

LiDAR를 활용한 국토환경성평가지도 산림부문 신규 평가항목의 도입 가능성 평가

전성우¹⁾ · 홍현정¹⁾ · 이종수¹⁾ · 이우균²⁾ · 성현찬³⁾

¹⁾ 한국환경정책·평가연구원 · ²⁾ 고려대학교 환경생태공학부 · ³⁾ 경기개발연구원

Introduction of the New Evaluation Criteria in the Forest Sector of Environmental Conservation Value Map Using LiDAR

Jeon, Seong-Woo¹⁾ · Hong, Hyun-Jung¹⁾ · Lee, Chong-Soo¹⁾
Lee, Woo-Kyun²⁾ and Sung, Hyun-Chan³⁾

¹⁾ Korea Environment Institute,

²⁾ Department of Environmental Science & Ecological Engineering, Korea University,

³⁾ Gyeonggi Research Institute.

ABSTRACT

Environmental Conservation Value Assessment Map (ECVAM) is the class map to divide the national land into conservation areas and development areas based on legal and ecological assessment criteria. It contributes to enhancements of the efficiency and the scientificity when framing a policy in various fields including the environment. However, it is impossible to understand the multiphase vegetation structure as data on judging the national forest class in ECVAM are restricted to areal information of Ecological Nature Status, Degree of Green Naturality and Forest Map. This point drops the reliability of ECVAM. Therefore we constructed vegetation information using LiDAR (Light Detection And Raging) technology. We generated Biomass Class Maps as final results of this study, to introduce the new forest assessment criterion in ECVAM that alternates or makes up for existing forest assessment criteria. And then, we compared these with Forest Map and Landsat TM NDVI image. As a result, biomass classes are generally higher than stand age classes and DBH classes of Vegetation Map, and lower than NDVI of Landsat TM image because of the difference of time on data

Corresponding author : Hong, Hyun-Jung, Korea Environment Institute, 613-2 Bulgwang-Dong, Eunpyeong-Gu, 122-706, Korea

Tel : +82-2-380-7764, E-mail : hjhong@kei.re.kr

Received : 6 June, 2007. **Accepted** : 7 September, 2007.

construction. However distributions between these classes are mostly similar. Therefore we estimates that it is possible to apply the biomass item to the new forest assessment criterion of ECVAM. The introduction of the biomass in ECVAM makes it useful to detect the vegetation succession, to adjust the class of the changed zone since the production of Vegetation Map and to rectify the class error of Vegetation Map because variations on tree heights, forest area, gaps between trees, vegetation vitality and so on are acquired as interim findings in process of computing biomass.

Key Words : *Environmental Conservation Value Assessment Map(ECVAM), LiDAR, Biomass, Vegetation Map, NDVI.*

I. 서 론

1970년대 경제성과 효율성의 극대화에 초점을 맞춘 국토계획·토지이용으로, 국토보전 및 관리 수단이 체계적으로 정립되지 못하여 사회갈등이 빈번히 발생하여 왔다. 이에 따라 국토이용 및 관리를 차별화할 수 있는 사전 예방적·친환경적 국토관리 정책의 필요성이 대두되면서 국토환경성평가지도가 제작되었다. 국토환경성평가지도는 국토의 친환경적이며 계획적인 보전·개발·이용을 목적으로 법적·환경생태적 평가항목을 정립, 환경적 가치를 종합적으로 중첩분석하여 국토 전반을 환경보존지와 개발유도가능지로 구획한 등급도이다. 환경성을 가장 잘 반영하고 있는 국토환경성평가지도는 국토 현황 파악 및 현실을 반영한 계획 수립 및 협의 기초 자료로 활용 가능하여 정책수립시 효율성·과학성을 향상시키는데 기여하고 있다.

그러나 국토환경성평가지도 환경생태 항목 중 산림평가 항목은 다음과 같은 문제점을 내포하고 있다. 첫째, 산림평가 항목의 등급 판단 자료는 현장조사 및 사진측량에 의거한 생태자연도, 녹지자연도, 임상도의 면적 정보로 제한되어 있어 식생구조를 다면적으로 파악할 수 없다. 둘째, 임상도의 경급, 영급, 소밀도 항목은 상충하는 부분이 많아 산림평가 항목으로서의 필요성이 재고되고 있는 실정이다. 셋째, 국내 대부분의 산림지역은 밀도가 높아 영급·경급이 낮다 하더라도 등

가중치, 최소지표법에 따라 고등급으로 산정되므로 국토환경성평가 등급의 신뢰도를 하락시킨다. 그러므로 기존 산림평가 항목을 보완할 수 있으며 식생구조를 다면적으로 파악할 수 있는 신규 기술 및 평가항목이 필요하다.

LiDAR(Light Detection and Ranging)는 항공기에 지상 측정 레이저를 부착하고 대상지를 스캐닝하여 고도를 측정하는 신기술로, 3차원 측정 및 자동화가 가능하여 단시간 내에 광범위한 자료를 획득할 수 있다. 그러므로 접근이 어려운 지형에 광범위하게 분포하고 있는 산림자원 관리시, 시간·정확도 측면에서 효과적이다. 이러한 점에 착안하여 국외의 경우, 과거부터 HighScan EU Project, FII Forest Research Project, ForestSAFE Project 등의 연구과제를 통해 LiDAR를 활용하여 산림자원을 관리하고 있다. Andersen 등(2002)과 Watt 등(2004)은 현장조사, 사진측량 및 LiDAR에서 추출한 산림정보 간의 정확도를 비교·분석하여 산림조사를 위한 LiDAR의 활용 가능성을 증명하였다. 이후 Persson 등(2004)은 LiDAR 자료를 활용하여 소규모 지역을 대상으로 수목의 수고, 수관면적을 추출, Holmgren과 Jonsson(2004)은 대규모 지역의 산림정보를 추출하는데 성공하였다. 최근 LiDAR 자료의 가시·집성화가 가능한 다양한 SW 및 알고리즘들이 개발 중에 있어 향후 LiDAR 자료로부터 보다 정확한 산림정보 추출이 가능하리라 예상된다.

본 연구의 목적은 국토환경성평가지도 산림

부문의 신규 평가항목 도입으로, 식생구조 정보를 다면적으로 획득하기 위해 LiDAR 기술을 활용하여 국토환경성평가지도의 기존 산림평가 항목을 보완할 수 있으며, 자연성(영급) 및 군집구조의 안정성(경급) 항목과 대체 가능한 항목을 도출하여 이의 활용 가능성을 평가하고자 한다.

II. 재료 및 방법

본 연구는 경기도 북동 산간지대의 국소지역(가평 일대)을 대상으로 LiDAR 기술을 도입하여 수고를 포함한 대상지의 각종 산림정보를 간접적으로 추출하고, 추출한 산림정보 중 Biomass/ha를 국토환경성평가지도의 신규 산림평가 항목으로 선정하여 이의 활용 가능성을 검토하고자 한다. 연구방법은 다음과 같다.

1. LiDAR 자료를 활용한 공간자료 구축

본 연구를 위해 고려대학교 측에서 제공받은 공간해상도 20±10cm의 LiDAR 원시자료(촬영시기 : 2004년 4월)로부터 대상지의 공간자료를 구축하였다.

산지를 측량한 LiDAR는 식생의 최상부에서 반사되는 High Vegetation Pulse, 식생 중층부에서 반사되는 Medium Vegetation Pulse, 식생 하단부에서 반사되는 Low Vegetation Pulse, 식생을 모두 통과하여 지표면에서 반사되는 Ground Pulse로 구분된다. Micro Office Access 및 ESRI

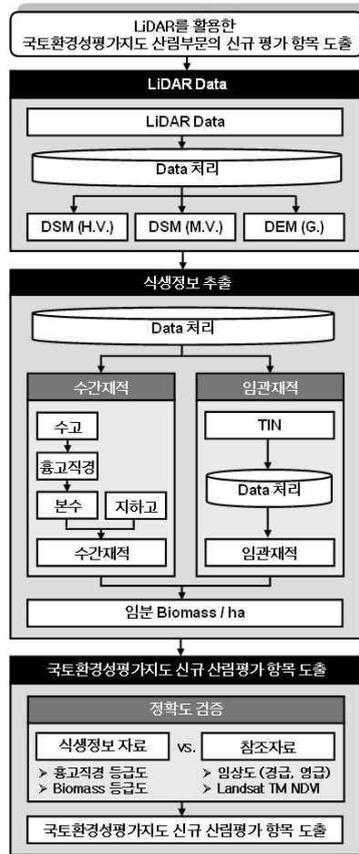


그림 1. 연구방법.

Arcview S/W를 이용하여 텍스트 포맷의 원시자료를 Pulse별로 분류하여 Shape 자료로 변환하였다. 산지의 경우, 해상도가 낮아지면 Grid Model이 완만해져 정확도가 떨어지므로, 적정 해상도를 0.3m로 설정하여 $DSM_{High\ Vegetation}$, $DSM_{Medium\ Vegetation}$, DEM_{Ground} 을 제작하였다.

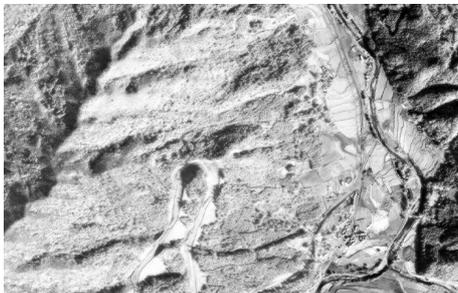


그림 2. 연구지역 개황도.



그림 3. LiDAR Point 자료.

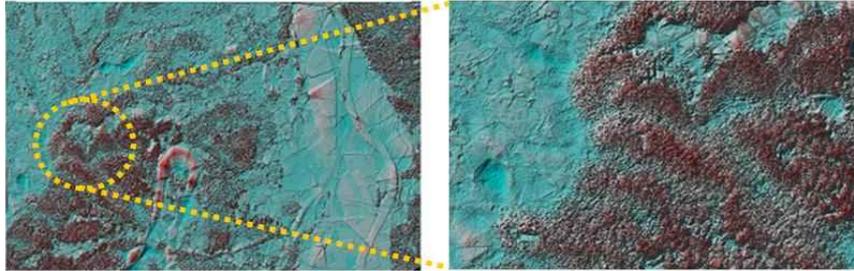


그림 4. CHM (Canopy Height Model).

2. LiDAR 자료를 활용한 산림정보 추출

1) 1차 산림정보(수고·지하고) 추출

DSM^{High Vegetation}과 DEM^{Ground}의 표고차로 수고 정보를 추출하기 위해, 이들 Grid를 중첩 연산하여 DSM^{High Vegetation-Ground}, 즉 CHM(Canopy Height Model)을 제작하였다. 임상도를 기준으로 연구 지역을 19개 Polygon으로 분할하여 각 Polygon에 해당하는 CHM의 평균 수고를 산출하였다.

LiDAR는 일반적으로 Large Footprint와 Small Footprint로 분류된다. Large Footprint 기기는 연속적으로 Pulse를 발사하여 반사되어 돌아오는 Pulse를 기록하므로 수관 및 지하고, 지표 고도까지 측정 가능하다. 그러나 국내에 도입된 Small Footprint 기기는 불연속적으로 Pulse를 발사하여 돌아오는 Pulse를 기록하므로, 사실상 지하고 정보를 추출하는데 무리가 따른다. 그러나 본 연구에서는 ‘Medium Vegetation Pulse가 지하고 주변에 밀집되어 있다’고 가정하고, DSM^{Medium Vegetation}과 DEM^{Ground}의 표고차로 DSM^{Medium Vegetation-Ground}를 제작하여 Polygon별 평균 지하고를 산출하였다.

2) 2차 산림정보(흉고직경) 추출

수고-흉고직경 함수식에 수종별 임분 수고 및 흉고직경 실측치를 입력하여 수종별 회귀계수를 산출하면, LiDAR 측량 자료로부터 수종별 흉고직경의 간접 추정이 가능하다. 고려대학교의 수고 및 흉고직경 실측치를 바탕으로 본 연구에서 선정한 수고-흉고직경 함수식에 적용하여 회귀계수를 산출, 이를 이용하여 Polygon별 평균 흉고

직경을 산출하였다.

흉고직경 산출시, 각 Polygon의 수종은 임상도의 임상 정보를 바탕으로 결정하였다. 연구지역은 잣나무림, 낙엽송림, 활엽수 혼효림으로 구성되어 있었으며, 함수식 적용을 위해 활엽수 혼효림 지대는 식생도를 참고하여 주요 수종을 확인하였다. 그러나 식생도는 3경급 이상인 지역에 한해 제작되므로, 식생도에서 주요 수종을 확인할 수 없는 활엽수 혼효림 지대는 국내 활엽수의 대표림인 참나무로 가정하여 흉고직경을 산출하였다.

3) 3차 산림정보(임분재적, Biomass) 추출

수간재적은 임분의 평균 지하고, 흉고직경, 본수 정보를 활용하여 산출 가능하다. 이우균 외(2000) 『강원도지방 소나무 동령임분의 최대 임목본수 및 고사모델』에서 추정된 계수($\alpha=163349.648$, $\beta=-1.611470$)를 Reineke 임목본수모델에 적용하여 Polygon별 임목본수를 산출하였다.

임목의 수간은 원주체로 간주하여 단목의 흉고직경을 원주체 밑면 지름으로, 임목의 지하고를 원주체 높이로 정의하고, 직경 감율(0.8)을 고려하여 단목 수간재적을 산출하였다. 여기에 임목본수를 곱하여 Polygon별 임분 수간재적을 산출하였다.

TIN은 삼각기둥으로 구성되므로 Polygon을 구성하고 있는 삼각기둥들의 부피의 합으로 임분재적이 산출 가능하다. 순수 임관고도를 추출하

표 1. LiDAR를 활용하여 추출한 산림정보.

ID	수고(m)	지하고(m)	흉고직경(cm)	임분재적(m ³ /ha)	Biomass(tdm/ha)
1	15.485901	4.185462	34.250978	23299.614451	27651.982431
2	14.886160	5.018227	26.773225	21105.344844	17760.147687
3	14.064820	4.707594	28.567728	19821.934650	13082.476869
4	14.000892	6.213244	28.449026	17407.246494	11488.782686
5	11.046005	5.233209	22.402995	13284.561472	11178.958479
6	11.076154	6.341948	22.434361	15440.467586	12993.153474
7	10.710887	6.096175	22.057288	11524.169512	9697.588645
8	12.077562	6.113122	23.501529	19048.080107	16028.959410
9	11.734147	6.110016	24.544212	16677.264307	11006.994443
10	10.945382	6.705700	22.403573	14457.945889	17158.690182
11	10.987099	3.549268	22.341838	30040.633906	25279.193432
12	12.535059	5.487466	25.858546	19721.527078	13016.207871
13	14.011950	5.499843	28.469523	21831.664957	14408.898872
14	14.070630	4.343753	30.006108	24674.357615	29283.527618
15	15.702153	4.156921	31.782652	24680.618827	16289.208425
16	14.551726	3.831719	31.386529	26407.008292	31339.837441
17	14.186634	6.145268	25.918056	12659.213745	10652.728366
18	14.477742	3.734423	26.270565	14060.332584	11831.769869
19	12.468277	4.542237	25.746314	19996.389574	13197.617119

기 위해, 식생 정단부인 $DSM_{High\ Vegetation}$ 과 수간부인 $DSM_{Medium\ Vegetation}$ 의 표고차로 임관부의 $DSM_{High\ Vegetation-Medium\ Vegetation}$ 을 제작, 이를 TIN으로 변환하여 Polygon별 임분 임관재적을 산출하였다. 임분은 수간과 임관으로 구성되므로, 본 연구에서는 이들의 합으로 Polygon별 임분재적을 산출하였다.

국토환경성평가지도는 전국을 대상으로 제작·구축되므로, 본 연구에서는 광범위한 지역의 총체적인 Biomass를 추정하는데 유용한 임분 Biomass 추정식을 적용하여 Biomass를 산출하였다. 임분 Biomass 추정식의 건중량과 변수 값은 수종에 따라 달라지므로, 임상도의 임항 정보를 바탕으로 단위면적(1ha)당 Biomass를 산출하였다.

3. 국토환경성평가지도 신규 산림평가 항목 도입 및 활용 가능성 평가

LiDAR로부터 추출한 산림정보가 기존 산림평

가 항목과 대체 가능한지 살펴보고자, 다음과 같이 검증자료를 구축, 이와 비교·분석하였다.

1) 임상도 기반의 Biomass 활용 가능성 평가
LiDAR 자료에서 최종적으로 추출한 Biomass가 기존 산림평가 항목과 대체 가능한지 살펴보고자, 제 3차 전국 산림조사(1986년-1992년) 자료를 바탕으로 제작된 산림청의 임상도를 확보하여 연구지역의 경급·영급을 추출, 이를 Biomass와 비교·분석하였다.

2) Landsat TM NDVI 기반의 Biomass 활용 가능성 평가

Biomass의 정확도 검증을 위한 참조자료로 NDVI를 선정, 이를 Biomass와 비교·분석하였다. 식생의 광합성 정도를 나타내는 식생지수(NDVI)는 위성영상의 Band 조합에 의해 생성될 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 1990년 04월 26일, 2001년 06월 03일에 촬영된 Path No.116

Row No.34의 Landsat TM 영상에서 연구지역을 추출하였다. IRS 영상과 Landsat TM 영상을 합성한 고해상도 칼라 영상을 참조로, Image to Image 방식으로 기하보정하여 공간해상도 30m급의 정사영상을 제작하였다. 정사보정된 Landsat TM 영상의 NIR Band와 VIS RED Band를 조합하여 NDVI 영상을 제작, 이를 Biomass와 비교·분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. LiDAR를 활용한 국토환경성평가지도 산림부문의 신규 평가항목 도입

1) LiDAR 자료로 구축한 산림정보의 정확성 검토

임상도는 제 3차 전국 산림조사 자료를 바탕으로 임상·경급·영급·수관밀도에 따라 산림을 구획한 지도로, 경급·영급·수관밀도는 국토환경성평가지도의 자연성 및 군집구조의 안정성 평가 항목으로 활용된다. 국토환경성평가지도의 신규 산림평가 항목을 도출하기에 앞서 LiDAR 자료로 추출한 식생정보의 정확성을 검토하고자 LiDAR 자료로 추정한 흉고직경에 임상도의 경급 구분 기준을 적용하여 연구지역의 식생을 4개 등급(치수, 소경림, 중경림, 대경림)으로 분류, 이를 임상도 경급과 비교·분석하였다.

1990년대 제작된 임상도의 낙후성으로 LiDAR 경급이 임상도 경급에 비해 한 등급 높게 산정되

는 지역이 다소 존재하나 경급 분포 경향이 매우 유사하므로, LiDAR 자료에서 추출한 식생정보로 산림의 간접평가가 가능할 것으로 사료된다.

2) 국토환경성평가지도 산림부문의 신규 평가항목 도입

이도형(2004)은 흉고직경과 지상부 임분 Biomass는 높은 정 상관관계가 있다는 연구결과를, Sprugel(1984), Ruark와 Bockheim(1988), Wang 등(1995), 이명중(1998)은 임령이 증가하면 지상부의 임분 Biomass가 상대적으로 증가한다는 연구결과를 발표한 바 있으며, 이와 같은 학설은 여러 연구를 통해 뒷받침 되고 있다. 이러한 연구결과에 따라, 본 연구에서는 임상도의 경급·영급을 대신할 수 있는 국토환경성평가지도의 신규 산림평가 항목으로 Biomass를 선정하였으며, 이의 활용 가능성을 검증하고자 한다. 이를 위해 Biomass의 최소·최대치를 기준으로 경급수와 동일하게 연구지역의 Biomass를 4개 등급으로 분류한 등급도 A와 영급수와 동일하게 6개 등급으로 분류한 등급도 B를 제작하였다. 양 등급도의 신뢰도 확보를 위하여, 등급도 A는 Equal Interval(E.I.), Quantile(Q.), Natural Break(N.B.), Equal Area(E.A.)의 통계 분류기법을, 등급도 B는 Standard Deviation(S.D.), Equal Interval, Quantile, Natural Break, Equal Area 통계 분류기법을 적용하였다.

서로 다른 분류기법을 적용한 Biomass 등급간

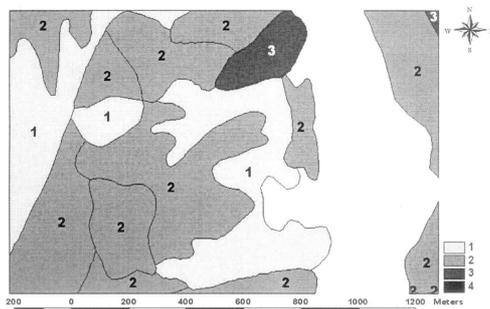


그림 5. 임상도 경급.

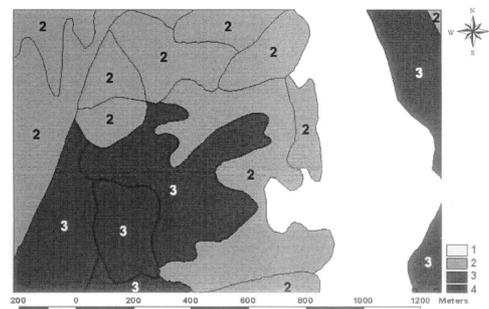


그림 6. LiDAR 경급.

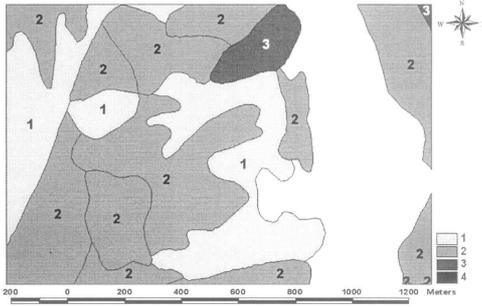


그림 7. 임상도 경급.

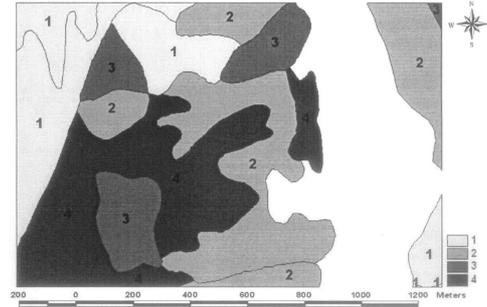


그림 8. Biomass 등급도(Natural Break).

의 비교·분석 결과, 등급도 A, B 모두 최대 (31339.84 tdm/ha) · 최소치(9697.59 tdm/ha) 차이로 Equal Interval 분류기법을 적용한 Biomass 등급은 타기법을 적용한 등급보다 상대적으로 낮게 산정되었으나, Biomass 등급간의 분포는 전체적으로 유사하였다.

2. 국토환경성평가지도 신규 산림평가 항목의 활용 가능성 평가

1) 임상도 경급 대체 항목으로서 Biomass의 활용 가능성 평가

국토환경성평가지도 군집구조의 안정성 항목으로서 Biomass의 활용 가능성을 평가하고자, 임상도 경급과 등급도 A를 비교·분석한 결과, 임상도 구축 시기가 오래되었고, Biomass 등급도는 임상도 경급처럼 전국 산림을 대상으로 명확한 기준을 정립하여 등급을 설정한 것이 아니라 국소지역의 Biomass 통계 분포를 바탕으로 분류하였기 때문에 임상도 경급과 Biomass 등급은 1-2 등급 정도의 차가 발생하였다. 그러나 소수 Polygon을 제외하고, 임상도의 경급이 높으면 Biomass 등급이 높게 산정되는 등 두 항목은 양(+)의 상관성을 보였다.

2) 임상도 영급 대체 항목으로서 Biomass 항목의 활용 가능성 평가

국토환경성평가지도 자연성 항목으로서 Biomass의 활용 가능성을 평가하기 위해, 임상도 영

표 2. 임상도 경급 및 분류 방법별 LiDAR Biomass/ha 등급.

ID	임상도		LiDAR			
	경급	영급	Biomass (E.I.)	Biomass (Q.)	Biomass (N.B.)	Biomass (E.A.)
1	3	3	4	4	4	3
2	3	2	2	3	3	3
3	2	3	1	2	2	2
4	2	3	1	1	1	1
5	2	2	1	1	1	1
6	2	2	1	2	2	1
7	1	2	1	1	1	1
8	3	2	2	3	3	3
9	2	2	1	1	1	1
10	2	2	2	3	3	3
11	2	2	3	4	4	3
12	1	2	1	2	2	2
13	1	2	1	3	2	3
14	2	3	4	4	4	4
15	2	3	2	3	3	3
16	2	3	4	4	4	4
17	2	2	1	1	1	1
18	2	2	1	2	1	1
19	2	2	1	2	2	3

급과 Biomass 등급도 B를 비교·분석한 결과, 임상도 영급 역시, Biomass 구축시기와 10년 이상 차이가 나고 국소지역의 임분만을 대상으로 등급을 설정하여, 영급과 Biomass 등급은 1-4등급 정도 차가 발생하였다. 그러나 소수 Polygon

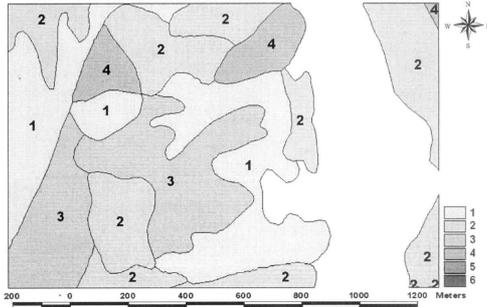


그림 9. 임상도 영급.

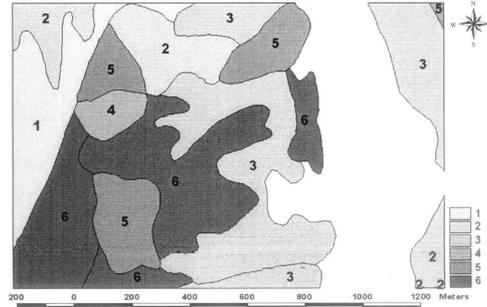


그림 10. Biomass 등급도(Natural Break).

을 제외하고는 임상도 영급과 Biomass 등급간의 분포는 매우 유사한 경향을 보였다.

연구지역의 좌측 중·하단에 위치한 Polygon (ID 1, 11-16, 19)의 Biomass 등급은 임상도 영급에 비해 모두 과다 산정되었으며, 이의 원인은 식생지수를 통해 규명하였다.

표 3. 임상도 경급 및 분류 방법별 LiDAR Biomass/ha 등급.

ID	임상도	LiDAR				
	영급	Biomass (S.D.)	Biomass (E.I.)	Biomass (Q.)	Biomass (N.B.)	Biomass (E.A.)
1	3	5	5	6	6	5
2	4	4	3	5	5	5
3	2	2	1	3	3	3
4	2	2	1	2	2	2
5	2	2	1	1	2	2
6	2	2	1	2	3	2
7	1	1	1	1	1	1
8	4	2	1	4	5	4
9	2	2	1	1	2	1
10	4	4	3	5	5	4
11	2	5	5	5	6	5
12	1	2	1	3	3	3
13	1	1	2	4	4	4
14	3	5	6	6	6	6
15	2	2	2	4	5	4
16	2	6	6	6	6	6
17	2	2	1	1	2	2
18	2	2	1	2	2	2
19	2	2	1	3	3	4

3) Landsat TM NDVI를 활용한 Biomass 항목의 활용 가능성 평가

식생의 광합성 정도를 나타내는 식생지수(NDVI)는 위성영상의 Band 조합에 의해 생성될 수 있다. 본 연구에서는 LiDAR 자료로 추출한 Biomass 등급 검증을 위해, Landsat TM 영상의 NIR Band와 VIS RED Band를 조합하여 NDVI 영상을 제작하였다.

NDVI 영상에서 Cyan 색상 지대는 물, 눈, 암석, 토양으로 구성된 비식생 지대를, Blue 색상 지대는 수목이 존재하여 광합성이 발생하는 지대를 의미하며, 색상 강도가 진할수록 식생의 광합성 상태가 왕성하다. 1990년 및 2001년 NDVI 영상 간의 시계열 분석 결과, 10년 사이 연구지역의 식생지는 급격히 증가하였으며, 활력도 역시 증가하였다. 임상도의 제작시기가 10여년이 지난 현재, 개발·훼손지 및 식생 생장에 따른 경급·영급·소밀도의 등급 변화지가 상당수 존재하는 것으로 사료된다.

2001년 NDVI 영상의 해상도를 Biomass 등급도와 동일 해상도(30cm)로 보간하여 등급도와 영상 간의 비교·분석 결과, 4월에 촬영된 LiDAR 자료는 6월에 촬영된 Landsat 영상과 달리 식생의 잎이 완전히 나기 전 촬영 자료여서, 전체적으로 NDVI에 비해 Biomass 등급이 낮게 산정되었으나 일부 Polygon을 제외한 나머지 Polygon의 경우, Biomass와 NDVI는 유사한 경향을 보였다. 또한 임상도 경급·영급에 비해

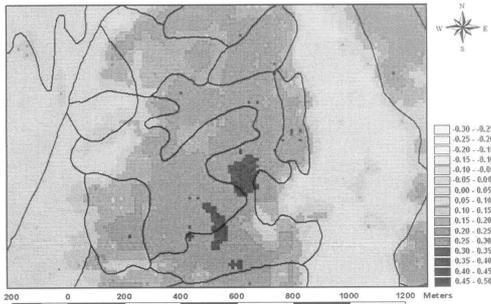


그림 11. 1990년 04월 26일 NDVI 영상.

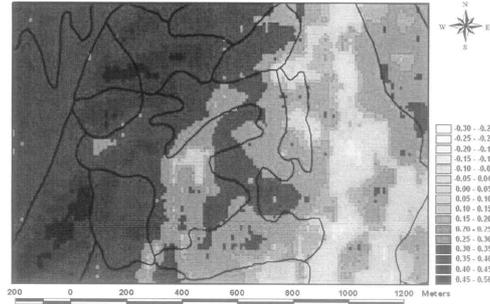


그림 12. 2001년 06월 03일 NDVI 영상.

Biomass 등급이 과대 산정되었던 Polygon(ID 1, 11-16, 19)의 경우, NDVI 영상에서 식생 활력도가 높게 나타나고 있음을 확인할 수 있었다.

LiDAR와 Landsat 영상의 촬영시기 차를 감안 하더라도 일부 Polygon의 경우, Biomass 등급도와 NDVI 영상간에 뚜렷한 차가 발생하였다. 이의 원인은 다음과 같이 사료된다. 첫째, 임상도의 경계 정확도 문제이다. 임상도 구축자는 실제 식생이 전이되고 있다 하더라도 반드시 분리된 경계를 설정해야 하며, 경계 정확도는 구축자의 주관적 판단과 항공사진의 축척, 촬영 계절, 필름 종류에 따라 달라진다. 본 연구에서는 흉고직경과 Biomass 산출을 위해 임상도에 의거하여 Polygon 별 수종을 결정하였으며 이에 따라 Biomass와 NDVI 간의 차가 발생한 것으로 사료된다. 둘째, 국소지역을 대상으로 NDVI 영상의 공간해상도를 Biomass 등급도에 맞춰 동일하게 보간하였다 하더라도, 원 해상도가 30cm인 LiDAR에서 추출한 정보와 원 해상도가 30m인 Landsat 영상에서 추출한 정보는 정확도면에서 상당한 차가 발생한 것으로 사료된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 LiDAR 자료로부터 획득된 수고정보를 함수식에 적용하여 식생정보를 간접적으로 구축하였으며, 단위면적(1ha)당 Biomass 등급도를 작성, 임상도 및 NDVI 영상과 비교·분

석하여 국토환경성평가지도 신규 산림평가 항목으로서 Biomass의 활용 가능성을 평가하였다.

90년대 제작된 임상도의 낙후성으로 Biomass 등급이 임상도 등급·영급에 비해 대부분 1-2 등급 높게 산정되었으나, 임상도 등급·영급이 높은 지역의 Biomass 등급이 높게 산정, 등급·영급이 낮은 지역의 Biomass 등급은 낮게 산정되는 등 임상도와 Biomass 등급도는 양(+) 상관관계를 보였다. LiDAR 촬영시기는 식생의 잎이 완전히 나기 전으로 Biomass 등급도와 Landsat TM NDVI 영상 간의 비교·분석 결과, Biomass 등급이 NDVI에 비해 전체적으로 낮게 산정되었으나, Biomass와 NDVI의 분포 역시 대부분 유사한 경향을 보였다.

본 연구결과, Biomass 정보는 식생구조뿐만 아니라 식생 활력 정보를 대표할 수 있어 식생구조의 다면적 평가가 가능하고, 기존 산림평가 항목들과 대체 가능하여 기존 산림평가 항목 수를 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 향후 LiDAR의 지속적인 촬영을 통해 Biomass 정보가 축적되면, Biomass 변화량 중간 산출물로 입목 간의 Gap 변화량, 수고 변화량, 산림면적 변화량 등이 추출 가능하므로, 임상도 제작 시점 이후의 변화 지역이나 임상도가 가지고 있는 오류를 조정할 수 있어 Biomass 항목은 등급 조정을 위한 수단으로 유용하게 활용되리라 사료된다. 그러나 LiDAR 측량 비용이 막대하여 현재까지 전국을 대상으로 측량이 시행된 바 없고, 전국자료를 구축하였다

라도 측량 결과의 등급화 및 가치 판단에 어려움이 있어 LiDAR로 추출한 Biomass 정보를 지금 당장 국토환경성평가지도에 활용하기에 무리가 따를 것으로 예상된다. 그러나 지역 개발 및 도시 관리와 같이 지역 차원의 보전·개발·관리 계획 수립을 위해 대축척 국토환경성평가지도의 구축이 필요한 신도시 개발 지역의 경우, LiDAR로 산출한 Biomass 정보는 대축척 국토환경성평가지도 구축시 산림평가 항목으로 적용 가능할 것으로 판단된다.

현 국토환경성평가지도 산림평가 항목으로서 Biomass의 적용 가능성을 보다 향상시키기 위해, 다음과 같은 작업이 필요하다. 본격적인 연구에 앞서 연구범위를 순수, 농경, 도심 산림지로 확대·분류하고 계절별로 LiDAR 촬영을 수행하여, 지역과 시기적 특성에 따른 다양한 DB를 우선적으로 구축하여야 한다. 이를 기반으로, 향후 최종 산출된 Biomass 항목의 등급화 기준 정립에 관한 지속적인 연구 및 현장조사를 통한 검증 작업이 수반된다면 Biomass 항목은 현 국토환경성평가지도의 산림평가 항목으로서 활용 가능하리라 사료된다.

인 용 문 헌

- 곽두안·이우균·손민호. 2005. 개체목 및 임분 조사를 위한 LiDAR 응용에 관한 연구. 한국임학회지 94(6) : 431-440.
- 우충식. 2006. LiDAR 데이터를 이용한 산림지역의 지형고도자료(DEM) 제작 및 수고 추정. 인하대학교 대학원 석사학위논문.
- 이도형. 2004. 흉고직경과 수고에 의한 소나무(*Pinus densiflora* S. et Z.)의 지상부와 지하부 생체량 추정. 한국임학회지 93(3) : 242-250.
- 이명중. 1998. 강원도 지방 잣나무 인공림의 임령 변화에 따른 지상부 현존량과 양분축적. 한국임학회지 87(2) : 276-285.
- Å. Persson, J. Holmgren, U. Söderman and H. Olsson. 2004. Tree Species Classification of Individual Trees in Sweden by Combining High Resolution Laser Data with High Resolution Near-Infrared Digital Images. Proceeding of International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 36(8/W2) : 204-207.
- Hans-Erik Andersen, Stephen E. Reutebuch and Gerard F. Schreuder. 2002. Bayesian Object Recognition for the Analysis of Complex Forest Scenes in Airborne Laser Scanner Data. Proceeding of International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 36(3A) : 35-41.
- J. Holmgren and T. Jonsson. 2004. Large Scale Airborne Laser Scanning of Forest Resources in Sweden. Proceeding of International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 36(8/W2) : 157-160.
- P. J. Watt, D. N. M. Donoghue, K. B. McManus and R. W. Dunford. 2004. Predicting Forest Height From IKONOS, Landsat and LiDAR Imagery. Proceeding of International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 36(8/W2) : 228-231.
- Reineke L. H. 1993. Perfecting a Stand Density Index for Even Aged Forest. Journal of Agric, 46 : 627-638.
- Ruark, G. A., and J. G. Bockheim. 1988. Biomass, Net Primary Production, and Nutrient Distribution for an Age Sequence of *Populus Tremuloides* Ecosystems. Can. J. For. Res, 18 : 435-443.
- Sprugel D. G. 1984. Density, Biomass, Productivity, and Nutrient-Cycling Changes During Stand

- Development in Wave-Regenerated Balsam Fir Forests. *Ecological Monographs*, 54(2) : 165-184.
- Wang, J., A. Zhong., P. Comeau., M. Tsze and J. Kimmins. 1995. Aboveground Biomass and Nutrient Accumulation in an Age Sequence of Aspen(*Populus Tremuloides*) Stands in the Boreal White and Black Spruce Zone. British Columbia. *For. Ecol. Manage*, 78 : 127-138.