

NOAA/AVHRR 자료를 이용한 순일차생산량 분포 추정

신사철·유철상*

한국수자원공사 수자원연구소·고려대학교 환경공학과
(1997년 2월 17일 접수)

Estimation of NPP Distribution using NOAA/AVHRR

Sha-Chul Shin and Chul-Sang Yoo*

Water Resources Research Institute, KOWACO, Taejon, 305-390, Korea

*Dept. of Environmental Engineering, Korea Univ., Jochiwon, 339-800, Korea

(Manuscript received 17 February 1997)

This study is to evaluate the overall NPP(Net Primary Production) distribution in the Korean Peninsula from the satellite data(NOAA/AVHRR). This has been done using the linear relationship between the natural vegetation condition and the NPP. The NPP of natural vegetation increases proportional to the annual net radiation(R_n), where radiative dryness index(RDI) is a proportional constant connecting R_n 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 R_n and NPP, which can be used effectively for estimating NPP distribution of where the meteorological data is unavailable such as North Korea. The NPP distribution of the Korean Peninsula was estimated based on the model.

Key words : NPP, NOAA/AVHRR, iNDVI, Korean Peninsula

1. 서 론

최근, 지구온난화 및 이상기후 등의 지구환경 문제가 대단히 중요한 문제로 대두되고 있으며 지구의 제환경에 대한 상황파악 및 평가는 인류의 생존과 관련된 중요한 과제라 할 수 있다. 지구를 감시하고자 할 때, 특히 광범위한 지역을 대상으로 하는 경우 인공위성자료의 이용은 대단히 유용하다. 따라서, 본 연구에서는 NOAA위성의 AVHRR센서에 의한 정보를 이용하여 환경요소를 평가하는 방법을 고찰하고자 한다.

대기중의 이산화탄소가 급증하고 있는 현상 태에서 그 흡수원으로서 식물의 역할이 크게 대두되고 있다. 식물 생체량(biomass)은 식물

의 광합성활동을 통하여 태양에너지가 식물유기물로 변환 저장되어진 것이다. 따라서 생체량을 에너지로서 이용한다는 관점에서 동물과 미생물은 양적으로 문제가 되지 않으며, 또한 생물유기물의 변형, 변질물인 화석자원도 포함하지 않는다.

식물생체량은 재생 가능한 자원이며 식물의 광합성활동에 의하여 매년 생산되어 각종 생태계, 특히 삼림의 식물유기물로서 축적되고 있으며, 육지에서는 삼림, 초원, 경작지가 생체량의 주요 공급원이다. 그러나 식물생체량은 석유와 석탄자원과는 달리 지구상에서의 분포밀도는 대단히 낮은 편이다. 이와 같은 식물생체량을 에너지원으로 이용하기 위해서는 우선 이

들의 이용가능량을 평가하지 않으면 안된다. 생태계의 유지·발전을 고려할 때, 대체에너지원으로서 이용 가능한 식물생체량을 평가하기 위해서 자연식생의 순일차생산량(Net Primary Production, NPP)의 평가가 중요하다.

지역을 한정한 현존식생도의 작성 시 비교적 높은 정확도 및 해상도가 요구된다. 현존식생 및 토지이용도의 작성에 있어서 식생지표(NDVI)의 계절변화 양상으로부터 최대치를 취하여 작성할 수 있으며 이는 비교적 정확도가 높고, NDVI가 서로 다른 특성을 갖는 식생구분을 식별하기 위한 유효한 방법임을 시사해 주고 있다. Box et al.(1989)과 Box and Bai(1993)는 년 NDVI와 현지 측정자료인 순일차생산량과의 관계를 지수함수로 표시하여 NDVI로부터 순일차생산량을 추정하였다.

본 연구에서는 경험적 방법에 의한 NPP추정값 및 인공위성(NOAA/AVHRR) 자료를 이용하여 기상자료의 획득이 불가능한 북한 지역을 포함한 한반도 전역에 대한 NPP의 분포량을 산정하고자 한다.

2. 자료 및 분석

2.1 순일차생산량(NPP)

일차생산은 녹색식물의 광합성에 의해 이루어진다. 단위 토지면적에 있어서 단위시간내의 녹색식물에 의한 유기물생산량을 총일차생산량(Gross Primary Production, GPP)이라 한다. 또한 식물은 호흡에 의해 자기 자신이 생산한 유기물을 소비한다. 순일차생산량(NPP)은 총일차생산량(GPP)으로부터 호흡에 의한 소비량(R)을 뺀 잔량을 계산할 수 있다. 이것은 보통 1년 단위로 취급되어 건조중량/ km^2/year (이하 DW/ km^2/year 로 표시)로 표시된다. 이상의 관계는 다음식에 의해 표시된다.

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

동물 혹은 인간이 먹거나 이용 가능한 것이 바로 순일차생산량이다. NPP는 삼림에서 가장 크며 다음으로 농경지, 초원, 나지 순으로, 주어진 지역의 NPP는 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 대기중의 CO_2 를 흡수, 방출하는 가스교환을 하며 증산에 의해 대기

중으로 수분을 방출한다. NPP는 이러한 식물의 기능면에 대한 척도로서도 이용될 수 있음을 알 수 있다. 아울러 식물을 에너지원으로 생각하는 경우에 NPP는 순수하게 그 양의 파악에도 이용될 수 있다.

2.2 순일차생산량의 경험적 평가

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 이용가능량의 평가를 위해 TNP를 구하는 것은 필수 불가결하다.

TNP의 평가에 기초가 되는 NPP의 계산을 위해 Uchijima 와 Seino(1995), 清野와 内鳴(1985)에 의한 방법을 이용하였다. 이 방법은 식물의 광합성과 증산에 의한 탄산가스와 수증기 흐름의 이론적 고찰을 근거로 지하부를 포함한 자연식생(주로 삼림)의 NPP를 기상자료로부터 평가하기 위하여 유도되어진 경험식이다.

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

여기서, Rn 은 년간 순방사량(kcal/cm^2)이며 RDI(Radiative Dryness Index)는 방사건조도로서 Rn 과 년간강수량 $r(\text{mm})$ 및 증발점열 $I(\text{cal}/\text{g})$ 을 이용하여 다음 식으로 표시된다.

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

식물의 생육은 태양에너지와 강수량 및 그 양자의 상대적 비율로서 정의되는 방사조건도(RDI)에 의해 결정된다. 방사조건도가 1.0 이상이 되면 삼림이 형성되지 못하며 초원을 이루게 된다. 또한 2.0이상이 되면 반사막, 3.0이면 사막이 된다. 방사건조도가 1.0 이하의 지역에서는 식물의 생육에 필요한 수분이 충분히 존재하여 열량에 의해 식생의 종류가 결정된다. 방사건조도가 현저히 작고 순방사량이 적은 곳에서는 툰드라 지대가 형성된다.

순방사량 Rn 의 산출에는 Chang(1970)에 의해 제안된 다음 식을 이용하였다.

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

여기서, ρ 는 지표면 albedo로서 본 연구에서는 0.15로 가정하였다. B_1 은 일사율($= S_{\text{sub t}} / (S_{\text{sub O}})$), S_t 는 월평균 일사량(cal/cm^2), $S_{\text{sub O}}$ 는 월평균 대기외 일사량(cal/cm^2), e_a 는 월평균 수

NOAA/AVHRR 자료를 이용한 순일차생산량 분포 추정

증기압(mb), σ 는 Stefan-Boltzmann의 상수($8.132 \times 10^{-11} \text{ cal/cm}^2/\text{K}^4$), T_a 는 월평균기온(K)이다.

清野와 内鳴(1985)는 NPP의 평균치로부터 그 지역의 TNP를 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 피복상황 면적, E_j 는 j 번째 피복상황의 생산효율이다. 또한 생산능력이 있는 피복상황으로서 삼림, 과수원, 경작지, 초지를 선정하고 있으며 이들의 생산효율 E_j 의 값을 다음과 같이 정하고 있다.

- ① 삼림 $E_1=1.0$
- ② 과수원 $E_2=0.8$
- ③ 경작지 $E_3=0.81$
- ④ 초지 $E_4=0.625$

이 방법에서는 생산효율을 지리적, 계절적 조건과 관계없이 일정하게 가정하고 있다. 또한 이들은 이 방법에 의한 NPP추정치를 다른 방법에 의한 추정치와 비교한 결과 충분히 신뢰할 수 있는 자료로서 평가하고 있다. 따라서 본 연구에서는 이 방법에 의한 결과를 바탕으로하여 인공위성자료를 이용한 NPP추정모형에 대하여 고찰하고자 한다.

3. 자료분석의 결과 및 고찰

3.1 우리나라 5대 유역의 순일차생산량 산정

본 절에서는 이미 기술한 清野와 内鳴에 의

한 방법을 이용하여 우리나라 5대강 유역(한강, 낙동강, 금강, 영산강, 섬진강)에 대한 NPP를 산정하였다. 여기서 산정된 결과는 iNDVI와 NPP의 관계산정에 필요한 계산값으로 이용되며 이 관계를 한반도 전역에 확대 적용함으로써 남북한의 자연식생으로부터의 NPP분포를 파악하게 된다.

순일차생산량을 구하기 위하여 우선 토지이 용상태의 파악이 불가결하다. 본 연구에서는 한반도 저역을 대상으로 하고 있으나 한반도 전역에 대한 토지이용상황을 파악한다는 것은 결코 쉬운일이 아니다. 따라서 본 연구에서는 한반도 전역을 일시에 포함하는 NOAA/AVHRR자료를 이용하여 개략적인 토지이용상황을 파악하였다. 그에 대한 처리과정은 신사철 외(1996)를 참고로 할 수 있으므로 자세한 기술은 피하고 결과를 중심으로 기술하고자 한다.

NOAA/AVHRR자료는 대단히 넓은 범위를 대상으로 하기 때문에 자세한 분류에는 한계가 있으나 한반도 전역과 같은 광범위한 지역을 대상으로 할 때 대단히 유용하게 이용될 수 있다. 또한 본 분류방법에서는 인공위성자료만을 이용하고 있어 북한지역과 같이 다른 지상정보의 획득이 어려운 경우에 있어 특히 유효하다. 보다 자세한 분류를 목표로 하는 경우에 있어서는 자신의 용도에 부합되는 해상도를 갖는 인공위성자료를 이용함으로써 해결될 수 있을 것이다. 한반도 전역에 대하여 피복분류를 수행한 결과 중 5대강 유역의 식생피복 분류상황을 Table 1에 나타내었다.

Table 1에서도 알 수 있듯이 낙엽수림의 비

Table 1. Classification of vegetation cover for major river basins

River basin	No. of total pixels	urban	paddy	deciduous	evergreen	etc.
Han	22,072 (100%)	324 (1.47)	1,545 (7.00%)	18,545 (84.02%)	1,658 (7.51%)	0 (0.00%)
Nakdong	19,212 (100%)	88 (0.46%)	2,104 (10.95%)	15,299 (79.63%)	1,690 (8.80%)	31 (0.16%)
Keum	8,313 (100%)	7 (0.08%)	1,881 (22.63%)	5,985 (72.00%)	410 (4.93%)	30 (0.36%)
Youngsan	2,458 (100%)	9 (0.37%)	767 (31.20%)	1,141 (46.42%)	536 (21.81%)	5 (0.20%)
Sumjin	4,070 (100%)	0 (0.00%)	159 (3.91%)	2,575 (63.27%)	1,306 (32.09%)	30 (0.74%)

Table 2. Regional constant for estimating net radiation

River basin	a	b
Han	0.136	0.570
Nakdong	0.216	0.425
Keum	0.144	0.568
Youngsan	0.165	0.596
Sumjin	0.189	0.572

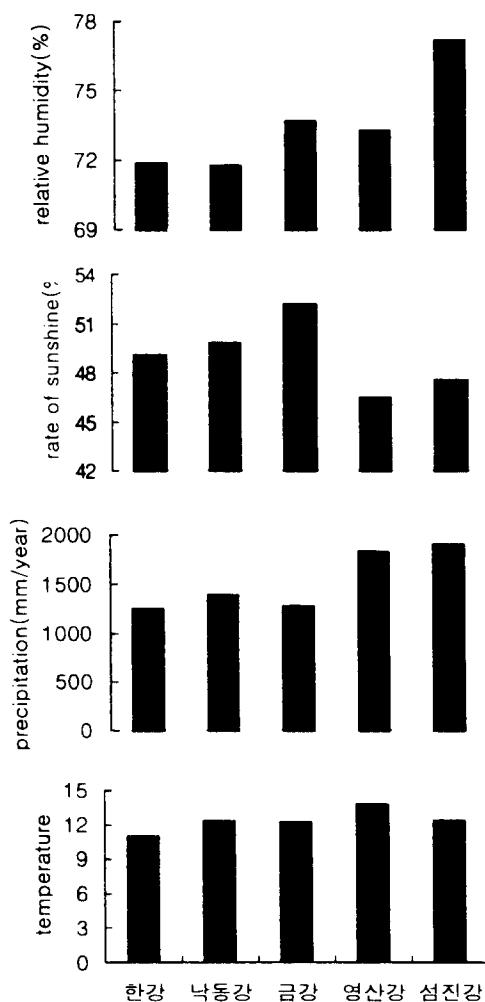


Fig. 1. Meteorology in 1989.

율이 대단히 높게 나타나 있다. 이것은 실제의 토지이용상황이 본 연구에서 대상으로 하고 있는 항목이외에 밭, 과수원, 초원 등으로 복잡하게 형성되어 있으나 본 연구에서는 식생 지역을 논과 삼림만으로 분류하고 있기 때문

에 그 이외의 식생지역이 낙엽수림으로 분류되어 있을 가능성성이 있기 때문이다. 이는 NOAA 위성자료의 해상도가 그 원인으로 자세한 분류의 한계성을 나타내 주는 것이라 할 수 있을 것이다. 그러나 현재의 論議 대상과 같이 광역면을 대상으로 하는 경우에 있어서는 기초자료로서의 활용이 가능하리라 생각된다.

또한 식(2)의 NPP 추정을 위해서는 일사량 산정이 필요하며, 이중 지구표면의 수평면이 받는 일사량은 태양에너지 중에서 가장 많이 이용되는 양이다. 지구표면에서의 일사량을 추정하고자 할 때, 구름 혹은 대기의 영향을 이론적으로 추정하는 많은 경험식은 월평균 일조시간과 월평균 可照時間과의 비로 표현되는 일조율을 변수로 하는 일차식으로 표현된다.

$$\frac{I}{I_0} = a + b \frac{n}{N} \quad (6)$$

지구상의 어느 한 점에서 받는 방사량(I)은 대기외일사량(I_0)과 가조시간(N)에 대한 실제 일조시간(n)의 비에 의해 결정된다. 5대강 유역에서 관측된 1989년의 월평균일사량과 일조시간을 이용하여 I/I_0 와 n/N 과의 관계로부터 지역 상수 a, b 를 산정하였으며 그 결과는 Table 2와 같다. 또한 NPP계산에 필요로하는 각 유역의 기후특성을 Fig. 1에 표시하였다.

그러나 본 연구에서 NOAA/AVHRR자료로부터 분류한 항목과 清野와 內鳴에 의한 생산능력이 있는 피복으로 선정된 항목과는 차이가 있으므로 다음 4개의 항목을 대상으로 생산효율을 정하였다.

- ① 상록수 $E_1=1.0$
- ② 낙엽수 $E_2=0.95$
- ③ 논 $E_3=0.81$
- ④ 기타 $E_4=0.625$

여기서 낙엽수의 생산효율을 0.95로 정한 것은 앞에서도 언급한 바와 같이 낙엽수림으로 분류된 항목을 순수한 낙엽수만으로 보기 어렵기 때문에 1보다 약간 적은 값을 취한 것이다. 계산된 NPP와 TNP를 Table 3에 표시하였다. 우리나라 5대강 유역의 1989년 방사선조도(RDI)는 약 0.41~0.53정도로 삼림지역에 해당됨을 알 수 있다. 유역별로 보면 금강이 0.53으로 가장 크며 영산강 및 섬진강이 가장 낮은 값을 보이고 있다. 이로부터 영산강 및 섬진강에

Table 3. Estimated NPP and TNP for major river basins

River basin	RDI	NPP (tDW/km ² /year)	TNP(MtDW/km ² /year)				
			evergreen	deciduous	paddy	etc.	total
Han	0.48	981.80	1.93	20.55	1.46	0.24	24.18
Nakdong	0.46	1054.85	2.21	19.03	2.23	0.08	23.56
Keum	0.53	1078.72	0.53	7.29	1.95	0.03	9.80
Youngsan	0.41	1226.26	0.75	1.51	0.87	0.01	3.14
Sumjin	0.42	1309.01	2.06	3.85	0.20	0.03	6.14

서의 하천유출이 상대적으로 많을 것으로 예상할 수 있다. NPP의 경우 방사선조도가 가장 큰 금강에서 가장 적을 것으로 예상되었으나 순방사량의 차이에 의해 한강에서 가장 적은 NPP를 보이고 있다. 그러나 면적이 가장 넓은 한강유역에서의 TNP가 가장 많은 부분을 차지하고 있다.

3.2 인공위성자료를 이용한 순일차 생산량의 추정

3.2.1 NDVI와 iNDVI

식생상태는 그 자체가 인류에 있어 관심의 대상이 되지만, 기후변동과의 관계에서 식물의 물수지·열수지에의 영향, 또한 장기간으로는 광합성활동을 통한 대기중 CO_2 농도의 조절 등의 관점에서도 중요한 관심의 대상이 된다. 광역면에서의 식생상태를 파악하기 위해서는 주기적으로 광역면을 관측하는 인공위성의 활용은 대단히 유요하다. 인공위성은 광범위한 지역을 주기적으로 반복관측함에 적합하며 여러 종류의 센서가 탑재되어 다양한 관측이 이루어지고 있다.

식생의 활성도는 가시역과 근적외역의 파장 대에 의해 잘 검출되며 이러한 특성을 이용한 식생지표 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)가 널리 이용되고 있다.(e.g., Justice et al., 1985; Tucker et al., 1985a, b; Townshend와 Justice, 1986; Benedetti et al., 1994). NDVI는 다음과 같이 정의된다.

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (7)$$

여기서, *NIR*은 근적외밴드의 스펙트럼반사이며, *Red*는 적밴드의 스펙트럼반사이다. 식물의 잎에 포함되어 있는 클로로필은 가시역 파장

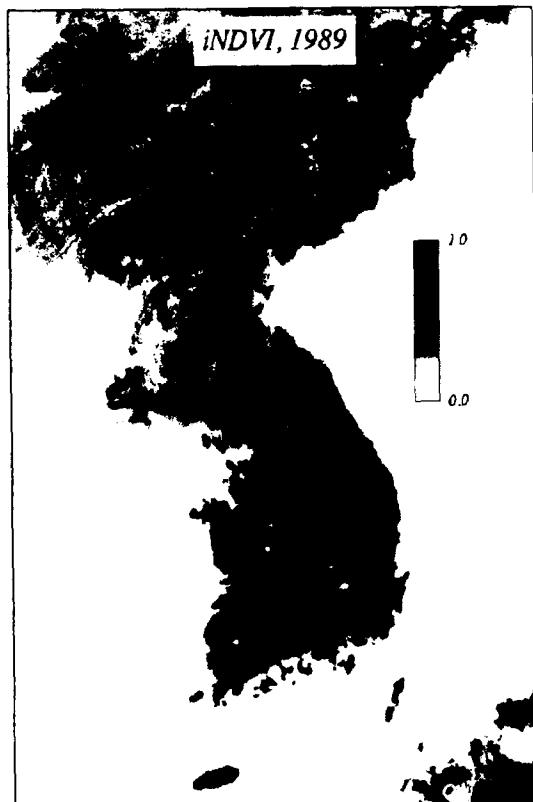


Fig. 2. iNDVI distribution (1989).

대를 강하게 흡수하여 그 결과로서 적밴드에서의 반사율은 낮아진다. 또한 근적외역에서의 반사율은 상당히 높다. 따라서, 적밴드에서의 강한 흡수와 근적외밴드에서의 강한 반사를 갖는 특수성 때문에 가시 및 근적외영역이 식생조사에 이용된다.

광역면의 개략적인 식생상태를 파악하기 위해서는 NOAA위성에 탑재되어 있는 AVHRR센서가 유효하다. NOAA/AVHRR자료를 이용할

Table 4. Estimated NPP and correction factor

River basin	TNP((MtDW/km ² /year)) empirical(Seino)	from iNDVI	ϵ	error(%)
deciduous	52.23	49.92	2242.82	4.42
evergreen	7.48	7.40	2630.96	1.07
paddy	6.71	5.73	2519.86	14.60
etc	0.39	0.38	4039.10	2.56
total	66.82	63.43		5.07

경우 NDVI는 다음 식으로 정의된다.

$$NDVI = \frac{Ch. 2 - Ch. 1}{Ch. 2 + Ch. 1} \quad (8)$$

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

또한, 어느 일정기간 사이의 NDVI총량을 정량적으로 표현하기 위하여 iNDVI(integrated NDVI)가 이용된다.

$$iNDVI = \frac{\sum (NDVI_j \times d_j)}{\sum d_j} \quad (9)$$

여기서, $NDVI_j$ 는 j 번째의 NDVI이며 d_j 는 $NDVI_j$ 에 대응하는 관측일수이다.

Rasmussen(1992)은 이 iNDVI와 수수의 수확량 사이에 선형관계가 성립함을 보고한 바 있다. 1989년의 우리나라 iNDVI 분포를 Fig. 2에 나타내었다. 피복상황의 차이로 인한 iNDVI의 분포가 용이하게 파악됨을 알 수 있다. 서울과 평양 등 도시지역에서는 iNDVI가 대단히 낮아 0.0에 가까운 값을 표시하고 있으며 산지 및 삼림지역에서는 대단히 높은 값을 표시하고 있어 생산성이 높음을 알 수 있다. 이를 통하여 iNDVI가 그 토지의 식생생산량과 상관관계가 있다는 것을 알 수 있다.

3.2.2 iNDVI에 대한 순일차 생산량 추정

iNDVI와 그 토지의 식물 생산량과의 사이에서 선형관계가 성립하며 NPP는 식물의 종류에 의해 변화한다. 따라서 각 항목에 있어서의 TNP와 각 화소에서의 항목별 면적 그리고 iNDVI가 입력으로 사용되어질 때 다음과 같은 식이 성립한다고 생각할 수 있다.

$$TNP_j = \epsilon_j \times \sum A_j \times iNDVI \quad (10)$$

여기서, TNP_j 는 j 번째 항목의 TNP이며 ϵ_j 는 j 번째 항목의 보정값, A_j 는 j 번째 항목의 화소면적이다. 이 식을 각 항목별로 계산하여 최소자승법에 의해 보정값 ϵ_j 를 구할 수 있다.



Fig. 3. NPP(Net Primary Production) distribution (1989).

NPP는 각 항목별의 값을 갖고 있으며 iNDVI는 그 NPP와 상관관계가 성립한다. 따라서 iNDVI를 단위면적당의 양으로 하면 iNDVI에 그 면적과 보정값을 곱함으로써 NPP의 평가가 가능하다. 그러나 iNDVI는 표면의 정보만을 이용하여 얻어지는 값이므로 iNDVI가 동일한 값이라 하더라도 피복상황에 의해 NPP는 다른 값을 취하게 된다. 따라서 피복상황에 따른 NPP의 차 이를 보정하기 위하여 각 항목별로 보정값 ϵ_j 를 구하였으며 이것을 Table 4에 나타내었다.

항목별 오차를 보면 상당히 높은 정확도로 iNDVI를 이용하여 NPP를 산정할 수 있음을 알 수 있다. 그러나 논의 경우에 오차가 상대적으로 크게 나타나고 있음을 알 수 있다. 그것은 논의 도시근방에 분산 분포하고 있어 하나의 화소에 도시지역에 해당되는 부분이 혼합됨으

로써 $iNDVI$ 가 실제값보다 낮은 값을 나타내는 화소가 많이 존재하게 되며 그 결과로서 본래의 NPP보다 낮게 추정되고 있을 것으로 생각된다. 도시의 경우 4개의 항목이 하나의 화소에 혼합되어 존재하는 경우가 많으며 이 경우 $iNDVI$ 는 본래의 값과 차이가 생기게 된다. 그러나 전 항목의 합계치를 비교해 보면 약 5% 정도의 오차로 $iNDVI$ 로부터 NPP의 추정이 가능하다. 따라서, 여기서 얻어진 ϵ_i 를 이용하여 5대강 유역 이외의 지역에 확장 적용함으로써 Fig. 3과 같은 한반도 전역에 대한 NPP의 분포가 파악된다.

4. 결 론

본 연구에서는 1989년의 인공위성 자료를 이용하여 NDVI를 계산한 후 년간의 평균치인 $iNDVI$ 로부터 NPP를 추정하는 방법에 대한 고찰을 수행하였다. 그 결과 약 5%정도의 오차로 $iNDVI$ 로부터 NPP분포의 추정이 가능함을 알 수 있었다. 또한 한반도는 식물 생체량을 이용한다는 측면에서 상대적으로 유리한 여건을 갖고 있다. 1989년의 자료를 이용하였으므로 현 시점에서의 피복 및 토지이용 상태 등 환경요소의 약간의 변화를 예상할 수 있으나 1년간의 양으로 표현되기 때문에 그다지 큰 변화는 없을 것으로 생각된다.

본 연구에서 참값으로 이용된 清野의 방법은 일본에서 개발된 경험식이나 다른 여러 방법에 의한 결과와 비교해 본 결과를 볼 때 대단히 타당성이 있는 것으로 보인다. 그러나 좀 더 정확한 분석을 위해서는 추후 국내 식생조전에 대한 검증 및 여러각도에서의 연구가 필요할 것이다. 서론에서도 기술한 바와 같이 NPP는 식물의 총생산량으로부터 호흡에 의한 소비량을 뺀 양이다. 따라서 식물의 NPP와 호흡에 의한 CO_2 흡수량, 증발산량과의 사이에는 어떠한 관계가 성립함을 알 수 있다. NPP와 호흡량과의 관계를 정량적으로 평가함으로써 식물에 의한 탄소순환과 수문순환을 정량적으로 평가하기 위한 자료를 제공할 수 있으리라 보인다. 또한 NPP는 농업 및 기타 여러 분야에서 넓게 응용될 수 있다.

참 고 문 헌

신사철, 최윤수, 안기원, 1996, NDVI를 이용

한 한반도의 피복분류, 대한토목학회논문집, 16(III-2), pp.139-146.

清野 割, 内鳴善兵衛, 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, 41, pp.139-144.

Benedetti, R., Rossini, P., and Taddei, R., 1994, Vegetation classification in the Middle Mediterranean area by satellite data, Int. J. Remote Sens., 15, pp. 583-596.

Box, E.O., and Bai, X.M., 1993, A satellite-based world map of current terrestrial net primary productivity, Seiken Kenkyu, 45(9), pp.666-672.

Box, E.O., Holben, B.N., and Kalb, V., 1989, Accuracy of the AVHRR vegetation index as a predictor of biomass, primary productivity and net CO_2 flux, Vegetation, 80, pp.70-89.

Chang, J.H., 1970, Global distribution of net radiation, Ann. Assn. Amer. geogr., 60, pp.340-351.

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., 8, pp.1271-1318.

Rasmussen, M. J., 1992, Assessment of millet yields and production in northern Burkina Faso using integrated NDVI from the AVHRR, Int. J. Remote Sens., 13, pp. 3431-3442.

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., 7, pp. 1435-1446.

Tucker, C.J., Vanpraet, C.L., Sharman, M. J., and Van Ittersum, G., 1985a, Satellite remotesensing of total herbaceous biomass production in the Senegalese Sahel : 1980-1984, Remote Sens. Environ., 17, pp. 233-249.

신사철·유철상

- Tucker, C.J., Townshend, J.R.G., and Goff, T.E., 1985b, African land-cover classification using satellite data, *Science*, 227, pp. 369-375.
- Uchijima, Z., and H. Seino, 1985, Agro-climatic evaluating of net primary production of natural vegetation. (1) Chikugo model for evaluating net primary productivity, *J. Agric. Met.*, 40, pp. 390-398.