

환경회계에 의한 낙동강 유역의 환경정책결정에 관한 연구

김 영 진^{*} · 김 진 이 · 손 지 호 · 이 석 모
^{*}낙동강 환경관리청 · 부경대학교 환경공학과
(2000년 12월 15일 접수)

Environmental Decision Making of Nakdong River Basin by the Environmental Accounting

Young-Jin Kim^{*}, Jin-Lee Kim, Ji-Ho Son and Suk-Mo Lee

^{*}Nakdong-River Environmental Management Office,

Department of Environmental Engineering, Pukyong National University

(Manuscript received 15 December 2000)

The conflicts between environment protection and economic development are becoming increasingly important in environmental decision making of Nakdong River Basin. A science-based evaluation system is now needed to represent both the environmental values and the economic values with a common measure. EMERGY, spelled with an "m" evaluates both the work of river and that of human in generating products and services. The monetary cost-benefit analysis and the environmental accounting by EMERGY analysis were applied to determine whether there will have a net benefit in environmental decision making of Nakdong River Basin. Based on the results of the environmental accounting, all alternatives which related to environmental decision making of Nakdong River Basin show that more and more of EMERGY cost becomes needed than the EMERGY benefit from getting water to drink in the lower basin. From these results, for selecting alternatives to manage water quantity and quality that is sustainable in the environmental use and economic development, environmental accounting concepts must be considered, and the economic structure of Nakdong River Basin should be changed from the present industrial structure to social-economic structure based on ecological-recycling concept for the sustainable use of Nakdong River.

Key words: Monetary Cost-benefit Analysis, Environmental Accounting, EMERGY Benefit

1. 서 론

지금까지의 환경정책은 자연환경을 경제적 가치로 평가할 수 없었기 때문에 경제적 비용 분석에 의존하여 최소 경비로 효과를 얻을 수 있는 정책을 선택하여 왔다. 그러나 자연환경의 역할과 경제활동을 동일한 가치척도로 평가하는 환경회계¹⁾에 의해 정책을 평가할 경우 단순한 경제적 가치 또는 지역적인 이익의 차원을 넘어 국가 전체의 경제에 공익을 창출하는 정책을 선택하게 할 것이다.

낙동강 유역은 지방자치 단체간 또는 산업간 경쟁적인 개발 정책으로 인하여 수자원 이용은 물론 수질오염을 비롯한 갈등이 끊임없이 야기되고 있다. 최근에 대두되었던 위천공단 조성, 신규댐의 건설에 따른 민원의 발생은 지역간 갈등과 환경분쟁의 구체적 사례이다. 이러한 환경 논쟁은 서로 상반되는 가치판단에 기초한 의사결정에 기인한다.

특히 낙동강 하류유역의 경우 매년 수질 악화로 하류 유역 주민들의 불신을 가중시키고 있으며, 이와 관련하

여 용수공급을 위한 최소한의 수질환경기준 2등급을 만족시키기 위한 환경정책의 일환으로 각종 대안^{2,3)}이 제안되고 있다.

본 연구에서는 자연환경의 역할과 경제활동을 동일한 가치척도로 평가하는 환경회계를 기초로 낙동강 하류지역의 목표 수질을 달성하기 위한 각종 수질관리 정책 대안들을 평가⁴⁻⁶⁾하여, 각종 방안의 경제적 비용과 수질개선 효과가 유역 전체에 제공하는 편익을 파악하고자 하였다.

2. 연구방법

본 연구에서 환경회계의 적용을 위하여 첫째, 낙동강 유역의 하천이용과 관련하여 자연환경과 경제활동 요소인 강우 유입, 하천 유입·출, 댐의 수리·수문학적 관리, 용수공급, 그리고 하수처리를 파악하기 위한 에너지 시스템 다이어그램을 작성한다.

둘째, 하천이용 중에서 용수공급과 관련하여, 자연환

경 에너지원인 하천수와 이를 수량·수질 측면에서 관리하기 위한 노력인 댐의 수리·수문학적 관리, 용수공급, 그리고 하수처리와 같은 경제적 활동을 동일한 가치 척도로 나타내기 위해 Table 1의 EMERGY 평가표를 작성하였다. 평가에 이용된 자료로 낙동강 상·중·하류 유역의 하천유출량, 댐 방류량, 용수공급량, 하수발생량, 원수가격, 상수생산원가, 하수원가 등은 각종 통계 자료로부터 인용하였다.⁷⁻¹¹⁾

Table 1. Tabular format for EMERGY evaluation of water resource basis

Item	Date Units (J, g, or \$)	Solar Transformity (sej/unit)	Solar EMERGY (sej/yr)	Em ^W (won/yr)
(one line here for source, process of interest)				

셋째, 하류유역의 용수공급에 있어 수질환경기준 2등급을 만족시키기 위한 각 대안의 경제성 평가는 추가 처리 용량에 기초한 처리비용으로 산정하였다.(Table 2)¹²⁾

Table 2. Cost analysis of each alternatives(million won)

Alternatives	Constructio n cost	Operation & maintenance cost	Total cost
1. BOD Reduction	22,365	9,525	31,855
2. P Reduction(Chemical)	263,173	15,240	278,413
3. P Reduction(Biological)	18,930	2,418	21,348
4. BOD & P Reduction (Chemical)	216,487	18517	235,004
5. BOD & P Reduction (Biological)	28,828	8,293	37,121
6. Collection & transportations	208,935	-	208,935
7. Dam construction	-	-	822,575
8. Advanced water treatment	-	-	81,571

추가 처리용량은 하류 유역의 BOD 수질환경기준 2등급을 만족하기 위한 추가 필요삭감량¹²⁾과 낙동강 유역의 하·폐수 처리효율¹³⁾ ([발생 부하량-배출 부하량]/하 폐수 발생량)를 기초로 식(1)에 의해 산정하였다.

$$\text{추가 처리용량} = \text{추가 필요삭감량/낙동강 유역의 하·폐수 처리효율} \quad \text{식(1)}$$

각 대안별 처리비용 산정에서 BOD 추가 삭감의 경우에는 연간 건설비용(=설비자본회수계수×총건설비용)¹⁴⁾과 유지관리비(=추가처리용량×톤당 연간 유지관리비)¹⁵⁾의 합으로 산정한다. 화학적 처리에 의한 P 추가 삭감의 경우에는 추가 처리 용량과 하수처리장 건설비 관계식¹⁶⁾으로 산정한다. 생물학적 처리에 의한 P 추가 삭감의 경우에는 활성슬러지공법의 하수처리장에 추가적으로 생물학적 P처리 공정을 추가 건설할 경우의 연간 건설비용과 유지관리비¹⁴⁾를 적용하였다. 하·폐수 차집 배제의 경우에는 차집관거 건설비와 하수관 설치비용을 더한 연

간 비용¹⁶⁾을 기초로 하였다. 그리고 하류유역의 수질환경기준 2등급을 만족시키기 위한 추가 댐건설의 경우에는 환경부의 추가 수자원 확보량인 5,475 E8 ton/yr에 대한 연간 댐건설 비용 2160억원¹⁷⁾을 적용하였다.

넷째, 하류 유역의 수질환경기준 2등급을 만족시키기 위한 각 대안의 경제성 평가와 그에 따른 환경개선효과를 EMERGY 평가하여 Table 3과 같이 현재의 용수공급에 대한 EMERGY 평가 결과와 비교하였다.

Table 3. EMERGY evaluation of water production by the each alternatives in the lower Nakdong River Basin

Status	R ^{a)} (sej/yr)	F ^{b)} (sej/yr)	Y ^{c)} (sej/yr)	Y/T F/R
(one line here for source, process of interest)				

a) R=(Amount of water resource used)×(Actual energy in present or improved state)×(Solar Transformity).

b) F=(Amount of water resource used)×(Total EMERGY cost).

c) Y=(Amount of water resource used)×(EMERGY per cubic meter).

다섯째, EMERGY 척도로 평가된 각 대안별 환경개선 효과와 추가 비용을 EMERGY dollar ratio와 미화 환율을 이용하여 화폐 가치로 전환한 후, 각 대안의 이득과 손실을 비교하여 환경편익을 파악하였다¹¹⁾.

3. 연구 결과

3.1. 에너지 시스템 다이어그램 작성

낙동강 유역의 하천이용과 관련한 자연환경과 경제활동을 파악하기 위해서 Fig. 1과 같이 에너지 시스템 다이어그램을 작성하였다.

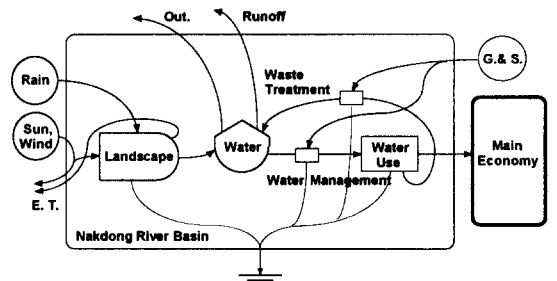


Fig. 1. Energy system diagram related to the management of water quality and quantity in Nakdong river.

낙동강 유역의 수자원량을 형성하는 자연환경적 요인은 강우이며, 낙동강 유역에 내린 강우에 의해 확보될 수 있는 총 수자원량 중 전체의 약 51%가 하천 유지수 및 용수 등으로 사용되고 있다.¹⁰⁾ 그러나 강우의 약 60% 이상이 하절기에 집중되고 있어, 하천의 지속적인 이용

이 힘든 상황이다. 따라서 낙동강의 이러한 수량적인 문제를 해결하고 양질의 용수공급을 위해 댐 건설·관리, 하수종말처리장의 증설 그리고 고도상수처리시설의 확충 등과 같은 경제적 비용을 유발하는 각종 재화와 용역의 투자가 진행되어 왔다.

일반적인 하천 이용에 있어 용수공급으로부터 얻어진 수자원의 가치는 소비자가 지불하는 수도요금이나 생산자가 수리·수문학적 과정과 용수공급과정 등에 지불하는 생산비용 측면에서만 판단되었지, 하천수 자체가 가지는 자연환경적인 가치와 상수원수를 유지시키기 위해 투입된 노력들을 함께 고려하지 않고 있다. 따라서 자연환경과 경제적인 요소를 함께 고려할 수 있는 평가방법이 필요한 실정이다.

3.2. 용수공급에 대한 EMERGY 평가

상·중·하류의 용수공급과정에 있어 자연환경의 가치와 경제적 활동의 역할을 동일한 가치 척도로 평가하면 Table 4와 같다.

Table 4. EMERGY evaluation for 1m³ of water treatment in each basin

Note	Item	Raw water (J or \$/m ³)	Solar Transformity (sej/J or \$)	Solar EMERGY (sej/m ³)	EmiW (won/m ³)
Upper basin :					
1.	Raw water	4.93E+06 J	48.459	2.36E+11	112.17
2.	Cost of upper dam manage.	9.53E-03 \$	1.65E+12	1.57E+10	7.38
3.	Cost of upper water treat.	4.67E-01 \$	1.65E+12	7.70E+11	361.58
4.	Treated water	4.94E+06 J	207.438	1.02E+12	481.13
Middle basin :					
5.	Raw water	4.91E+06 J	48.459	2.36E+11	111.71
6.	Cost of upper dam manage.	9.53E-03 \$	1.65E+12	1.57E+10	7.38
7.	Cost of upper waste treat.	2.07E-03 \$	1.65E+12	3.41E+09	1.60
8.	Cost of middle dam manage.	9.24E-04 \$	1.65E+12	1.52E+09	0.72
9.	Cost of middle water treat.	4.85E-01 \$	1.65E+12	8.00E+11	375.82
10.	Treated water	4.94E+06 J	207.438	1.02E+12	481.13
Lower basin :					
11.	Raw water	4.88E+06 J	48.459	2.36E+11	111.03
12.	Cost of upper dam manage.	9.53E-03 \$	1.65E+12	1.57E+10	7.38
13.	Cost of upper waste treat.	2.07E-03 \$	1.65E+12	3.41E+09	1.60
14.	Cost of middle dam manage.	9.24E-04 \$	1.65E+12	1.52E+09	0.72
15.	Cost of middle waste treat.	1.26E-02 \$	1.65E+12	2.08E+10	9.77
16.	Cost of lower dam manage.	3.71E-03 \$	1.65E+12	6.12E+09	2.87
17.	Cost of lower water treat.	4.97E-01 \$	1.65E+12	8.20E+11	384.88
18.	Treated water	4.94E+06 J	207.438	1.02E+12	481.13

상류유역에서 상수원수인 하천수에 내재된 자연환경의 가치를 단위체적(m³)당 EMERGY로 나타내면 2.39 E11 sej/m³이었다. 그리고 하천수를 취수하여 상수를 생산하는 과정과 관련하여 상류의 댐관리비, 상수처리비 등과 같은 경제활동에 소모된 비용을 단위체적(m³)당 EMERGY로 평가하면 7.86 E11 sej/m³으로 나타났다.

중류유역의 경우에 하천수의 가치는 2.38 E11 sej/m³, 상·중류의 댐관리비, 상류의 하·폐수처리비, 중류유역의 정수처리비에 대한 비용은 8.21 E11 sej/m³이었다.

하류유역의 경우에 하천수의 가치는 2.36 E11 sej/m³, 상·중·하류의 댐관리비, 상·중류의 하·폐수처리비, 하류유역의 상수처리비에 대한 비용은 8.67 E11 sej/m³

이었다.

특히 낙동강 유역에서는 영남 주민의 약 80%가 낙동강 본류수를 직접 취수하여 생·공용수로 이용하고, 이중 약 80%정도를 다시 하·폐수로 회귀하는 실정이다. 따라서 낙동강 수계 내에서의 상·중류의 하·폐수 처리는 하류의 상수원 수질개선을 위한 노력으로 파악되었다.

이상의 결과를 요약하여 Fig. 2와 같은 요약형 에너지 시스템 다이어그램으로 파악하면 상·중·하류의 상수원수인 하천수에 내재된 단위체적(m³)당 EMERGY 가치는 2.39 E11 sej/m³, 2.38 E11 sej/m³, 2.36 E11 sej/m³으로 하류의 수질 악화와 함께 감소하는 경향을 나타내었다. 반면에 용수공급과정에 투입되는 비용은 상·중·하류에서 7.86 E11 sej/m³, 8.21 E11 sej/m³, 8.67 E11 sej/m³으로 하류로 갈수록 증가하는 경향을 보였다.

그리고 단위체적(m³)당 EMERGY로 평가된 결과를 EMERGY dollar ratio와 미화 환율을 이용하여 화폐 가치로 나타내면, 상·중·하류유역에서 하천수가 가진 가치는 112.17won/m³, 111.71won/m³, 111.03won/m³이었고, 생산비용은 368.96won/m³, 385.52won/m³, 407.23won/m³이었으며, 그리고 각 유역에서 상수처리된 수자원의 가치는 481.13won/m³으로 평가되었다.

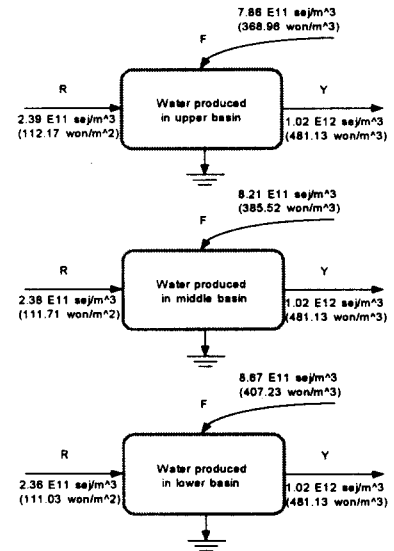


Fig. 2. Three-arm diagram related water treatment in each basin(R=Raw water, F=Cost, Y=Treated water).

낙동강 유역의 용수공급 시스템의 특성을 파악하기 위한 EMERGY지표에서 첫째, 용수공급을 위한 경제적인 투자가 자연환경에 미치는 영향을 파악하기 위한 EMERGY투자비를 살펴보면, Table 5와 같이 낙동강의 경우 상류에서 중·하류로 갈수록 각각 3.29, 3.45, 3.67로 증가하는 형태를 나타내었다.

둘째, 생산된 상수가 가지는 자원으로서의 가치를 EMERGY

생산비로 파악하면, 낙동강 유역의 경우 상·중·하류에서 각각 1.30, 1.25, 1.18로 하류로 갈수록 감소하는 경향을 보였다.

이는 동일한 용수공급에 대해 수질 악화와 경제적 비용이 하류로 갈수록 증가하여 유역 전체의 환경적 압박을 가중시킬 뿐만 아니라 자원으로서의 가치를 저하시키기 때문인 것으로 판단되었다.

Table 5. EMERGY index for the water treatment in each basin

EMERGY index	Upper	Middle	Lower
R (scj/ton)	2.39E+11	2.38E+11	2.36E+11
F (scj/ton)	7.86E+11	8.21E+11	8.67E+11
Y (scj/ton)	1.02E+12	1.02E+12	1.02E+12
EMERGY Investment Ratio ^{a)}	3.29	3.45	3.67
EMERGY Yield Ratio ^{b)}	1.30	1.25	1.18

a) EMERGY Investment Ratio = F/R.

b) EMERGY Yield Ratio = Y/F.

3.3. 하류유역의 수질환경기준 2등급을 만족시키기 위한 각 대안별 경제성 분석

하류유역의 용수공급에 요구되는 수질환경기준 2등급을 위한 각 대안별 경제성 분석은 추가 처리량, 처리용량, 그리고 처리비용을 기초로 Table 6과 Table 7과 같다.

BOD 부하 삭감 대안에서 추가 처리량은 39,430 ton/year, 처리용량은 635,000m³/day, 연간 총비용은 약 320억원이었다.

P 부하 삭감 대안에서 추가 처리량은 1,737ton/year이었고, 처리 방법에서 화학적 처리의 경우 처리용량은 1,844,000m³/day, 연간 총비용은 약 2800억원이었다. 그리고 기존의 활성슬러지공법에 생물학적 처리를 추가하는 경우에 처리용량은 1,075,000m³/day, 연간 총비용은 약 210억원이었다.

BOD와 P 동시삭감의 경우에는 439,000m³/day용량의 활성슬러지공법 하수처리장과 1,302,000m³/day용량의 화학 침전법에 의한 P 처리 공정이 적용될 경우, 연간 총비용은 약 2350 억원이었다. 그리고 759,000m³/day용량의 생물학적 처리방법을 P처리 공정에 적용할 경우 연간 총비용은 약 371억원이었다.

하·폐수 차집수송의 경우에는 중류유역의 하·폐수에 의한 부하량 중에서 95%를 배제시키기 위하여 약 2,000억원의 경비가 소요되었다.

유량조절댐 건설의 경우 동계에만 단순 회석으로 낙동강 하류 수질을 2급수로 유지하기 위해서는 2.085 E9 m³/year라는 수량이 추가적으로 필요하며 이를 위한 댐 건설 비용은 연간 약 8200억원이 요구되어 경제성 분석에서 가장 불리한 방안으로 평가되었다.

이상의 각종 대안에 대한 경제성 분석 결과에서 활성슬러지공법의 하수처리장에 생물학적 P 처리 공정을 추가하는 대안이 가장 경제성이 있는 것으로 평가되었다.

Table 6. Additional capacity of treatment from the each alternatives

Alternatives	Quantities of reduction ton/year	Additional capacity m ³ /day
1. BOD Reduction (65%)	39,430	634,000
2. P Reduction by chemical (85%)	1,737	1,844,000
3. P Reduction by biological (85%)	1,737	1,075,000
4. BOD & P Reduction by chemical		
4.1 45% of total BOD load	27,298	439,000
4.2 60% of total P load	1,226	1,302,000
4. BOD & P Reduction by biological		
4.1 45% of total BOD load	27,298	439,000
4.2 60% of total P load	1,226	759,000

Table 7. Cost analysis of each alternatives (million won)

Alternatives	Construction cost	Operation & maintenance cost	Total cost
1. BOD Reduction	22,365	9,525	31,855
2. P Reduction(Chemical)	263,173	15,240	278,413
3. P Reduction(Biological)	18,930	2,418	21,348
4. BOD & P Reduction(Chemical)	216,487	1,851	235,004
5. BOD & P Reduction(Biological)	28,828	8,293	37,121
6. Collection & transportations	208,935	-	208,935
7. Dam construction	-	-	822,575

3.4. 대안별 EMERGY 분석

낙동강 하류유역의 용수공급에서 수질개선을 위한 각종 대안이 적용될 경우 수질개선 효과와 경제적 비용을 EMERGY 평가한 결과는 Table 8과 같다.

낙동강 하류의 유역권 내에서 연간 취수된 하천수⁹⁾(4.01 E8m³)에 내재된 가치를 EMERGY로 나타내면 Table 8과 같이 9.48 E19 sej/yr이었다. 그리고 각 대안의 적용에 따른 수질개선 효과를 적용할 경우 하천수의 가치는 9.54 E19 sej/yr로 증가되었다. 한편 이러한 개선 효과에 요구되는 각 대안의 경제적 비용을 현재의 수량·수질관리를 위한 비용(3.48 E20 sej/yr) 그리고 환경부의 계획에 따른 비용(8.94 E19 sej/yr)과 함께 EMERGY 단위로 비교하였다.

이를 기초로 각 대안의 특성을 Table 8과 같이 EMERGY 지표로 파악하면, 첫째, EMERGY 투자비(F/R)는 낙동강의 환경정책대안의 경우 9.43 ~ 20.30범위로 한정된 수자원을 이용하는 과정에 보다 많은 경제적 비용을 요구하고 있었다. 이는 낙동강의 환경을 개선하기 위한 정책이 유역의 자연환경에 환경적 압박 요인으로 작용하고 있는 것을 의미한다. 기존의 국가, 지역 시스템 등에 대한 EMERGY 투자비 평가에서는 그 수준이 7을 상회하는 경우 오히려 투자를 시스템 외부로 이전하여, 자연환경에 대한 압박을 감소시키는 정책을 펼쳐가고 있다.¹⁾

둘째, EMERGY 생산비(Y/F)에서는 낙동강 유역의 경우 0.21 ~ 0.46의 범위로, 이는 낙동강 유역의 각 대안별 환경관리정책은 생산된 수자원의 가치에 비하여 지나친 경제적 비용을 유발하고 있어 낙동강 수자원의 실질적인 가치와 기여도를 감소시키는 것으로 평가되었다. 기존의 EMERGY 평가에서는 EMERGY 생산비가 1 이

하인 경우에 자원으로서의 가치를 생산하는 공정이라기 보다는 비용을 유발하는 생산공정으로 평가하고 있다.

Table 8. EMERGY evaluation of water production by the each alternatives in the lower Nakdong River Basin

Status	R		F		Y		F/R ^m	Y/F ⁿ
	E19	E10	E20	E21	E20	E20		
1. Present	9.48	E19	3.48	E20	4.10	E20	3.67	1.18
2. Established management plan alternatives	9.48	E19	8.94	E20	4.10	E20	9.43	0.46
3. BOD Reduction	9.54	E19	9.35	E20	4.10	E20	9.80	0.44
4. P Reduction(Chemical)	9.54	E19	1.25	E21	4.10	E20	13.10	0.33
5. P Reduction(Biological)	9.54	E19	9.21	E20	4.10	E20	9.65	0.45
6. Transportation	9.54	E19	1.16	E21	4.10	E20	12.16	0.35
7. Dam construction	9.54	E19	1.94	E21	4.10	E20	20.30	0.21

*) Footnote for Table 7.

1. R = (Amount of water resource used) × (Actual energy in present state) × (Solar Transformity) = (4.01 E8m³) × (4.88 E6 J/ton/yr) × (48,459 sej/J) = 9.48 E19 sej/yr, F₁ = (Amount of water resource used) × (Total EMERGY cost from Table 6) = (4.01 E8m³) × (8.67 E11 sej/ton/yr) = 3.48E20 sej/yr, Y = (Amount of water resource used) × (EMERGY per cubic meter from Table 4.6) = (4.01 E8m³) × (1.02 E12 sej/ton/yr) = 4.10 E20 sej/yr.

2. F₂ = present cost + planning cost = 3.48 E20 sej/yr + (4.3 E11 WON × 1.27 E9 sej/won) = 3.48 E20 sej/yr + 5.46 E20 sej/yr = 8.94 E20 sej/yr.

3. R = (Amount of water resource used) × (Actual energy improved) × (Transformity) = (4.01 E8m³) × (4.91 E6 J/ton/yr) × (48,459 sej/J) = 9.54 E19 sej/yr, F₃ = (present cost) + (planning cost) + (improving cost) = (8.94 E20 sej/yr) + (3.19 E10 won × 1.27 E9 sej/won) = 8.94 E20 sej/yr + 4.05 E19 sej/yr = 9.35 E20 sej/yr.

a) EMERGY investment ratio = F / R.

b) EMERGY yield ratio = Y / F.

3.5. 수질 개선에 대한 환경편익

낙동강 하류 지역의 수질환경기준 2등급 달성을 위한 수질관리 정책 중 유량조절댐 건설, 하·폐수 처리장, 그리고 하·폐수 차집수송 등에 대하여 환경회계에 의한 편익을 평가한 결과는 Table 9와 같다.

첫째, 수자원 확보를 위해 새로 낙동강 유역에 유량조절용 댐을 건설할 경우 투입비용은 연간 8천200억원이 소요되는 것으로 조사됐다. 여기에 농경지 및 임야의 수몰, 주거지 상실, 퇴적물 차단 등의 간접적인 환경손실 비용도 8천890억원에 달했다.¹¹⁾ 그러나 댐 건설로 인한 환경개선효과는 4억7천200만원에 그쳤으며 수자원 확보에 따른 증가이익도 연간 3천283억원으로 경제성 분석에 있어 가장 불리한 방안으로 평가됐다.

둘째로 수질개선을 위한 하·폐수처리장의 경우 BOD 처리에서 연간 총비용은 320억원이며, 인(P)의 화학적

처리에는 연간 2천800억원이고, 그리고 기존의 활성슬러지공법에 생물학적 처리를 추가하는 경우에는 연간 210억원이 소요된다. 그리고 각각의 환경개선 효과는 4억7천200만원이었다.

셋째, 상수원으로부터 인체 유해물질을 배제시키기 위해 하·폐수를 차집수송하는 비용은 연간 2천억원이 소요되며 회귀수 감소에 따른 환경손실비용은 약 7천260억원을 필요로 한다. 그리고 이에 따른 환경개선 효과는 4억7천200만원이었다.

이상에서 최대의 경제적 비용을 유발하는 유량조절댐 건설뿐만 아니라 최소의 경비를 유발하는 P 부하의 생물학적 처리방안까지 환경비용이 환경편익을 초과하고 있었다.

Table 9. Environmental accounting of each alternatives(million won)

Alternatives	Benefit	Cost	Net cost
BOD Reduction:			31,383
1. Water quality improvement ^(a)	472		
2. Economic cost ^(b)		31,855	
P Reduction(Chemical):			277,941
3. Water quality improvement	472		
4. Economic cost ^(b)		278,413	
P Reduction(Biological) :			20,876
5. Water quality improvement	472		
6. Economic cost ^(b)		21,348	
Transportation :			934,661
7. Water quality improvement	472		
8. Economic cost ^(b)		208,935	
9. Reduction of flowrate ^(c)		726,198	
Dam construction :			1,383,521
10. Water quality improvement	472		
11. Increase of water resources ^(b)	328,346		
12. Construction cost ^(b)		822,575	
13. Indirect cost ^(b)		889,764	

a) Water Quality improvement = (9.54 E19 sej/yr - 9.48 E19 sej/yr) / 1.27 E9 sej/won = 4.72 E8 won/yr.

b) Increase of water resources (flowrate) × (energy/ton) × (Solar Transformity) = (8.34 E9 ton/4/yr) × (41,010 sej/yr) × (4.88 E6 J/ton) = 4.17 E20 sej/yr
Therefore, 4.17 E20 sej/yr ÷ 1.27 E9 sej/won = 328,346 E6 won/yr.

c), d), e), f) Economic cost from Table 6.

g) Reduction of flowrate : (flowrate) × (energy/ton) × (Solar Transformity) = (13.9 E9 ton/yr) × (4.88 E6 J/ton) × (48,459 sej/j) = 9.22 E20 sej/yr
Therefore, (9.22 E20 sej/yr) ÷ (1.27 E9 sej/won) = 726,198 E6 won/yr.

h) Construction cost from Table 6.

i) Indirect cost : Lost agricultural production (1.54 E18 sej/yr) + Lost forest production (3.93 E18 sej/yr) + Settlement (5.44 E18 sej/yr) + Social disruption (4.52 E18 sej/yr) + Sediments (3.07 E18 sej/yr) = Total 1.85 E19 sej/yr (based on 1.36E8 ton/yr, 1.85 E19 sej/yr × 8.34 E9 ton/yr ÷ 1.36 E8 ton/yr = 1.13 E21 sej/yr, 1.13 E21 sej/yr ÷ 1.27 E9 sej/won = 889,764 E6 won/yr.

4. 결 론

낙동강 하류지역의 수질환경기준 2등급을 달성하기 위한 기존의 각 대안을 자연환경과 경제활동을 동일한 가치 척도로 나타내는 EMERGY 평가에 기초하여 환경회계를 적용한 결과는 다음과 같다.

첫째, 낙동강 유역의 용수공급과정에서 상·중·하류의 하천수에 내재된 자연환경의 가치는 하류의 수질 악화와 함께 감소하는 경향을 보였고, 반면에 비용은 하류로 갈수록 증가하는 경향을 보였다.

둘째, BOD 삭감, P 부하 삭감, BOD와 P 동시 삭감, 하·폐수 차집수송, 유량조절댐 건설 대안 중에서 댐건설은 비용이 연간 8,200억원으로 경제성 분석에서 가장 불리한 방안이었고, 생물학적 P 처리 공정은 연간 210억원으로 가장 경제성이 있는 것으로 나타났다.

셋째, 각 대안의 특성을 EMERGY 지표로 파악하면, 모든 대안은 한정된 수자원을 이용하는 과정에 보다 많은 경제적 비용을 요구하여 낙동강의 환경을 개선하기 위한 정책이 오히려 유역의 자연환경에 환경적 압박 요인으로 작용하고 있었다. 또한 각 대안별 환경관리정책은 자원으로서의 가치를 생산하는 공정이라기보다는 비용을 유발하는 생산공정으로 평가되었다.

넷째, 각 대안에 대한 환경회계에 의하면 최대의 경제적 비용을 유발하는 유량조절댐 건설뿐만 아니라 최소의 경비를 유발하는 인부하의 생물학적 처리방안까지 비용이 편익을 초과하고 있었다.

결론적으로 낙동강 유역의 수질개선을 위한 지나친 투자보다는 오히려 유역의 시스템 구조를 하·폐수를 발생시키는 산업 및 도시화 전략에서 지역 내의 영속성에너지원과 보유자원에 의존하여 이를 효율적으로 이용할 수 있는 자연환경 친화적인 구조로 전환하는 것이 요구된다.

참 고 문 헌

- 1) Odum, H. T., 1996, Environmental Accounting, Emery and Environmental Decision Making, John Wiley & Sons, New York, 370pp.
- 2) 국립환경연구원, 1998, 낙동강유역 하·폐수 이송관로 설치 타당성 검토, 284pp
- 3) 신성교, 1996, 자생 BOD를 고려한 낙동강의 수질관리, 부산수산대학교 대학원 박사학위논문, 175pp.
- 4) 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, 51-69.
- 5) Brown, M. T. and T. R. McClanahan (1996): EMERGY analysis perspectives of Thailand and Mekong River dam proposals. Ecological Modelling, 91, 105-130.
- 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.
- 7) 환경부, 1997, 한국환경연감, 597pp.
- 8) 낙동강 환경관리청, 1996, 낙동강권역 수질 오염원 조사 보고서, CD.
- 9) 건설교통부, 1996, 유량연보, 591pp.
- 10) 환경부, 1997, 상수도통계, 645pp.
- 11) 환경부, 1997, 하수도통계, 507pp.
- 12) 김영진, 2000, 환경회계에 의한 하천 유역의 환경정책 결정에 관한 연구, 부경대학교 대학원 박사학위논문, 155pp.
- 13) 환경처, 1994, 수환경정책자료집, 262 pp.
- 14) 건설부, 1988, 하수도정책방향연구, pp.
- 15) 부산광역시, 1999, 부산시 하수도정비기본계획 변경, 950pp.
- 16) 신성교, 박청길, 이석모, 1996, 최소비용 처리방안에 의한 낙동강의 수질관리, 대한환경공학회지, Vol. 18, No. 11, pp. 1303~1312.
- 17) 정부합동, 1999, 낙동강수계 물관리종합대책, 336pp.