

수질오염총량을 이용한 생태계 수질조절 서비스 가치 평가

이창희·박경옥*†

중원대학교 신재생에너지자원학과
*국립환경과학원 물환경연구부 유역총량연구과

Valuation of Ecosystem Water Quality Regulation Service Using TMDL

Lee, Chang Hee·Park, Kyung Ok**

Department of Renewable Energy Resources, Jungwon University
*Water Environment Research Department, National Institute of Environmental Research
(Received : 19 April 2017, Revised: 12 May 2017, Accepted: 12 May 2017)

요약

본 연구에서는 생태계서비스 중 수질조절 서비스 가치 평가를 수행하기 위해 생태계서비스 수질조절 서비스의 물리량을 정량적으로 평가하였고 이를 이용하여 경제적 가치를 평가하는 방안을 마련하였다. 과거에 비해 수질이 개선되고, 어류 등 수생생물의 종과 수가 늘었다더라도, 그 요인은 생태계의 수질조절 서비스와 수질개선을 위한 환경기초시설의 확충, 수질환경규제 등 복합적인 요인에 기인된다. 그 중 생태계 조절서비스 가치에 대해 정량적으로 산정할 수 있는 방법을 모색하는 것을 연구의 목적으로 설정하였다. 본 연구에서 생태계의 수질조절 서비스를 정량적 가치를 규명하기 위해 수질오염총량을 활용하는 방법에 대해 제안하였다. 이와 함께 생태계의 수질조절 서비스의 산정된 물리적 수질조절량에 처리단가를 곱함으로써 경제적 가치 평가 방안을 제시하였다. 마지막으로 개발된 평가기법을 이용하여 낙동강 수계에 BOD, T-P 항목에 대해서 생태계 수질가치를 평가하였다.

핵심용어 : 생태계서비스, 수질조절, 가치평가, 수질오염총량

Abstract

In this study, we developed a method to assess quantitatively the amount and the economic value of water quality regulating service of ecosystem services. Numbers of species and aquatic organisms such as fish increased because of the improved water, but it was due to complex factors such as water quality regulation services of ecosystems, installation of environmental facilities for water quality treatment, and water quality regulation. Therefore we sought ways to quantitatively estimate the value of ecosystem regulation services. In this study, we propose a method to estimate the quantitative value of water quality regulation service of ecosystem by utilizing the total amount of water pollution. In addition, the economic value evaluation method was proposed by multiplying the estimated the quantitative value of water quality regulation service of ecosystem by the unit cost per unit capacity. Finally, the ecosystem water quality regulation service was estimated by using the evaluation method for BOD and T-P in Nakdong river watershed.

Key words : Ecosystem service, Water Quality Regulation, Valuation, Total Maximum Daily Load(TMDL)

1. 서 론

인류는 생태계를 통해 깨끗한 식수와 공기, 건강한 식량 자원, 홍수 및 수질오염으로부터의 보호와 같은 다양한 혜택을 지속적으로 받아오고 있다. 하지만 인류에게 많은 혜택을 주고 있는 생태계는 대기 및 수질오염, 기상이변 및 재해발생, 각종 병해충의 창궐 및 일부 동식물의 멸종 등과 같은 심각한 위협을 받고 있다. 이에 2000년대에 들어서면

서 새천년생태계평가(MA, 2005)를 수행하는 등 자연 생태계가 인류에 주는 혜택에 대한 연구들이 활발히 진행되고 있다(TEEB, 2010a; UK NEA, 2011; OECD, 2010). 생태계서비스는 인간사회와 생태계를 연결하고 자연에 대한 인간의 의존성과 인간의 환경에 대한 영향이 증가하고 있음을 나타내기 위해 도입된 개념(KEITI, 2011)으로 인간이 자연으로부터 얻는 혜택으로 정의된다(MA, 2005). 생태계서비스는 공급서비스(Provisioning services), 조절서비스(Regulating services), 서식지 또는 부양서비스(Habitat or Supporting services), 문화서비스(Cultural Services)로 구분되며(MA, 2005; TEEB, 2009; TEEB, 2010b; TEEB 2011), 이중 조절서비스에 해당하는 수질조절 서비스는 생

* To whom correspondence should be addressed.
Water Environment Research Department, National Institute of Environmental Research.
E-mail: kopark77@hotmail.com

태계의 오염물질의 제거 및 분해 능력으로 수질정화(water purification), 폐기물처리(waste treatment), 수질조절(water quality regulation) 등의 용어로 사용되고 있다(Ahn et al., 2014; de Groot et al., 2010; Layke et al., 2012; Kandziora et al. 2013, UK NEA, 2011, Gutiérrez et al., 2013).

환경부의 2차 물환경관리 기본계획 보고서에 의하면 그동안 물환경관리 기본계획 및 수질오염총량관리제 등을 포함한 각종 정책을 추진하여 왔으며, 이를 통해 우리나라 하천 수질은 80~90년대 오염이 매우 심했던 20개 주요 도심하천의 2014년도 수질이 BOD의 경우 과거에 비해 평균 76.9mg/L에서 3.8mg/L로 약 95% 이상 떨어지는 등 수질이 크게 개선되었다(Ministry of Environment, 2015).

산업화로 인해 악화되었던 수질은 최근 점차 개선되었는데, 이는 생태계의 수질조절 기능과 함께 환경기초시설의 확충, 각종 환경규제 등의 효과가 복합적으로 발휘되면서 기인한 것으로 볼 수 있다. 따라서 생태계서비스 중 수질조절 부분에 대한 가치평가 기법을 개발을 위해서 복합적인 요인 중 생태계서비스로 인한 수질조절량과 이에 대한 가치를 규명하기 위한 방법을 추출하는 것이 필요하다.

오염원으로 인해 오염부하량이 환경기초시설을 통해 처리되거나 미처리된 상태로 자연 생태계에 배출되면, 배출된 오염부하량은 유역 형상, 경사, 주요 오염원 종류 및 분포, 지하수 흐름, 지표수 수심, 폭, 유속, 침전량, 산소 반응 등 복잡한 매커니즘을 거치게 되며, 생태계의 수질조절 기능이 잘 발휘될 경우는 자연적으로 정화될 수 있으나, 그 기능이 마비될 경우 오히려 수질이 악화될 수 있다. 즉 유역 내에서 자연으로 배출된 오염부하량은 생태계의 수질조절 서비스 기능으로 인하여 유역 출구지점에서의 측정된 부하량과 차이가 나타나게 된다.

이에 본 연구에서는 생태계의 수질조절 서비스를 정량적으로 산출하고 이에 대한 경제적 가치를 규명하기 위해 오염부하량을 활용하는 방법에 대해 제안하였다. 유역에 배출된 배출부하량과 유역출구에서 측정된 부하량을 산정하여 수질조절 서비스를 정량화한 물리량을 도출하고, 정량화한 물리량인 수질 정화량을 처리하기 위한 환경기초시설의 처리단가를 고려함으로써 생태계의 수질조절 서비스의 경제적 가치를 산정하였다.

2. 평가 지표 개발 관련 연구동향

수질조절 서비스 가치평가와 관련한 연구는 물리적인 양을 지표로 이용하는 방법과 화폐가치를 지표로 이용하는 방법으로 이루어져 왔다.

우선 물리적인 양을 지표로 이용한 연구로는 de Groot et al.(2010)은 탈질소작용에 의한 질소변화량을 지표로 이용하였고, Layke et al.(2012)은 지표수 내 오염물질 농도를 이용하였다. UK NEA(2011)는 유사량과 용존 고형물

총량을 Gutiérrez et al.,(2013)은 질산농도와 연간 폐수처리 용량을 지표로 이용하였다. 화폐가치를 지표로 이용하는 방법으로는 UK NEA(2011)는 저수지로 들어가기 전 습지에 의해 여과된 물의 인공 정화 대비 비용 절감 정도를 이용하였고, Ryu et al.(2013)은 부유물질 유출량과 논의 벼재배시 질소 정화능을 산정한 후 정수장의 부유물질 정수 비용, 폐수처리장 질소처리비를 이용하였다. Ahn et al.(2014)는 부착조류 출현량(종수, 개체수), 정수식물 분포, 10년 평균 저수량 또는 하상경사도를 이용하여 물리적 지표를 평가한 후 화폐가치로 기존 가치 추정 연구사례들을 조합하여 최소, 평균, 최대값을 추정하였다. 그러나 도출된 평가가 생태계의 수질조절 기능의 효과와 환경기초시설의 확충 및 환경규제 등으로 인한 인위적인 결과물과 구분하기 어려운 부분이 있으며, 물리적인 양에 대해 가치를 평가하기 위한 연계가 이루어지지 않고 화폐단위로 평가하기 위한 별도의 지표를 적용한 한계가 있다.

한편, 환경부에서는 생태계 건강성 조사 및 평가를 통해 수질 및 수리환경, 부착조류, 저서성 대형무척추동물, 어류, 서식 및 수변환경 등의 항목에 대해 평가를 수행하고 있으며, 국토교통부에서는 수자원장기종합계획, 자연친화적 하천관리에 관한 통합지침, 하천설계기준 등을 통해 수질, 생물, 친수성에 대한 평가를 수행하고 있다. 이러한 평가는 물환경 및 생물학적 현황에 대한 현재 상태에 대한 평가이나, 생태계가 제공하는 수질조절 서비스 정도에 대해서는 설명하지 못하는 한계가 있다.

Ahn et al.(2014)은 생태계 서비스 평가지표를 개발을 위한 정책적 고려를 위해 MA(2005), OECD(2011), Layke(2012), Kandziora(2013) 등의 국외 사례를 토대로 과학적 적합성, 측정가능성, 활용가능성으로 범주화하여 공통적인 고려사항을 도출한 바가 있다.

이에 본 연구에서는 정기적인 자료 구축의 지속성, 자료의 객관성 및 체계화, 자료의 접근성, 자료의 획득 가능성, 시공간적 범위에 대한 자료 비교의 용이성 등을 고려한 평가지표 개발을 위해 정부에서 검토, 측정, 제공하는 DB를 토대로 생태계 서비스에 의한 수질조절량과 수질조절 서비스 가치에 대한 계량화 방안을 모색하였다.

3. 평가 지표의 개발

생태계 수질조절 서비스 기능에 대한 가치를 평가하기 위해 물리적인 조절량에 대해서는 유역에서 배출된 오염부하량 대비 유역 출구에서 측정된 부하량의 차이를 통해 산정한 연간 일평균 수질 조절량을 이용하였고, 생태계의 수질조절 서비스의 경제적 가치는 연간 일평균 수질 조절량과 처리단가를 이용하여 산정하였다. 유역에서 배출한 오염부하량을 산정하기 위해서는 오염부하량 배출의 원인이 되는 인구(하수처리/미처리 인구)와 물 사용량, 하수처리장 방류량 정보, 축산 축종별 사육현황, 산업시설 폐수 배출 정보, 토지이용도 분포 현황, 양식장 시설 면적, 매립장 침출수

발생량 등을 이용하여 분석할 수 있다. 이러한 자료는 환경부에서 전국 오염원조사 및 수질오염총량관리제도를 통해 관련정보를 취합하였다. 이와 함께 유역 출구에서 측정 부하량은 환경부에서 측정하는 단위유역 출구 지점의 수질 유량 자료를 이용하였다. 한편 생태계의 수질조절 서비스의 경제적 가치는 앞에서 산정한 물리적인 조절량에 해당하는 연간 일평균 수질 조절량에 단위부하량당 삭감비용을 곱함으로써 산정하였다.

생태계서비스 수질조절 서비스의 가치평가는 다음 절차에 따라 진행된다.

1) 생태계서비스 수질조절 서비스의 가치평가는 유역기반으로 분석한다. 여기서 유역이란 하천의 임의지점을 통과하는 유량 및 수질에 직접적으로 기여하는 지역의 범위를 말하며, 유역기반으로 분석해야만 배출된 오염량과 유역 출구에 도달한 오염량을 비교하여 수질조절량을 평가할 수 있기 때문이다.

2) 수질조절 서비스의 물리량을 정량적으로 평가하고 이를 이용하여 경제적 가치를 평가한다.

※ 물리량을 정량적으로 평가하기 위한 지표는 생태계가 제공하는 특정 서비스에 대한 양과 수준을 나타내며, 경제적 가치 평가 지표는 물리량을 정량적으로 평가한 결과를 이용하여 경제적 비용으로 산정한 것을 말한다.

3) 생태계 조절서비스로 인한 물리적인 조절량(연간 일평균 수질 조절량)은 Eq. 1과 같이 자연으로 배출된 오염부하량과 생태계의 수질조절 서비스 기능에 의한 결과물인 유역 출구에서 측정된 부하량을 이용하여 두 값의 차이로 산정된다.

$$\begin{aligned} & \text{연간 일평균 수질 조절량}(Kg/Day) \\ & = \text{유역 배출 오염부하량}(Kg/Day) \\ & \quad - \text{유역 출구 측정부하량}(Kg/Day) \end{aligned} \quad (\text{Eq. 1})$$

4) 유역 배출 오염부하량(Kg/Day)은 오염원 자료를 이용하여 자연계로 배출되는 부하량을 수질오염총량관리기술지침(NIER, 2014)에 의거하여 산정된다. 오염원은 오염발생 원인에 따라 인간이 주택 및 영업 시설 등에서 물을 사용한 후 배출하게 되는 생활계 오염원, 가축의 사육에 의해서 배출하는 축산계 오염원, 각종 공장 및 산업시설에 의한 산업계 오염원, 강우로 인한 각종 토지이용 형태별로 배출되는 토지계 오염원, 그리고 매립지에서 배출되는 매립계 오염원, 양식장을 통한 양식계 오염원으로 구성된다. 배출되는 과정에 따라서는 각 가정, 영업시설 및 사업장 등 개별 시설별로 배출하는 개별배출량, 관로의 누수 혹은 월류로 땅속과 지표면으로 배출되는 관거배출량, 그리고 환경기초시설에서 처리 후 방류되는 방류부하량으로 구분되며, 배출되는 위치가 명확한지 여부에 따라 점오염원과 비점오염원으로 구분된다.

5) 유역 출구 측정 부하량은 Eq. 2와 같이 생태계로 배출된 부하량이 공공수역의 자정작용, 조류성장 등 생태계 조

절에 의한 물질변화과정을 거친 후 특정지점에 도달되는 오염물질의 양이며, 측정된 유량과 수질농도의 곱이 이에 해당된다.

$$\begin{aligned} & \text{유역 출구 측정 부하량}(Kg/Day) \quad (\text{Eq.2}) \\ & = 86.4(\text{단위환산계수}) \times \text{유량}(m^3/sec) \times \text{농도}(mg/l) \end{aligned}$$

6) 생태계의 수질조절 서비스의 경제적 가치는 Eq.3과 같이 생태계 조절서비스로 인한 물리적인 조절량에 처리단가를 곱함으로써 산정 될 수 있다. 본 연구에서는 2015년도에 작성된 낙동강 수계에 대한 부산광역시, 대구광역시, 경상남북도, 강원도의 3단계 수질오염총량관리 기본계획 수립 보고서 자료를 토대로 단위부하당 처리비용을 산정하였다.

$$\begin{aligned} & \text{경제적 수질조절 가치}(Won) \\ & = \text{연간 일평균 수질 조절량}(Kg/Day) \\ & \quad \times \text{단위 부하당 처리비용}(Won/Kg/Day) \end{aligned} \quad (\text{Eq.3})$$

4. 수질조절 서비스 가치 평가 결과

4.1 대상지역, 범위, 분석 년도, 대상물질

본 연구에서는 수질조절 서비스 가치 평가를 위한 분석범위를 낙동강 수계에 대해 수질오염총량관리 단위유역을 기준으로 분석하였다. 물환경관리 기본계획(대권역, 중권역, 소권역) 및 수질오염총량관리제(단위유역) 등 수질 대책은 유역단위로 운영되고 있는데, 단위유역의 경우 환경부에서 2003년부터 유역출구마다 측정자료(단위유역별로 8일 간격 전후로 년 40회 정도 유량과 수질을 측정)를 축적하고 있으며, 향후에도 지속적인 측정이 이루어 질 것으로 예상된다. 반면, 단위유역을 제외한 환경부 수질측정망 운영 지점은 유량자료가 없는 곳이 많으며, 수질에 대해서도 월 1회 정도 측정이 이루어지고 있다. 이와 함께 유역 배출 오염부하량을 산정하기 위해서는 해당 지역별 오염원현황자료를 이용하게 되는데, 단위유역별로 적용할 경우 환경부에서 수질오염총량관리제를 통해 검토한 오염원 및 배출오염부하량 자료를 이용할 수 있다. 낙동강 수계는 유역면적은 남한면적의 25.9%인 23,384.21 km^2 , 유로연장은 510.36 km 이며, 41개의 단위유역으로 구성되어 있다.

본 연구에서는 3단계 낙동강 수질오염총량관리 기본계획 수립에서 기준년도로 이용된 2012년에 대해서 생태계서비스 지표에 대한 평가를 수행하였다. 3단계 낙동강 수질오염총량관리 기본계획 수립시 환경부에서 최종 검토 승인한 유역 배출부하량(Daegu City, 2015; Gangwon-Do, 2015; Gyeongsangbuk-Do, 2015; Gyeongsangnam-Do, 2015; Pusan City, 2015)을 이용하였고, 환경부에서 단위유역별로 측정된 자료를 이용하였는데, 수질오염총량관리제에서 운영되는 대상물질이 BOD와 T-P이므로, BOD, T-P에 대해서 생태계 수질가치를 평가하였다.

4.2 수질조절 서비스 가치 평가 결과

생태계 수질조절 서비스의 정량화한 물리량 값은 연간 일 평균 수질 조절량을 산정하기 위해 단위유역별 유역 배출 오염부하량과 유역 출구 측정 부하량의 차이값을 이용하여 산정하였다. 여기서 유역 배출 오염부하량은 환경부에서 최종 승인한 3단계 낙동강 수질오염총량관리기본계획상의 배출오염부하량을 이용하였고, 유역 출구 측정 부하량은 환경부에서 단위유역별로 유역출구에서 측정한 수질 유량 값을 이용하였다. 유역 출구 측정 부하량은 농도(mg/L)와 유량(m³/sec)의 곱으로 유역 배출 오염부하량과 같은 단위

(Kg/Day)를 가진다. 여기서 주의해야 할 점은 개별 단위유역별로 유역 배출 오염부하량과 유역 출구 측정 부하량을 이용함에 있어서 해당 단위유역 유역 측정 오염부하량 산정시 해당 단위유역 출구에서 측정된 오염부하량에서 상류 단위유역에서 측정된 오염부하량을 제외해야 한다는 점이다. Fig. 1의 낙동강 수계 단위유역에 대한 모식도를 토대로 최종적으로 수정된 유역 출구 측정 부하량이 적용된다.

생태계 수질조절량이 대구광역시 등 대도시지역에 해당되는 금호C, 낙본G, 낙본K 지역에 높은 수준으로 나타났는데, 이들 유역에서 배출되는 유역에서 배출되는 오염부하량의



Fig. 1. Flow Diagram of Nakdong River Watershed.

Table 1. Reduction Amount and Cost by Water Treatment Facilities

City Name	Total Expenses for Five Years (Million Won)	Reduction Pollution Load by Artificial Facilities for Five Years (Kg/Day)					
		BOD			T-P		
		Sum	Point Load	Nonpoint Load	Sum	Point Load	Nonpoint Load
Busan	121,660	612.03	0.95	611.08	17.68	0.11	17.57
Daegu	227,826	3399.96	2607.14	792.82	101.41	79.17	22.24
GyungSangNamdo	794,731	1294.69	1093.69	201.00	44.46	38.39	6.07
GyungSnaBukdo	1,212,230	3414.19	3078.34	335.85	117.59	92.16	25.43
Gangwon	43,128	91.05	91.05	0.00	2.84	2.84	-
Sum	2,399,575	8,811.92	6,871.17	1,940.75	283.98	212.67	71.31

※ BOD treatment Value per unit waste load = 1,315 Million Won/Day ÷ 8,811.92kg/Day = 149,000 Won/Kg(per Day) ≅ 54,500 Thousand Won (per Year)

T-P treatment Value per unit waste load = 1,315 Million Won/Day ÷ 283.98kg/Day = 4,630,000 Won/Kg(per Day) ≅ 1,690,000 Thousand Won (per Year)

* Treatment Cost Per Day = 2,399,575 Million Won ÷ 5 year ÷ 365Day = 1,315 Million Won/Day

Table 2. Water-quality Regulation Quantity and Value in Nakdong River Watershed

Name	Generated Waste Load (Kg/Day) (a)		Delivery Waste Load (Kg/Day) (b)		Water-quality Regulation Quantity (Kg/Day) (c)		Water-quality Regulation Value (unit : 0.1 Billion won) (d)	
	BOD	T-P	BOD	T-P	BOD	T-P	BOD	T-P
Nakbon A	1,273	65	426	28	847	37	461.0	629.7
Nakbon B	3,387	221	2,285	166	1,102	55	600.2	930.5
Banbyun A	2,398	155	389	22	2,009	133	1,094.1	2,255.2
Yongzeon A	1,264	84	564	14	699	70	381.0	1,182.8
Gilan A	1,155	82	222	9	932	72	507.8	1,221.6
Banbyun B	2,913	183	682	3	2,231	180	1,215.2	3,042.6
Michun A	2,671	162	238	11	2,433	150	1,325.1	2,540.7
Nakbon C	8,091	458	2,444	60	5,647	399	3,075.5	6,739.3
Naesung A	11,965	650	3,075	314	8,889	336	4,841.3	5,675.5
Naesung B	7,979	441	489	193	7,491	248	4,079.5	4,183.0
Geumchun A	2,699	159	472	22	2,227	137	1,213.0	2,320.8
Younggang A	5,287	314	2,260	110	3,027	205	1,648.4	3,456.4
Ian A	1,958	113	476	30	1,482	82	807.1	1,391.5
Byungseung A	6,764	379	1,259	117	5,506	262	2,998.5	4,423.7
Wichun A	6,529	417	442	20	6,087	397	3,315.0	6,716.6
Wichun B	8,034	476	1,879	111	6,154	366	3,351.7	6,177.3
Nakbon D	4,700	272	2,869	-225	1,831	497	997.4	8,394.0
Gamchun A	9,072	537	1,585	133	7,487	405	4,077.7	6,837.0
Nakbon E	13,133	925	5,084	9	8,049	917	4,383.7	15,495.1
Nakbon F	8,785	509	22,550	874	-13,765	-365	-7,496.5	-6,169.7
Geumho A	9,922	565	1,207	67	8,715	498	4,746.2	8,420.2
Geumho B	10,860	562	7,840	400	3,021	162	1,645.2	2,733.3
Geumho C	21,610	1,420	-2,696	86	24,306	1,334	13,237.4	22,542.9
Nakbon G	15,563	964	-20,607	-487	36,170	1,450	19,698.8	24,509.3
Hoecheon A	7,151	571	1,155	53	5,996	519	3,265.7	8,766.0
Hwanggang A	3,695	226	1,011	64	2,684	162	1,461.9	2,745.7
Hwanggang B	6,945	405	2,108	144	4,837	261	2,634.5	4,410.4
Nakbon H	5,637	323	1,021	-158	4,616	481	2,514.2	8,127.5
Namgang A	7,449	487	1,784	90	5,665	397	3,085.4	6,714.6
Namgang B	5,898	366	1,334	84	4,564	282	2,485.9	4,762.3
Namgang C	3,896	257	1,414	4	2,482	253	1,351.8	4,282.4
Namgang D	9,262	461	5,366	252	3,896	209	2,122.1	3,532.9
Namgang E	6,850	398	4,039	301	2,811	97	1,530.9	1,634.7
Nakbon I	6,290	321	6,253	200	37	121	20.2	2,048.4
Nakbon J	9,024	510	19,493	618	-10,469	-107	-5,701.6	-1,814.0
Miryang A	7,053	401	1,853	102	5,200	298	2,832.0	5,037.2
Miryang B	4,032	221	260	-14	3,772	235	2,054.1	3,967.9
Nakbon K	2,844	160	-24,015	-845	26,859	1,006	14,627.9	16,994.5
Nakbon L	5,004	232	11,813	167	-6,809	65	-3,708.4	1,103.7
Nakbon M	3,123	88	57,670	3,180	-54,547	-3,092	-29,707.3	-52,248.4
Nakbon N	7,309	310	6,825	177	485	132	264.0	2,234.7
Sum	73,337.6	157,949.9	73,337.6	157,949.9	73,337.6	157,949.9	73,337.6	157,949.9

규모가 다른 지역에 비해서 많이 배출됨에도 불구하고, 유역출구까지 수질조절이 많이 이루어져 조절된 부하량의 값이 상대적으로 큰 것으로 분석되었다. 반면 낙본F, 낙본J, 낙본M 유역의 경우 해당 단위유역 내에서 배출되는 오염 부하량보다 유역출구에서 측정된 부하량값이 더 커지는 경

우로써 이들 지역은 수질조절 능력이 약화되어 있고, 물의 자정작용에 의한 영향보다는 수체 내에서 생성되는 유기물질의 영향이 큰 것으로 판단된다.

본 연구에서는 수질조절 서비스 가치산정에 이용되는 단위부하당 처리비용을 산정하기 위해 3단계 낙동강 수질오

염총량관리 보고서의 2016년부터 2020까지의 5년간 목표 삭감계획에 따른 총 사업비를 기준으로 연간 처리비용을 Table 1과 같이 추정하였다. Table 1의 처리비용을 이용하여 Table 2(c)에서 산정한 연간 일평균 수질 조절량 (kg/Day)에 곱하여 경제적 수질조절 가치를 산정하였다. 생태계 수질조절 서비스 가치 산정결과는 Table 2(d)와 같다. 즉, 자연수질조절 서비스로 인하여 발생부하량 대비 배출부하량은 감소(혹은 증가)하였고, 인위적인 삭감비용 측면과 비교하면, 낙동강수계 내 수질조절 서비스로 인한 자연 정화 능력은 BOD, T-P에 대해 각각 73,337.6억원, 157,949.9억원 투자하는 효과와 동일하였다.

6. 결 론

본 연구에서는 수질오염총량을 이용하여 생태계서비스 중 수질조절 서비스 가치 평가를 수행한 연구로써 생태계 서비스 수질조절 서비스의 물리량을 정량적으로 평가하고 이를 이용하여 경제적 가치를 평가하는 방법을 제시하였다. 수질 개선은 생태계의 수질조절 능력과 수질처리를 위한 환경기초시설의 확충, 수질환경규제 등 복합적인 요인에 의한 것이므로 생태계조절서비스에 대해 정량적으로 산정하기 위해 오염부하량을 활용하는 방법에 대해 제안하였다. 이와 함께 산정된 물리적 수질조절량에 처리단가를 이용하여 생태계의 수질조절 서비스의 경제적 가치 평가 방안 제시하였다. 본 연구에서는 제시한 가치 평가방법의 적용을 위해서 3단계 수질오염총량관리제가 운영되는 낙동강 수계에 대해서 적용하였다. 적용결과 생태계 수질조절 서비스로 인하여 낙동강수계는 BOD에 대해서는 연간 73,337.6억원, T-P에 대해서는 연간 157,949.9억원에 해당하는 조절 가치 혜택을 받게 되는 것으로 분석되었다.

References

- Ahn, SE, Kim, JE, Noh, BH, and Kwon, YH (2014). *Development and Application of Integrated Measurement System to Assess Freshwater Services in Korea(I)*, Korea Environment Institute. [Korean Literature]
- Daegu City (2015). *The 3rd Daegu TMDL Plan*. [Korean Literature]
- de Groot, RS, Alkemade, R, Braat, L, Hein, L, and Willemen, L (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making, *Ecological Complexity*, 7(3), pp.260-272.
- Gangwon-Do (2015). *The 3rd Gangwon-Do TMDL Plan*. [Korean Literature]
- Gutiérrez M, and Alonso, M (2013) Which are, what is their status and what can we expect from ecosystem services provided by Spanish rivers and riparian area, *Biodivers Conserv*, 22, pp.2469-2503.
- Gyeongsangbuk-Do (2015). *The 3rd Gyeongsangbuk-Do TMDL Plan*. [Korean Literature]
- Gyeongsangnam-Do (2015). *The 3rd Gyeongsangnam-Do TMDL Plan*. [Korean Literature]
- Kandziora, M, Burkhard, B, and Müller, F (2013). Interactions of ecosystem properties, ecosystem integrity and ecosystem service indicators - A theoretical matrix exercise, *Ecological Indicators*, 28, pp. 54-78.
- Korea Environmental Industry & Technology Institute (2011). *Ecosystem building technology for promoting Ecosystem services*. [Korean Literature]
- Layke, C, Mapendembe, A, Brown, C, Walpole, M, and Winn, J (2012). Indicators from the global and sub-global Millennium Ecosystem Assessments: An analysis and next steps, *Ecological Indicators*, 17, pp.77-87.
- MA (2005). *Millennium Ecosystem Assessment: ecosystems and human well-being: synthesis*. Island Press, Washington, D.C.
- Ministry of Environment (2015). *Water Environment Management Plan*. [Korean Literature]
- NIER (2014). *TMDL Guide Line*. [Korean Literature]
- OECD (2010). *Paying for Biodiversity: Enhancing the Cost-Effectiveness of Payments for Ecosystem Services*.
- Pusan City (2015). *The 3rd Pusan TMDL Plan*. [Korean Literature]
- Ryu, DH and Lee, DK(2013). Evaluation Economic Value of the Greenbelt's Ecosystem Services in the Seoul Metropolitan Region, *J. of Korea Planning Association*, 48(3), pp.279-292.[Korean Literature]
- TEEB (2009). *The Economics of Ecosystems Biodiversity for National and International Policy Makers - Summary: Responding to the Value of Nature*.
- TEEB (2010a). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*.
- TEEB (2010b). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Mainstreaming the Economics of Nature: A synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB*.
- TEEB (2011). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: TEEB Manual for Cities: Ecosystem Services in Urban Management*.
- UK NEA (2011), *UK National Ecosystem Assessment technical report*.