

국립공원 생태계 건강성 평가 시스템 개선 연구

Comparison of the National Park Ecosystem Health Assessment and an Advanced Assessment System

명현호^{1*} · 김정은² · 김혜리² · 오장근³

¹국립공원공단 국립공원연구원 식물보전센터 센터장, ²국립공원공단 국립공원연구원 생태조사부 연구원,

³국립공원공단 내장산생태탐방원 원장

Hyeon Ho Myeong^{1*}, Jeong Eun Kim², Hye Ri Kim² and Jang Geun Oh³

¹General Manager, Plant Conservation Center, Korea National Park Research Institute, Korea National Park Service, Muju 55557, Korea

²Researcher, Ecosystem Research Division, Korea National Park Research Institute, Korea National Park Service, Wonju 26441, Korea

³President, Naejangsan Eco-learning Institute, Jeongeup 56199, Korea

Received 2 March 2021, revised 9 March 2021, accepted 18 March 2021, published online 30 June 2021

ABSTRACT: In 2012, the National Park Service conducted an ecological health assessment to efficiently preserve and manage the ecosystem. The need for improving pre-existing management indicators was recognized from the revised Natural Park Act because, while the indicators of the existing evaluation system focused on endangered species, ecosystem disturbance, diversity, water quality (BOD, DO), and habitat fragmentation, they did not reflect the lack of indicators for marine ecological assessment, policy changes, and the time demands. The evaluation results comprised a five-point grading system, which made the analysis of immediate changes, difficult. Therefore, the benthic pollution index (BPI) and habitat restoration indicators were added to improve the evaluation system. The National Park was assessed using 10 classifications, however, only four classifications were evaluated. The ratings were divided into five states, and ten classes were presented as pictograms. The assessment results showed a similar trend as the indicators were improved, increasing from level 3 to level 5. However, the results of the Wolaksan National Park after improvement in the indicators were lower than that before the improvement, whereas, for the Juwangsang National Park, it was higher. This study aims at contributing to the scientific and systematic management of the national park ecosystem by improving the ecological health assessment system.

KEYWORDS: Habitat, Index, Indicator, Monitoring, Pictogram

요약: 국립공원공단에서는 공원 자연 생태계의 효율적 보전·관리를 위해 2012년부터 생태계 건강성 평가를 실시하였다. 그러나 자연공원법 개정, 정책 변화, 관리 지표 부재에 따라 지표 개선의 필요성을 인식하였다. 특히 기존지표에서는 해양생태계평가 지표 부재, 정책변화와 시대적 요구를 반영하지 못하는 어려움이 있었다. 또한 기존 평가시스템은 멸종위기종, 생태계교란종, 종다양도, 수질 (BOD, DO), 서식지파편화 지표 등으로 생물종 중심의 비중이 높았다. 평가결과는 5등급 체계로 구성되어 각 지표에 대한 즉각적인 변화를 분석하기 어려웠다. 따라서, 평가시스템 개선을 통해 BPI와 서식지복원지표를 추가하였다. 종다양도는 4개 분류군을 대상으로만 평가하였으나, 10개 분류군으로 전체 공원을 평가하였다. 평가 등급은 5개 상태, 5 등급에서 5개 상태, 10 등급으로 세분화하여 픽토그램으로 제시하였다. 평가결과 개선 전과 전체적으로 유사한 경향성을 보였고, 3단계에서 5단계로 확대 되었다. 그러나 월악산국립공원은 개선 전 평가 결과보다 낮고, 주왕산국립공원은 높게 평가되었다. 본 연구는 생태계 건강성 평가 시스템 개선을 통해 국립공원 생태계의 과학적·체계적 관리에 기여하고자 한다.

핵심어: 서식지, 지수, 지표, 모니터링, 픽토그램

*Corresponding author: ecomyung@knps.or.kr, ORCID 0000-0001-958X

© Korean Society of Ecology and Infrastructure Engineering. All rights reserved.

This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

국립공원은 생물다양성 증진, 보전 및 관리에 있어 국가의 핵심적 보호지역이다. 현재 국립공원에서 확인된 생물종수는 22,055종으로 전체 국가생물종수에 43.66%를 차지한다(Korea National Park Service 2019). 생물종과 개체군의 온전한 유지를 위해서는 지속적인 생태계 건강성·안정성 유지 뿐 아니라, 과학적·체계적 관리가 필요하다. 또한 지속 가능한 생태계 보전·관리를 위해서는 자연생태계 건강상태를 종합적으로 파악하고 분석 및 평가한 후, 문제점을 도출하여 맞춤형 관리기술이 적용되어야 한다. 생태계 평가를 위해서는 우선적으로 과학적 평가방법이 개발되어야 한다. 생태계 건강성 평가에 대한 연구는 미국 (Mac Cluskie et al. 2005, National Park Service 2012, Yellowstone Center for Resources 2018), 호주 (Hunter et al. 2011), 캐나다 국립공원 (Environment and Climate Change Canada 2017)에서 개발하여 활용하고 있으며, 우리나라에서는 수생태계 건강성 조사 및 평가 체계 구축 (Ministry of Environment 2007), 생물종다양성 평가를 통한 해안사구 생태계 건강성 평가기술개발 및 시스템 구축 (Ministry of Environment 2011), 호수생태계 통합적 건강성 평가기법 개발 (Ministry of Environment 2014) 등 다양한 생태계에 대한 연구가 이루어져 있다.

국립공원공단에서는 생태계를 효율적으로 보전하고 관리하기 위해 2012년에 국립공원 생태계 건강성 평가지표를 선정하여 생태계 상태 및 현상을 파악하기 위한 건강성 평가를 매년 실시하였으며, 2014년도에 국립공원 생태계 건강성 평가 고도화 (National Park Research Institute 2014)를 통해 체계적 보전 및 관리에 효율성을 높이기 위한 필수 분야로서 활용되었다. 건강성 평가 방법 개발을 위해 가장 중요한 것은 목적에 따라 평가지표가 선정되어야 하며, 평가결과의 활용성이 수반되어야 한다는 것이다. 건강성 평가 지표 선정 방향성은 지표 설정 인자의 자연성, 다양성, 희귀성, 풍부성과 지표 설정원칙의 편의성, 스트레스 민감성, 반응성, 예측성, 통합성, 저가변성이 고려되어야 한다 (Oh et al. 2016). 방향성과 설정원칙보다 우선적으로 필요한 사항은 일정기간 이상 축적된 생태계 조사 및 모니터링에 대한 다양한 기초자료가 확보되어야 한다. 국립공원 생태계 건강성 평가를 위해 다양성 지수 (조류,

양서류, 어류, 저서무척추동물, 멸종위기종), 기후변화 지수 (폭우), 스트레스 지수 (교란종, 파편화, BOD, DO)를 개발하여 평가하였으나, 공원 관리적 측면에서 추가적으로 지표개발의 필요성이 제시되었다.

이에 본 연구는 국립공원 생태계 건강성 평가 시스템 개선을 통해 최근 지정된 무등산, 태백산국립공원을 제외한 19개 국립공원의 생태계 건강성을 평가하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 연구대상지

우리나라는 총 22개의 국립공원이 있으며, 이는 지역 및 생태계 특성 등에 따라 육상형 (17개), 해안·해양형 (4개), 사적형 국립공원 (1개) 등으로 나뉜다 (Fig. 1). 국립공원은 육상지역 3,942.6 km² (59.1%), 해상지역 2,753.7 km² (40.9%)으로 총 6,726.3 km²의 면적으로 이루어져 있는데, 이는 전 국토 면적의 3.96%를 차지하며, 해수면까지 포함하면 6.71%에 해당된다 (Korea National Park Service 2016). 국립공원공단에서는 한라산국립공원을 제외한 21개 국립공원을 관리하고 있으며, 해마다 자연자원조사, 자원모니터링, 훼손지 복원 등 다양한 연구와 조사를 수행하고 있다.

2.2 건강성 평가 지표 개선

국립공원 생태계 건강성 평가지표는 크게 생태계구조와 스트레스 지표로 나뉜다 (Table 1 (a)). 생태계구조 범주는 국립공원의 보전과 관리를 위한 지표로서 종 다양도, 멸종위기종을 선정하였다. 스트레스 범주는 공원의 건강성을 증진시키기 위한 관리지표로서 생태계 교란종, 수질, 서식지파편화와 기후변화 지표를 선정하였으며, 그 중 기후변화 지표는 극강수 빈도를 선정하여 건강성 평가에 활용해 오고 있다. 그러나 국립공원 관계자 및 관련분야 전문가들에 의해 기존 평가지표에 대한 개선 필요성이 높아짐에 따라, 일부 지표들을 대상으로 다음과 같이 개선방안을 제시하였다 (Tables 1 (b) and Table 2).

국립공원 생태계 건강성 평가지표 개선은 (1) 평가지표는 국립공원 특성을 반영하여 상태 및 현상 등을 중심으로 선정, (2) 기초자료는 자연자원조사, 공원모니터링 등 종합 데이터베이스에 의거한 객관적 자료 추출,

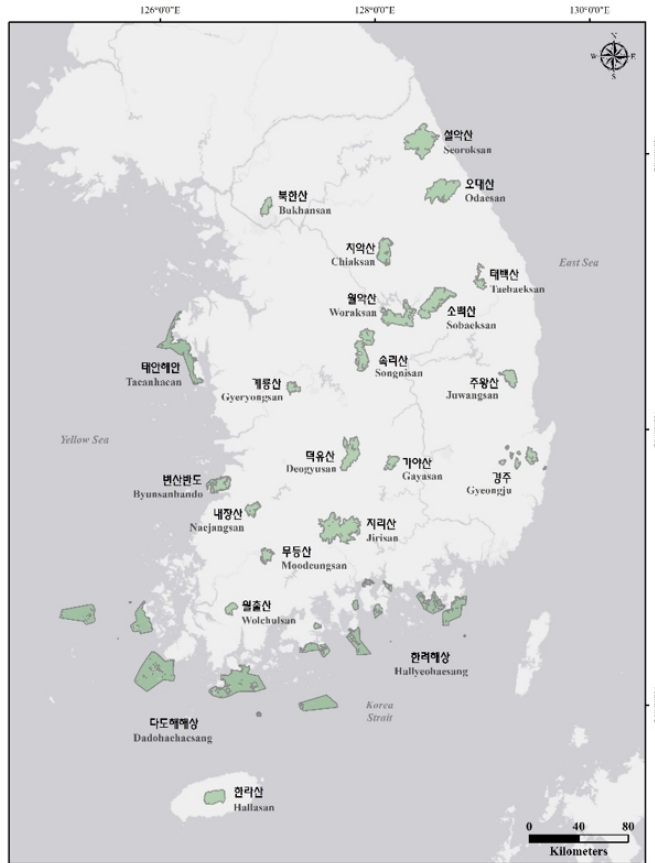


Fig. 1. Map of the National Parks.

(3) 평가 결과는 공원 보전방향 확립 및 관리방안 실행·적용에 기여하고 국민 공감기회 확대. 등을 목표로 개선했다.

2.3 건강성 평가 매트릭 구간 설정

현재 실시되고 있는 5등급 평가는 국립공원 생태계의 상태를 개괄적으로 파악하기 위해 선정되었다. 그러나 생태계 변화에 대한 반응성을 높이고, 신속한 파악 및 실질적 대응을 위해 10단계로 구간을 설정하여 매트릭을 재 작성하였다. 지표 세분화 적용은 보다 효율적인 공원보전사업 환류방안을 도출할 것으로 예측된다.

2.4 평가 등급표 및 픽토그램

건강성평가에 대한 결과는 픽토그램 (pictogram)을 제작하여 활용하였다. 픽토그램은 단순한 모양으로 의미가 명료하게 표현될 수 있도록 내용을 상징적으로 시

각화하여 불특정 다수가 쉽게 이해할 수 있도록 만든 그래픽 심볼 (symbol)이다. 2016 (Oh et al.)년 국립공원 생태계 건강성 평가에서는 5등급으로 제작하였으나, 본 연구에서는 생태계 변화 추세를 파악하기 위해 등급 체계를 10단계로 변경하였다.

2.5 국립공원 생태계건강성 평가

19개 국립공원을 대상으로 7개 평가지표로 생태계 건강성을 평가한다. 평가는 지표별, 공원별 평가를 실시하여 기존 평가결과와 간접적인 비교를 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 평가지표

2016 (Oh et al.)년 국립공원 생태계 건강성 평가는 15개의 육상공원을 대상으로 평가를 실시하였으며, 해

Table 1. Ecosystem health assessment indicators in the National Park (Before and after improving the indicators)

(a) Pre-existing evaluation standard of the ecosystem health assessment on National Park (Oh et al. 2016)

Type	Indicators
Ecosystem structure	Diversity Index (Bird, Amphibian, Fish, Macro invertebrates index)
	Endangered species index
Stressor	Disturbance species index
	BOD (Biochemical oxygen demand)
	DO (Dissolved oxygen)
	Fragmentation index
	Climate Change (Extreme rainfall)

(b) New evaluation standard of the ecosystem health assessment on National Park

Ecosystem structure	Diversity Index (H')
	Endangered species index
Park Management	Habitat restoration (Damaged areas restoration)
Stressor	Disturbance species index
	BOD (Biochemical oxygen demand)
	DO (Dissolved oxygen)
	BPI (Benthic Pollution Index)

상·해안공원 평가에 대한 지표가 개발되지 않아 전체 공원에 대한 평가는 실시하지 못 하였다. 특히 우리나라 국립공원은 육상형 국립공원 면적이 3,972.6 km² (59.1%), 해상형 국립공원 면적이 2,753.7 km² (40.9%)으로 해양 면적 및 생태계 기능이 높아 해양생태계를 평가할 수 있는 지표 개발이 요구되었다 (Korea National Park Service 2016). 이전에도 다양한 지표를 개발하여 해양생태계 평가를 시도하였으나, 육상 생태계와 달리 해양 생태계 자료 축적 부족, 생물학적 지표에 대한 안정성 미흡, 생태계 및 서식지 유형이 상이하여 평가 지표 개발 및 적용에 어려움이 있었다. 그러나 국립공원 해양생태축 조사를 통해 축적된 자료를 기초로 분석한 결과 해양생태계 건강성 평가에 적용할 수 있는 해양 저서오염지수 (BPI, benthic pollution index)를 평가지표로 개발하였다. 해양저서오염지수는 저서생물의 서식 특성을 고려한 평가방법으로 해양생태계의 복합적인 상태를 진단할 수 있는 단순하고 안정적인 평가 지표이다 (Ministry of Science and Technology 1995).

자연공원법 개정 및 공단 정책변화 등으로 인해 중 중심에서 서식지 중심의 조사 및 관리로 방향성이 전환되었다. 현재 평가하고 있는 종다양도 지수는 15개 공원에 대하여 8개 지점 (4 km²/1개 지점), 4개 생물분류군 (조류, 양서류, 담수어류, 저서무척추동물)을 대상

으로만 평가되어 분류군 및 공원 전체에 서식하는 생물 종 다양성을 평가하기에는 미흡하였다. 이에 생물 종 다양도 지표의 기초자료 활용 범위를 확대하여 10개 생물 분류군, 국립공원 전체 지역을 대상으로 종다양도 지표를 재고 하였다 (Table 2). 기존 종다양도 산출방식은 종별 개체수가 중요하였으나, 개선된 산출방식은 서식지 중심의 조사 및 관리의 중요성이 강조됨에 따라 종별 위치좌표 지점 수를 중심으로 수정하였다. 각 생물종의 위치자료를 근거로 point to grid (PTG) 방법을 적용하여 종다양도 값을 산출하였으며 (Graham and Hijimans 2006, Kim 2012), 종다양도 지수는 Shannon-Wiener Index (Pielou 1966)를 기준으로 산출하였다.

스트레스 범주의 서식지 파편화 지수는 경관 및 서식지 연결성 파악과 비법정탐방로 관리를 위해 선정하였으나 보전 및 이용적 측면에서의 문제점이 발생되었다. 공원관리는 훼손지역 복원을 통해 단절된 생태계 네트워크를 구축하고 다양한 생물종 서식지를 제공함으로써 생태계의 질적 향상을 나타내는 범주이다. 국립공원은 자연공원법에 의해 매년 10년마다 공원구역조정을 시행하고 있는데, 2019년 공원구역조정을 실시할 경우 공원면적 및 탐방로 현황이 대폭적으로 변경되어 평가에 대한 문제점이 발생한다. 이에 대한 대응 및 개선방안으로 국립공원 훼손지 복원을 평가를 위한 서식지보

Table 2. Matrix of the national park ecosystem health assessment

Score	Ecosystem structure		Park Management	
	Diversity index	Endangered species index	Habitat conservation and restoration	
10	6.6≤	14.5≤	1.8≤	
9	6.2≤ - <6.6	13.5≤ - <14.5	1.6≤ - <1.8	
8	5.8≤ - <6.2	12.5≤ - <13.5	1.4≤ - <1.6	
7	5.4≤ - <5.8	11.5≤ - <12.5	1.2≤ - <1.4	
6	5.0≤ - <5.4	10.5≤ - <11.5	1.0≤ - <1.2	
5	4.6≤ - <5.0	9.5≤ - <10.5	0.8≤ - <1.0	
4	4.2≤ - <4.6	8.5≤ - <9.5	0.6≤ - <0.8	
3	3.8≤ - <4.2	7.5≤ - <8.5	0.4≤ - <0.6	
2	3.4≤ - <3.8	6.5≤ - <7.5	0.2≤ - <0.4	
1	<3.4	<6.5	<0.2	

Score	Stressor			
	Disturbance species index	BOD	DO	BPI
10	<2.5	<0.2	14.0≤	85≤
9	2.5≤ - <3.0	0.2≤ - <0.3	13.0≤ - <14.0	80≤ - <85
8	3.0≤ - <3.5	0.3≤ - <0.4	12.0≤ - <13.0	75≤ - <80
7	3.5≤ - <4.0	0.4≤ - <0.5	11.0≤ - <12.0	70≤ - <75
6	4.0≤ - <4.5	0.5≤ - <0.6	10.0≤ - <11.0	65≤ - <70
5	4.5≤ - <5.0	0.6≤ - <0.7	9.0≤ - <10.0	60≤ - <65
4	5.0≤ - <5.5	0.7≤ - <0.8	8.0≤ - <9.0	55≤ - <60
3	5.5≤ - <6.0	0.8≤ - <0.9	7.0≤ - <8.0	50≤ - <55
2	6.0≤ - <6.5	0.9≤ - <1.0	6.0≤ - <7.0	45≤ - <50
1	6.5≤	1≤	<6	<45

전·복원지표에 대한 산식을 개발하였다. 훼손지 복원율은 훼손된 서식지의 생태계 연결성 및 건강성 증진을 위해 효과적인 관리지표이다.

3.2 건강성 평가 매트릭 구간 설정 및 지수화

본 연구에서는 국립공원 생태계 건강성 평가 지표를 5개에서 10개 구간의 평가등급 및 지수로 구분하였다. 등급별 지수는 공원조사와 연구 등에서 획득된 자료를 기초로 하여 산점도 및 분포도를 작성하고, 평균값, 중앙값, 최고·저, 표준편차를 산출하여 등간격 추출법으로 작성하였다 (Table 2).

3.3 평가 등급표 픽토그램

본 연구에서는 국립공원 생태계 건강성 평가의 픽토그램을 5개 상태, 5 등급에서 5개 상태, 10 등급으로 세

분화하였다. 픽토그램은 각 지표에 대한 변동 및 상태를 파악할 수 있고 건강 상태를 표현하는데 효과적이다. 상태는 매우 좋음(very good), 좋음(good), 보통(medium), 나쁨(poor), 아주나쁨(very poor)이며, 색상은 상태별로 녹색, 연두, 노랑, 주황, 빨강으로 제시하였다. 평가 등급은 로마숫자로 I - X까지 10개로 구분하였으며 과거 결과와의 비교는 3개 도형(상승, 안정, 감소)으로 나타내었다 (Table 3). 일반적으로 색상과 도형을 활용한 픽토그램은 사람들이 주의사항 및 권장사항 등을 함축적으로 담아 인식시키기 위해 활용하고 있으나, 생태계 모니터링 및 조사에 대한 평가결과에 대해 현황이나 상태를 쉽게 이해되도록 제작하였다.

3.4 생태계 건강성 평가

7개의 개선지표를 통해 국립공원 생태계 건강성 평가를 실시한 결과 다음과 같이 분석되었다 (Table 4).





Table 3. The class and pictogram of the national park ecosystem health assessment

Status	Grade	Point	Colour Pictogram		
			Increased	Stabled	Decreased
Very good	I	10			
	II	9			
Good	III	8			
	IV	7			
Medium	V	6			
	VI	5			
Poor	VII	4			
	VIII	3			
Very poor	IX	2			
	X	1			

IV등급은 설악산, 속리산, 덕유산, 오대산, 치악산, 가야산, 한려해상국립공원, V등급은 지리산, 월악산, 내장산, 월출산, 다도해, 변산반도, 태안해안국립공원, VI등급은 북한산, 경주, 주왕산국립공원, 마지막으로 VII등급은 계룡산국립공원으로 가장 낮게 평가되었다. 전체적으로 평가등급은 5단계로 구분되었으며, 개선 전 평가 3단계 보다는 넓게 되어 평가결과 및 반응성 적용에 있어서는 효과적인 방법으로 판단된다. 또한, 개선 전 평가 결과와 비교를 한 결과 전체적으로 유사한 경향성을 보였다. 그러나 월악산국립공원은 개선 전 평가 결과보다 medium (중간)에서 poor (나쁨)으로 다소 낮게

평가되었으며, 반대로 주왕산국립공원은 poor (나쁨)에서 medium (중간)으로 높게 평가되었다. 본 연구결과는 19개 국립공원에 대해 생태계 건강성에 대한 경향성 파악을 하는데 활용되어야 하며, 평가지표에 대한 반응성을 적용하여 공원관리 및 대응방안을 모색하는데 효과적으로 판단된다. 국립공원은 위치와 특성에 따라 육상형, 해안형, 사적형으로 구분되고, 육상형 국립공원은 이용행태 및 위치에 따라 도심형, 산악형국립공원으로 세분화 되어 있다. 모든 공원에 대해 동일한 평가를 실시하는 것은 현실성이 다소 낮을 수 있어 공원 구성요소 및 특성에 관련된 자료를 기초로 유형화 분석

Table 4. Results of national park ecosystem health assessment (Before and after improving the indicators)

Status	Grade	Point	Pictogram	2016 (After)	2016 (Before)
Very good	I	10		-	
	II	9		-	
Good	III	8		Sobaeksan	Seoraksan, Sokrisan, Deogyusan Odaesan, Chiaksan, Sobaeksan, Wolaksan, Byeonsanbando, Taeanhaean, Hallyeo
	IV	7		Seoraksan, Sokrisan, Deogyusan Odaesan, Chiaksan, Gayasan Hallyeo	
Medium	V	6		Jirisan, Wolaksan, Naejangsan, Wolchulsan, Dadohae, Byeonsanbando, Taeanhaean	Jirisan, Bukhansan, Gyeongju, Gyeryongsan, Naejangsan, Wolchulsan, Gayasan, Dadohae
	VI	5		Bukhansan, Gyeongju, Juwangsansan	
Poor	VII	4		Gyeryongsan	Juwangsansan
	VIII	3		-	
Very poor	IX	2		-	
	X	1			

이 필요하다. 또한, 유형화된 권역별로 평가기준, 관리 목표 및 방안을 차별화하여 국립공원 생태계 건강성을 증진시켜야 한다.

감사의 글

본 연구는 국립공원공단 국립공원연구원에서 실시한 “국립공원 생태계 건강성 평가 개선방안 연구”의 일환으로 수행되었습니다.

References

Environment and Climate Change Canada. 2017. Canadian environmental sustainability indicators: Ecological integrity of national parks. Canada. pp. 1-17.

Graham, C.H. and Hijimans, R.J. 2006. A comparison of methods for mapping species ranges and species richness, *Global Ecology and Biogeography* 15: 578-587.

Hunter, J., Becker, A., Alabri, A., Van Ingen, C., and Abal, E. 2011. Using ontologies to relate resource management actions to environmental monitoring data in south east Queensland. *International Journal of Agricultural and Environmental Information System* 2: 1-19.

- Kim, T.G. 2012. Assessment of species diversity in National park using GIS. *Journal of National Park Research*. 3: 22-26. (In Korean with English abstract)
- Korea National Park Service. 2016. Mid- and long-term integrated plans for restoring disturbed areas in national park (2017-2026). Korea National Park. Wonju. pp. 1-287.
- Korea National Park Service. 2019. Korea national park basic statistics. Korea National Park. Wonju. pp. 1-220.
- Mac Cluskie, M.C., Oakley, K., McDonald, T. and Wilder, D. 2005. Central Alaska network vital signs monitoring plan. National Park Service. Tennessee. United States. pp. 1-308.
- Ministry of Environment. 2007. Field survey to select survey areas for development of the aquatic ecosystem assessment and health conditions (Final report). National Institute of Environmental Research. Incheon. pp. 1-355.
- Ministry of Environment. 2011. Development of assessment technique of ecosystem health and system construction through the species diversity index in coastal dune ecosystem. Korea Environmental Industry & Technology Institute. Seoul. pp. 1-644. (in Korean)
- Ministry of Environment. 2014. Developing tools for assessing lake ecosystem integrity. Korea Environmental Industry & Technology Institute. Seoul. pp. 1-753. (in Korean with English abstract)
- Ministry of Science and Technology. 1995. Management technique for marine environmental protection: Marine environment assessment based on the benthic faunal communities. Korea Institute of Ocean Science and Technology. Ansan. pp. 1-330. (in Korean with English abstract)
- National Park Research Institute. 2014. Enhancement study of ecosystem health assessment on Korea national park. National Park Research Institute. Wonju. pp. 1-138. (in Korean)
- National Park Service. 2012. Guidance for designing and integrated monitoring program. Natural Resource Report. National Park Service. Fort Collins. Colorado. pp. 1-49.
- Oh, J.G., Won, H.J., and Myeong, H.H. 2016. A study on the method of ecosystem health assessment in National parks. *Korean Journal of Environmental Ecology* 49: 147-152. (in Korean with English abstract)
- Pielou, E.C. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology* 13: 131-144.
- Yellowstone Center for Resources. 2018. The state of Yellowstone vital signs and select park resources. Yellowstone Center for Resources. Yellowstone National Park. Wyoming. United States. pp. 1-59.