능한 지역개발전략 수립을 위한 연구, p297.

환경부, 2001, 전국내륙습지조사.

환경부, 2003, 환경정책의 비용/편익분석 지침서.

환경부, 2003, 2004년도 물관리종합대책 실천계획, p157.

환경부, 2006, 물환경관리기본계획-4대강 대권역 수질보전기본계획('06-'15), p324.

환경부, 2006, 물환경관리 기본계획(4대강 대권역 수질보전기본계획), p324.

환경부, 2006, 환경통계연감,

환경부, 2006, 상수도통계,

환경부, 2006, 하수도통계,

환경부, 2006 환경회계 가이드라인, p204.

환경부 · 국립환경과학원, 수질오염총량관리제도.

환경부, 1999, 낙동강 물관리종합대책 수립을 위한 정책토론회, p109.

황용우 · 박광호, 하수처리시설에 대한 LCA 분석기법 수립 연구

