

대체비용법을 이용한 하천 수질개선편익 산정

Estimation of Water Quality Improvement Benefit Using Replacement Cost Approach

여 규 동* / 이 충 성** / 김 길 호*** / 심 명 필****

Yeo, Kyu Dong / Yi, Choong Sung / Kim, Gil Ho / Shim, Myung Pil

Abstract

The objective of this study is to evaluate the effect of the water quality improvement by water discharge through dams and to provide a benefit estimation methodology, taking domestic situation into consideration, by the replacement cost approach analyzed with a sewage treatment plant instead of an alternative dam. To this end, facility that alternates a dam must have same functions of the discharged water from the dam and the two facilities must be able to be compared objectively. To estimate the benefit, estimation methodology of alternative facility's cost is established and criteria of cost · benefit analysis that are duration period and ratio of large scale repairing expense was presented. As a case study, the water quality improvement benefit of Song-Li-Won dam was evaluated, which is planned to be built on Nae-Sung stream in Nak-Dong River system. The results of applying this methodology to Song-Li-Won dam are 644,006 million won of the annual average discharge and 1,351,526 million won of maximum discharge. The usage of the framework in this study is expected for estimation of water quality improvement benefit in case water quality improvement project is performed.

keywords : Replacement cost approach, Water quality improvement, Alternative facility, Benefits

요 지

본 연구의 목적은 댐방류에 의한 하류하천의 수질개선효과를 대체댐이 아닌 하수처리시설을 대체시설의 비용으로 적용하여 국내 실정에 맞게 편익으로 산정하는 방법론을 제시하는 것이다. 이를 위해 댐을 대체하는 시설은 댐의 방류수와 동일한 기능을 제공해야 하고, 두 시설간의 비용을 객관적으로 비교할 수 있어야 한다. 본 논문은 대체비용법을 이용하여 수질개선편익을 산정하기 위해 대체시설(하수처리장)의 비용 산정방법, 비용 · 편익분석 관련 기준인 내용연수와 대수선비율의 근거를 제시하였다. 사례연구로서, 낙동강수계의 내성천에 계획한 송리원댐의 수질개선편익을 산정하였으며, 그 결과는 연평균 방류시 644,006 백만원, 수질악화기의 최대방류시 1,351,526 백만원으로 산정되었다. 본 연구방법은 환경개선용수 공급사업시 실무에서 활용 가능한 수질개선 편익산정방법이 될 것으로 기대된다.

핵심용어 : 대체비용법, 수질개선, 대체시설, 편익

* 인하대학교 사회기반시스템공학부 박사과정

Ph.D. Candidate, Dept. of Civ. Engrg., Inha Univ., Incheon 402-751, Korea

** 교신저자, 인하대학교 수자원시스템연구소 선임연구원

Corresponding Author, Senior Researcher, Inst. of Water Resources System, Inha Univ., Incheon 402-751, Korea
(e-mail: sung@inha.ac.kr)

*** 인하대학교 사회기반시스템공학부 박사과정

Ph.D. Candidate, Dept. of Civ. Engrg., Inha Univ., Incheon 402-751, Korea

**** 인하대학교 사회기반시스템공학부 교수

Prof., Dept. of Civ. Engrg., Inha Univ., Incheon 402-751, Korea

1. 서론

수자원사업의 경제성 분석을 위해서는 사업 시행에 따른 다양한 효과를 편익으로 산정하는 것이 중요하다. 이러한 항목별 편익산정 방법의 중요성은 과거로부터 수차례 강조되어 왔으나, 용수공급, 홍수피해경감, 그리고 수력발전 등 수자원사업의 일부 대표적인 편익항목에 대한 산정방법들만이 연구되어 실용화 되었을 뿐이다. 반면, 사회적 여건변화에 따라 하천의 환경적 기능에 대한 수요가 증대되었으며, 최근의 수자원사업은 이러한 수요를 충족시키기 위해 하천수질, 경관, 자연자원, 그리고 휴양과 같은 효과들을 주요 목적으로 계획되고 있다. 그러나 이러한 생태·환경적 편익들은 대부분 무형적인 가치로 인해 계량화에 어려움이 따르므로 경제성분석에 제대로 반영되지 못하고 있다. 본 연구에서는 이들 중에서 공학적 분석에 의한 효과측정이 가능한 수질개선편익의 산정방안을 제시하고자 한다.

수질개선편익을 산정하는 기본개념은 수질변화에 의해 발생하는 다양한 효과에 대하여 소비자인 국민의 만족도 변화를 화폐화하는 것이다. 그러나 수질변화에 따라 변하는 효과의 정도를 예측하는 것이 힘들고, 이를 설문대상자에게 정확히 전달하기 어려울 수 있으므로, 본 논문에서는 이를 보완하는 다양한 방법들 중에서 대체비용법(replacement cost approach)을 이용하였다. 이 방법은 수자원사업에 의한 수질개선 효과를 화폐가치화 하기 위해 동일 효과를 얻는 대체시설물의 비용을 산정하여 편익으로 나타내는 것이다.

대체비용법에 의한 수질개선의 경제적 효과 산정 연구사례를 살펴보면 대체시설물로 하수처리시설을 선정한 경우가 대다수이다. 이들 연구의 공통점은 대상지점에 대하여 수질개선정도와 유량의 관계를 통계학적으로 분석한 후, 처리비용을 산정한 것이며, 수질개선의 수단은 주로 하천수량 증가에 따른 오염도의 저감효과에 대한 것이 주류를 이루고 있다(Merritt and Mar, 1969; Gray and Young, 1984; Gibbons, 1986). 그리고 습지의 수질개선효과에 관한 연구에서도 대체시설로 하수처리시설이 주를 이루고 있다(Gosselink *et al.*, 1974; Folke, 1990; Dehnhardt, 2002).

국내의 경우, 한국수자원공사(2003)는 댐의 방류에 의한 하류 수질개선 효과를 하수처리량 1 m³당 수처리 비용으로 환산하여 산정하였는데, 비용 원단위로는 환경관리공단(1996)에서 제시한 44원/m³을 적용하였다. 또 다른 연구에서 박두호 등(2007)은 환경용수의 경제적 가치를 추정하기 위해 금강유역에 대체비용법을 적용하여 수질개선용수 1 m³당 127원의 가치를 산정한 바 있

다.

수질개선편익을 산정하는데 있어서 기존 연구로부터 개선해야 할 점은 크게 세 가지를 들 수 있다. 첫째, 기존 연구는 실측된 유량과 수질(BOD 또는 질소)의 관계를 통계분석함으로써 수질을 분석하였다. 그러나 수질 분석과정에서는 수질과 관련한 지류유입의 물리적 작용, 생물화학적 반응, 유달을 등을 고려할 수 있어야 한다. 둘째, 해당 유역의 상황을 반영하는 하수처리의 설치현황자료를 이용하여 대체시설의 규모를 결정하고 비용을 산정하는 방법이 명확히 제시해야 한다. 셋째, 기존 연구들은 대부분 경제성분석 대상시설에 대한 편익산정을 목표로 하기보다는 수질개선의 본질적 가치를 평가하기 위한 연구이기 때문에 실제 수자원사업의 타당성 평가를 위한 고려가 미흡한 면이 있었다. 따라서 대체시설의 내용연수와 할인율 등을 고려한 편익산정 기준이 추가적으로 연구되어야 한다.

본 연구의 목적은 기존 연구에서 나타난 문제점들의 개선을 위해 수자원사업에 의해 환경개선용수가 공급될 때, 대체비용법을 이용하여 하류하천의 수질개선편익 산정 방법론을 제시하는 것이다. 이를 위해 사업전후의 수질을 모형을 이용하여 모의함으로써 생화학적 반응, 유달을 등을 고려하였다. 실제 유역에 설치된 하수처리 시설에 대한 정보를 이용하여 대체시설의 규모를 결정한 다음, 비용을 산정하는 방법을 제시하였다. 또한 대체비용법을 이용한 경제성분석 기준을 제시하기 위해 경제성분석 기간, 시설의 내용연수, 할인율, 부속물(설비)의 교체시점의 설정근거 등을 제시하였다. 본 연구는 이에 대한 적용성을 검토하기 위해서 낙동강수계의 내성천 지방 2급하천 구간에 계획한 송리원다목적댐을 대상으로 환경개선용수의 수질개선편익을 산정하였다. 산정결과, 수질개선편익은 연평균 방류시 491,879 백만원, 수질악화기의 최대방류시 1,022,086 백만원으로 각각 산정되었다. 본 연구에서 제안한 방법론은 환경개선용수 공급사업의 경제성분석을 위한 것으로 용수공급, 홍수피해경감 등 수자원사업의 편익항목과 더불어 실무에서 활용 가능한 수질개선 편익산정방법이 될 것으로 기대된다.

2. 하천 수질개선편익 산정 방법론

하천 수질개선의 경제적 가치는 '수질개선'이라는 행위 내지 무형적 재화에 내재되어 있는 본질적 가치에 대한 이론적 근거를 제시한 것이다. 그러나 수질과 같은 환경재는 시장에서 거래되는 성질의 것이 아니며, 공공재적인 성격도 가지지 때문에 가격이 존재하지 않거나 존재하더라도 정확한 가치라 판단하기는 어렵다.

따라서 본 연구는 환경개선용수 공급에 의한 수질개선편익을 산정하기 위하여 공급측면의 접근방식인 대체비용법을 이용하였다(이충성 등, 2008).

2.1 대체비용법의 일반 이론

(1) 대체비용법 적용시 고려사항

대체비용법은 수자원을 개발하거나 활용함에 있어 그 기능을 다른 기술적 방식으로 대체할 때 소요되는 비용을 대상 수자원의 가치로 평가하는 방법이다. 일반적으로는 특정 수자원 개발사업의 편익 산정을 위해 대체할 수 있는 시설물을 선정하여 그 비용을 편익으로 산정하기 때문에 '대체시설비용법'으로 불리기도 한다. 그러나 개인의 효용극대화 행위 등을 감안하지 않으므로 경제학적 편익개념을 따르는 분석법이기보다는 공학적 방법에 가깝다.

대체비용법은 수자원이 담당하는 역할을 인공적인 대체재로 대신한다고 할 때 발생하는 비용을 대상 수자원이 가지는 경제적 가치로 본다. 따라서 대체비용법을 사용하기 위해서는 대상 수자원을 대체할 수 있는 방법이 반드시 존재해야 하며, 이러한 대체재의 투자비용과 운영비용이 대체비용 계산시 포함되어야 한다. 대체비용법을 가치평가에 사용하기 위해서는 다음과 같은 세 가지 조건들이 충족될 필요가 있다(국토해양부, 2008).

첫째, 대체시설의 대체가능성을 면밀히 따져보아야 한다. 기능을 대신하게 되는 대체시설은 가치평가 대상 재화가 행하는 기능과 질적, 양적으로 동등한 기능을 제공하여야 한다. 가치평가 대상 재화의 역할을 불완전하게 대체하는 수단을 대상으로 대체비용법을 적용하면 편익을 과소평가할 수 있고, 반대의 경우에는 과대추정의 위험이 있기 때문이다(Pearce and Moran, 1994).

둘째, 대체시설은 최소비용으로 대상 재화를 대체할 수 있어야 한다. 즉, 가치평가에 사용되는 대체기술은 반드시 비용-효과적(cost-effective)이라야 한다(한국개발연구원, 2008). 여기서 주의할 것은 대체되는 시설이 대상 재화를 생산하기 위한 시설과 동일한 기술에 의한 것이라면 이는 대체시설로서 인정되기 힘들다는 것이다. 대체시설은 비용효과적으로 최소비용으로 대상 재화를 대체해야 하는데, 대상이 되는 시설과 같은 기술이라면 이미 평가대상 시설이 비용-효과적으로 최소비용인 대안일 가능성이 크기 때문이다. 기존에 논란이 되고 있는 "대체담법"이 이러한 경우에 해당된다.

셋째, 각 개인이 대체비용을 부담할 의사가 없다면 대체비용으로 추정된 수자원의 가치는 실제 가치를 과대평가하게 된다. 공학적인 처리비용을 계산해 낼 수 있다고 하더라도 실제로 국민들이 대상사업을 추진하는

것에 대해 동의하는지가 불분명하기 때문이다. 대체시설의 비용만을 검토하는 대체비용법에는 이러한 확인절차가 포함되지 않는다(한국개발연구원, 2008). 따라서 대체비용법을 적용하기 위해서는 대체되는 시설에 대해서도 국민들의 지불의사 혹은 지지의사를 확인할 수 있는 충분한 논거가 전제되어야 할 것이다.

(2) 수질개선편익 산정을 위한 대체시설

환경개선용수의 희석효과에 의한 수질개선과 동일한 효과를 얻기 위해서는 대체시설 또한 희석효과를 통해 수질을 개선해야 한다. 일반적으로 하천유량 증가를 위한 방안으로는 댐에 의한 방류, 저류지 및 유수지의 활용, 보와 같은 수리시설물에 의한 수량 확보, 하수처리수의 방류 등을 들 수 있다. 그러나 댐을 제외한 시설물들은 오염물질을 희석할 수 있을 정도의 수량 확보가 쉽지 않기 때문에 만족할 만한 수질개선효과를 기대하기 어려운 경우가 대부분이다. 즉, 대규모 환경개선용수의 공급이 가능한 시설물은 일차적으로 댐이 고려될 수밖에 없는 반면, 댐과 비견할 만한 용수공급 시설물은 찾아보기 힘들다.

본 연구에서 편익 산정을 목적으로 하는 환경개선용수 공급에 따른 하류하천의 수질개선효과는 수량증가에 의한 희석효과에 해당한다. 따라서 수량증가는 기대할 수 없으나 비교적 예측 가능한 수질개선 효과를 기대할 수 있는 대체시설로서 하수처리장을 상정할 수 있다.

Fig. 1은 하천수의 수질을 개선하는 방법으로 수량증가에 따른 희석과 수처리에 의한 오염물 제거의 두 가지 방법에 대한 개념도를 나타내고 있다.

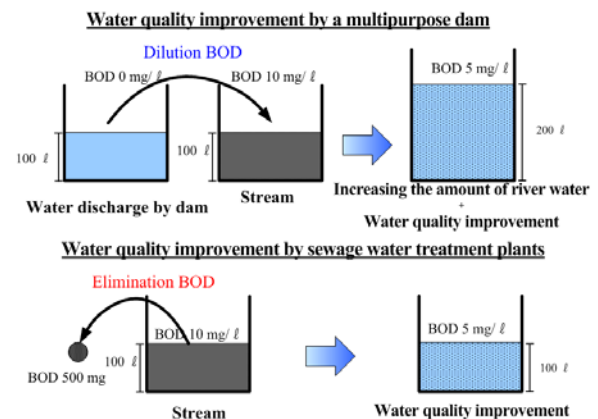


Fig. 1. Schematics of Water Quality Improvement by Dam and SWTP

2.2 대체비용법의 적용 절차

대체비용법의 적용 절차는 개념적으로 비교적 간단하다. 즉, 대상사업의 효과를 대체시설물을 통해 구현하

고 이에 대한 비용을 산정하는 것이다. 따라서 먼저 대상 수자원사업의 환경개선용수 공급에 의한 수질개선 효과를 분석하고, 이와 동일한 효과를 나타낼 수 있는 하수처리시설의 용량을 결정한 후, 이에 대한 사업비를 계상하는 것이다. Fig. 2는 대체비용법을 이용하여 수질개선편익을 산정하는 절차를 나타내고 있다. 대체비용법의 적용절차는 크게 ① 대체시설의 규모(용량) 결정, ② 비용산정, ③ 경제성분석 적용 단계로 구성된다.

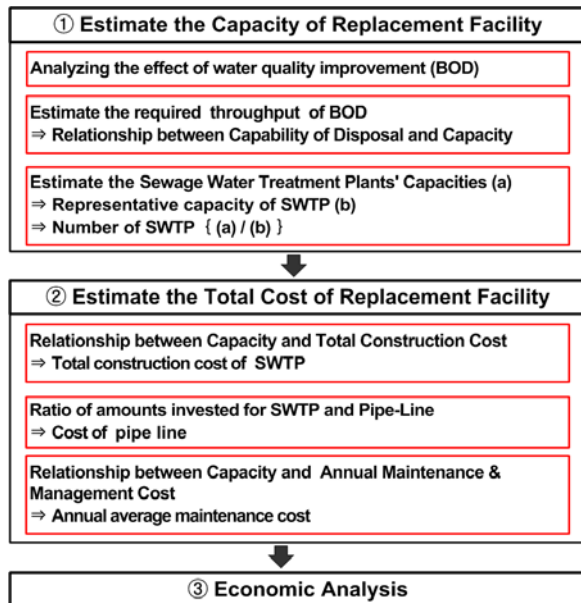


Fig. 2. Procedure for Applying Replacement Cost Approach

3. 적용 및 결과

본 연구는 환경개선용수 공급을 위한 수자원사업을 대상으로 개발된 수질개선편익 산정방법의 적용성을 검토하였다. 대상 사업은 낙동강수계의 내성천 지방 2급하천 구간에 계획한 송리원다목적댐으로서, 총용수공급량은 203.35백만 m^3 이며, 이중 하천유지용수를 제외한 환경개선용수(수질개선) 공급량은 연간 150.97백만 m^3 이다. Fig. 3은 낙동강분류 구역의 하천망, 오염원분포와 남지지점(수질분석지점) 상류에 위치한 하수처리장의 분포를 나타내고 있으며, 이들 하수처리장은 환경개선용수의 대체시설로서 규모의 설정과 비용산정에 적용되었다. 환경부에서 개발한 중분류 토지피복도(1:25,000)의 시가지/건조지역은 대략적인 오염원분포를 나타내고 있다.

3.1 환경개선용수 방류에 의한 수질개선효과 분석

환경개선용수 공급에 따른 수질개선편익 산정에 대체비용법을 적용하기 위해서는 우선 용수공급 계획에

따른 수질개선 효과를 분석하여야 한다. 하천의 오염정도를 나타내는 수질항목은 매우 많으나 대표적으로 사용되는 것은 BOD이며, 환경부에서 시행하는 오염총량관리제 1단계(2004~2010년)에서도 수질개선 지표로서 BOD를 사용하므로, 본 연구에서도 BOD를 수질분석기준으로 적용하였다.

본 연구는 『송리원다목적댐 건설사업 타당성조사 보고서』(건설교통부·한국수자원공사, 2004)에서 제시된 환경개선용수 월별 계획방류량을 참고하여 Table 1과 같이 수질모의 시나리오를 구성하였다. 수질모의를 위한 방류 시나리오는 4가지로서 연평균 계획방류량 4.79 m^3/s , 풍수기(7~10월)를 제외한 기간의 계획방류량 7.22 m^3/s , 수질악화기 계획방류량 10.72 m^3/s , 최대계획방류량 13.54 m^3/s 이다.

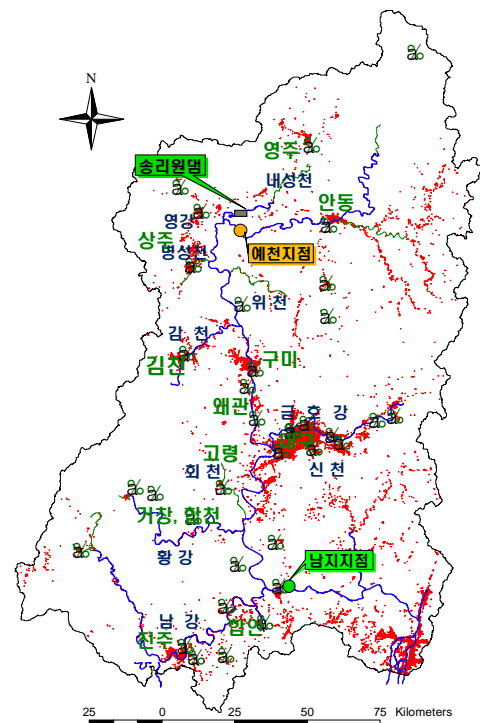


Fig. 3. Overview of Study Area

Table 1. Discharge Scenario for Simulation

Scenario		Discharge Volume (million m^3)	Duration (month)	Discharge (m^3/s)
Annual Average	Case-1	150.97	1~12	4.79
Period Except for Wet Season	Case-2	150.97	Except for 7~10	7.22
Water Quality Declining Period	Case-3	113.02	4~6	10.72
Maximum Discharge	Case-4	35.10	4	13.54

본 연구는 환경개선용수의 공급계획에 따른 수질개선효과를 모의하기 위해 국내에서 개발된 QUALKO 모형을 활용하였다. 수질개선효과를 분석하기 위해 이용한 하천 수질모의와 유량조건 및 예측자료(오염부하량, 오염농도, 수리학적 특성계수, 탈산소계수 및 재포기계수, 자정계수 등)는 「낙동강수계 오염총량관리기본계획」(부산시, 대구시, 2003; 강원도, 경상북도, 경상남도, 2004) 수립에 적용된 값을 기본으로 하였다. 모형의 보정 및 검증에 위한 유량은 진동 지점의 2002~2003년의 유황을 분석하여 산정하였다. 이를 고려하여 유사한 유량조건을 갖는 자료를 모형의 보정 및 검증자료로 사용하였으며, 수질농도는 환경부의 수질측정자료를 사용하였다.

Table 2는 송리원다목적댐 환경개선용수의 수질모의 대상 방류량에 따른 내성천 합류후부터 물금지점 하류 7 km까지의 264 km에 대한 평균 수질개선효과(2010년 장래수질)를 분석한 결과이며, Fig. 4는 갈수기의 환경개선용수 공급에 따른 BOD의 변화를 나타내고 있다.

Table 2. Results of Average Water Quality Improvement Effect by the Scenario from Song-Li-Won Multipurpose Dam

Item of Analysis / Scenario	BOD (mg/L)	T-N (mg/L)	T-P (mg/L)
Before Dam	2.257	4.886	0.280
Case-1	2.109(▽0.148)	4.658(▽0.228)	0.261(▽0.019)
Case-2	2.046(▽0.211)	4.557(▽0.329)	0.252(▽0.028)
Case-3	1.971(▽0.286)	4.425(▽0.461)	0.241(▽0.039)
Case-4	1.916(▽0.341)	4.328(▽0.558)	0.233(▽0.048)

3.2 하수처리시설 용량결정

하수처리시설의 비용은 시설용량에 비례한다는 점을

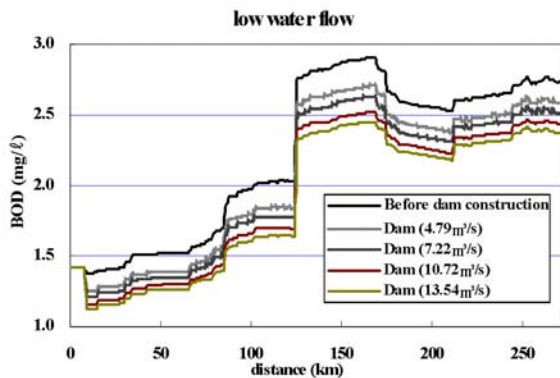


Fig. 4. Change of BOD by Supplying the Water

고려하여 시설용량을 산정하기 위해 환경개선용수 방류에 의한 BOD(mg/l) 감소량과 동일한 효과를 가지도록 유역내에서 하수처리장이 처리해야 할 BOD량을 산정하였다. 우선 분석대상지점의 댐건설 전의 하천유량과 수질을 이용한 총BOD량을 산정하고, 댐건설 후의 유량증가에 따른 BOD 변화량과 동일하게 상류에 하수처리장을 설치함으로써 제거해야 할 BOD량을 산정하였다.

Fig. 5는 낙동강 본류유역에 설치된 하수처리장의 시설용량, 유입수 BOD 농도, 방류수 BOD 농도 자료를 이용하여 도출한 BOD 처리량(g/s)과 시설용량과의 관계를 나타내고 있다.

35개의 하수처리장 자료를 이용하여 다양한 형태로 회귀분석을 실시하여 비교한 결과, Eq. (1)의 형태가 가장 적합하였고, 그 결과는 Table 3과 같다.

$$\ln Q_{STP} = 7.8333 + 0.7783 \ln R \quad (1)$$

여기서, Q_{STP} (m³/day)는 하수처리장 용량, R 은 BOD 처리량(g/s)

이를 다시 정리하면 Eq. (2)와 같다.

$$Q_{STP} = 2,523.3R^{0.7783} \quad (2)$$

Eq. (2)의 조정결정계수(Adj R^2)는 95.2%로 나와, 종속변수 Q 가 가지고 있는 정부 중 95.2%는 설명변수 R 의 변동으로 설명할 수 있는 것으로 나왔다. F값은 682.152로 매우 큰 값을 나타내고 있으며, 유의확률 역시 1% 유의수준보다 작게 나와 통계적으로 의미가 있다고 볼 수 있다. 회귀계수의 통계적 유의성은 1% 유의수준보다 작게 나와 회귀계수가 0이라는 귀무가설을 기각하였다.

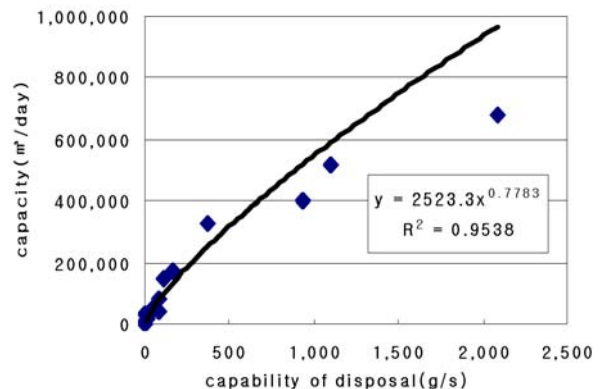


Fig. 5. Relation between Capability of Disposal and Capacity

Table 3. Regression Analysis between Capability of Disposal and Capacity

	Coefficients Estimates	T-Value
lnA	7.8333	78.111***
lnR	0.7783	26.118***
F-Statistics	682.152***	
Adj. R ²	0.952	
Num. of obs.	35	
Note	***significant at 0.01 significance, **significant at 0.05 significance, *significant at 0.10 significance	

상류에서 배출되는 부하량은 하류로 이동하는 과정에서 일부는 자정이 되고, 일부는 분석지점까지 도달한다. Eq. (2)는 기존의 배출부하량과 분석지점에서의 도달부하량의 관계를 고려하지 못하므로 유달율을 산정하고, 이를 최종 하수처리시설용량 결정시 고려하였다. 낙동강수계 오염총량관리기본계획(2010년 기준)의 단위유역별 배출부하량을 이용하여 수질분석지점인 남지점 상류의 총 배출부하량을 산정하였다.

남지점에서의 갈수량은 65.21 m³/s, 갈수기시 예측된 수질은 2.60 mg/L(0.0026 kg/m³)이다. 유달부하량과 (65.21 m³/s×0.0026 kg/m³ × [60초×60분×24시]) = 14,649 kg/day) 남지점 상류유역의 배출부하량(225,636 kg/day)을 이용하여 산정한 유달율은 0.06492이다.

Eq. (2)와 유달율을 적용하여 산정된 시설용량은 해당 유역에서 필요로 하는 하수처리장의 시설용량을 의미한다. 그러나 실제 유역에서 설치가능한지를 고려해야 한다. 과거에는 대규모 하수처리장이 주로 설치되었으나, 현재 환경부의 하수처리장 설치에 대한 기조는 소규모로 설치하는 추세이다. 또한, 실제로 낙동강유역에서 대용량의 하수처리장을 설치할 장소가 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 이를 고려하여 낙동강유역 하수처리장의 시설용량에 대하여 통계분석을 실시한 후, 최빈값을 이용하여 유역의 대표시설용량으로 결정하고, 이 값을 이용하여 필요시설용량을 나눔으로써 설치개수를 산정하는 것으로 하였다.

낙동강분류유역 하수처리장 현황에서 35개 시설을 용량별로 통계분석한 결과, 평균은 80,064 톤/일, 최빈값 30,000 톤/일, 중앙값 20,000 톤/일로 분석되었다. 따라서 가장 많이 설치된 시설용량을 대표하기 위해 최빈값인 30,000 톤/일을 낙동강유역의 대표시설용량으로 결정하였다. Table 4는 방류량 효과와 동일한 하수처리

시설 용량산정 결과를 나타내고 있다.

Table 4. Representative Capacity and Number of SWTP

Facility Scenario	Needed capacity of a SWTP (m ³ /day)	Representative facility capacity (m ³ /day)	Number of Facility
Case-1	130,779	30,000	4.36
Case-2	176,970		5.90
Case-3	232,648		7.75
Case-4	274,459		9.15

3.3 대체시설 비용산정 산정

(1) 하수처리장 건설비

낙동강 분류유역에 설치된 각각의 하수처리장의 총 사업비를 산정하기 위해 환경부에서 발간하는 하수도통계연보를 이용하여 초기사업, 시설확장을 위한 사업비 등을 조사하였다. 대체시설의 건설비용은 수질분석지점 상류에 위치한 하수처리장을 대상으로 시설용량-건설비 관계식을 이용하여 도출하였다. 하수도통계의 하수처리장 건설비에는 건설비, 토지매입비, 지장물보상비, 부대비 운영설비비 등이 포함되어 있다. 조사된 하수처리장의 사업비는 과거의 자료이므로 하수처리장의 운영이 개시되는 시점에서 분석기준년의 금액으로 환산하기 위해 건설업 디플레이터를 이용한다. 하수처리장의 시설용량과 사업시점부터 최근까지의 총건설비 자료를 이용하여 하수처리장의 시설용량-총건설비 관계식이 도출되었으며, Fig. 6은 낙동강유역의 기존 하수처리장의 시설용량과 사업시점부터 2007년 말까지의 총건설비 자료를 이용하여 구한 하수처리장의 시설용량-총건설비 관계를 나타낸다. 과거에 투입된 건설비는 건설업디플레이터¹⁾를 이용하여 2007년 말로 환산하였다.

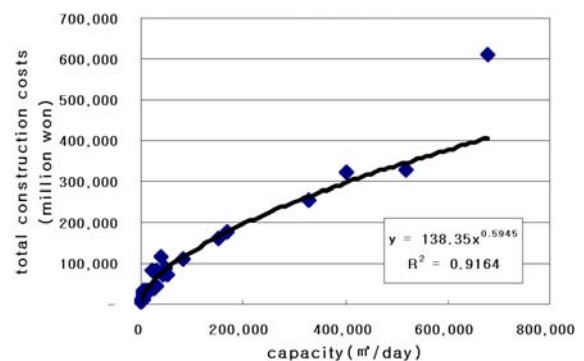


Fig. 6. Relation of Capacity and Total Construction Cost

1) 건설업 디플레이터 : 건설업과 관련된 경제통계에 있어서 금액으로 표시된 통계량에서 물가상승에 의한 명목적 증가분을 제거하기 위하여 쓰이는 가격변동지수

35개의 하수처리장 자료를 이용하여 다양한 형태로 회귀분석을 실시하여 비교한 결과, Eq. (3)의 형태가 가장 적합하였고, 그 결과는 Table 5와 같다.

$$\ln C_c = 4.9298 + 0.5945 \ln Q_{STP} \quad (3)$$

여기서, C_c 는 총건설비용, Q_{STP} 는 하수처리장 용량 이를 다시 정리하면 Eq. (4)와 같다.

$$C_c = 138.35 Q_{STP}^{0.5945} \quad (4)$$

Eq. (4)의 조정결정계수(Adj R^2)는 91.0%로 나와, 종속변수 Q가 가지고 있는 정부 중 91.0%는 설명변수 R의 변동으로 설명할 수 있는 것으로 나왔다. 또한, F 값은 355.109로 매우 큰 값을 나타내고 있으며, 유의확률 역시 1% 유의수준보다 작게 나와 통계적으로 의미가 있다고 볼 수 있다. 회귀계수의 통계적 유의성은 1% 유의수준보다 작게 나와 회귀계수가 0이라는 귀무가설을 기각하였다.

Table 5. Regression Analysis between Capacity and Total Construction Cost

	Coefficients Estimates	T-Value
lnA	4.9298	16.016***
lnR	0.5945	18.884***
F-Statistics	355.109***	
Adj. R^2	0.910	
Num. of obs.	35	
Note	***significant at 0.01 significance, **significant at 0.05 significance, *significant at 0.10 significance	

(2) 하수관거 건설비용

유역에서 발생하는 오염물을 처리하는 주요 하수처리시설은 하수처리장이며, 하수처리장을 운영하기 위해 하수관거는 반드시 필요하다. 하수처리장별 하수관거비용 자료가 없기 때문에, 하수관거 건설비는 해당 유역에 투입된 하수처리시설과 하수관거의 실제 투자액 비율을 이용하여 산정하였다. 『국가하수도종합계획 '07~'15』(환경부, 2007)에 따르면, Table 6과 같이 유역별 하수처리시설 대비 하수관거투자액의 비율을 나타내고 있다.

낙동강수계에서 1999년부터 2005년까지 투입된 하수처리시설비(1,957,942백만원)과 하수관거비(1,285,407백만원)를 이용하여, 하수처리시설 대비 하수관거 투자비율(65.65%)을 산정하였으며, 하수처리장의 건설비에 이 비율을 이용하여 하수관거 건설비를 산정하였다.

Table 6. Ratio of Amounts Invested for SWTP and Pipe-Line

(Unit: million ₩)

River Basin	SWTP(A)	Pipe line (B)	B/A (%)	Period of Investment
Total	4,911,423	3,425,113	69.74	
Han River	1,737,613	1,276,820	73.48	'98~'05
Nak-Dong River	1,957,942	1,285,407	65.65	'99~'05
Guem River	922,660	532,442	57.71	'01~'05
Young-Sa n River	293,208	330,444	112.70	'01~'05

(3) 하수처리장 연간유지관리비

하수처리장은 오염물을 처리하는 시설이기 때문에 인건비, 약품비, 슬러지처리비 등과 같은 유지관리비용이 많이 든다. 따라서 대체비용법을 적용함에 있어 경제분석 기간 동안의 유지관리비용을 고려해야 한다.

『하수처리장 운영수질 및 유지관리비』(환경부, 2005)를 참고로 하였으며, Fig. 7은 낙동강유역에 위치한 하수처리장 시설용량과 연간유지관리비 관계를 나타내고 있다. 하수처리장의 유지관리비 또한 총사업비와 같은 방식으로 2004년의 금액을 2007년 기준으로 환산하기 위해 건설업 디플레이터를 이용하였다.

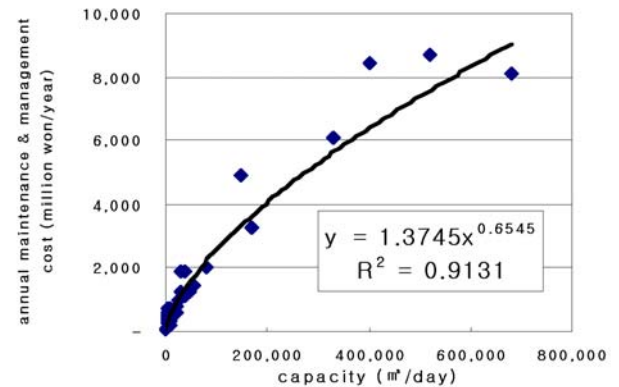


Fig. 7. Relation between Capacity and Annual Maintenance & Management Cost

35개의 하수처리장 자료를 이용하여 다양한 형태로 회귀분석을 실시하여 비교한 결과, Eq. (5)의 형태가 가장 적합하였고, 그 결과는 Table 7과 같다.

$$\ln C_M = 0.3181 + 0.6545 \ln Q_{STP} \quad (5)$$

여기서, C_M 는 연간유지관리비용, Q_{STP} 는 하수처리장 용량, A는 상수

이를 정리하면 Eq. (6)과 같다.

$$C_M = 1.3745 Q_{STP}^{0.6545} \quad (6)$$

Eq. (6)의 조정결정계수(Adj R^2)는 91.3%로 나와, 종속변수 Q 가 가지고 있는 정부 중 91.0%는 설명변수 R 의 변동으로 설명할 수 있는 것으로 나왔다. 또한, F 값은 346.235로 매우 큰 값을 나타내고 있으며, 유의확률 역시 1% 유의수준보다 작게 나와 통계적으로 의미가 있다고 볼 수 있다. 회귀계수의 상수항에 대해서는 좋지 않게 나왔지만, 독립변수에 대해서는 1% 유의수준보다 작게 나와 회귀계수가 0이라는 귀무가설을 기각하였다.

Table 7. Regression Analysis between Capacity and Annual Maintenance & Management Cost

	Coefficients Estimates	T-Value
lnA	0.3181	0.924
lnR	0.6545	18.607***
F-Statistics	346.235***	
Adj. R^2	0.913	
Num. of obs.	35	
Note	***significant at 0.01 significance, **significant at 0.05 significance, *significant at 0.10 significance	

(4) 총비용 산정결과

Table 8은 하수처리시설 건설비, 하수관거 건설비, 연간 하수처리시설 유지관리비를 산정한 결과이며, 이를 경제성분석에 적용하기 위해 건설기간, 내용연수, 잔존율, 대수성비율 등이 고려되어야 한다.

Table 8. Calculation of SWTPs' Total Cost

(Unit: million ₩)

Scenario	SWTP	Pipe line	Total Construction cost	Annual average maintenance cost
Case-1	276,767	181,700	458,467	5,104.0
Case-2	374,524	245,879	620,403	6,906.7
Case-3	491,960	322,976	814,936	9,072.4
Case-4	580,830	381,320	962,150	10,711.3

3.4 시설물별 내용연수, 잔존율, 대수선비율 결정

대체비용법을 적용함에 있어서, 송리원담과 대체시설물인 하수처리장 각각의 시설물이 효과를 발휘하는 내용연수, 건설기간 등을 객관적으로 적용하는 것이 필요

하다. 이는 두 시설 모두 여러 가지 설비로 이루어져 있기 때문에 사업비를 산술적으로 단순비교할 경우 편익에 많은 영향을 미칠 수 있기 때문이다.

일반적으로 경제성 분석에 적용하는 분석기간은 당해 사업 또는 시설물의 내용연수와 같거나, 그보다 짧게 하는 것이 일반적이며, 「댐설계기준」(건교부, 2005)에는 “50년을 적용하는 것이 일반적이다.”라고 언급되어 있다. 본 연구에서 댐의 경우 대표 내용연수를 저수지 운영 개시년부턴 50년으로 하였다. 오염물을 처리하는 하수처리장의 특성상 댐시설에 비해 내용연수가 짧기 때문에 댐시설과 비용을 비교할 경우 하수처리시설의 내용연수를 대표할 수 있는 값을 신중히 적용해야 한다. Table 9는 하수처리장의 분야별 공사비 비율 및 내용연수 적용기준과 분야별 대규모 수선비 산정기준 및 비율(한국개발연구원, 2007)을 나타내고 있다. 법인세법 시행규칙(개정 2008.3.31)에서 “기획재정부령이 정하는 기준내용연수” 및 “기획재정부령이 정하는 내용연수범위”는 철골·철근콘크리트조나 철근콘크리트조로 건설되는 폐수 및 폐기물처리용 건축물의 내용연수는 20년으로 하고, 내용연수범위를 15년~25년으로 하여 신고내용연수를 선택적으로 적용할 수 있도록 하고 있다.

따라서 본 연구에서는 댐의 내용연수를 50년, 하수처리장의 내용연수를 20년으로 하고, 하수처리장의 전체 대수선기간을 10년으로 두었다. 총공사비 대비 대규모 수선비 비율의 합이 43.35%로 산정되었으므로, 이를 고려하여 최초 시설설치 후 10년이 되는 시점에 총공사비의 43.35%가 재투입되어 총 20년 동안 기능을 유지하는 것으로 하였다.

Table 9. Ratio of Construction Cost by Division, Large-scale Repairing Expense and Duration Period

Division	Ratio of Construction (%)	Duration Period (year)	Ratio of Large scale Repairing Expense (%)
Machinery	26	14	26
Electric Apparatus	15	14	15
Instrument Equipment		10	
Civil Eng. Works	38	10	0.05
Building	17	10	2.3
Landscape Architecture	4	-	-

3.6 송리원댐 수질개선편익 산정 결과

앞에서 적용된 대체비용법을 통해 현재가치화하기 위한 할인율은 초기 30년간 5.5%, 이후 20년간 4.5%를 적용하여 편익을 산정한 결과는 Table 10과 같다.

모의에 적용한 연평균 계획방류량 4.79 m³/s, 풍수기(7~10월)를 제외한 기간의 계획방류량 7.22m³/s, 수질 악화기 계획방류량 10.72 m³/s, 최대계획방류량 13.54 m³/s에 대한 사업기간 50년간 총편익은 2007년 말을 기준으로 각각 644,006 백만원, 871,476 백만원, 1,144,736 백만원, 1,351,526 백만원으로 산정되었다.

Table 10. Total Benefit of Water Quality Improvement of Song-Li-Won Dam
(Unit: million ₩)

Scenario	Cost	Total Construction Cost	Annual average Maintenance Cost	Total Benefit
Case-1		458,467	5,104	644,006
Case-2		620,403	6,907	871,476
Case-3		814,936	9,072	1,144,736
Case-4		962,150	10,711	1,351,526

4. 분석 및 고찰

4.1 경제성분석(B/C)

공공사업에 대한 경제성분석의 목적은 국민경제 전체의 입장에서 사업의 타당성을 경제적 측면에서 분석하는 것이다. 이를 위하여 사업 시행시 예상되는 각종 편익과 비용을 추정한 후, 순현재가치(NPV, Net Present Value), 내부수익률(IRR, Internal Rate of Return), 편익·비용비(B/C, Benefit·Cost ratio) 등의 경제성평가지표를 활용하여 경제성을 평가한다(이충성 등, 2008). 본 연구는 『수자원부문사업의 예비타당성조사 표준지침 연구(제4판)』(한국개발연구원, 2008)의 지침에 의거하여 완공 후 50년간 편익이 발생하는 것으로 가정하였으며 분석의 기준연도는 2007년으로, 사회적 할인율은 운영30년까지는 5.5%, 이후 20년까지는 4.5%를 적용하였다.

송리원댐 건설사업에 소요되는 사업비는 댐 및 부대 시설에 대한 공사비, 용지매수비 및 지장물보상비, 이설도로 및 진입도로보상비, 보상관리비, 관리비 및 설계기술용역비, 댐주변지역 정비사업비 등으로 구성되며, 건설사업비는 Table 11과 같다.

환경개선용수 공급에 의한 수질개선편익을 산정하기 위해서는 송리원댐의 전체 사업비 중에서 환경개선용수

용량배분량 만큼의 비용을 분리하여야 한다. 따라서 『송리원다목적댐 타당성조사 보고서』(건설교통부·한국수자원공사, 2004)에서 제시된 분리비용잔여편익법에 의한 용수공급 부담률 86.82 % 중에서 전체 용수공급 용량 중 환경개선용수의 비율인 74.28%를 적용하여 환경개선용수에 해당하는 총사업비를 산정하였다. 산정 결과, 분석기간을 50년으로 하였을 때 총 사업비는 525,186.7백만원으로 산정되었다.

Table 11. Total Cost of Song-Li-Won Dam

(Unit: million ₩)

Item	Cost
Total Cost	869,597
Construction Cost	253,119
Compensation Cost	540,980
Project Cost for Around the Dam	45,000
Cooperation Cost for Ecosystem Conservation	1,100
Management Cost	29,398

각각의 방류량 계획별 비용·편익분석 결과는 Table 12와 같이 나타났다. 연평균 방류시 B/C는 1.23, 수질악화기의 최대방류량시 B/C는 2.57으로 추정되었다.

Table 12. Economic Analysis Results

(Unit: million ₩)

Classification Scenario	Benefit	Cost	B/C
Case-1	644,006	525,186.7	1.23
Case-2	871,476		1.66
Case-3	1,144,736		2.18
Case-4	1,351,526		2.57

4.2 방법론의 평가

본 연구에서는 수질개선효과를 계량화하여 위하여 국내의 실정과 기준에 맞게 대체비용법을 적용하다. 사업 전·후의 수질 만 분석된다면 본 연구방법은 환경개선용수와 관련한 다른 수자원사업에 적용이 가능하다. 단, 대체시설의 비용 산정방법은 낙동강유역을 대상으로 하였기 때문에 이를 다른 유역에 적용할 수 없으나, 다른 유역에 적용하기 위해서는 본 논문에 제시한 방법으로 대상 유역에 설치된 하수처리장을 이용하여 비용을 산정할 수 있다. 이를 평가하면 다음과 같다.

본 연구에서는 다목적댐에 의한 유량증가로 발생하는 편익은 제외하고, 단순히 수질측정항목의 정량적 계

선에 대한 편익을 산정하였다. 따라서 향후에는 유량증가분에 대한 경제적 가치도 편익에 포함되어야 한다.

대체비용법을 이용하여 편익을 산정하더라도, 이를 수용하는 국민의 의사가 반영되지 않기 때문에 수자원 개발사업에 대하여 100% 합의하였다고 단정할 수 없다. 따라서 국민의 의사를 실제로 물어서 동의가 있는지 여부를 확인해야 한다.

수질분석항목을 BOD만으로 한정하였으나, 향후에는 보다 다양한 먼(항목)을 고려하여 수질개선효과를 판정하여 편익을 산정하는 것이 필요하다. 2011년부터 총질소(T-N), 총인(T-P)이 포함되므로 향후에 이를 포함할 수 있는 방법이 마련되어야 한다.

댐과 하수처리시설이 동일한 수질개선효과를 가지더라도 공사시에 발생하는 부(-)편익은 다르게 발생하기 때문에 이를 고려하는 편익산정이 이루어져야 한다.

향후, 양질의 월별 수질 및 유량자료가 축적되고, 이를 적용한 수질분석이 이루어진다면, 계절별 오염특성에 대하여 환경개선용수의 효과를 좀 더 정확하고, 과학적으로 분석할 수 있을 것이다.

5. 결 론

의사결정자가 댐의 방류에 의한 수질개선사업의 타당성을 판단하기 위해 경제적 가치를 평가하는 것은 매우 중요하다. 본 연구에서는 수자원사업에 의한 발생하는 효과들 중에서 수질개선효과를 편익으로 산정하기 위해, 환경개선용수의 대체시설인 하수처리시설의 규모 설정 및 비용 산정방법과, 비용·편익분석 관련 기준인 경제성분석 기간, 시설의 내용연수, 시설의 부속물(설비)의 교체시점의 설정근거를 마련하였다.

사례연구로서, 낙동강수계의 내성천 지방 2급하천 구간에 계획한 송리원다목적댐을 대상으로 환경개선용수의 수질개선편익을 산정하였다. 댐의 내용연수를 50년, 댐의 대체시설인 하수처리장의 내용연수를 20년으로 하고, 최초 시설설치 후 10년이 되는 시점에 총공사비의 43.35%가 재투입되어 총 20년 동안 기능을 유지하는 것으로 하였다. 현재가치화하기 위한 할인율은 초기 30년간 5.5%, 이후 20년간 4.5%를 적용하여 편익을 산정한 결과, 연평균 계획방류량 4.79 m³/s, 풍수기(7~10월)를 제외한 기간의 계획방류량 7.22m³/s, 수질악화기 계획방류량 10.72 m³/s, 최대계획방류량 13.54 m³/s에 대한 편익은 2007년 말을 기준으로 각각 644,006 백만원, 871,476 백만원, 1,144,736 백만원, 1,351,526 백만원으로 산정되었다.

본 연구에서 적용된 방법은 의사결정자에게 편익산

정과정을 통해서 얻어진 수질개선을 위한 정보를 제공하여 의사결정시 판단근거가 될 것으로 사료된다. 본 방법을 통해 용수공급, 홍수피해경감 등 수자원사업의 편익항목과 더불어 실무에서 활용 가능한 수질개선 편익산정방법이 될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- 강원도 (2004). **강원도 낙동강 오염총량관리 기본계획**.
건설교통부·한국수자원공사 (2004). **송리원다목적댐 건설사업 타당성조사 보고서**.
건설교통부 (2005). **댐설계기준**.
경상남도 (2004). **경상남도 낙동강 오염총량관리 기본계획**.
경상북도 (2004). **경상북도 낙동강 오염총량관리 기본계획**.
국토해양부 (2008). **수자원사업의 타당성분석 개선방안 연구**.
대구광역시 (2003). **대구광역시 낙동강 오염총량관리 기본계획**.
부산광역시 (2003). **부산광역시 낙동강 오염총량관리 기본계획**.
이충성, 여규동, 김길호, 심명필 (2008). "수자원사업 타당성평가를 위한 편익산정 개선방안: 생·공용수 및 환경개선용수를 중심으로." **2008년 대한토목학회 학술대회 전문학회세션**, 대한토목학회.
박두호·권오상·민동기·허은녕 (2007). **수자원 및 기술가치 평가시스템 구축**, 21세기 프론티어 수자원의 지속적 확보기술개발 사업단.
한국개발연구원 (2007). **환경분야 민간투자사업 적격성조사 지침연구**.
한국개발연구원 (2008). **수자원부문사업의 예비타당성조사 표준지침 연구(제4판)**.
한국수자원공사 (2003). **댐의 편익산정 개선방안 수립**.
환경관리공단 (1996). **공공하수처리시설전문관리방안 연구**.
환경부 (2005). **하수도통계**.
환경부 (2005). **2004년 하수종말처리시설운영관리실태분석**.
환경부 (2007). **국가하수도종합계획('07~'15)**.
Dehnhardt, A. (2002). "The replacement value of flood plains as nutrient sinks: a case study of the river Elbe." *2002 World Congress of Environmental and Resource Economists*.
Folke, C. (1990). *Evaluation of Ecosystem*

- Life-Support in Relation to Salmon and Wetland Exploitation.* Ph.D. dissertation, Stockholms University.
- Gibbons, D. (1986). *The economic value of water.* Resources for the future.
- Gosselink, J.G., Odum, E.P. and Pope, R.M. (1974) *The value of the tidal marsh.* Center for Wetland Resources, Louisiana State University.
- Gray, S.L. and Young, R.A. (1984). "The Economic Value of Water for Waste Dilution: Forecasts to 1980." *Journal of the Water Pollution Control Federation*, Vol. 46, No. 7, pp. 1653-1663.
- Merritt, L.B. and Mar, B.W. (1969). "Marginal Values of Dilution Water." *Water Resources Research*, Vol. 5, No. 6, pp. 1186-1195.
- Pearce, D. and Moran, D. (1994). *The Economic Value of Biodiversity.* Earthscan.
- (논문번호:09-27/접수:2009.03.09/심사완료:2009.03.26)