

## 산림생태계의 구성요소와 서비스의 정량화 연구

조효선 · 이석모<sup>†</sup>  
(부경대학교)

## Quantification of the Forest Ecosystem Components and Services

Hyo-Seon JO · Suk-Mo LEE<sup>†</sup>  
(Pukyong National University)

### Abstract

As a result of human's behaviour, ecosystem services are declining in present. This impact of the reason is turning back to human lives. In order to realize relationship between these ecosystems and humans, it is important that we take education about ecosystem. This study identified the components and services of the forest ecosystem which accounts for 64% of Korea's land. The forest ecosystem has various benefits called the ecosystem service. The purpose of this study is to realize the value and importance of forest ecosystem through the quantification of ecosystem components and services. Therefore, we identify the organic relationship of the ecosystem by System ecology. This study of quantitative, systemic and scientific approach will be a way for promoting the importance of the forest ecosystem.

**Key words :** Forest ecosystem, Ecosystem component, Ecosystem service, Quantification

### I. 서론

인간은 생태계의 구성요소로서 태어나면서부터 생태계에 의존한다. 식품과 원료 물질, 수질·대기 정화, 경관 가치 등 인간 생활의 모든 것은 생태계로부터 제공받고 있으며 이렇게 생태계가 우리에게 제공하는 것을 ‘생태계서비스(Ecosystem service)’라고 부른다. 생태계서비스는 자연생태계의 보전과 현명한 이용에 대한 가치판단이 요구되는 상황에서 특히 관심을 가져야 할 부분이며, 인간의 관점에서 자연자원의 이익을 평가하고 생태계의 가치를 기록하는 수단으로 갈수록 중요성이 더해지고 있는 개념이다(Costanza et al., 1997; De Groot et al., 2002; MA, 2005; Ku et al., 2012).

인류는 생태계서비스가 급속도로 감소하고 있

는 시대를 만들었다. 산업화와 근대화를 통해 생활의 편리함을 얻었지만, 환경수용력(carrying capacity)을 넘어서는 과도한 이용으로 환경훼손과 함께 기후변화, 생물다양성 감소 등 지구환경 문제가 발생하게 된 것이다(Ku et al., 2012). 그 결과, 지난 50년간 생태계서비스의 60% 이상이 악화되는 현상이 발생하였다(MA, 2005).

우리가 생태계서비스를 이해하는 것은 자연이 왜 중요한지 깨닫고 이러한 인식을 발전시키는데 고려해야 할 중요한 것이다. 이러한 생태계서비스를 이해하기 위해서는 먼저 생태계 전체를 이해해야 하는데 생태계를 구성하는 각각의 구성요소뿐만 아니라 각 구성요소간의 관계를 파악하고 전체요소들이 어떤 순환관계를 갖고 있으며, 상호 관계 속에서 어떻게 변화하는지를 전체적으로

<sup>†</sup> Corresponding author : 051-629-6541, leesm@pknu.ac.kr

이해할 필요가 있다(Han and Choi, 2013).

국내 학생들의 생태계구성요소나 구성요소 간 상호작용의 이해현황에 대한 연구들을(Kim and Oh, 1996; Park et al., 2003) 살펴보면, 학생들은 생태계구성요소 중 생물요소의 역할과 특징에 대해 오개념을 가지고 있거나 순환적 관계를 잘 이해하지 못하는 것으로 나타났다. 이는 교육내용이 생태계를 전체적인 구조 속에서 파악하기보다는 구성요소에만 편중되어 나타나는 현상이라고 지적한 바 있다(Kim, 2002; Han and Choi, 2013).

현재 생태계는 인간의 영향으로 인한 결과로 생태계서비스 감소를 가져왔고, 이 결과는 인간에게 돌아오고 있다. 본 연구에서는 이러한 문제의 원인이 국내 생태교육의 접근방식이 생물중심적, 정성적, 감성적인 부분에 편중되었기 때문으로 진단하고, 생태계시스템들의 세부 사항뿐만 아니라 전체적인 기능들을 아우르는 시스템생태학적 접근법(Odum, 1983)으로 산림생태계 전체의 유기적인 관계를 파악하고 정량화 하였다. 이를 위해 생물 및 무생물요소를 고려한 산림생태계의 구성요소와 서비스를 목록화 하고, 생태계의 중요성을 규모로 쉽게 체감할 수 있도록 하였다.

## II. 조사방법 및 내용

### 1. 산림생태계 구성요소와 서비스 목록

가. 산림생태계 구성요소 목록 선정

시스템생태학적 접근법이란 Odum(1983)에 의해 창안된 개념으로 ‘생태계의 전체적 현상은 구성 요소들의 부분적 기능들이 합하여 이루어지기 때문에 시스템들의 세부 사항뿐만 아니라 전체적인 기능들도 다루는 접근법’으로 정의된다. 이에 기초하여, 산림생태계는 생태계의 외부에서 에너지를 유입시키는 외부요인과 생태계의 내부를 구성하고 있는 내부 구성요소로 구분하였다. 내부 구성요소는 생물요소와 비생물요소로 구분하고, 생물요소는 태양에너지를 이용하여 무기물질을

유기물질로 합성하는 생산자, 다른 유기체를 직·간접적으로 섭취하는 소비자와 분변이나 죽은 사체를 분해하는 분해자로 구분하여 산림생태계 구성요소에 해당하는 목록을 선정하였다.

나. 산림생태계 구성요소들의 연결 관계

생태계를 하나의 시스템으로 간주하고 구성요소들과 이들의 관계를 시각적으로 파악하기 위하여 에너지시스템 언어를 이용한 에너지시스템 다이어그램을 작성하였다(Odum, 1988). 다이어그램의 작성을 위해 우선 분석할 대상 시스템의 경계를 설정하고, 시스템의 경계 외부에서 시스템에 영향을 미치는 모든 요소들을 파악하였다. 이후 시스템의 내부에 있는 구성요소를 파악하여 시스템의 모든 요소들의 연결 관계와 흐름을 파악하였다. 마지막으로 외부 요소와 내부 요소를 다이어그램 내부에 배치하고 이들을 연결시킴으로써 에너지 시스템다이어그램을 완성하였다.

다. 산림생태계 서비스 목록 선정

TEEB(2010)의 생태계서비스 분류를 토대로 기존에 연구된 산림생태계 서비스가 포함하지 못한 항목들을 추가하여 산림생태계 서비스의 목록을 선정하였다(<Table 1>).

### 2. 산림생태계 구성요소와 서비스 정량화

가. 산림생태계 구성요소 정량화

태양에너지는 22개 지점(대관령, 춘천, 강릉, 서울, 인천, 원주, 수원, 서산, 청주, 대전, 추풍령, 안동, 포항, 대구, 전주, 광주, 부산, 목포, 흑산도, 제주, 고산, 진주)의 20년(1988-2007년)을 평균한 일사량에 산림면적을 대입하여 우리나라 산림생태계로 유입되는 양을 계산하였다(식(1))(KMA, 2008).

$$Es = I^*A \quad (1)$$

Es: Solar Energy (MJ/yr), I: Average Insolation (MJ/ha/yr), A: Total forest area (ha)

바람에너지는 22개 지점(일사량 관측 지점과

<Table 1> Comparison services of forest ecosystem

Kim et al(2012)	Ryu and Lee(2013)	This study
Water resources conservation	Water resources conservation Raw materials	Food Water resources conservation Raw materials Genetic source Medical resource Ornamental resource
Atmosphere purification	Air quality regulation Climate regulation Moderation of extreme events	Air quality regulation Climate regulation Moderation of extreme events
Water purification Prevention of soil runoff-collapse	Waste treatment Erosion prevention Aesthetic information	Water purification Erosion prevention Aesthetic information
Recreation	Recreation· tourism	Recreation· tourism Information for cognitive development

동일)의 20년(1988-2007년)을 평균한 풍속을 에너지 량으로 환산하기 위해 공기밀도, 지형풍속을 고려하여 연간 단위헥타르당 바람에너지양 (J/ha/yr)로 계산하였다(식(2))(KMA, 2008)

$$E_w = \rho_A * D_c * (V_{GW})^3 * A \quad (2)$$

$E_w$ : Wind energy(MJ/yr),  $\rho_A$ : Air density(kg/m<sup>3</sup>),  $D_c$ : Drag coefficient,  $V_{GW}$ : Geo wind speed(m/s)

강우량은 22개 지점(일사량 관측 지점과 동일)의 20년(1988-2007년)을 평균한 강우량을 산림지역에 내린 강우의 양으로 환산하였다(식(3))(KMA, 2008).

$$R = P * A \quad (3)$$

R: Rainfall (m<sup>3</sup>/yr), P: Average precipitation (mm/year)

물의 양은 1992년 전국 모암 및 토양형별 조공극량으로 계산한 179.8억 톤을 기준으로 임목생장과 숲 가꾸기에 의한 저류량 증가와 산지전용과 임도개설에 의한 저류량 감소를 고려하여 계산한 결과를 참고하였다(KFRI, 2010).

토양의 양은 산림생태계에 저장되어 있는 토양의 양이며 생물학적 활동이 일어나는 표토의 양만 정량화 하였다. 표토량은 Tilley(1999)가 낙엽수림을 대상으로 제시한 15kg/m<sup>2</sup>을 적용하였다

(식(4)).

$$S_T = S_F * A \quad (4)$$

$S_T$ : Topsoil quantity(ton),  $S_F$ : Topsoil in forested area(kg/m<sup>2</sup>)

낙엽층은 산림생태계에서 생성되는 낙엽층의 양으로 Boring et al.(1988)가 제시한 4.4ton/ha/yr를 적용하였다(식(5)).

$$L = L_A * A \quad (5)$$

L: Leaf abscission layer (ton/yr),  $L_A$ : Annual litter fall(ton/ha/yr)

식물의 양은 산림에 생육하고 있는 모든 나무의 재적인 임목축적을 적용하였다(KFS, 2011).

$$P = S_A * A \quad (6)$$

P: Plant storage (m<sup>3</sup>),  $S_A$ : Annual accumulation rate (m<sup>3</sup>/ha)

#### 나. 산림생태계 서비스 정량화

공급서비스 중 식량, 원료, 장식용 자원, 약용 자원 서비스는 임업통계연보(KFS, 2015)의 생산량을 기준으로 제공 서비스를 정량화하였다. 물 제공 서비스는 관련 통계자료가 없으므로 토양내 저장된 물의 양을 서비스 잠재량으로 판단하였다(KFRI, 2010). 유전 자원 서비스는 산림생명자원 책임기관에서 보전하고 있는 종의 수로 정

량화 하였다(KFRI, 2011).

조절서비스로 대기 질 조절은 연간 흡수하는 SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, Dust의 양(KFRI, 2010)으로, 기후조절은 연간 CO<sub>2</sub> 흡수량(KFRI, 2010)으로, 재해 완화 서비스는 강우 시 빗물이 침투하여 유출되기까지의 지체시간을 통해 홍수를 완화시켜주는 침투능(Kim and Jung, 2003)을 기준으로 정량화 하였다. 정수 서비스는 부유물질이 처리되는 양을 기준으로 하였으며(KFRI, 2010), 침식 방지 서비스는 무입목지에서의 토사유출량에서 입목지 토사유출량만큼 제외하여 입목지에서 보유하고 있는 토사량을 기준으로 하였다(Kim et al., 2012).

산림생태계의 문화서비스로써 미적정보와 휴양, 인식발달을 위한 정보서비스가 있다. 문화서비스의 정량화는 임업통계연보(KFS, 2015)와 등산지원기본계획(KFS, 2007)의 통계자료를 참고하였으며, 각 항목에 대해 혜택을 받은 인구수로 정량화 하였다.

### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 산림생태계 구성요소와 서비스 목록

##### 가. 산림생태계 구성요소 목록

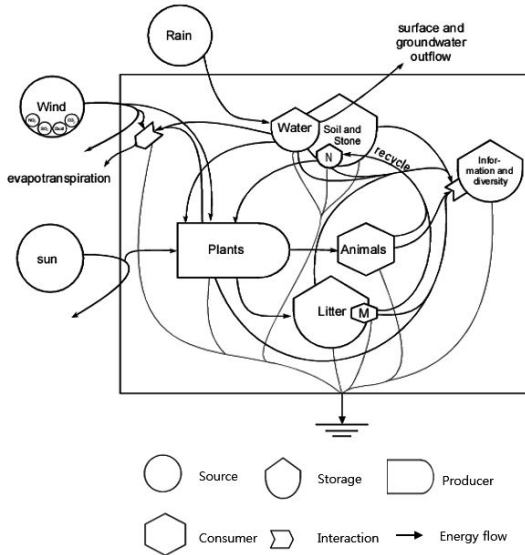
산림생태계는 외부요인과 내부 구성요소가 서로 상호작용하며 유지되고 있다. 외부 요인은 생태계 외부에서 내부로 유입되는 비생물 요소로서 태양, 바람, 강우가 영향을 끼치고 있다. 내부 구성요소는 비생물 저장고로서 토양, 물, 낙엽층이 있으며, 생물 내부구성요소는 생산자로서 식물이 있으며, 소비자로서는 동물, 미생물이 있다. 산림생태계 내로 토양과 영양물질을 제공하는 암석은 외부요인이지만 연간 유입되는 양이 극히 소량이기 때문에 제외하였다.

Kim et al.(2008)의 연구에서는 외부요인으로 태양, 바람, 강우, 지질작용을 선정하여, 산림생태계를 포괄적으로 나타내기 위해 그룹 심볼인 생

산자 기호 하나로 나타내었다. 이에 비해 본 연구는 산림생태계 내부를 구성하고 있는 요소를 세부적으로 나타내어 내부 구성요소를 상세히 표현하였다.

##### 나. 산림생태계 구성요소의 연결관계

산림생태계의 구성요소 목록을 토대로 에너지 시스템 다이어그램을 작성하였다(Fig. 1). 생물 요소 중 생산자인 나무·하층식생은 외부에서 유입된 태양에너지와 물, 영양분을 이용하여 유기물을 합성한다. 소비자인 동물은 스스로 유기물을 합성할 수 없기 때문에 다른 유기체를 섭취하여 에너지를 얻는다. 낙엽이 쌓이거나 생물이 죽으면 미생물은 유기물 형태를 분해하여 다시 식물이 이용할 수 있는 형태로 순환시키는 분해자 역할을 한다. 바람은 생태계 내 토양과 식물의 잎에서 증발산이 일어나도록 하며, 강우에 의해서 생태계 내로 수분과 영양분을 제공한다.



[Fig. 1] Energy diagram of deciduous forest ecosystem.

이처럼, 산림생태계의 에너지다이어그램 작성함으로써 구성요소의 종류를 인식하고, 요소들 간의 연결성을 보여 주어 각각의 요소들의 중요

성을 깨닫게 한다. 또한, 산림생태계의 서비스가 이들 각 구성요소의 상호작용으로 발생함을 시각적으로 인식시켜준다.

본 연구와 마찬가지로 Kim(2015)은 생태계 구성요소들의 유기적인 관계를 시각적으로 나타내기 위해 낙동강 하구를 대상으로 에너지다이어그램을 작성하여 교육 프로그램을 개발한 사례가 있다.

다. 산림생태계 서비스 목록

TEEB(2010)의 생태계서비스 분류를 토대로 기존에 연구된 산림생태계 서비스가 포함하지 못한 항목들을 추가하여 총 14가지의 산림생태계 서비스의 목록을 선정하였다.

공급서비스는 생태계에서 물질적인 결과물을 의미하는 서비스다. 산림생태계는 식량으로써 과일류, 산나물, 버섯 등을 공급하며, 물을 공급하고, 건설이나 연료에 활용될 수 있는 원재료를 제공한다. 또한 작물 개량이나 생물 보존에 활용되고 있는 유전적 자원을 제공하고 있으며, 약용 자원의 제공으로 인해 약물과 제약 산업의 원료로 사용될 수 있다. 마지막으로 장식용 자원을 제공하는 서비스로 조경수를 예로 들 수 있다. Ryu and Lee(2013)는 공급서비스로서 수도권 그린벨트 내 산림은 물, 원재료, 유전자원, 약용자원, 장식자원을 제공한다고 제시한 바 있다.

조절서비스는 산림생태계가 공기와 흙의 질 또는 홍수를 조절기능을 제공하는 서비스이다. 대기 중의 오염물질을 제거하는 대기 질 조절로 산림에서는 이산화탄소의 흡수를 예로 들 수 있으며 식물이나 토양에 의해 수질을 정화시키고 또한, 극단적 재해의 방지 서비스로 산림생태계는 홍수와 같은 자연 재해에 대한 완충 장치를 만들어 주며, 침식 예방 서비스로서 토양 유실을 막아준다. Kim et al.(2012)은 조절서비스로서 수원 함양을 통해 홍수피해방지 기능, 이산화탄소 흡수를 통한 대기정화 기능, 토사유출방지 기능, 개별지와 산림 토양에서 유출되는 부유물질 농도를

비교하여 산림정수기능을 제시하였다.

문화서비스는 생태계와 접촉으로부터 사람들이 얻는 비물질적인 편익을 포함한다. 미적·정신적 그리고 심리적 편익을 포함한다. 아름다움을 느끼는 미적정보의 제공서비스는 산림생태계에서 경치를 감상하는 활동을 통해 전달될 수 있다. 레크레이션 서비스는 휴양림이용 및 등산, 인식 발달을 위한 정보 서비스는 산림 교육 프로그램으로 전달될 수 있다. Kim et al.(2012)은 문화서비스로서 휴양기능 한 가지로 제시하였고, Ryu and Lee(2013)는 미적정보와 휴양관광으로 제시하였다.

2. 산림생태계 구성요소와 서비스 정량화

가. 산림생태계 구성요소 정량화

외부요인으로 태양과 바람, 강우는 각각 연간 약 2조 MJ, 1천억 MJ, 8백억 m<sup>3</sup>의 양이 유입되고 있다. 이들은 자연적인 요소로서 유입되는 양은 면적에 비례하므로, 우리나라 전체 면적 대비 산림생태계 면적이 차지하는 비율에 해당하는 64%의 외부 요소 에너지가 유입되고 있다.

Kim et al.(2008)은 국내 산림생태계의 외부 요소를 에너지로 계산하기 위해 요소 별 에너지량을 제시하였다. 태양은 2.39E+14MJ, 바람은 2.27E+11MJ로 제시하였으며, 이는 연구의 기준연도에 따른 산림면적, 일사량 그리고 바람 세기가 다르기 때문에 나타난 차이이다.

내부요소 중 비생물 요소는 물, 토양, 낙엽층이 있다. 물은 토양 내 저류량으로 약 1백 9십억 톤이 저장되며 이는 소양강댐 저수량의 약 6.5배에 달하는 양이다.

토양은 약 9백 5십만 톤이 저장되어 있고, 우리나라 전역의 토양 유실량의 1.9배에 해당한다.

낙엽층은 연간 약 2백 8십만 톤의 낙엽층이 생성된다. 이는 시내버스 약 46만대를 운영에 필요한 바이오가스를 생성할 수 있는 양이다.

식물은 약 8천만 m<sup>3</sup>의 임목이 자라고 있으며

이는 우리나라에서 연간 생산되는 용재의 양의 약 160배에 해당하는 양이 저장되어 있다. 내부 구성요소 중 소비자인 동물(곤충, 균류, 조류, 포유류)의 정량화는 현 시점을 기준으로 산림생태계에 서식하는 종의 개체수에 대한 조사 자료가 없기 때문에 종 수로 나타내었다. ‘12년 기준으로 곤충류 14,297종, 균류 3,413종, 조류 519종, 포유류 125종이 서식하고 있다(산림과학원, 2014). 이후 개체수에 대한 조사결과를 적용하여 보완이 필요하다고 판단된다(<Table 2>).

나. 산림생태계 서비스 정량화

산림생태계의 서비스 목록 선정을 토대로 각각 정량화하였으며, 결과를 쉽게 체감할 수 있도록 규모를 설명하였다. 산림생태계 제공서비스 중 음식은 연간 과실류 약 30만 톤, 산나물 약 4만 톤, 버섯 2억 톤 생산하고 있고, 각각 약 8천 6백억 원, 3천 7백억 원, 2천억 원에 해당한다. 물 제공서비스로 약 190.6억 톤이 우리나라 산림에 저장된 물의 양이며, 이는 소양강댐의 총 저수량의 약 6.5배의 양을 이용할 수 있다는 것을 의미한다. 원료 제공서비스는 크게 목재, 연료, 토석으로 제공되고 있다. 목재는 연간 5백 만 m<sup>3</sup>, 연료 1천 2백만 톤, 토석 2억 m<sup>3</sup>으로, 각각 약 4천 8백억 원, 약 66억 원, 2조원에 해당하는 양이다. 장식용 재료 제공서비스는 연간 7천 7백만 본의 장식용 재료를 제공 받고 있으며, 이 양은 약 6천 3백억 원에 해당한다. 유전자원 제공서비스는 산림유전자원의 종자 확보 및 보존하고 있는 종

수로 66과 160속 343종이다. 이는 국내에서 자생하는 식물 6,102종의 약 6%에 해당한다. 약용자원 제공서비스는 연간 약 3만 톤의 약용자원을 제공받고 있으며 이 양은 약 5천 1백억 원에 해당한다.

조절서비스 중 공기정화서비스로 우리나라 산림생태계에서는 연간 SO<sub>2</sub>는 약 5만 톤, NO<sub>2</sub>는 9만 5천 톤을 흡수하고 있다. 이 양은 2008년 우리나라 전체 대기오염물질 배출량을 기준으로 SO<sub>2</sub>는 12.9%, NO<sub>2</sub>는 8.1% 정도를 산림생태계에서 흡수하고 있는 것이다. Dust 흡수량은 2만 5천 톤으로, 이 양은 2008년 우리나라 전체 dust 배출량을 기준으로 약 26.2% 정도를 산림생태계에서 흡수하고 있다. 기후조절 서비스는 우리나라 산림생태계의 이산화탄소 총 흡수량 4천 6백만 톤으로, 이 양은 2008년 우리나라 전체 이산화탄소 배출량을 기준으로 7.6%를 산림생태계가 흡수하고 있다. 재해 조절서비스는 우리나라 산림 전체에 비가 내린다고 가정했을 때, 시간당 1백 6십 억m<sup>3</sup> 정도 침투되어 홍수를 예방하고 있으며, 이 양은 소양강댐의 총 저수량의 약 5.5배에 해당한다. 정수 서비스는 연간 산림의 토양이 약 9십만 톤의 부유물질을 걸러주고 있다. 토양 유실 완화 서비스로 연간 20억m<sup>3</sup>만큼 우리나라 산림생태계가 토양 유실을 완화해주는 양을 의미한다. 이 양은 우리나라 전역의 토양 유실량의 약 36배의 양이다.

<Table 2> Quantification of the forest ecosystem components

Components	Results		
	Total		Note
External Sources	① Sun	2.89E+14 MJ/yr	64% of annual national quantity
	② Wind	1.38E+11 MJ/yr	64% of annual national quantity
	③ Rain	8.49E+10 m <sup>3</sup> /yr	64% of annual national quantity
Internal Components	④ Water	1.90E+10 ton	6.5 times of total storage of Soyang Dam
	⑤ Soil	9.50E+07 ton	1.9 times of total soil lose of Korea territory
	⑥ Litter	2.80E+07 ton/yr	Biogas for 46 million city bus
	⑦ Plant	8.00E+08 m <sup>3</sup>	160 times of annual timber production

Footnote : APPENDIX 참조

산림생태계의 문화서비스로써 미적정보와 휴양, 인식발달을 위한 정보서비스가 있다. 미적정보 서비스는 산림생태계의 경치를 느끼는 치유의 숲 이용자 수로 연간 약 9만 8천 명이 이용하고 있고, 우리나라 전체 인구수 약 5천 1백만의 0.2%에 해당하는 수이다. 휴양서비스는 연간 휴양림 이용자 1백 4십만 명, 등산인구수 3천 7백만 명으로 각각 전체 인구수의 약 3%, 73%에 해당한다. 마지막으로 인식발달을 위한 정보 서비스는 산림에서 이루어지는 모든 교육의 수혜자수로 연간 약 1백 8십만 명으로 우리나라 인구수의 약 4%에 해당한다(<Table 3>).

한편 KFRI(2010)는 전체 산림이 주는 혜택을

공익기능이라 정의하고 6가지(수원함량, 정수, 토사유출방지, 토사붕괴방지, 대기정화, 휴양기능)에 대하여 평가하였다. 그 결과 총 73.2조원(1,148원/ha)의 가치가 있으며 국민 1인당 151만 원의 혜택을 제공한다고 제시하였다.

본 연구는 산림생태계 구성요소와 서비스 정량화에 대한 시도이며 이후 연구 결과와의 비교분석을 통하여 자료의 신뢰성을 보다 공고히 할 수 있을 것이다. 또한 구성요소와 서비스의 연결성은 에너지다이어그램을 통해 보여주었으나, 구성요소의 양에 따른 서비스 양의 변화를 나타내는 양적인 관계는 추후 연구를 통해 보완되어야 할 점이라 생각한다.

<Table 3> Quantification of the forest ecosystem services

Services			Results		
			Total(/yr)		Note
Provisioning service	Food	Fruit①	300,492,936	kg	800 billion won
		Wild edible green②	40,338,052	kg	300 billion won
		Mush- room③	19,986,649	kg	200 billion won
	Raw material	Water④	1.90E+10	ton	6.5 times of total storage of Soyang Dam
		Timber⑤	5,189,466	m <sup>3</sup>	480 billion won
		Fuel⑥	12,903,000	ton	6 thousand million won
		Soil and Stone⑦	207,353,000	m <sup>3</sup>	2 trillion won
	Ornamental resources⑧	Genetic resources⑨	343	species	6% of total plant species
		Medical Resources⑩	2,8503,267	kg	500 billion won
		Air quality regulation	SO <sub>2</sub> ⑪	51,838	ton
Regulating service	regulation	NO <sub>2</sub> ⑫	95,942	ton	8.4 % of total national emission quantity
		Dust⑬	25,700	ton	30 % of total national emission quantity
		Climate regulation⑭	46,477000	ton	7.6 % of total emission quantity
	Moderation of extreme⑮	1.6E+10	m <sup>3</sup> (/hr)	5.5 times of total storage of Soyang Dam	
	Water quality regulation⑯	936,739	ton	6 trillion won for water purification	
Erosion prevention⑰	1.83E+09	m <sup>3</sup>	36 times of total soil lose of Korea territory		
Cultural& Amenity service	Recreation	Aesthetic information⑱	98,814	person	0.2 % of population in Korea
		Recreation forest⑲	1,395,430	person	3 % of population in Korea
		Mountain climbing⑳	37,617,000	person	73 % of population in Korea
		Information for cognitive development㉑	1,806,480	person	4 % of population in Korea

Footnote : APPENDIX 참조

#### IV. 결론

본 연구에서는 시스템 관점으로 바라보는 시스템생태학적 접근법으로 우리나라 국토의 64%를 차지하고 있는 산림생태계의 유기적인 관계를 파

악하였다. 또한 생물요소 및 무생물요소를 고려하여 산림생태계의 구성요소와 서비스의 목록을 정리·정량화하여 각각의 종류와 규모를 인식함으로써 산림생태계의 중요성을 체감할 수 있도록 하였다. 특히 생태계서비스를 측정해보는 것은

단순히 그 생태계로부터 얻는 돈이 얼마인지 가격표를 붙이는 것이 아니라, 우리가 복잡한 생태계에 어떻게 의존하고 그것을 대체하는 것이 얼마나 비싸고 어려운지 깨닫게 하기 위함이다 (Wiborn, 2013).

기존의 국내 생태교육은 생태계의 생물중심적·정성적·감성적인 부분에만 치중되어 있는데 다루고 있는데, 이 연구를 통해 시스템적·정량적·과학적으로 접근하여 산림생태계의 중요성을 고취시키는 도구가 될 것이다.

더 나아가 본 연구에서 제시한 방법은 해양생태계에도 적용 가능하므로 해양생태계 보존의 중요성 및 필요성에 대한 인식증진 목적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

## References

- Boring, L. R. · Swank, W. T. & Monk, C. D.(1988). Dynamics of early successional forest
- Costanza, R. · D'Arge, R. · De Groot, R. · Farber, S. · Grasso, M. · Hannon, B. · Limburg, K. · Naeem, S. · O'Neill, R. · Paruelo, J. · Raskin, R. · Sutton, P. & van den Belt, M.(1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital, NATURE, 387, 253~260
- De Groot, R. S. · Wilson, M. A. & Boumans R. M. J.(2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services, Ecological economics, 41(3), 393~408
- Han, J. A, & Choi, D. S.(2013). Analysis of Elementary Students' System Thinking Application Types in Learning Ecosystem, Journal of Korean Society of Environmental Education, 26(2), 253~267, (in Korean)
- Kim, H. K.(2002). Study on changing scientific concept from preconception with developed learning materials in ecosystem unit of elementary school, Master's thesis, Gwangju National University of Education, (in Korean)
- Kim, J. H. · Kim, R. H. · Youn, H. J. · Lee, S. W. · Choi, H. T. · Kim, J. J. · Park, C. R. & Kim, K. D.(2012). Valuaion of Nonmarket Forest Resources, The Journal of Korean Institute of Forest Recreation, 16(4), 9~18, (in Korean)
- Kim, K. H. & Jung, Y. H.(2003). Watershed management for sustainable secureness of water resources, Policy debate of water management, Report of presentation of research, (in Korean)
- Kim, Y. M. & Oh, K. H.(1996). Misconceptions on the Ecosystem and the Environmental Pollution among the Sixth Grade Students of the Elementary Schools, Journal of Science Education, 16(1), 27~53, (in Korean)
- Kim, Y. O(2015). Development of Eco-Education Program for Elementary Student for Nakdong River Estuary, Master's thesis, Pukyung National University, (in Korean)
- KFS(2007). Korea Forest Service, General planning for climbing support, (in Korean)
- KFS(2011). Korea Forest Service, Calculation result of forest statistics in 2010, (in Korean)
- KFS(2015). Korea Forest Service, Statistical yearbook of forestry, (in Korean)
- KFRI(2010). Korea Forest Research Institute, Research on quantification of public function of forest, Researcher Report, Seoul, (in Korean)
- KMA(1988~2007). Korea Meteorological Administration, Annual climatological report, (in Korean)
- Ku, M. H. · Lee, D. K. & Jung, T. Y.(2012). A Study on the Contexts of Ecosystem Services in the Policymaking Process, The Korea society of environmental restoration technology, 15(5), 85-102, (in korean)
- MA(2005). Millennium ecosystem Assessment, Ecosystems and Human Wellbeing Millennium Ecosystem Assessment, Island Press, Washington D C.
- Ministry of Environment(2012). The report of biodiversity of Korea, 011-1480000-001206-01, (in Korean)
- Odum, H. T. · Odum, E. C. · Brown, M. T. · Lahart, D. · Bersok, C. · Sendzimir, J. · Scott, B. G. · avid, S & Nikki, M(1988). Environmental systems and public policy, Gainesville, Phelps lab
- Odum, H. T.(1983). System ecology : An introduction, John wiley&sons international Rights, Inc
- Park, J. Y. · Min, J. S. & Kim, H. B.(2003). High



School Students` Patterns of Ecological Conceptions, The Korean Journal of Biological Education, 31(3), 203~213, (in Korean)

Ryu, D. H. & Lee, D. K.(2013). Evaluation on Economic Value of the Greenbelt's Ecosystem Services in the Seoul Metropolitan Region, Journal of the Korea Planning Association, 48(3), 279~292(in Korean)

TEEB(2010). The Economics of Ecosystems and Biodiversity, The economics of ecosystems and biodiversity, Ecological and Economic Foundations, London and Washington

Tilley, D. R.(1999). Emery Basis of Forest Systems, University of Florida

Wiborn, P.(2013). Nature's services-A handbook for primary school about ecosystem services, WWF, Solna Sweden

---

• Received : 17 December, 2015

• Revised : 13 January, 2016

• Accepted : 18 January, 2016

## APPENDIX

### Footnote to <Table 2>

ECOSYSTEM COMPONENTS		Value	Unit	REFERENCE
Name	Description			
① Sun	Average insolation	4,675.51	MJ/m <sup>2</sup> /yr	(KMA, 2008)
	Total area of forest	6,324,194	ha	(KFS, 2015)
	Total =	(46,755,100 MJ/ha/yr)*(6,324,194 ha)		
	=	2.89E+14	MJ/yr	
② Wind	Average wind speed	2.3	m/s	(KMA, 2008)
	Airdensity	1.23	kg/m <sup>3</sup>	
	Dragcoeff	0.001		
	Geo.Windspeed	(Average wind speed)*(10/6)		
	=	3.83	m/s	
	Seconds in a year	3.14E+07	s/yr	
	Total area of forest	6,324,194	ha	(KFS, 2015)
	Per area =	(Airdensity)*(Dragcoeff)*(Geo.Windspeed) <sup>3</sup> *(Seconds in a year)		
	=	2,175,527	J/m <sup>2</sup> /yr	
	=	(2,175,527 J/m <sup>2</sup> /yr)*(10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> /ha)*(10 <sup>-6</sup> MJ/J)		
=	21,755.27	MJ/ha/yr		
Total =	(21,755.27 MJ/ha/yr)*(6,324,194 ha)			
=	1.38E+11	MJ/yr		
③ Rain	Average precipitation	1,341.8	mm/yr	(KMA, 2008)
	Total area of forest	6,324,194	ha	(KFS, 2015)
	Per area =	(1,341.8 mm/yr)*(10 <sup>-3</sup> m/mm)*(10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> /ha)		
	=	13,418	m <sup>3</sup> /ha/yr	
Total =	(13,418 m <sup>3</sup> /ha/yr)*(6,324,194 ha)			
=	8.49E+10	m <sup>3</sup> /yr		
④ Water	Total amount of storage	1.90E+10	ton	(KFRI, 2010)
	Total =	1.90E+10	ton	
⑤ Soil	Topsoil forested	15	kg/m <sup>2</sup>	(Tilley, 1999)
	Total =	(15 kg/m <sup>2</sup> )*(10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> /ha)*(10 <sup>-3</sup> ton/kg)*(6,324,194 ha)		
	=	9.5E+07	ton	
⑥ Litter	Annual litter fall	4.4	ton/ha/yr	(Monk and Day, 1988)
	Total area of forest	6,324,194	ha	(KFS, 2015)
	Total =	(4.4 ton/ha)*(6,324,194 ha)		
=	2.8E+07	ton/yr		
⑦ Plant	Average growing stock	125.62	m <sup>3</sup> /ha	(KFS, 2011)
	Total area of forest	6,324,194	ha	(KFS, 2015)
	Total =	(125.62 m <sup>3</sup> /ha)*(6,324,194 ha)		
	=	8.00E+08	m <sup>3</sup>	

Footnote to <Table 3>

ECOSYSTEM SERVICES		Value	Unit	REFERENCE
Name	Description			
① Fruit	Annual production of fruit	300,492,936	kg/yr	(KFS, 2015)
② Wild edible green	Annual production of wild edible green	40,338,052	kg/yr	(KFS, 2015)
③ Mushroom	Annual production of mushroom	19,986,649	kg/yr	(KFS, 2015)
④ Water	Total conservation volume	1.90E+10	ton	(KFRI, 2010)
⑤ timber	Annual production of timber	5,189,466	m <sup>3</sup> /yr	(KFS, 2015)
⑥ Fuel	Annual production of fuel	12,903,000	ton/yr	(KFS, 2015)
⑦ Soil and stone	Annual production of soil and stone	207,353,000	m <sup>3</sup> /yr	(KFS, 2015)
⑧ Ornamental resources	Annual production of material for landscape	77,663,708	stock/yr	(KFS, 2015)
⑨ Genetic resources		343	species	(KFS, 2013)
⑩ Medical resources	Annual production of medical resources	28,503,267	kg/yr	(KFS, 2015)
⑪ Annual absorption of SO <sub>2</sub> (Total)		51,838	ton/yr	(KFRI, 2010)
⑫ Annual absorption of NO <sub>2</sub> (Total)		95,942	ton/yr	(KFRI, 2010)
⑬ Annual absorption of dust(Total)		25,700	ton/yr	(KFRI, 2010)
⑭ Climate regulation	Annual absorption of CO <sub>2</sub> (Total)	46,477,000	ton/yr	(KFRI, 2010)
⑮ Moderation of extreme	Amount of storage at rainfall	259	mm/hr	(Kim and Jung, 2003)
	Total	= (259 mm/hr)*(10 <sup>-3</sup> m/mm)*(10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> /ha)*(6,324,194 ha)		
		= 1.6E+10	m <sup>3</sup> /hr	
⑯ Water quality regulation				
	Total area of forest	6,324,194	ha	(KFS, 2015)
	Suspended solids volume of unstocked forest	936,739	ton/yr	(KFRI, 2010)
⑰ Erosion prevention				
	Sediment discharge of unstocked forest	290.64	m <sup>3</sup> /ha/yr	(Kim et al., 2012)
	Sediment discharge of stocked land	1.23	m <sup>3</sup> /ha/yr	(Kim et al., 2012)
	Per area	= (Sediment yields of unstocked forest) - (Sediment yields of stocked land)		
		= 289.41	m <sup>3</sup> /ha/yr	
	Total	= (22,377,600 m <sup>3</sup> /ha/yr)*(6,324,194 ha)		
		= 1.83E+09	m <sup>3</sup>	
⑱ Aesthetic information				
	Headcount for healing Forest	98,814	person/yr	(KFS, 2015)
⑲	Headcount for recreation forest	1,395,430	person/yr	(KFS, 2015)
⑳	Headcount for Mountain climbing	37,617,000	person/yr	(KFS, 2007)
㉑ Information for cognitive development				
	The number of users for education program	1,806,480	person/yr	(KFS, 2015)