

Research Paper

국립공원의 수질조절 생태계서비스 가치평가 연구 – 오대산국립공원을 중심으로 –

김가우

서울대학교 협동과정조경학 박사과정, 국립공원공단 국립공원연구원

Research on Trend Analysis of Ecosystem Water Quality Regulating Services in National Park – Focusing on Odaesan National Park –

Gawoo Kim

Interdisciplinary Program of Landscape Architecture, Seoul National University,
Korea National Park Research Institute, Korea National Park Service, Korea

요약: 본 연구에서는 우리나라 보호지역인 국립공원이 제공하는 생태계서비스(ES, Ecosystem services) 중 수질조절서비스를 정량적으로 물리량을 측정하고 경제적 가치평가를 하는 방안을 마련하였다. 수질조절서비스 평가 지표는 '수질정화량'으로 국립공원 내 배출된 오염부하량과 출구측정부하량의 차이를 통해 '연간일평균수질조절량'을 구하고 총량초과부과금 처리 단가를 곱하여 경제적 가치평가를 추정하였다. 연구대상지는 생태계건강성지수 내 수질지수가 가장 높은 국립공원인 오대산을 대상으로 2017~2021년까지 최근 5년간 수치를 기준으로 산출하였다. 그 결과 2017년 대비 2021년의 수질정화량은 BOD 128.21kg/Day, T-P 12.11kg/Day에서 BOD 161.38kg/Day, T-P 13.24kg/Day으로 수질조절서비스를 제공한 것으로 추정되었다. 이에 따른 경제적 가치는 5년 전 대비 513백만 원 더 높은 2,817백만 원의 가치를 제공한 것으로 추정되었다. 최근 기후변화에 따른 물의 가치가 높아짐에 따라 오염된 수질 회복이 아닌 본질적인 수원 관리가 더 효과적인 지금 주요 수계의 발원지인 국립공원 수원의 관리가 중요한 시점이다. 본 연구는 위와 같은 시점에서 연구 결과를 활용하여 보호지역 내 수질가치를 유지 및 향상시킬 수 있는 향후 연구 방향성을 추가적으로 제공하였다.

주요어: 생태계서비스, 오대산국립공원, 수질오염총량, 수질조절서비스, 시계열 추세변화

Abstract: The purpose of this study is to estimate the trend of ecosystem water quality regulating services in Odaesan National park of the last five years and the corresponding economic values. Recently the climate change makes increased the value of the water, it is more important to protect the source of the river than to purify the contaminated water. To evaluate the water quality regulating services, we calculated the difference between purification and pollution from national park and estimated the quantitative value of the water quality regulating services. As a results, the amount

of the value of the water quality regulating services from 2017 to 2021 was increased from approximately BOD 128.21 kg/Day, T-P 12.11 kg/Day to BOD 161.38 kg/Day, T-P 13.24 kg/Day and the economic value also increased from 2,304 million won to 2,817 million won.

Keywords : Ecosystem Services, Total Maximum Daily Load, Odaesan National Park, Water Quality Regulating Services, Trend Variation

I. 서론

생태계서비스(Ecosystem services)는 자연이 생태계의 기능을 통해 인간이 직접, 간접적으로 얻는 모든 혜택과 편익을 말한다(MA 2005). 생태계서비스는 Enrich(1981) 논문에서 처음 사용된 후 Costanza et al. (1997), MA (2005), TEEB (2010), IPBES (2012) 등 UN 주도하에 점진적으로 확대 및 발전되어왔다. 국내에서도 MA (2005) 이후 생태계서비스에 대한 관심이 점차 증가하면서 현재는 생물다양성 보전 및 이용에 관한 법률 제3조 제5항에 의거하여 생태계서비스는 생태계의 보전과 국민의 삶의 질 향상을 위하여 체계적으로 제공 및 증진되어야 한다는 기본 원칙 하에 활발히 연구가 진행되고 있다.

국립공원은 국가 토지이용지역 중 보호지역으로서 생물다양성의 보고이자 높은 생태계서비스 혜택을 제공하고 있다. 생태계서비스는 다양한 평가 매체를 통해 사회·생태·경제적 측면을 고려하여 정량적인 값을 제시하고, 평가 결과 분석을 통해 서비스 간의 관계를 파악하여 부수적인 정보를 추가 취득할 수 있다는 장점을 지니고 있다(Kim et al. 2020). 이는 국립공원을 지속적으로 보전하고 관리하기 위한 정책 의사결정과 자원관리에 활용될 수 있다. 또한 국립공원 내 생태계에서 얻는 다양한 혜택을 평가한 결과를 화폐가치로 환산하여 제시한다면 국민들의 인식을 제고하고 지속가능한 생태계 보전 의식을 함양시킬 수 있다.

국립공원은 2017년 북한산국립공원과 한려해상국립공원을 시작으로 2021년까지 약 5년 동안 2~4개의 공원을 임의로 선정하여 다양한 지표를 적용하여 생태계서비스 가치평가 연구를 추진해오고 있다. 기존의 국립공원 생태계 가치평가 연구를 통해 선정된 국립공

원 생태계서비스는 크게 공급서비스(Provisioning services), 조절서비스(Regulating services), 문화서비스(Cultural services), 지지서비스(Supporting services)이다(KNPRI, 2019).

최근 기후변화로 인해 유한한 자원인 물 분야의 위기가 증가하고 있으며 가용할 수 있는 수자원의 양을 확보하고 유지하기 위해 국가적 차원에서 노력하고 있다. 이에 따라 환경부는 2017년 물 관리 일원화가 확정된 이후 국가 물 관리 기본계획을 바탕으로 유역별 통합물관리를 실시하고 있다. 효과적인 물 관리가 이행되고 유지되기 위해서는 오염된 수질을 회복하는 것보다 수질 즉 수계와 수원을 보호하는 것이 더 쉽고 비용도 저렴하다(John et al. 2005). 국토의 대부분 수계의 수원이자 발원지라고 할 수 있는 국립공원 내 수원을 보호하고 수계 내의 수질에 영향을 줄 수 있는 위험요소를 파악하여 관리 효율성을 높여야 한다.

국립공원이 제공하는 생태계서비스 중 하나인 수질조절서비스는 생태계로부터 제공받는 조절서비스 중 하나로, 생태계로 배출된 오염물질이 물의 자정작용에 의하여 정화되어 음용수, 야생 생물의 서식지 등에 적합한 기능을 수행할 수 있도록 하고 있다. 그러나 최근 들어 토지 사용의 증가와 토지 관리 정책의 변화됨에 따라 생태계서비스 수요와 공급이 일치하지 않아 불균형이 발생할 수 있는 위험성이 있다(MA 2005; Lee et al. 2018). 국립공원에서 지속적인 생태계서비스가 제공될 수 있도록 하기 위해서는 수요와 공급의 균형이 유지될 수 있도록 하는 것이 필요하다. 따라서 단순 현상 분석에 대한 접근보다 장기적인 모니터링을 통해 시계열 분석을 실시하여 생태계와 이해관계자간의 상호작용을 통찰하고 수요와 공급의 불일치가 조정될 수 있도록 해야한다

(Chen et al, 2019).

기존의 수질조절서비스를 평가하는 연구들은 주로 물리적 양을 산정하여 화폐가치로 환산하는 방법으로 이루어졌다. UK NEA (2011)는 습지를 대상으로 저수지로 들어가기 전 습지가 정화한 물을 인공 정화와 대비하여 절약된 비용을 분석하였다. Ryu et al. (2013)은 논을 대상으로 벼를 재배할 때 정화되는 질소의 양과 부유물질의 유출량을 산출하여 정수장 및 폐수처리장의 처리비용 대비 절약된 비용을 구하였고, Lee et al. (2017)은 낙동강 수계를 대상으로 해당 유역 내 배출된 오염부하량과 유역 출구측정부하량의 차이로 정화된 물을 단위부하당 처리비용을 분석하였다. 현재 습지, 논, 하천 등을 대상으로 유형에 따른 수질조절서비스 평가가 이루어지고 있으나 주요 하천의 발원지인 국립공원의 계곡 및 유역을 대상으로 해당 특성을 고려한 연구는 미흡한 실정이다. 국립공원은 생태계 건강성 조사, 자연환경조사 등의 연구사업을 통해 수질, 저서성무척추동물, 어류, 토양 등의 항목을 조사 및 모니터링 하고있다. 생태계의 수리수문적, 기상기후, 생태적 특성을 이용하여 물리적 지표를 평가한 후 화폐가치로 변환하는 Ahn et al. (2014)의 선행연구방법을 고려할 수 있으나 이는 국립공원 생태계의 수질 정화 능력과 공원 내 환경규제, 환경기초시설 등 자연적, 인위적 요인에 따라 생태계가 제공하는 수질조절서비스를 정확히 설명하는데 한계가 있다 (Lee et al, 2017). Ahn et al. (2014)가 국외 사례를 토대로 생태계서비스 평가지표 개발을 위해 정책적으로 공통적인 고려사항을 도출한 바를 활용하여 국립공원 내 수질조절서비스 평가지표 및 방법을 개발 시 정책활용성, 적절성, 자료안정성을 고려하였다.

본 연구에서는 오대산국립공원을 대상으로 수질조절서비스를 수질오염총량을 이용한 평가 방법을 통해 정량적으로 산출하였다. 분석 시에는 국립공원공단을 포함한 공공데이터를 이용하여 평가 및 분석될 수 있도록 고려하였다. 2017년부터 2021년까지 최근 5년간의 수질조절서비스를 평가함으로써 시공간적 범위에 대한 변화 양상을 파악하여 앞으로의 국립공원 관리 및 정책 결정을 지원하는 기초자료로 제시하고자 한다. 생태계서비스 가치평가를 통해 현 환경 상

태를 확인하고 추후 발생할 환경적 문제를 예측한다면 향후 전략환경영향평가 시에도 활용이 가능할 것이다.

II. 연구방법

1. 연구지역

본 연구는 우리나라 전 국립공원(2017년 기준)에서 평가한 생태계 건강성 평가 중 수질지수 점수가 가장 높았던 오대산국립공원을 대상으로 설정하였다 (NPRI 2018). 국립공원 생태계건강성 평가는 국립공원의 현재를 진단하여 문제점 파악 및 개선하기 위해 진행되는 것이다. 평가 항목 중 하나인 수질지수는 공원 수질 현황을 이용하여 수생태계 건강성을 분석한 것으로 높을수록 해당 공원의 수질이 우수하다는 것을 의미한다. 오대산국립공원은 우리나라 국립공원 22개 중 11번째로 지정(1972. 2. 1.)된 산악형 국립공원이다. 태백산맥과 차령산맥이 교차하는 곳으로 행정구역상으로는 강원도 평창군 진부면, 대관령면, 용평면, 홍천군 내면, 강릉시 연곡면, 사천면 등 총 2개 군 1개의 시 6개의 면이 걸쳐져 있다. 총면적은 326,348km²으로서 주봉인 비로봉은 1,563m로 이를 중심으로 두로봉(1,422m), 상왕봉(1,491m), 황병산(1,407m), 호령봉(1,561m), 노인봉(1,338m), 매봉산(1,183m) 등의 높은 봉우리가 함께하고 있다. 이와 함께 질피늪, 조개동 습지, 소황병산습지, 소금강계곡 등의 여러 특이한 지형을 포함하고 있어 22개 국립공원 중 면적 대비 다양한 식물자원들이 전 지역에 많이 분포하는 것으로 알려져 있다.

2. 분석방법

생태계서비스 중 수질조절서비스를 평가하는 지표로 ‘수질정화량’을 설정하였고 ‘수질정화량’을 물리적인 조절량으로 분석하는 방법론으로 국가생태계평가 가이드라인(NIE 2016) 및 국립공원 생태계서비스 가치평가 연구 보고서에서 제시한 평가지표 및 평가방법을 일부 준용하였다. 이에 국립공원 내 유역 상단에서 배출된 오염부하량과 국립공원 유역 하단 출구측정부하량의 차이를 도출하여 연간일평균수질조절

량(단위:kg/Day) 즉 '수질정화량'을 구하였다. 수질 조절서비스의 경제적 가치평가는 수질 개선 등의 효과로 수생태계가 개선됨에 따라 발생하는 편익으로 방류되는 오염물질을 줄이기 위한 비용 즉, 수질 오염물질 배출부과금이나 총량초과부과금 등으로 대체 산정할 수 있다(한국개발연구원 2011). 따라서, 수질 오염총량제에서 시행 중인 총량초과부과금을 대상으로 수질조절서비스의 경제적 가치를 평가하였다.

생태계서비스 수질조절 서비스의 가치평가는 유역 중심으로 분석하였다. 국립공원 내 유역으로 배출된 오염부하량을 산정하기 위해서는 해마다 취합되는 공원 내 오염부하량 배출의 원인이 되는 점오염원 및 하수처리시설 현황 등의 수질오염원 자료와 토지이용도 분포 현황, 공원 내 시설관리 현황 등의 자료를 취합하였다. 공원의 유역 출구에서의 측정부하량은 환경부에서 측정하는 단위유역 출구 지점의 수질 유량 자료를 사용하였다. 이 자료는 환경부에서 2003년부터 단위유역을 기준으로 유역 출구를 측정하여 매년 축적하고 있으며, 공원 내에서 매년 3회(1차:4월경, 2차:7월경, 3차:10월경)이상의 측정이 이루어지고 있다. 여기서 사용된 수질 측정값은 수질오염총량관리제에서 적용되고 있는 BOD와 T-P를 기준으로 '수질정화량'을 평가하였다.

1) 연간일평균수질평균 수질조절량은 국립공원 내 유역으로 배출된 배출오염부하량과 생태계 조절서비스의 수질 정화 기능에 의한 결과물인 공원 출구 측정 부하량의 차이로 산정하였다.

$$\begin{aligned} & \text{연간일평균수질조절량(kg/Day)} \\ &= \text{배출오염부하량(kg/Day)} \\ & - \text{공원 출구측정부하량(kg/Day)} \end{aligned} \quad (\text{Eq. 1})$$

2) 배출오염부하량은 환경부 훈령 제 923호 의거, 「수질오염총량관리기본방침」에 따른 오염원 분류에 따라 검토하였고, 오염원 분류는 토지계, 생활계, 축산계, 산업계, 양식계, 매립계로 총 6개로 구분되나 공원 특성상 토지계와 생활계 외에는 공원 내 거의 존재하지 않고 기록에 없어 2가지를 기준으로 배출 오염부하량을 계산하였다. 토지계는 「수질오염총량관리기술지침」의 단위 유역 지목별 발생부하량, 생활계는 국립공원에서 매년 생산되는 수질오염원 현황

조사자료, 공원시설 오수발생량, 공원 시설관리 현황 등을 바탕으로 산정하였다.

$$\begin{aligned} & \text{배출오염부하량(kg/Day)} \\ &= \text{토지계 오염부하량(kg/Day)} \\ & + \text{생활계 오염부하량(kg/Day)} \end{aligned} \quad (\text{Eq. 2})$$

유역 내에 배출되는 오염부하량을 산정하기 위해 먼저 해당 유역에 영향을 끼치는 단위유역 범위를 수치지정도 및 단위유역도 등을 활용하여 해당 영역을 설정한 뒤 범위 내에 해당하는 배출오염부하량만 선별하였다.

토지계 배출오염부하량은 지역의 특성에 따라 유역 내 전체 토지계를 구획하여 조사한 후 유량과 수질을 연속 측정하여 월별 부하량을 산정하는 것이 원칙이나 실측조사가 어려울 경우 지목별 면적과 연평균 발생부하원단위를 이용하여 연평균 발생부하량을 산정할 수 있다. 본 연구에서는 국립공원 내 환경부 수질측정망 지점에 해당하는 유역에 영향을 끼치는 범위(단위 유역) 내 지목별 면적과 지목별 연평균 발생부하원단위(NIER 2014)를 이용하여 산정하였다.

$$\begin{aligned} & \text{토지계 배출오염부하량(kg/Day)} \\ &= \text{지목별 면적(km}^2\text{)} \\ & \times \text{발생부하원단위(kg/km}^2\text{/Day)} \end{aligned} \quad (\text{Eq. 3})$$

생활계 배출오염부하량은 국립공원 내 연도별 수질오염원현황 조사 자료와 공원시설에서 발생하는 오수발생량을 합산하여 산정하였다. 수질오염원현황

Table 1. Annual average generating waste unit by Land Category

Land Category	Generating waste unit (kg/km ² /Day)	
	BOD	T-P
Dry paddy, Orchard	1.59	0.240
Rice paddy	2.30	0.610
forest field	0.93	0.140
Building site, Factory site, School site, Parking lot, Road, Service sation site, Warehouse site, Raillway, Sporting facilities site, Historical site	85.90	2.100
Pasture, Mineral spring site, River, Bank, Ditch, Marsh, Fish farm, Park, Water reservoirs, Graveyard, miscellaneous site	0.960	0.027

Table 2. Standard concentration of point pollutant Sewage (mg/L)

Building type	BOD	T-P	note
Residential facilities	200	6	Application of sewage of general settlement
Cultural facilities	150	5	temple
Business facilities	330	10	food service
Accommodation	140	4	lodgment
Public facilities	260	8	public toilet

조사 자료를 통한 산정방법은 「수질오염총량관리기 술지침」에서 제시하는 발생부하원단위(Table 2)와 국립공원 내 오수발생량을 곱하여 산정하며, 원단위는 생활계 영업장 오수발생 표준 농도를 적용하였다. 국립공원 내 오수발생량은 환경부 고시에 따라 건축물 용도별 오수발생량 및 정화조 처리대상인원 산정방법을 적용하였다. 이때 건축물 용도를 Table 2에서 분류한 유형대로 분류하여 계산하였다.

수질오염원은 대부분 공원 내 대표 수계인 단위유역 내 위치하여 본 연구에서는 단위유역에 포함된 점오염원 발생원만을 산정하고 하수도 처리구역 내 위치하는 오수 발생량 대상 시설은 공원에서 자연 방류 없이 공공하수로 흘러가도록 관리하고 있어 제외하였다.

$$\begin{aligned} & \text{생활계 배출오염부하량(kg/Day)} \\ &= \text{오수발생량(m}^3\text{/Day)} \quad (\text{Eq. 4}) \\ & \times \text{오수발생 표준농도(mg/L)} / 1,000(\text{환산계수}) \end{aligned}$$

3) 공원 출구측정부하량(kg/Day)은 국립공원에서 운영 중인 수질측정망 지점 중 환경부측정망 계곡수 측정지점 측정 결과를 바탕으로 측정 농도와 유량을 곱하여 산정하였다. 환경부 수질측정망은 매년 연 3회 측정을 실시하고 있으므로 측정값의 평균값을 적용하였다. 유량은 지역회귀식법으로 산정하였다. 유량은 유역의 유역면적, 기울기, 밀도를 바탕으로 회귀분석을 실시하여 산정된 Eq. 6을 이용하여 도출하였다.

Table 3. Flow Rate of Odaesan mountain

	Park	Flow Rate (m ³ /sec)
	Watershed unit	
MT. Odaesan	Odaechun (Odae-2)	0.023
	Sogumgang (Odae-4)	0.016

$$\begin{aligned} & \text{공원 출구측정부하량(kg/Day)} \\ &= 86.4(\text{단위환산계수}) \times \text{유량(m}^3\text{/sec)} \quad (\text{Eq. 5}) \\ & \times \text{농도(mg/L)} \quad (\text{Eq. 5}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{유량(m}^3\text{/sec)} = 0.0625 \times \text{유역면적(km}^2\text{)} \\ & \times 0.465 \times \text{유역평균경사(\%)} - 0.730 \quad (\text{Eq. 6}) \\ & \times \text{유역면적대비 하천연장(km/km}^2\text{)} \\ & \times 0.083 \end{aligned}$$

4) 생태계 수질조절서비스의 경제적 가치평가는 수질오염총량제에서 시행 중인 총량초과부과금 부과방식에 준하여 연간일평균수질조절량과 총량초과부과금 단가 요율을 곱하여 산정하였다. 총량초과부과금은 권역별로 목표수질을 정하여 기준을 초과할 때 부과되도록 되어있다. 국립공원의 경우 권역별 목표와 별도로 자체적으로 수립한 국립공원의 수질측정망 운영계획의 목표에 따라 수질 및 수생태계 하천 기준 “약간 좋음(slightly good)”을 유지하고 있어 Table 4와 같이 지역별 부과계수 1.4를 적용하였다. 오염물질당 연도별 총량초과 요금 단가는 Table 5와 같이 환경부에서 고시하는 연도별 오염총량초과과징금 가격변동지수를 표로 정리하여 산정하였다.

Table 4. The imposing coefficient by area (ME 2011)

Target water quality	Rank	Ia (very good)	Ib (good)	II (slightly good)	III (normal)	IV (slightly bad)	V (bad)	VI (very bad)
	BOD	1 <	1 <, ≤ 2	2 <, ≤ 3	3 <, ≤ 5	5 <, ≤ 8	8 <, ≤ 10	10 <
	T-P	0.02 <	0.02 <, ≤ 0.04	0.04 <, ≤ 0.1	0.1 <, ≤ 0.2	0.2 <, ≤ 0.3	0.3 <, ≤ 0.5	0.5 <
The imposing coefficient		1.6	1.5	1.4	1.3	1.2	1.1	1

Table 5. Total excess yearly rates per sewage (ME 2021)

Year	BOD	T-P
Calculation method	5,800won × yearly price change index	25,000won × yearly price change index
price change index in 2017	0.9910	0.9910
price change index in 2018	1.0268	1.0268
price change index in 2019	1.0180	1.0180
price change index in 2020	1.0038	1.0038
price change index in 2021	1.0006	1.0006

$$\begin{aligned} & \text{수질조절가치(원/Day)} \\ &= \text{연간일평균수질조절량(kg/Day)} \quad (\text{Eq. 7}) \\ & \times \text{부과금요율(원/kg)} \times \text{지역계수(1.4)} \end{aligned}$$

III. 결과 및 고찰

1. 수질조절서비스 가치평가 결과

오대산국립공원 내 환경부 수질측정망 지점은 총 4개소로 크게 2개의 유역을 중심으로 측정되고 있다. 본 연구에서는 수질측정망 지점이 위치한 2개 유역인 오대천과 소금강계곡을 기준으로 분석하였다. 생태계 수질조절서비스의 '수질정화량' 값인 연간일평균 수질조절량을 산정하기 위하여 단위유역별 배출오염부하량과 공원 출구 측정부하량을 산정하였다.

오대산국립공원의 단위유역별 배출오염부하량 중 먼저 토지계 배출오염부하량을 측정하기 위하여 단위유역별 지목 현황을 살펴본 결과 오대천 단위유역 내 지목은 대부분 50.12km² (99.70%)로 임야가 높은 비중을 차지하고 있으며 하천 인근 중간부와 하단부에

종교용지가 위치하고 있었다. 그 외 다른 형태의 지목은 상대적으로 차지하는 비율이 매우 낮았다. 소금강계곡 유역의 지목 역시 국립공원의 특성상 임야가 24.5km² (99.19%)로 높은 비중을 차지하고 있으며 하단부에 대지 및 종교용지, 전 등의 지목 형태가 집중되어 있다. 유역 인근 공원의 용도지구를 비교해본 결과 하천 인근 지역의 대부분 특별히 보호할 필요가 있는 지역인 공원자연보존지구의 완충공간으로 보전할 필요가 있는 지역인 공원자연환경지구로 지정되어 관리되고 있고 일부 오염원이 발생하는 오대천 하단부는 공원문화유산지구, 소금강계곡 하단부는 공원집단시설지구로 지정되어 있었다.

이를 기준으로 토지계 배출오염부하량을 산정한 결과 Table 7과 같이 오대천의 BOD는 56.11kg/Day, T-P는 7.25kg/Day, 소금강계곡의 BOD는 25.57kg/Day, T-P는 3.52kg/Day으로 나왔다. 배출오염부하량은 오대천이 더 높게 나왔으나 두 유역의 단위유역 내 면적을 비교해보면 오대천이 소금강 면적에 비해 약 2배가량 높다는 점을 고려하면 비슷한 양의

Table 6. The watershed unit In Odaesan national park

Park	watershed unit	watershed area (km ²)	Area of category land (km ²)				
			Dry paddy, Orchard	Rice paddy	Forest field	Building site etc	Pasture
Odaesan	Odaechun	50.27	0.02	-	50.12	0.11	0.02
	Sogumgang	24.70	0.03	0.02	24.50	0.03	0.12
	Total	74.97	0.05	0.02	74.62	0.14	0.14

Table 7. Non-point pollutant Sewage in Odaesan national park

Park	Watershed unit	BOD (kg/Day)	T-P (kg/Day)
MT. Odaesan	Odaechun	56.11	7.25
	Sogumgang	25.57	3.52

Table 8. The status of sewage by watershed in Odaesan national park

(Unit:m³/day)

	2017s		2018s		2019s		2020s		2021s	
	Odae	Sogum	Odae	Sogum	Odae	Sogum	Odae	Sogum	Odae	Sogum
food service	-	7	-	1	-	1	-	158		158
lodgment	-	112	-	112	-	112	-	112		112
general settlement	-	8.5	-	3	-	3	-	2		2
temple	50	6	50	6	44	6	44	6	44	6
toilet	37.26	33.87	37.26	33.87	41	53.72	41	53.72	41	53.72
Total	87.26	167.37	87.26	155.87	85	175.72	85	331.72	85	331.72

오염부하량이 배출된 것으로 판단된다.

생활계 배출오염부하량을 산정 시 두 개의 주요 유역 단위에 속하는 면적 내 점오염원만 고려하였다. 그 결과 Table 8과 Figure 1을 보면 소금강계곡 계곡은 주로 계곡 하단부에 점오염원이 분포되어 있는 것을 확인할 수 있었으며 과거에 비해 식품접객업과 공중화장실이 늘어난 것을 확인할 수 있었다. 그에 반해 오대천은 주로 사찰과 공중화장실이 주요 점오염원인

것으로 파악되었으며 공중화장실은 하천을 따라 내려오는 탐방로 인근을 중심으로 설치되어있고 하단부에는 주로 사찰이 밀집되어 있다. 2019년 이후 사찰이 일부 감소하고 공중화장실이 증가되었지만 전반적으로 배출되고 있는 점오염원의 양은 감소 및 유지되고 있었다.

오대천의 점오염원이 줄어든 것에 비해 2017년 이후 BOD 값은 16.69kg/Day에서 16.82kg/Day로 증

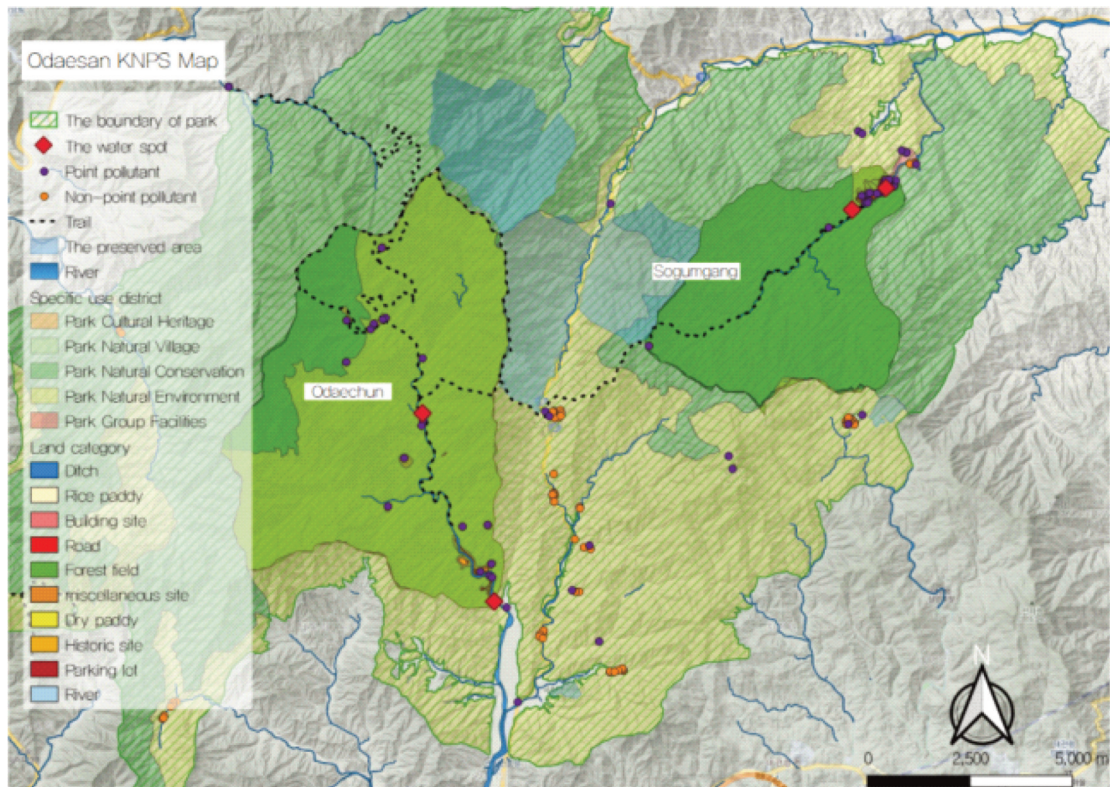


Figure 1. The watershed map in Odaesan national park (Odaechun, Sogumgang)

Table 9. Point pollutant Sewage in Odaesan national park

(Unit:kg/Day)

Type		2017s		2018s		2019s		2020s		2021s	
		BOD	T-P	BOD	T-P	BOD	T-P	BOD	T-P	BOD	T-P
Odaesan	Odaesan (Odae-2)	16.69	0.50	16.69	0.50	16.82	0.50	16.82	0.50	16.82	0.50
	Sogumgang (Odae-4)	30.65	0.98	27.64	0.89	32.80	1.05	63.87	1.98	63.87	1.98

Table 10. Measured flow rate in the exit of Odaesan national park

(Unit: kg/Day)

Type		2017s		2018s		2019s		2020s		2021s	
		BOD	T-P	BOD	T-P	BOD	T-P	BOD	T-P	BOD	T-P
Odaesan	Odaesan (Odae-2)	0.40	0.01	0.79	0.01	0.40	0.01	0.79	0.02	0.54	0.01
	Sogumgang (Odae-4)	0.41	0.14	0.55	0.01	0.28	0.01	0.97	0.01	0.46	0.01

Table 11. The amount of Annual daily average water quality control in Odaesan national park

(Unit: kg/Day)

Type	2017s		2018s		2019s		2020s		2021s	
	BOD	T-P	BOD	T-P	BOD	T-P	BOD	T-P	BOD	T-P
The amount of annual daily average water quality control	128.21	12.11	124.66	12.14	130.63	12.31	160.61	13.22	161.38	13.24

가하였다. 이는 사찰에 비해 공중화장실의 비중이 늘어났기 때문으로 추정된다. T-P는 0.5kg/Day로 매년 배출되는 오염부하량이 유지되었다. 소금강계곡은 2017년 BOD가 30.65kg/Day 이었으나 2018년 식품접객업 시설이 줄어들에 따라 27.74kg/Day으로 잠시 감소하였다. 이후 공중화장실과 식품접객업이 급속도로 증가함에 따라 2021년 63.87kg/Day로 늘어났다. T-P도 BOD의 변화 흐름과 유사하게 2017년에 0.98kg/Day에서 2021년 1.98kg/Day로 월등히 늘어나 지속적으로 생활계 배출오염부하량이 늘어난 것을 확인하였다(Table 9).

오대산국립공원의 출구 측정부하량을 Eq. 5를 활용하여 Table 10과 같이 분석한 결과 오대천은 2017년 대비 2018년에 0.39kg/Day만큼 BOD가 증가한 것을 보아 잠시 수질조절서비스 기능이 잠시 감소된 것으로 확인되었다. 이후 2019년 0.40kg/Day으로 일시적으로 회복하였다가 최근 5년 기준 2020년에 0.79kg/Day로 가장 높게 증가한 후 다음 해에 0.54kg/Day로 감소하는 추이를 보였다. T-P는 2017년 0.01kg/Day에서 2020년에 0.02kg/Day로 잠시 증

가하였다가 2021년에 0.01kg/Day로 감소하였다. 2021년 BOD는 0.54kg/Day로 다시 낮아지는 추이를 보였으나 5년간의 기록된 최저 수치인 0.40kg/Day로 돌아가지 못했다. 차후 2022년의 결과를 보아야 수질조절서비스 기능이 원상태로 돌아왔는지 확인할 수 있을 것이다. 소금강계곡은 2017년 BOD 0.40kg/Day을 시작으로 2018년 증가하였다가 점진적으로 생활계 배출오염부하량이 늘어남에도 2019년 오대천과 동일하게 BOD와 T-P가 급감하는 모습을 보였고 2020년 0.97kg/Day로 급증했다가 2021년 0.46kg/Day으로 감소하는 모습을 보였다.

최종적으로 오대천과 소금강계곡, 2개의 단위유역 내 결과값을 합산하여 일평균수질조절량을 산출한 결과 2021년은 BOD 161.38kg/Day, T-P 13.24kg/Day로 2017년 대비 BOD 128.21kg/Day, T-P 12.11kg/Day으로 일평균수질조절량이 증가한 것을 확인하였다. 이는 최근 공원출구측정량이 과거에 비해 높아졌을지라도 공원 내 유입된 배출오염부하량을 고려한다면 오대산국립공원이 제공한 전반적인 수질정화량은 점차적으로 증가한 것으로 확인된다.

2. 경제성 평가 결과

본 연구에서 수질조절서비스 가치평가인 수질조절 가치를 산정하기 위하여 Table 12에서 도출된 오대산 국립공원의 연간일평균수질조절량(kg/Day)과 총량 초과부과금 단가 요율(원/kg), 그리고 지역계수를 곱하여 산정하였다. 여기서 지역계수는 국립공원 수질 측정망 운영계획 목표인 수질 및 수생태계 하천 기준인 “약간 좋음”으로 1.4를 곱하였다.

Table 12. Changes in the economic value of water quality regulation in total watershed (M KRW/yr)

	BOD	T-P	Total
2017	376.5	153.3	529.8
2018	379.4	159.2	538.6
2019	394.1	160.1	554.2
2020	477.8	169.6	647.4
2021	478.6	169.2	647.8

선정 결과 분석한 단위유역(2개소 기준) 수질조절 가치는 Table 13과 같이 나타났으며 이는 전체 공원 면적의 일부분이기 때문에 면적 비율법(공원 면적/분석 유역면적)을 적용하여 4.35를 곱하여 최종 수질조절 서비스의 경제적 가치를 산정하였다.

Table 13. Changes in the final economic value of water quality regulation in MT.Odaesan (M KRW /yr)

	BOD	T-P	Total
2017	1,638.0	666.7	2,304.7
2018	1,650.2	692.7	2,342.9
2019	1,714.4	696.5	2,410.9
2020	2,078.5	737.8	2,816.2
2021	2,081.8	736.1	2,817.9

그 결과 2017년 2,304백만 원의 경제적 가치를 시작으로 점진적으로 증가하여 최신 자료인 2021년을 기준으로 2,817백만 원의 가치가 있는 것으로 도출되었다.

IV. 결론

본 연구에서는 22개 공원 중 수질 생태계 건강성이 가장 높은 산악형 국립공원인 오대산국립공원을 대상

으로 국립공원의 수질조절 생태계서비스 평가지표인 ‘수질정화량’에 대한 물리량을 산정한 후 화폐가치를 추정하였다. 물리량은 환경부에서 시행하는 수질오염총량관리제에 준하여 2017년부터 2021년을 걸쳐 5년간의 기간 동안 오대산국립공원의 주요 2개 유역을 기준으로 연간일평균수질조절량을 산출하였다. 산정된 연간일평균수질조절량은 총량초과부과금 단가요율에 곱하여 화폐단위로 환산하였다.

최근 5년간의 오대산국립공원의 수질조절 생태계서비스 변화 추이를 살펴본 결과, 2017년 대비 2021년의 수질정화량은 BOD 128.21kg/Day, T-P 12.11 kg/Day에서 BOD 161.38kg/Day, T-P 13.24kg/Day으로 현재 국립공원이 제공하는 수질조절서비스가 증가한 것을 알 수 있다. 경제적 가치 추정 결과로는 2017년 대비 2021년에 513백만 원 더 높은 2,817백만 원의 가치를 국민들에게 제공하였다고 할 수 있다. 이는 5년간 공원 내 배출되는 총 배출오염부하량이 증가해왔음에도 수질조절서비스에 의해 공원 출구측 정부하량은 일부 편차값을 제외하고 일정하게 수질을 유지하였기 때문이다. 공원에서 배출한 오염원은 크게 생활계와 토지계로 나눌 수 있다. 생활계 배출오염부하량(Table 8)을 살펴본 결과, 오대산계곡 유역의 수질 점오염원이 2019년 이후 사찰이 감소하고 공중화장실 면적이 증가하여 점오염원의 총 면적이 감소하였음에도 배출되는 오염부하량은 더 높게 나왔다. 따라서 국립공원 내 배출부하량을 감소시키기 위해선 단순히 점오염원의 면적 축소가 아닌 오염원의 배출오염부하량을 고려하여 조절하는 것이 필요하다. 토지계 배출오염량은 지목에 따라 산정되나 국립공원은 지목 외에도 용도지구 별로 토지를 관리하고 있다. 공원 내 단위유역지도를 통해 계곡 유역의 주변 토지 이용 및 오염원 현황을 확인해본 결과 하천 주변부는 주로 공원자연보전지구의 완충지구인 공원자연환경지구로, 하천 하단부는 사람의 이용도가 상대적으로 높은 공원집단지시설지구 및 공원문화휴식지구로 구성되어있었다. 또한 탐방로가 주로 하천 유역을 따라 구성되어 탐방객의 주요 이용시설인 공중화장실 등의 편의시설이 더불어 밀집하여 있었다. 하천 주변부 용도지구 및 공원시설 현황에 따라 하천으로

유입되는 오염량에 영향을 줄 수 있을 것이다. 따라서 추후 용도지구별 발생부하원 단위를 조사하여 오염원을 구하면 공원 내 오염원에 대한 이해도를 높일 수 있을 것이다.

오대천과 소금강계곡에 해당하는 유역은 오대산 국립공원 인근 마을인 진부면과 연곡면을 가로질러 흐르고 있어 두 지역이 오대산국립공원에서 제공하는 수질조절 생태계서비스를 직접적으로 제공받고 있었다. 이러한 점을 부각시키고 인식증진 등에 활용한다면 공원 하단부의 점오염원 설치 및 관리 등 관련 현안을 해당 지역 주민과 조율하는데 긍정적인 영향을 이끌어 낼 수 있을 것으로 기대된다.

최근 5년간의 수치를 비교해 본 결과 매년 변동되는 공원 내 환경기초시설, 오염 배출원, 생태 및 수리수문 환경 변화 등에 의해 수질조절서비스의 기능이 민감하게 변동되는 것을 확인할 수 있었다. 국가 토지 관리 정책 변화 및 토지 사용의 증가에 따라 국립공원이 보호지역이 아닌 관광 지역과 지역사회와의 이해관계를 위한 경제적인 논리의 방향으로 변화가 지속적으로 이루어진다면 수질조절서비스 기능의 감소는 불가피할 것이다. 이에 따라 지속적인 공원 관리를 통해 생태계서비스의 기능을 유지하기 위해서는 보호지역으로서의 국립공원의 가치를 사람들에게 알리고 자연환경과 지역사회와의 균형적인 생태계서비스를 고려할 수 있는 정책의사결정 및 전략환경영향평가가 필요하다.

국립공원은 오염원을 주로 배출하는 곳이 아닌 청정한 수질을 제공하는 수원이라는 것이다. 때문에 소량의 오염원에 의해 제공되는 수질정화능력만으로 국립공원의 수질조절 생태계서비스를 참값(true value) 혹은 절대값(absolute value)라고 지칭할 수 없다. 본 연구에서 도출된 가치는 현재 이용가능한 과학정보에 기반하여 대략적으로 해석한 수치로써 해석될 수 있다. 이는 시계열 분석이나 정규화를 통해 직관적 이해가 용이하므로, 국립공원이 국민에게 제공하는 편익을 도출하고 주기적 모니터링을 통해 공원 내 토지이용 및 외부환경 변화 양상을 발견할 수 있어 국립공원의 보전 관리 계획 수립에 유용할 것이다.

사사

본 연구는 국립공원연구원의 국립공원 생태계서비스가치평가사업 지원을 받아 연구되었습니다.

References

- Ahn SE, Kim JE, Noh BH, Kwon YH. 2014. Development and Application of Integrated Measurement System to Assess Freshwater Services in Korea (I), Korea Environment Institute.
- Chen J, Jiang B, Bai Y, Xu X, Alatalo JM. 2019. Quantifying ecosystem services supply and demand shortfalls and mismatches for management optimization. *Science of the Total Environment* 650: 1426-1439.
- Costanza R, d'Arge R, de Groot R. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.
- Ehrlich PR, Ehrlich AH. 1981. *Extinction: The Causes and Consequences of the Disappearance of Species*. Random House. New York. 72-98.
- IPBES. 2012. Intergovernmental Platform on Biodiversity & Ecosystem Service.
- John MP, Catherine VS, Jeffrey LM, Andrews LT. 2005. Linking Water Quality to the Watershed: Developing Tools for Source Water Protection. *Journal - American Water Works Association* 97: 62-69.
- KNPRI (Korea National Park Research Institute). 2018. Comparison of the National Park Ecosystem Health Assessment and an advanced Assessment System.
- KNPRI (Korea National Park Research Institute). 2019. A Study on the Value Evaluation of Ecosystem Service in National Park - Seoraksan, Deogyusan, Mudeungsan, Byeonsanbando -.

- Kim CK. 2020. Ecosystem Services Evaluation and Pilot Mapping Project III. Ministry of Environment, Seoul.
- Lee CH, Park KO. 2017. Valuation of Ecosystem Water Quality Regulation Service Using TMDL. *Journal of Wetlands Research* 19(2): 240-245.
- Lee JH, Park HJ, Kim IK, Kwon HS. 2018. Issue Difference of Ecosystem Service Demand and Supply through Text Mining Analysis: Case Study of Shiheung using Complaints and Urban Planning Materials.
- MA (Millenium Ecosystem Assessment). 2005. Ecosystems and the human well-being: synthesis. Island Press, Washington. D.C.
- ME (Ministry of Environment). 2011. Total Water Pollutant Management System report. 30-31.
- NIER (National Institute of Environment Research). 2011. Research on the Implementation and Evaluation of 1st TMDLs in the Youngsan. Seomjin River Basin.
- NIER (National Institute of Environment Research). 2014. The technical guideline for Total water Pollutant Load Management System. National Institute of Ecology.
- NIER (National Institute of Environment Research). 2016. Research on the Implementation and Evaluation of the National ecosystem service. National Institute of Ecology.
- NIER (National Institute of Environment Research). 2020. Research on the Implementation and Evaluation of the National Park service. Korea national park service.
- Ryu DH, Lee DK. 2013. Evaluation Economic Value of the Greenbelt's Ecosystem Services in the Seoul Metropolitan Region. *J. of Korea Planning Association* 48(3): 279-292.
- TEEB. 2010. The economics of ecosystems and biodiversity: ecologiccal and economic foundation, Pushpam Kumar (Ed). Routledge. Abngdon and New Your.
- UK NEA (UK National Ecosystem Assessment). 2011. UK National Ecosystem Assesment technical report.