

정규화식생지수를 이용한 금강유역의 순일차생산량 추정방법의 제안

Suggestion of Estimating Method for Net Primary Production in the Geum River Basin Using NDVI

신 사 철[†] · 백 승 철¹⁾

Shin, Shachul · Beak, Sungcheol

ABSTRACT : This study is to evaluate the NPP (Net Primary Production) distribution in the Geum River basin from NOAA/AVHRR satellite imagery data. It is supposed that the natural vegetation condition and the NPP has the linear relationship. The NPP from natural vegetation increases proportional to the annual net radiation (Rn), where radiative dryness index (RDI) is a proportional constant connecting net radiation to NPP. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) is used for monitoring vegetation change, and iNDVI (integrated NDVI) for annual analysis. The iNDVI has a close relation to Rn and NPP, which can be used effectively for estimating NPP distribution of where the meteorological data is unavailable. The purpose of this study is to propose a simple method to get NPP in the Geum river basin.

Keywords : NPP, NOAA/AVHRR, iNDVI, NDVI, Geum river basin

요 지 : 본 연구는 NOAA/AVHRR 인공위성 자료를 이용하여 우리 나라 금강유역에 대한 순일차생산량(NPP, Net Primary Production)을 평가하는 것이다. 이것은 순일차생산량과 자연식생과의 사이에 선형관계가 성립한다는 가정에 근거하고 있다. 자연식생의 순일차생산량은 연간 순방사량(Rn)에 비례하여 증가하며 방사건조도(RDI)는 순방사량과 순일차생산량과의 관계를 규정하는 비례상수로 사용된다. 정규화식생지수(NDVI)와 이의 적산치인 iNDVI는 식생의 변화를 모니터링하기 위한 수단으로 사용된다. iNDVI는 순방사량과 순일차생산량과 밀접한 관련이 있는 것으로 알려져 있으며 이로부터 특히 기상자료의 수집이 불가능한 지역에서의 순일차생산량 추정에 유용하게 사용될 수 있다. 이에 본 연구에서는 이와같은 이론에 근거하여 금강유역에 대한 순일차생산량의 분포를 산정하는 방법을 개발하여 제안하고자 한다.

주요어 : 순일차생산량, NOAA/AVHRR, iNDVI, 정규화식생지수, 금강유역

1. 서 론

지속적인 지구의 이용을 위해서는 이용 가능한 자연 자원의 정확한 계측 및 지속적 이용 방법에 대한 명확한 연구가 수행되어야 한다. 지구상에는 다양한 기후, 토지 및 지형조건 등에 대응하여 매우 다양한 생태계가 존재하며, 이용 가능한 태양에너지도 기후 및 지형 등에 의하여 크게 변화한다. 인간사회에서도 토지의 특성에 따라 문화, 전통 및 가치관 등의 특색이 존재하는 것처럼 토지별로 요구되는 토지이용을 적절하게 고려하여야만 지속적인 지구의 보전 및 이용을 실현할 수 있는 것이다.

최근 지구온난화 및 이상기후 등의 지구환경 문제가 대단히 중요한 문제로 대두되고 있으며 지구환경에 대한 상황파악 및 평가는 인류의 생존과 관련된 중요한 과제라 할 수 있다. 광범위한 지역을 대상으로 하는 지표면의 정보

획득을 위해서는 인공위성 자료의 사용이 매우 효과적이다. 그러나 원격탐사 자료로부터 식생의 현존량 및 분포는 우주로부터의 관측에 의하여 용이하게 파악될 수 있으나, 그 토지가 갖는 잠재적인 생산성 혹은 이용 가능성에 대한 정보는 우리에게 직접 제공되지 않는다. 따라서, 본 연구에서는 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration) 위성 AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer) 센서에 의한 정보를 이용하여 환경요소를 평가하는 방법의 개발을 수행하고자 한다.

일차생산성(primary productivity) 혹은 일차생산량(primary production)은 일정 기간 동안 일정 면적에서 독립 영양 생물들에 의해서 고정되는 유기물의 양을 지칭하는데 사용되는 용어이다. 일반적으로 하루 또는 일년에 생산된 양을 나타내는 생산율로서 표현된다. 식물생체량(biomass)은 식물의 광합성활동을 통하여 태양에너지가 식물유기물로 변

† 정희원, 안동대학교 공과대학 토목공학과 부교수(E-mail : scshin@andong.ac.kr)

1) 정희원, 안동대학교 공과대학 토목공학과 교수

환되어 저장되어진 것이다. 식물생체량은 재생 가능한 자원이며 식물의 광합성 활동에 의하여 매년 생산되어 각종 생태계, 특히 산림의 식물유기물로서 축적되고 있으며, 육지에서는 산림, 초원, 경작지가 생체량의 주요 공급원이다. 그러나 식물 생체량은 석유와 석탄자원과는 달리 지구상에서의 분포밀도는 대단히 낮은 편이다. 이와 같이 식물생체량을 에너지원으로 이용하기 위해서는 우선 이들의 이용 가능량을 평가하지 않으면 안된다.

생태계의 유지 및 발전을 고려할 때 대체에너지원으로서 이용 가능한 식물생체량을 평가하기 위해서는 자연식생의 순일차생산량(Net Primary Production, NPP)의 평가가 대단히 중요하다. 순일차생산량은 그 자신의 호흡에 쓰이는 양을 빼고 식물에 저장되는 양이며 이는 잠재적으로 종속영양 생물들에게 이용될 수 있다. 넓은 면적의 순일차 생산량을 평가하기 위해서는 위성자료의 이용이 유용하며, 이 중 정규화식생지수(NDVI; Normalized Difference Vegetation Index)를 이용한 순일차생산량의 추정이 이루어지고 있다. 예를 들어 Box et al.(1989)과 Box and Bai(1993)는 연간 NDVI와 현지 측정자료인 순일차생산량과의 관계를 지수함수로 표시하여 NDVI로부터 순일차생산량을 추정하였다. 신사철과 유철상(1997)은 NDVI의 적산치와 순일차생산량과의 관계를 규명하여 우리 나라 한강유역에서의 순일차생산량을 추정하기도 하였다.

이와같이 어느 지역의 NPP 계산을 위하여 주로 경험식이 이용되는 것이 현실이며, 이 경우 넓은 지역의 NPP를 산정하고자 할 때 상당한 어려움이 따른다. 또한 경험식을 적용하기 위하여 이용되는 기상자료 등에는 공간적, 시간적으로 질적 수준의 불균형이 발생하며 이로 인한 불가피한 오차가 발생하기도 한다. 따라서 본 연구에서는 우리나라의 금강유역을 대상으로 시간적 및 공간적으로 균일한 정보를 제공하는 NOAA위성의 AVHRR 센서에 의해 얻어진 정규화식생지수를 이용하여 NPP를 추정하는 방법을 개발하고 경험적 방법에 의한 추정값과 비교 분석을 실시하였다.

2. 순일차생산량의 경험적 평가

2.1 순일차생산량(NPP)

일차생산은 녹색식물의 광합성에 의해 이루어지며 단위 토지면적에 있어서 단위시간 내의 녹색식물에 의한 유기물 생산량을 총일차생산량(Gross Primary Production, GPP)이라 한다. 또한 식물은 호흡에 의해 자기 자신이 생산한 유기물을 소비한다. 순일차생산량(NPP)은 총일차생산량(GPP)으

로부터 호흡에 의한 소비량(R)을 제외한 양으로 표현된다. 이것은 보통 1년단위로 취급되어 건조중량/ km^2/year (이하 $\text{DW}/\text{km}^2/\text{year}$ 로 표시)로 표시된다. 이상의 관계는 다음 식에 의해 표시된다.

$$NPP = GPP - R \quad (1)$$

동물 혹은 인간이 먹거나 이용 가능한 것이 바로 순일차생산량이다. NPP는 산림에서 가장 크며 다음으로 농경지, 초원, 나지 순이며 이는 그 토지의 기후 및 토양 등 자연조건을 잘 반영하고 있다. 따라서, NPP는 토지의 여러 환경조건을 간접적으로 평가하는 지표로 이용될 수 있다. 식물은 또한 광합성 활동을 통하여 대기 중의 CO_2 를 흡수, 방출하는 가스교환을 하며 증산에 의해 대기 중으로 수분을 방출한다. NPP는 이러한 식물의 기능면에 대한 척도로서도 이용될 수 있으며 아울러 식물을 에너지원으로 생각하는 경우에 NPP는 순수하게 그 양의 파악에도 이용될 수 있다.

2.2 순일차생산량의 경험적 평가 방법

단위토지면적에서 1년간의 식물유기물생산량인 NPP의 합계인 TNP는 NPP에 그 토지면적을 곱하여 계산할 수 있다. 식물 생체량을 이용하는 실제적 측면에서 이 TNP의 전부가 이용 가능한 것은 아니지만 이용 가능량의 평가를 위해 TNP를 구하는 것은 필수적이다. TNP의 평가에 기초가 되는 NPP의 계산을 위해 Uchijima and Seino(1995), 清野와 内嶋(1985)에 의한 방법을 이용하였다. 이 방법은 식물의 광합성과 증산에 의한 탄산가스와 수증기 흐름의 이론적 고찰을 근거로 지하부를 포함한 자연식생(주로 산림)의 NPP를 기상자료로부터 평가하기 위하여 유도되어진 경험식이다.

$$NPP = 0.29 [\exp\{-0.216(RDI)^2\}] Rn \quad (2)$$

여기서 RDI(Radiative Dryness Index)는 방사건조도로서 순방사량 Rn과 연간강수량 r(mm) 및 증발잠열 l (J/g)을 이용하여 다음 식으로 표시된다.

$$RDI = 10^4 Rn / (lr) \quad (3)$$

식물의 생육은 태양에너지와 강수량 및 그 상대적 비율로서 정의되는 방사건조도(RDI)에 의해 결정된다. 방사건조도가 1.0 이상이면 산림이 형성되지 못하며 초원을 이루게 된다. 또한 2.0 이상이 되면 반사막, 3.0 이상이 되면 사막이 된다. 방사건조도가 1.0 이하인 지역에서는 식물의 생육에 필요한 수분이 충분히 존재하여 열량에 의해 식생의

종류가 결정된다. 방사건조도가 현저히 작고 순방사량이 적은 곳에서는 툰드라 지대가 형성된다. 순방사량 R_n 의 산출에는 Chang(1970)에 의해 제안된 다음 식을 이용하였다.

$$R_n = (1 - \rho)S_t - \sigma T_a^4 [286.18 + 202.6B_1 - (45.24 + 10.92B_1) \sqrt{e_a}] \quad (4)$$

여기서 ρ 는 지표면 albedo이며, B_1 은 일사율(= S_t/S_0), S_t 는 월평균 일사량(J/cm^2), S_0 는 월평균 대기의 일사량(J/cm^2), e_a 는 월평균 수증기압(hPa), σ 는 Stefan-Boltzmann의 상수, T_a 는 월평균기온(K)이다.

清野와 内嶋(1985)는 임의 지역의 TNP를 계산하기 위하여 NPP의 평균치를 이용하여 다음 식에 의해 구하였다.

$$TNP_i = \sum_{j=1}^4 (A_{ij} \times \overline{NPP}_i \times E_j) \quad (5)$$

여기서, \overline{NPP}_i 는 i 번째 대상지역의 평균 NPP이며, A_{ij} 는 i 번째 대상지역의 j 번째 피복면적, E_j 는 j 번째 피복상황의 생산효율이다. 또한, 생산능력이 있는 피복상황으로서 산림, 과수원, 경작지, 초지를 선정하고 있으며 이들의 생산효율 E_j 의 값을 표 1과 같이 정하고 있다.

이들은 이 방법에 의한 NPP 추정치를 다른 방법에 의한 추정치와 비교한 결과 충분히 신뢰할 수 있는 자료로서 평가하고 있다. 따라서, 본 연구에서는 이 방법에 의한 결과를 바탕으로하여 인공위성자료를 이용한 NPP 추정모형에 대하여 고찰하고자 한다.

2.3 금강유역의 순일차 생산량 산정

이미 기술한 清野와 内嶋(1985)에 의한 방법을 이용하여 금강유역에 대하여 2000~2004년까지 5개년에 걸쳐 순일차생산량(NPP)을 산정하였으며 산정된 결과는 iNDVI(integrated NDVI)와 NPP의 관계산정에 필요한 계산값으로 이용된다. 순일차생산량을 구하기 위해 우선 토지이용상태의 파악이 필요하다. 본 연구에서는 NOAA/AVHRR 자료를 이용하여 금강유역에 대한 개략적인 피복상황을 분류하였으며 그 내용은 3.2에서 기술하기로 한다.

표 1. Seino의 경험식에 사용된 피복상황별 생산효율

피복상태	생산효율(E_j)
산림	1.00
과수원	0.80
경작지	0.81
초지	0.625

금강유역에 대하여 순일차 생산량을 산정하기 위해서는 강우량을 비롯한 평균기온 등의 기상자료가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 기상청 자료 중에서 금강유역에 위치하고 있는 기상관측소의 자료를 수집하여 NPP 계산에 활용하였다. NPP의 계산을 위해 사용된 금강유역의 강우량, 평균기온, 상대습도 및 일조시간에 대한 기상특성을 그림 1에 표시하였다. 특히 2001년에는 상당히 적은 강우가 발생하였으며 그 결과로서 우리 나라 전역에 심각한 가뭄이 발생하였다.

본 연구에서 iNDVI로부터 분류한 항목과 이미 언급한 清野와 内嶋에 의한 생산능력이 있는 피복으로 선정된 항목과는 차이가 있으므로 다음 4개의 항목을 대상으로 표 2와 같이 생산효율을 결정하였다. 이것은 3.2절에서 기술한 iNDVI를 이용한 식생분류에서 1등급을 식생의 밀도와 활성도가 가장 높은 지역, 2등급은 식생지역, 3등급은 농경지 및 4등급은 도시지역에 상당하도록 분류한 결과에 따른 것이다.

이러한 기상자료, 토지피복 자료 및 식생별 생산효율을 적용하여 금강유역에 대하여 NPP와 TNP를 산정하였으며 그 계산 결과를 표 3에 표시하였다. 2001년의 경우 극심한 가뭄을 겪은 해로서 그 결과 금강유역의 방사건조도(RDI)는 1.36을 나타내고 있으며 전술한 바와 같이 식생의 성장에 커다란 지장을 초래하였을 가능성이 매우 큰 것으로 나타났다. 그 결과로서 2001년도의 NPP는 분석기간인 5개년 중에서 가장 작은 값을 나타내고 있다. 그러나 그 차이는 그다지 크지 않음을 알 수 있다. 이는 NPP가 순방사량에 직접적으로 비례하므로 기본적으로 식생이 분포되어 있는 상황이라면 건조해의 경우 보다 더 많은 순방사량이 발생하게 되므로 오히려 NPP는 더 증가할 수 있음을 알 수 있다.

3. 인공위성자료를 이용한 순일차생산량 추정

3.1 NDVI와 iNDVI

일반적으로 인공위성 자료를 이용한 식생의 관측은 가시 및 근적외 영역의 자료를 이용하여 파악되며 원격탐사 자료의 활용측면에서 무엇보다도 이용이 가장 활발한 대상이다. 광역면에서의 식생상태를 파악하기 위해서는 주기

표 2. 본 연구에서 사용한 피복상황별 생산효율

피복상태	생산효율(E_j)
1등급	1.00
2등급	0.95
3등급	0.81
4등급	0.625

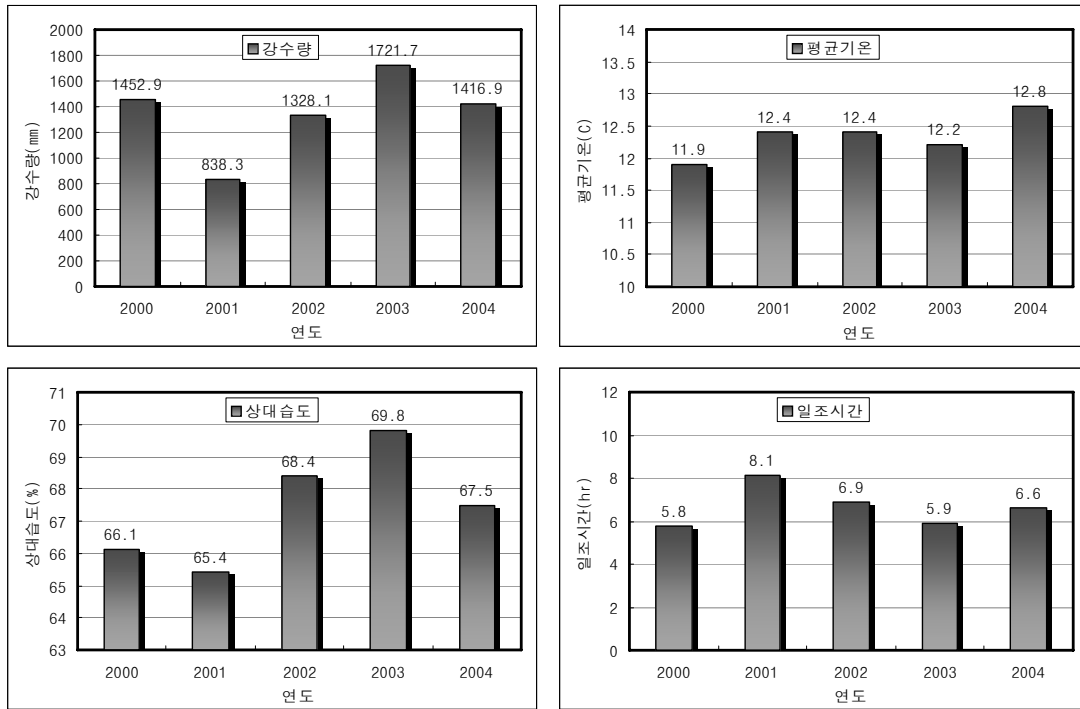


그림 1. 금강유역의 기상현황

표 3. 경험식에 의해 산정된 금강유역의 TNP와 NPP

연도	RDI	NPP (tDW/km ² /year)	TNP ((ktDW/km ² /year)				합계
			class 1	class 2	class 3	class 4	
2000	0.57	1,326.36	10,708.93	5,693.64	4,727.05	242.23	21,371.85
2001	1.36	1,308.97	10,568.52	5,618.99	4,665.08	239.05	21,091.64
2002	0.74	1,505.08	12,151.88	6,460.82	5,363.99	274.86	24,251.56
2003	0.50	1,397.29	11,281.55	5,998.09	4,979.81	255.18	22,514.63
2004	0.67	1,478.11	11,934.14	6,345.05	5,267.88	269.94	23,817.02
평균	0.77	1,403.16	11,329.00	6,023.32	5,000.76	256.25	22,609.34

적으로 광역면을 관측하는 인공위성의 활용은 대단히 유효하다.

식생의 활성도는 가시역과 근적외역의 파장대에서 잘 검출되며 이러한 특성을 이용한 식생지수 중 정규화식생지수가 가장 널리 이용되고 있다(Justice 등, 1985; Tucker 등, 1985a,b; Townshend와 Justice, 1986; Benedetti 등, 1994). NDVI는 다음과 같이 정의된다.

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (6)$$

여기서, NIR은 근적외밴드의 스펙트럼 반사이며, Red는 적밴드의 스펙트럼 반사이다. 식물의 잎에 포함되어 있는 클로로필은 가시역 파장대를 강하게 흡수하여 그 결과로서 적밴드에서의 반사율은 낮아진다. 또한 근적외역에서의 반사율은 상당히 높다. 따라서, 적밴드에서의 강한 흡수와 근적외역에서의 강한 반사를 갖는 특수성 때문에 가시 및

근적외영역이 식생조사에 이용된다. 현재까지 NDVI는 식생에 직간접적으로 연관되어 있는 식물의 양을 추정하고 작물의 재배면적 등을 분석하는 것이외에도 식생의 상황으로부터 간접적으로 현상을 규명하고자 하는 이용에도 활용되고 있다.

광역면의 개략적인 식생상태를 파악하기 위해서는 넓은 면적을 한번에 포함하는 NOAA위성이 적합하며, NOAA위성에 탑재되어 있는 센서 중 지표면 관측에 유용한 AVHRR 센서를 이용하는 것이 효과적이다. NOAA/AVHRR자료를 이용할 경우 NDVI는 다음 식으로 정의된다.

$$NDVI = \frac{Ch.2 - Ch.1}{Ch.2 + Ch.1} \quad (7)$$

여기서, Ch.1과 Ch.2는 각각 NOAA/AVHRR channel 1과 2의 반사율이다.

또한 어느 일정기간 사이의 NDVI 총량을 정량적으로

표현하기 위하여 iNDVI(integrated NDVI)가 이용된다.

$$iNDVI = \frac{\sum(NDVI_j \times d_j)}{\sum d_j} \quad (8)$$

여기서, $NDVI_j$ 는 j번째의 NDVI이며, d_j 는 $NDVI_j$ 에 대응하는 관측일수이다.

본 연구에서 iNDVI를 이용하여 순일차생산량을 구하는 첫 번째 중요한 단계는 정확한 NDVI 자료를 생성하는 것이다. 본 연구에서 대상으로 하는 기간은 2000~2004년이며, 사용한 위성자료는 NOAA/AVHRR자료로서 적설의 영향으로 인하여 지표면의 정확한 관측이 불가능한 겨울철의 자료는 분석에서 제외하고 3월부터 11월까지를 분석기간으로 설정하였다. AVHRR 센서는 광학센서이며, 대상지역이 구름으로 덮여 있는 경우 위성의 센서가 읽는 반사치는 바로 그 구름의 반사치가 되어 구름 아래부분의 지표면의 반사치는 반영되지 못한다. 결국 구름의 존재는 NDVI를 낮아지게 하여 정확한 관측을 저해한다.

그러나 지표면의 물리적 특성을 파악하고자하는 분석에서는 어떠한 방법에 의해서든 구름의 영향을 제거한 NDVI를 작성할 필요가 있다. 만약 동일지점의 NDVI가 단기간

에 급격하게 저하하는 경우 그 자료는 구름의 영향을 받은 것이라 생각할 수 있다. 반대로, 일정기간 동안의 NDVI가 가장 크게 나타난 자료가 가장 구름의 영향을 받지 않은 것이라 생각할 수 있다. 따라서 복수의 NDVI로부터 각 화소별로 최대치를 선택함으로써 구름의 영향을 최소화한 NDVI 자료를 얻을 수 있다. 본 연구에서는 1개월이라는 시간 간격을 취하여 일 NDVI로부터 1개월간의 최대치를 선택하여 월대표 NDVI를 작성하였다. 이와같이 산정된 월대표 NDVI를 적산하여 iNDVI를 산정하였으며 그 결과를 그림 2에 나타내었다.

3.2 iNDVI에 의한 순일차생산량 추정

3.2.1 iNDVI에 의한 식생등급 분류

iNDVI를 이용하여 순일차생산량을 구하기 위해서는 토지피복상황을 분류하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 얻어진 iNDVI를 이용하여 개략적인 토지피복 상황을 분류하였다. 토지피복분류(land cover classification)는 원격탐사 자료의 가장 대표적이고 전형적인 응용방법의 하나로 숲, 초지, 콘크리트 포장과 같은 대지 표면의 물리적 상황을 분류한 것이다. 이것은 원격탐사에서 가장 중요한 분석기법으로

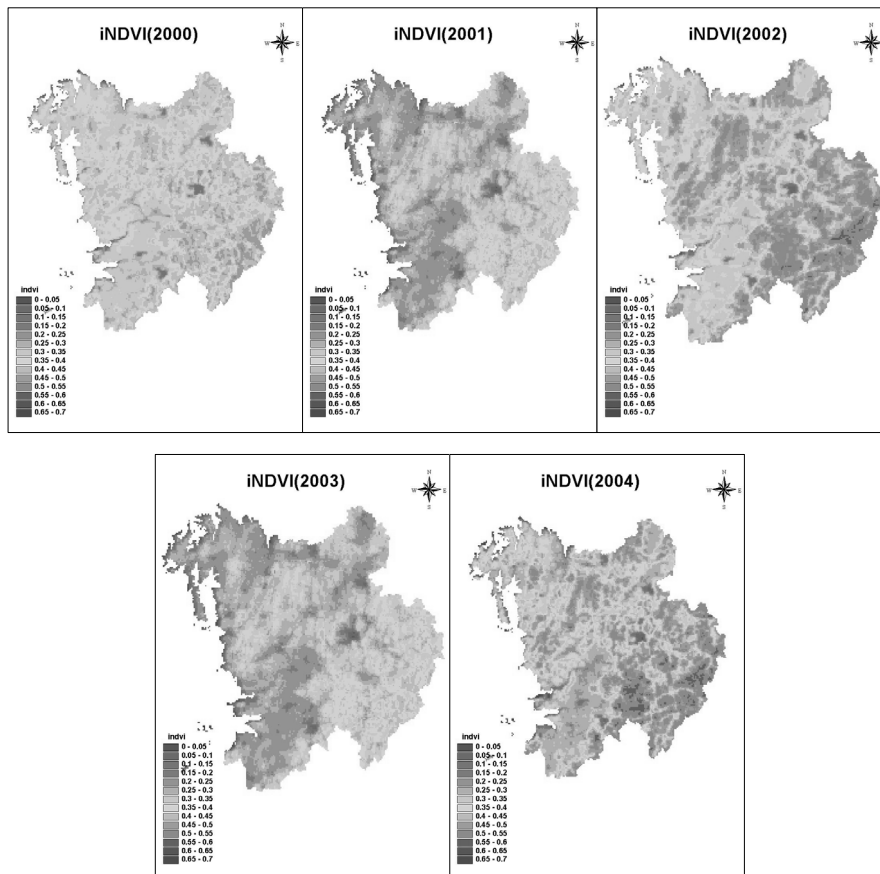


그림 2. NOAA/AVHRR 자료로부터 얻은 금강유역의 iNDVI

영상을 구성하는 각각의 화소 중 비슷한 분광특성을 갖는 것끼리 집단화시켜주는 방법을 말하는데, 이에 대한 분류 방법으로는 일반적으로 영상분석자의 개입정도에 따라 감독분류(supervised classification)와 무감독분류(unsupervised classification)로 나누어지고 있다.

NOAA 위성자료를 이용할 경우 위성자료의 특성 상 충분한 해상도가 확보될 수 없으며, 본 연구의 목적 또한 정확한 토지피복상황을 분류하는 것이 아니기 때문에 정확한 토지피복의 분류는 보다 높은 공간 해상도를 갖는 위성자료를 이용하는 것이 바람직하며, 여기서는 식생정보를 이용하여 그 식생의 성질이 유사한 지역으로 그룹화하는 분류를 실시하였다. 본 연구에서 실시하는 식생등급 분류는 복잡한 피복상황을 간략화하기 위해 몇 개의 등급으로 그룹화하는 것으로 엄밀한 의미의 토지피복분류와는 일치하지 않는다. 분류하는 방법은 일반적인 토지피복분류를 하는 방법과 동일하며, 광범위한 지역을 해상도가 낮은 위성자료를 이용한다는 점에서 정확한 지표면의 정보를 입력 자료로 활용하는 감독분류는 적용상의 문제점이 많으므로 최소의 초기입력 자료만이 요구되는 무감독분류를 실시하였다.

무감독분류(unsupervised classification)는 트레이닝(Training) 자료를 이용하지 않는 방법으로 영상에서 알려지지 않은 화소들을 조사하고 영상화소 사이에 존재하는 특성집단에 따라 영상의 모든 화소를 몇 개의 항목으로 병합한다. 이 때 사용되는 기본적인 전제는 특정 피복항목을 구성하는 화소값

이 서로 가깝게 위치하며, 이들과 다른 항목들의 DN(Digital Number)값들은 비교적 멀리 떨어져 있어 구분이 잘된다. 트레이닝이란 특정 영상에서 구분되는 모든 토지피복 종류에 대한 분광반응형식을 설명할 수 있는 통계집단을 구성하는 것이다. 좋은 분류결과를 산출하기 위해서는 트레이닝 자료는 분류군에 대한 대표성과 완벽성을 구비하여야 한다. 일반적으로 트레이닝 항목은 수작업으로 분류항목을 설정하지만 화소마다 특성을 설정하는 Seed Pixel 기법도 이용된다.

무감독분류를 위해 월 NDVI를 이용할 경우 월별 식생상태는 파악할 수 있으나 장기간에 걸친 평균적인 식생의 상태는 파악할 수 없게 된다. 따라서 연구대상 기간인 5년에 걸친 iNDVI를 작성하여 5년간의 적분치를 표현하도록 하였다. 토지피복은 매년 변화하지만 본 연구에서는 정확한 토지피복상황을 분류하는 것이 아니며 또한 2000~2004년도의 5년간의 적분치를 사용함으로써 연도 별 식생특성을 동일조건으로 파악할 수 있다는 장점을 가진다. 그림 3은 2000~2004년동안 3~11월까지의 적산치를 평균한 한반도 전역에 대한 iNDVI를 나타내고 있다. 그림 4는 금강유역에 대하여 iNDVI로부터 식생을 5단계등급으로 분류한 결과이다. 분류항목은 전술한 순일차생산량의 경험적 평가항목과 일치시키기 위하여 1등급을 식생의 밀도와 활성도가 가장 높은 지역, 2등급은 식생지역, 3등급은 농경지 및 4등급은 도시지역에 상당하도록 하였다.

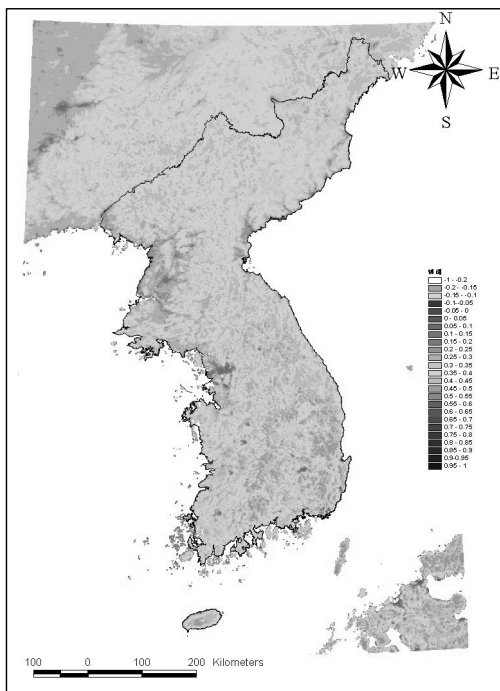


그림 3. iNDVI 분포도

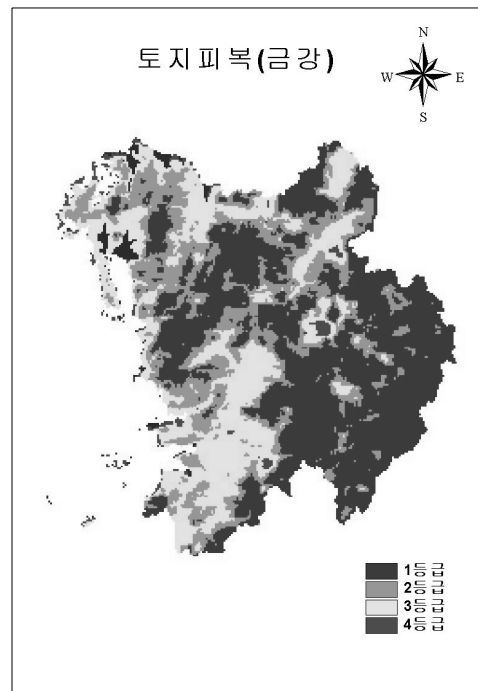


그림 4. 분류된 식생의 5단계 등급

3.2.2 순일차 생산량 추정 방법 제안

iNDVI와 그 토지의 식물생산량과 선형관계가 성립하며 NPP는 식물의 종류에 의해 변화한다. 따라서, 각 항목에 있어서의 TNP와 각 화소에서의 항목별 면적 그리고 iNDVI가 입력으로 사용된다면 다음과 같은 식이 성립한다고 볼 수 있다.

$$TNP_j = \varepsilon_j \times \sum A_j \times iNDVI \quad (12)$$

여기서, TNP_j 는 j번째 항목의 TNP이며, ε_j 는 j번째 항목

표 4. iNDVI로부터 산정된 식생등급별 보정계수

	1등급	2등급	3등급	4등급
2000	3.20	3.56	3.53	5.61
2001	3.83	4.55	4.80	11.02
2002	3.14	3.61	3.74	5.59
2003	3.13	3.54	3.62	5.29
2004	3.11	3.88	4.38	9.89
평균	3.28	3.82	4.01	7.48

의 보정계수, A_j 는 j번째 항목의 화소면적이다. 경험적 방법에 의한 피복상황별 TNP를 이용하여 각 항목별로 보정계수 ε_j 를 구하게 된다.

NPP는 각 항목별의 값을 갖고 있으며 iNDVI는 그 NPP와 상관관계가 성립한다. 따라서, iNDVI를 단위면적 당의 양으로 하면 iNDVI에 그 면적과 보정계수를 곱함으로써 NPP의 평가가 가능하다. 그러나 iNDVI는 표면의 정보만

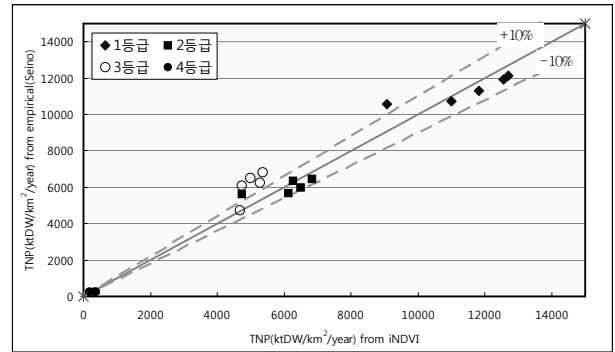


그림 5. 본연구와 경험식에 의한 결과의 비교

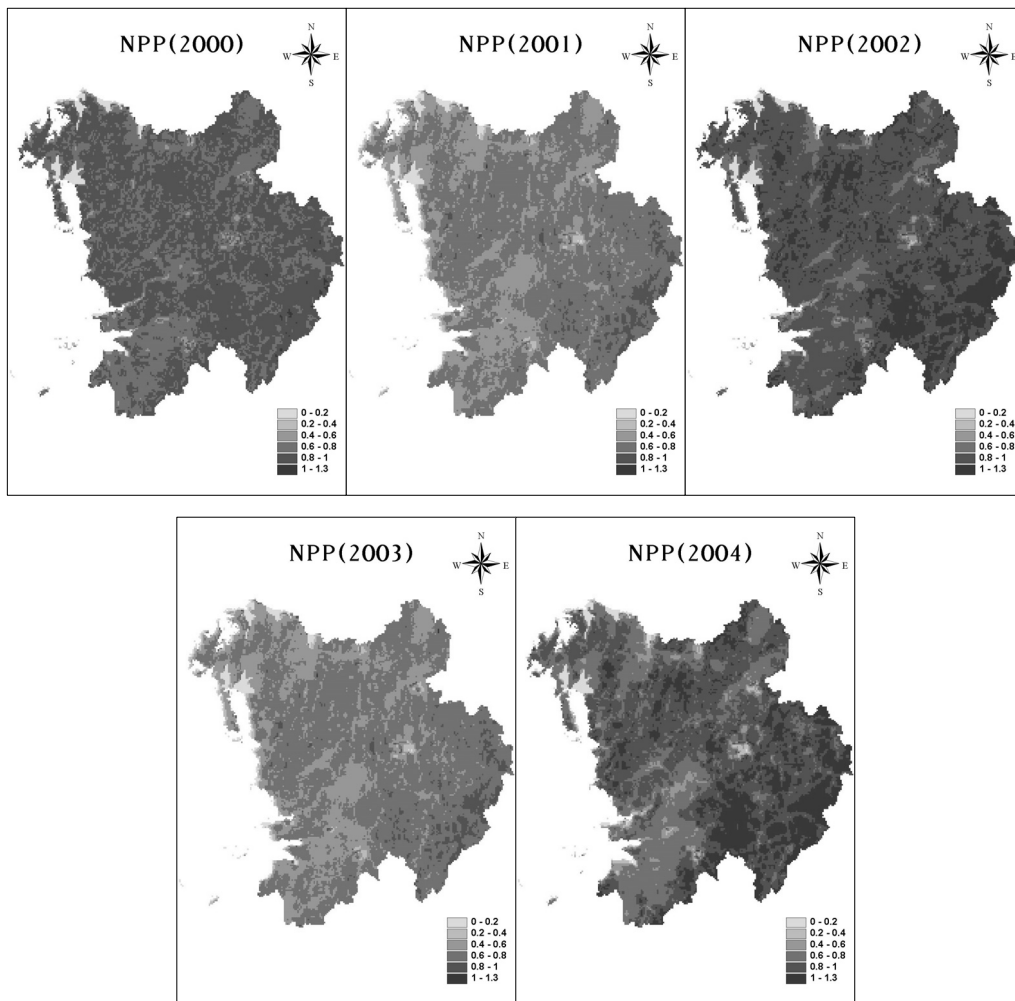


그림 6. iNDVI에 의해 산정된 금강유역의 NPP(Net Primary Production) 분포

을 이용하여 얻어지는 값이므로 iNDVI가 동일한 값이라 하더라도 피복상황에 의해 NPP는 다른 값을 취하게 된다. 따라서, 피복상황에 따른 NPP의 차이를 보정하기 위하여 각 항목별로 보정계수 ϵ_j 를 구하였으며 이것을 표 2에 나타내었다.

항목별로 보면 식생의 활성도가 높은 1등급과 2등급의 경우 보정계수가 상당히 안정되어 있음을 알 수 있다. 3등급의 경우 농경지에 대응하는 부분으로 논과 밭의 특성 상 도시근방에 분산 분포하고 있어 하나의 화소가 순수한 농경지만으로 구성될 수 없는 경우가 많아 상대적으로 보정계수의 편차가 나타난 것으로 판단할 수 있다. 4등급으로 분류된 도시지역의 경우 식생의 생산력의 빈약하여 보정값 ϵ_j 도 연도별로 편차를 보이고 있다. 그러나 도시지역으로 분류된 면적은 극히 적으며 식생 생산력이 왕성한 1등급과 2등급이 전체 금강유역의 72.8%를 점유하고 있어 대부분의 NPP가 iNDVI를 이용하여 산정 가능함을 알 수 있다.

또한 Seino에 의한 경험공식을 통해 산정한 NPP와 본 연구를 통한 iNDVI에 근거하여 얻은 NPP를 비교하여 나타내면 그림 5와 같다. 대체적으로 10% 전후의 오차로 iNDVI를 통하여 NPP를 산정할 수 있음을 알 수 있다. 대부분 10%를 초과하는 오차는 농경지의 3등급과 도시의 4등급에서 나타나고 있으며 이것이 차지하는 면적은 상대적으로 적어 전체적으로 NPP의 산정에 미치는 영향은 크지 않음을 알 수 있다.

본 연구를 통하여 5개년간의 보정값 ϵ_j 를 추정할 결과 대부분의 식생 생산력을 좌우하는 1등급, 2등급 및 3등급의 경우에는 비교적 안정적인 값을 보여주고 있어 금강유역에 적용할 수 있는 일반적인 ϵ_j 의 추정이 가능하다. 또한 4등급의 경우에는 ϵ_j 의 편차는 가장 크게 나타나고 있으나 차지하는 면적이 미소하므로 동일한 방법인 평균을 취하는 방법으로 금강유역에서의 도시지역에 대한 보정값 ϵ_j 를 구하였다. 이를 통하여 구한 ϵ_j 를 이용할 경우 상기에서 기술한 바와 같이 약 10%의 오차로 iNDVI를 통한 NPP를 산정할 수 있음을 알 수 있다. 가장 이상적인 연구결과의 검증방법은 실제관측치를 이용한 것이나 순일차생산량을 실제 관측한다는 것은 매우 어려우며 더욱이 넓은 지역에서의 관측은 불가능에 가깝다고 볼 수 있다. 따라서 적절한 경험식을 이용하여 비교하는 방법을 취하게 된다. 이상과 같은 결과를 이용하여 금강유역에 대한 NPP를 구한 결과 그림 6과 같다.

4. 결 론

본 연구에서는 2000년부터 2004년까지 5개년에 걸쳐

NOAA/AVHRR 자료를 이용하여 NDVI를 계산한 후 연간의 평균치인 iNDVI로부터 NPP를 추정하는 방법에 대한 연구를 수행하였다. 5개년간의 자료를 이용함으로써 일반적으로 이용 가능한 보정값을 추출할 수 있었으며, 그 결과 약 10%정도의 오차로 iNDVI로부터 NPP의 추정이 가능함을 알 수 있다.

본 연구에서 참값으로 이용된 淸野의 방법은 일본에서 개발된 경험식으로 대단히 타당한 결과를 보이는 것으로 보고하고 있으나 좀 더 정확한 분석을 위해서는 추후 국내 식생조건에 대한 검증 및 여러 각도에서의 연구가 필요할 것이다. 서론에서도 기술한 바와 같이 NPP는 식물의 총생산량으로부터 호흡에 의한 소비량을 뺀 양이다. 따라서, 식물의 NPP와 호흡에 의한 CO₂ 흡수량, 증발산량과의 사이에는 상관관계가 성립함을 기대할 수 있다. NPP와 호흡량의 관계를 정량적으로 평가함으로써 식물에 의한 탄소순환과 수문순환을 정량적으로 평가하기 위한 자료를 제공할 수 있으리라 생각된다. 또한 NPP는 농업 및 기타 여러분야에서 넓게 응용될 수 있다.

본 연구의 최종적인 목적은 한반도 전역에 대한 NPP를 추정하는 것이다. NOAA위성은 한반도 전역의 지표면 관측을 실시하고 있으며, 본 연구의 성과를 기상자료 및 수문자료가 충분히 이용가능한 우리 나라에서 충분한 검증을 실시한 후 지상의 자료가 이용 불가능한 지역인 북한 지역에 대해서도 본 연구의 성과를 확장 적용함으로써 한반도 전체에 걸친 NPP의 분포를 파악할 수 있을 것이다.

감사의 글

이 논문은 2007년도 안동대학교 특성화 추진 지원사업에 의하여 연구되었습니다. 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 신사철, 유철상 (1997), NOAA/AVHRR 자료를 이용한 순일차생산량 분포 추정, *한국환경과학회지*, 제 6권, 제 6호, pp. 605~612.
2. 淸野 割, 内嶋善兵衛 (1985), 自然植生の純一次生産力の農業氣候學的評價 (2) 日本における純生産量の評價, *農業氣候*, Vol. 41, No. 2, pp. 139~144.
3. Benedetti, R., Rossini, P., and Taddei, R. (1994), Vegetation classification in the Middle Mediterranean area by satellite data, *Int. J. Remote Sens.*, Vol. 15, No. 3, pp. 583~596.
4. Box, E.O., and Bai, X.M. (1993), A satellite based world map of current terrestrial net primary productivity, *Seiken Kenkyu*, Vol. 45, pp. 666~672.

5. Box, E.O., Holben, B.N., and Holben, B.N., and Kalb, V. (1989), Accuracy of the AVHRR vegetation index as a predictor of biomass, primary productivity and net CO₂ flux, *Vegetation*, Vol. 80, pp. 70~89.
6. Chang, J.H. (1970), Global distribution of net radiation, *Ann. Assn. Amer. Geogr.*, Vol. 60, pp. 340~351.
7. Justice, C.O., Townshend, J.R.G., Holben, B.N., and Tucker, C.J. (1985), Analysis of the phenology of global vegetation using meteorological satellite data, *Int. J. Remote Sens.*, Vol. 8, No. 8, pp. 1271~1318.
8. Townshend, J.R.G. and Justice, C.O. (1986), Analysis of the dynamic of African vegetation using the normalized difference vegetation index, *Int. J. Remote Sens.*, Vol. 7, No. 11, pp. 1435~1446.
9. Tucker, C.J., Vanpraet, C.L., Sherman, M.J., and Van Ittersum, G. (1985a), Satellite remote sensing of total herbaceous biomass production in the Senegalese Sahel : 1980-1984, *Remote Sens. Environ.*, Vol. 17, No. 3, pp. 233~249.
10. Tucker, C.J., Townshend, J.R.G., and Goff, T.E. (1985b), African land-cover classification using satellite data, *Science*, Vol. 227, pp. 369~375.
11. Uchijima, Z. and H. Seino (1985), Agroclimatic evaluating of net primary production of natural vegetation, (1) Chikugo medel for evaluating net primary productivity, *J. Agric. Met.*, Vol. 40, No. 4, pp. 390~398.

(접수일: 2008. 5. 22 심사일: 2008. 5. 28 심사완료일: 2008. 9. 3)