

# 항공 라이다 자료를 이용한 영역 기반 차폐율 지도 제작 Region-based Canopy Cover Mapping Using Airborne Lidar Data

김용민\* · 어양담\*\* · 전민철\*\*\* · 김형태\*\*\*\* · 김창재\*\*\*\*\*

Kim, Yong Min · Eo, Yang Dam · Jeon, Min Cheol · Kim, Hyung Tae · Kim, Chang Jae

## 要 旨

본 연구는 항공 라이다 자료를 이용하여 영역 기반 차폐율 지도를 제작하는데 목적이 있다. 영역 기반 차폐율을 산정하기 위하여 대표적인 영역 분할 기법인 유역 분할(Watershed) 기법을 라이다 자료의 고도값에 적용하였으며, 추출된 영역들을 기반으로 차폐율을 산정하였다. 포인트 기반의 라이다 분류 자료를 래스터 자료로 변환하는 과정에서 빈도수 방법을 사용함으로써 포인트 기반의 차폐율 산정법에서 발생하는 과소·과대 추정 문제를 해결하였다. 또한, 분할의 정도를 달리함으로써 필요에 따라 다양한 축척의 차폐율 지도를 작성할 수 있었다. 제안 기법을 통해 제작된 차폐율 지도는 기존 임상도에서 제공하는 소밀도에 비해 보다 정확하고 세밀한 정보를 제공함을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 차폐율, 라이다, 유역 분할, 영역 기반

## Abstract

The main purpose of this paper is to make a map showing canopy cover by using airborne Lidar data based on region. Watershed algorithm was applied to elevation data to conduct segmentation, and then canopy cover was estimated through the regions extracted. In the process of transforming point data to raster, we solved the problems about overestimation and underestimation by using frequency method. Also, canopy cover map could be produced with various scales by differing level of segmentation and it provides more accurate and precise information than ones of ordinary public forest map.

Keywords : Canopy cover, Lidar, Watershed, Region-based

## 1. 서 론

인공위성 영상, 항공 라이다 자료(Airborne Lidar data)와 같은 원격탐사 자료를 이용하여 산림지역의 차폐율을 추정하는 연구는 최근 이슈로 떠오르고 있는 탄소 배출량 모델링, 산림 생산성 추정 등의 산림 관리 분야뿐만 아니라 은폐, 엄폐 지역 및 감시선 분석 등의 군사과학 분야에서도 매우 중요한 연구 주제로서 떠오르고 있다. 차폐율은 옆면적 지수(Leaf area index), 정규화 식생지수(Normalized difference vegetation index)와 같은 식생의 상태를 나타내는 변수들을 추정하고, 동식물의 서식지 및 수목 저변부의 환경을 보여주는 중

요한 지표이다(Lowman and Rinker, 2004). 일반적으로 차폐율은 캐노피 커버(Canopy cover)와 캐노피 클로저(Canopy closure)로 구분하여 정의하고 있다. 캐노피 커버로 정의되는 차폐율은 지상 방향으로 수목의 수관을 정사투영시켰을 때, 그 수관의 투영면에 의해 덮이는 면적의 비율을 의미한다. 이와는 다른 개념인 캐노피 클로저로 정의되는 차폐율은 지상의 한 지점에서 투명 반구(Hemisphere)를 통해 하늘을 올려다보았을 때, 수목에 의해 가려지는 면적의 비율을 의미한다(Jennings *et al.*, 1999). 차폐율에 대한 두 가지 정의는 명확히 다르지만, 본 논문에서는 원격탐사 자료의 특성상 캐노피 커버로 정의되는 차폐율 개념을 사용한다.

2011년 1월 28일 접수, 2011년 2월 24일 채택

- \* 학생회원 · 서울대학교 건설환경공학부 박사과정(kym0210@snu.ac.kr)
- \*\* 교신저자 · 정희원 · 건국대학교 신기술융합학과 교수(eoandrew@konkuk.ac.kr)
- \*\*\* 건국대학교 신기술융합학과 석사과정(mcblue@konkuk.ac.kr)
- \*\*\*\* 한국토지주택공사 토지주택연구원 수석연구원(kht@iklc.co.kr)
- \*\*\*\*\* 정희원 · 연세대학교 건설공학연구소 연구교수(earth2moon@gmail.com)

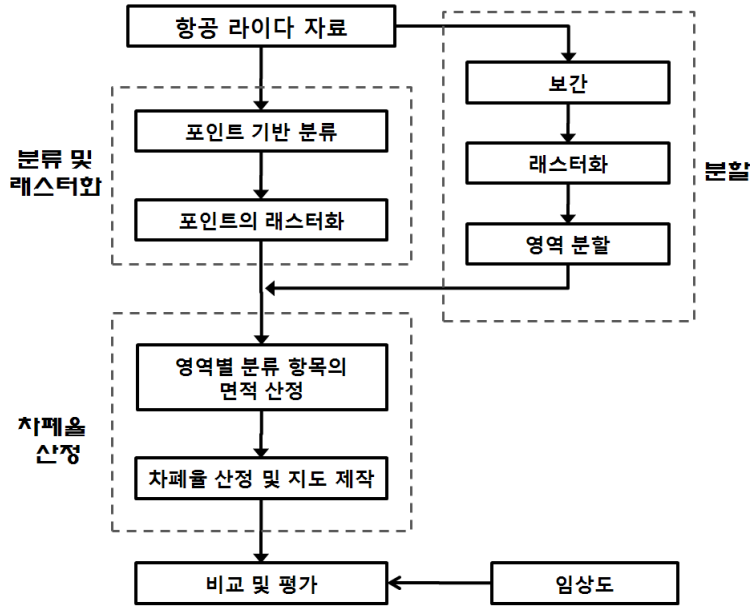


그림 1. 항공 라이다 자료를 이용한 차폐율 지도 제작의 연구흐름도

차폐율의 측정을 위해서는 현장을 방문하여 실측하는 것이 가장 정확하고, 정밀한 방법이다. 하지만 직접 방문을 통해 차폐율 정보를 취득하는 것은 시간적·경제적으로 매우 비효율적이며, 산림의 밀도가 매우 높고 깊은 산속이나 비무장 지대와 같은 접근이 제한되는 지역에는 비현실적인 방법이 될 수 있다. 따라서 산림과 같은 광대한 영역에 대하여 직접적인 접근 없이 정보를 취득할 수 있는 원격탐사 자료는 차폐율 산정에 있어 매우 큰 장점을 갖는다. 광범위한 산림 지역에 대하여 탄소배출량, 식생활력도, 산림생산성 등의 산림 정보를 신속하게 취득하고자 하는 경우에는 주로 중·저해상도의 위성영상이 사용되고 있으며, 더욱 정밀하고 정확한 산림 정보를 얻고자 할 경우에는 고해상도 위성영상이 활용되고 있다(Wulder *et al.*, 2000; Franklin *et al.*, 2003; Xu *et al.*, 2006). 또한, 이와 함께 지표의 고도, 산림 높이, 수직 방향으로의 식생 분포 등에 대한 정보를 상세하게 제공하는 항공 라이다 자료가 수목 개체 모델링 및 산림 주제도 구축 및 관리를 위하여 사용되고 있으며(Sun and Ranson, 2000; ; Lefsky *et al.*, 2005; Kusakabe *et al.*, 2006; Morsdorf *et al.*, 2006), 높은 정밀도를 바탕으로 한 다중시기 라이다 자료는 수목 캐노피의 성장 변화를 측정하는 연구에도 활용되었다(Yu *et al.*, 2006). 하지만 이러한 연구들은 특정한 수종을 대상으로 하여 그 적용 범위에 한계가 있으며, 환경에 따라 매우 민감하게 반응하는 결과를 도출한다

는 단점이 있다(Sasaki *et al.*, 2008).

따라서 본 논문에서는 높은 정밀도를 갖는 항공 라이다 자료를 이용하여 특정 수종에 관계없이 캐노피 커버로 정의되는 차폐율을 대축척 지도로 작성하는데 그 목적을 두었으며, 이를 위하여 영상 분할 기법과 래스터화(Rasterization)를 통한 영역 기반 차폐율 산정법을 제안하고, 그 결과를 임상도와 함께 비교·평가하였다.

## 2. 차폐율 지도 제작

본 논문에서 제안하는 차폐율 지도 제작 방법은 장안진 등(2010)에 의해 개발된 영상 분할을 통한 영역 기반 차폐율 산정법을 기반으로 한다. 이 기법은 크게 고해상도 위성영상의 분류, 영상 분할, 차폐율 지도 생성의 세 과정으로 나누어진다. 먼저 Landsat 영상과 보조 자료를 이용하여 Quickbird, Spot 영상 등의 고해상도 위성영상을 분류한다. 이들 분류 결과 중 산림지역을 추출하고 모폴로지(Morphology) 필터를 통한 클로징(Closing), 오픈닝(Opening) 연산을 수행한다. 추출된 지역을 영상 분할 기법을 이용하여 영역 단위의 객체로 분할하고, 영역의 캐노피 커버를 4단계(0~25%, 26~50%, 51~75%, 76~100%)로 결정한다. 이 기법은 캐노피 커버의 개념을 적용한 영역 기반의 새로운 차폐율 추출 기법으로서 기존의 수종별로 차폐율을 산정하는 기법들이 갖는 한계를 벗어나 수종의 구분 없이 항

상 적용 가능하며, 원격탐사 자료를 활용하기 때문에 광범위한 영역에 대하여 차폐율 지도를 빠르고 효율적으로 제작할 수 있다는 매우 큰 장점을 갖는다. 따라서 이 기법은 혼합림이 주를 이루는 우리나라 산림에 적용하기에 매우 적합하다고 할 수 있다.

본 논문에서는 고해상도 위성영상을 사용하는 기존 논문과는 달리 높은 정밀도를 갖는 항공 라이다 자료를 기반으로 하기 때문에 식생이 활성화되는 여름철에도 식생의 수직적인 분포 정보를 이용하여 좀 더 정확한 분류가 가능하다. 제안된 항공 라이다 자료를 이용한 차폐율 지도 제작 기법은 크게 영역 분할, 포인트 자료의 분류 및 래스터화, 차폐율 산정 및 지도 제작의 세 부분으로 나눌 수 있다. 연구의 흐름은 그림 1과 같고, 각 단계에 대한 과정은 2.1절, 2.2절, 2.3절에서 자세하게 설명하고 있다.

**2.1 영역 분할을 위한 유역 분할(Watershed) 기법의 적용**

차폐율 산정에 있어서의 기본 개념은 화소 기반이 아닌 영역 기반이다. 따라서 차폐율을 산정하기에 앞서 화소 기반인 라이다 자료를 영역 기반의 자료로 변환해야 한다. 여기서 영역이란 밝기값이나 고도값의 통계적 분포가 균일한 부분을 의미한다. 영역 분할 기법의 대표적인 방법들은 영역 성장 기법, 유역 분할 기법, 평균 이동 분할 기법 등이 있다. 본 논문에서는 이들 중에 가장 일반적으로 사용되고 있는 유역 분할 기법을 사용한다. 유역 분할 기법은 지형(Topography)과 연계한 수리형태론적 접근 방법을 통해 영상을 분할함으로써 명확하고 쉬운 개념과 함께 강건한 분할 결과를 도출하며, 동질성(Homogeneity)과 연결성(Connectivity)을 동시에 만족한다는 장점이 있다.

유역 분할 기법은 그 적용 방식에 따라 Immersion 방식과 Toboggan 방식으로 구분할 수 있다. Immersion 방식은 경사(Gradient) 영상에 물을 채우면서 댐(Dam)을 쌓아 영역 분할을 수행하는 방식을 말하며, Toboggan 방식은 경사 영상에 물이 떨어질 때 물이 흐르는 방향을 감지하여 영역 분할을 하는 방식을 말한다. 본 논문에서 사용하는 Immersion 방식은 가우시안(Gaussian), 소벨(Sobel) 필터 등을 통해 얻은 경사 영상의 기울기를 지형의 높이라고 가정하고, 이렇게 만들어진 지형에 물을 채우며 영역을 분할하는 방식이며, 물을 채워간다는 의미에서 Flooding 방식이라고도 불린다(Vincent and Soille, 1991). 기울기의 높이로 구성된 지형의 국지적 최소치(웅덩이)에 구멍이 뚫렸고, 그 지형 전체가 아래에서부터 서서히 물에 잠긴다고 가정

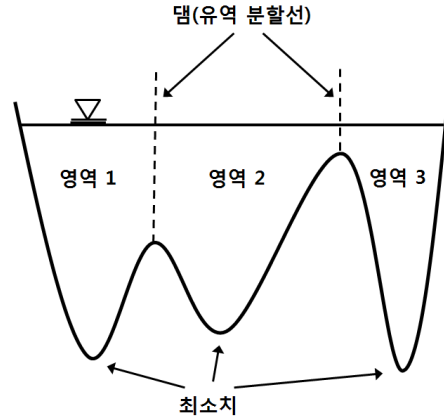
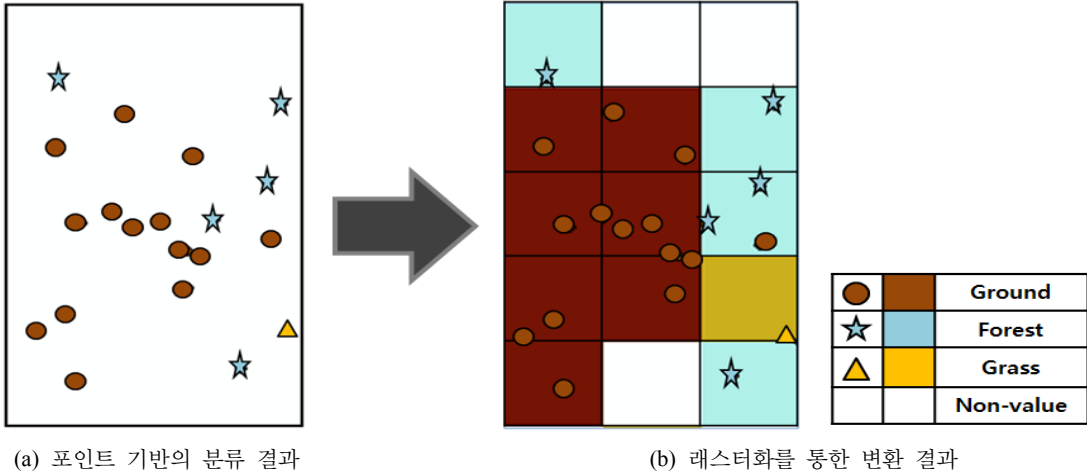


그림 2. Immersion 방식의 개념도

하자. 가장 낮은 최소치로부터 서서히 물은 채워지고, 모든 집수 유역이 점진적으로 물에 잠기게 된다. 이 때 서로 다른 집수 유역으로부터의 물이 서로 만나는 경계에 댐이 세워진다고 가정하고, 각각의 집수 유역이 댐에 의해 모두 둘러싸일 경우 Immersion 과정은 종료되고, 댐의 영역은 유역분할선(Watershed line)과 일치하게 된다. 그림 2은 국지적 최소치와 각 영역을 구분하는 댐에 대한 개념도이다. 본 연구에서는 유역 분할 기법을 적용하기 위하여 포인트 기반인 항공 라이다 자료의 고도값을 ArcGIS 9.3에서 제공하는 최근근보간법(Nearest neighbor interpolation)을 이용하여 선형 보간(Linear interpolation)한 후 래스터화하였다. Matlab 2008a를 이용하여 래스터화 된 고도값 자료에 가우시안 필터와 소벨 필터를 차례대로 적용하여 경사 영상으로 변환 후, 유역 분할 함수를 이용하여 유역 분할을 수행하였다.

**2.2 분류 및 래스터화**

테라스캔의 항목 분류는 크게 지면점과 비지면점의 분류로 구분한다. 경사 기반 기법(Slope based algorithm)은 지형에서의 점들 간 경사각과 거리의 임계값을 정의하여 지면점과 비지면점을 분류한다. 다음은 지면점과 비지면점들의 분류결과에 따라 테라스캔에서 기본적으로 정의되어 있는 6가지의 Ground, Low Vegetation, Medium Vegetation, High Vegetation, Building, Low 포인트 항목으로 분류하기 위한 옵션 설정이다. 라이다 포인트들을 테라스캔의 매크로 기능을 사용하여 다음의 옵션 설정과 순서로 분류하였다. Low 포인트는 지면보다 0.5m 아래점들을 4.0m 간격, Single 포인트로 분류하고, Ground는 지면보다 0.5m 아래점들을 4.5m 간격으로 분류하였고, 지면을 분류하고 남은 나머지 점들을 Low Vegetation으로 분류하였다. 지면을 포함한



(a) 포인트 기반의 분류 결과

(b) 래스터화를 통한 변환 결과

그림 3. 포인트 기반 자료가 래스터화를 통해 변환되는 과정

모든 분류점들에서 식생 포인트를 추출, Low Vegetation으로 분류된 점들 중 최소 높이가 0.8m인 경우 Medium Vegetation으로 분류하고 최소 높이가 1.5m인 경우는 High Vegetation으로 분류하였으며, High Vegetation으로 분류된 점들 중 최소 높이가 10m 넘어가는 점들은 Building으로 분류하였다. 그리고 각각의 항목별 Return 펄스값을 두 가지(First return과 Last return)로 나누어 결과를 생성하였다. 따라서 분류 결과에 따라 총 12개의 ASCII 포맷의 파일을 생성하였으며, 본 논문에서는 First return값을 통해 추출한 분류 결과를 사용하였다(전민철 등, 2010).

분류된 라이다 포인트들은 라이다 펄스의 특성상 균일한 간격으로 분포되어 있지 않다. 즉, 촬영 지역을 일정한 크기의 격자로 나누었을 때, 그 점밀도에 따라 하나의 격자 내에 두 점 이상의 라이다 포인트가 밀집되어 있거나 반대로 라이다 포인트가 존재하지 않는 격자도 생기게 된다. 이러한 격자들은 영역을 기반으로 산정하는 차폐율 기법의 정확도를 저하시키는 요인이 된다. 그림 3은 위에서 언급한 문제를 설명하고 있다. 그림 3(a)는 실제 실험 지역에 존재하는 하나의 분할 영역을 나타내며, 그 영역 안의 점들의 위치와 색상은 각각 라이다 포인트가 반사된 지점과 테라스캔을 이용한 분류 결과를 나타낸다. 2.3절에서 차폐율 산정에 관해 다시 설명하겠지만, 포인트를 이용한 차폐율 산정의 관점에서 보면 그림 3(a)의 경우는 Ground 포인트들의 과다 밀집으로 인해 해당 분할 영역의 차폐율을 과소 추정하게 된다. 반대로 High vegetation 포인트들이 일정 반경 속에 과다 밀집되어 분포한 하나의 분할 영역이 있다면, 그 영역의 차폐율은 과대 추정되는 결과를

도출하게 된다. 이는 라이다 포인트의 분포가 동일한 피복 영역에 지나치게 밀집되어 있다면 영역 기반 차폐율 산정 시 좋지 않은 영향을 미치게 된다는 것을 의미한다. 이러한 과대·과소 추정 오류를 최소화하기 위하여 본 논문에서는 분류된 라이다 포인트들의 래스터화를 수행한다. 이 과정에서는 유역 분할 과정에서의 래스터화와 다르게 보간을 수행하지 않고 래스터화를 진행하기 때문에 분류된 라이다 포인트가 없는 영역은 속성이 없는 격자로 생성된다.

래스터화를 진행하는 과정에서 고려해야 할 사항 중 하나는 래스터 자료의 공간해상도이다. 그 이유는 포인트 자료를 래스터 자료로 변환할 때 공간해상도의 크기가 해당 격자의 대표성을 결정하는 중요한 요소이기 때문이다. 공간해상도가 라이다 자료의 점밀도에 비해 너무 작거나 너무 크면 하나의 격자가 해당 지역의 특성을 잘 표현하지 못한다. 따라서 라이다 자료의 점밀도를 고려하여 공간해상도를 적절하게 선택하여 래스터화를 진행해야 한다. 또 하나의 고려 사항은 래스터화 진행 과정에 있어 한 격자 안에 다수의 점이 분포되어 있을 경우에 해당 격자의 대표 속성을 어떤 방법으로 결정하는가이다. 격자의 대표 속성을 결정하는 방법은 ‘하나의 격자 안에 다수의 특성을 갖는 항목을 배정하는 방법’, ‘격자의 중심점과 최소 거리를 갖는 항목을 배정하는 방법’ 등 다양하게 존재하며, 각각의 방법에 따라 격자의 대표 속성이 다르게 결정될 수 있고 이는 차폐율의 산정에 있어 직접적으로 영향을 미치게 된다. 본 논문에서는 라이다의 점밀도(3~4point/m<sup>2</sup>)와 영역 기반 차폐율 산정 기법의 과정을 고려하여 공간해상도를 0.5m로 결정하고, 빈도수를 이용하여 대표 속성을

결정하는 방법을 선택하였다. 그림 3(b)는 공간해상도 0.5m의 격자 안에 가장 많은 빈도수를 갖는 분류 항목을 대표 속성으로 결정하여 래스터 기반의 자료로 변환한 결과를 보여준다.

### 2.3 차폐율 산정 및 지도 제작

본 논문에서의 영역 기반 차폐율 산정 기법은 라이다를 이용한 분류 결과의 래스터화를 수행한 후, 하나의 분할 영역을 기준으로 영역 내의 산림 분포 정도를 고려하여 최종적으로 차폐율을 산정하게 된다. 즉, 분할 영역 내의 전체 면적과 산림 면적과의 비율을 통해 차폐율을 산정하며, 그 방법은 식(1)로 설명될 수 있다.

$$Canopy\ cover_i = \frac{Forest\ area_i}{Total\ area_i} \quad (1)$$

모든 분할 영역은 식(1)에 의해 차폐율을 산정하게 되며, 한 영역은 같은 값으로 대체된다. 속성값이 없는 격자는 차폐율을 왜곡할 수 있으므로 차폐율 산정 과정에서 제외하였으며, 감시선 분석이나 산림학적으로 의미가 없는 작은 분할 영역은 15×15 크기의 모폴로지 필터를 이용하여 오프닝 과정을 수행함으로써 제거하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 영역 기반의 차폐율 지도 제작 기법을 적용하기 위하여 선정된 실험 지역은 충청남도 천안시에 위치한 독립기념관 일대이다. 이 지역은 산림이 소규모이고 다양한 수종, 수고 및 밀도를 갖는 특징이 있으며, 도로와 작은 규모의 건물 및 수계 등의 피복이 함께 존재한다. 따라서 제안된 기법의 성능을 평가하기에 좋은 조건을 갖추고 있다. 실험에 사용된 항공 라이다 자료는 2009년 9월에 3~4point/m<sup>2</sup>의 점밀도로 항공사진과 함께 취득되었고, 실제 실험에 사용된 자료의 크기는 650m × 650m이며, 2.1, 2.2절에 언급한 방법을 통해 공간해상도 0.5m로 변환되었다.

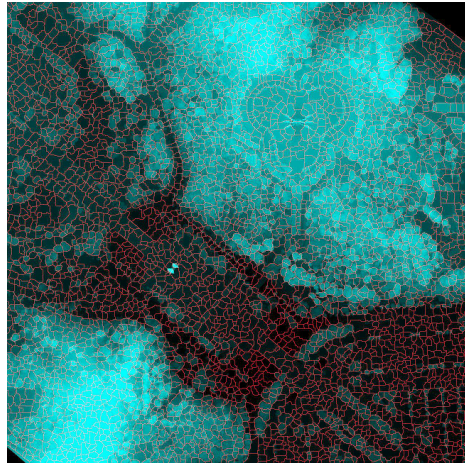
그림 4(a)는 0.5m의 공간해상도를 갖는 대상 지역의 항공사진이다. 그림 4(b)는 포인트 기반의 항공 라이다 자료를 선형 보간 후 래스터화하여 유역 분할 기법을 적용한 대상 지역의 분할 결과이며, 이 분할 과정을 통해 추출된 각 영역들을 바탕으로 차폐율을 산정한다(적색선은 분할선을 나타냄). 그림 4(c)는 2.2절에서 설정한 옵션에 따라 테라스캔을 이용하여 취득한 분류 결과이다. 분류 항목은 Ground, Building, High vegetation, Medium vegetation, Low vegetation, Low 포인트의 6

개 항목으로 구성되어 있다. 그림 4(d)는 분할 및 분류 결과를 이용하여 영역기반의 차폐율을 산정하여 주제도로 제작한 결과이다. 차폐율 산정 시에 High vegetation 항목은 수목으로 설정하고 이를 제외한 나머지 항목들은 비수목으로 설정하였다. 차폐율은 각 분할 영역에서 식(1)에 의하여 산정하였으며, 각 등급을 10%의 간격으로 하여 10단계(1~10%, 11~20%, ..., 81~90%, 91~100%)로 구분 후 컬러로 표현하였다. 그림 4(e)는 그림 4(d)와 동일한 결과물을 총 4단계(1~25%, 26~50%, 51~75%, 76~100%)로 구분하여 표현한 결과이다. 차폐율을 10단계로 표현할 경우 산림의 과밀 지역에 대하여 4단계로 표현할 때보다 비교적 상세한 차폐율 정보를 제공하는 장점이 있는 반면, 4단계에 비해 시각적인 정보 전달력이 상대적으로 낮아짐을 알 수 있다. 그림 4(f)는 제안한 기법의 비교·평가를 위한 임상도의 소밀도(疎密圖)로서 1:25,000의 축척을 갖고 있으며, 밀(密)·중(中)·소(疎)의 속성을 갖는 지역과 수목이 없는 지역으로 산림의 과밀 정도에 대한 정보를 제공한다. 임상도의 경우, 소축척으로 제작되기 때문에 제공되는 정보 양이 매우 적고, 상대적으로 위치정확도가 떨어진다는 단점이 있다. 이에 비해 영역 기반의 차폐율 산정법은 자료의 정확함과 정밀함이 특장인 항공 라이다 자료를 사용함으로써 산림이 밀집되어 있는 고밀도 지역에서의 차폐율을 더욱 정확하고 세밀하게 작성할 수 있도록 하였다. 또한, 제안 기법은 영역을 기반으로 구성되어 있기 때문에 수종에 관계없이 차폐율 지도를 작성할 수 있으며, 필요에 따라 분할의 정도를 달리하여 차폐율 지도를 제작할 수 있다. 즉, 세밀하고 작은 영역들로 구분된 차폐율 지도의 제작을 원할 경우에는 분할 정도를 높이고, 반대의 경우에는 분할 정도를 낮춤으로써 차폐율의 세밀함을 조절할 수 있다. 하지만 차폐율을 산정하는 과정에서 라이다 포인트가 찍히지 않은 격자를 연산 과정에 포함시킬지에 대한 문제는 향후 연구에서 고려해야 할 사항이라 판단한다.

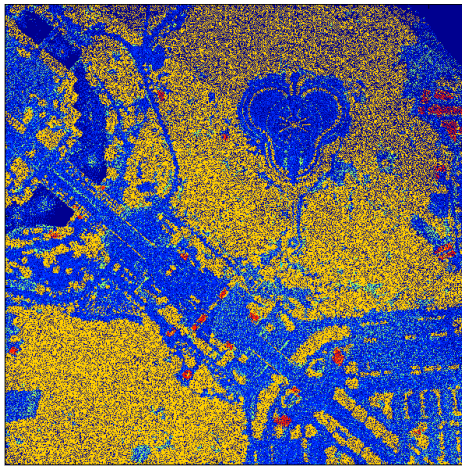
제안 기법을 정량적으로 평가하기 위하여 면적과 Confusion matrix를 이용하여 정확도평가를 실시하였다. 1:25,000의 축척인 임상도는 제안 기법에 의한 결과와의 비교·평가를 위하여 공간해상도를 0.5m로 업샘플링(Upsampling)하였으며, 평가는 동일한 분류 단계를 갖는 4단계 차폐율 지도를 이용하였다. 두 자료 사이의 면적을 비교한 결과, 기존의 임상도에서 존재하지 않았던 중간 밀도의 지역이 4단계 차폐율 지도에서 약 8,408m<sup>2</sup>가 새롭게 추출되었으며, 임상도에서의 중간 밀도 지역이 제안 기법에 의하여 높은 밀도 지역으로 갱신되면서 높은 밀도의 지역이 상대적으로 늘어난



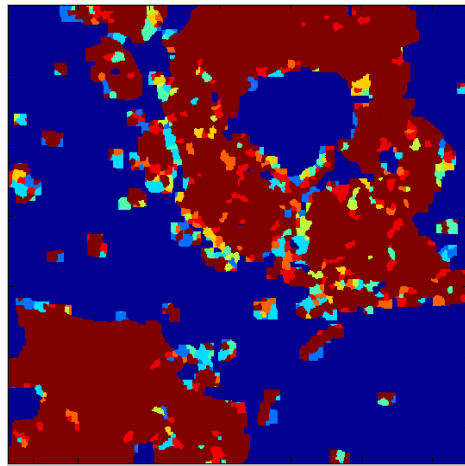
(a) 항공사진



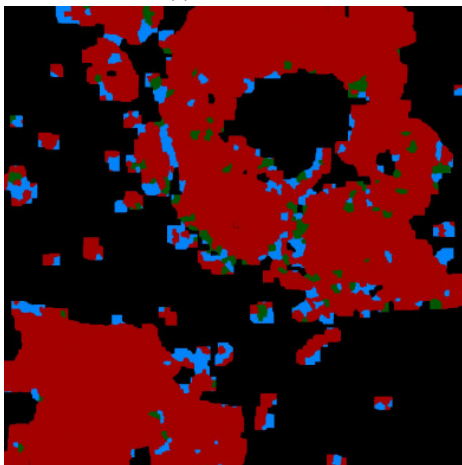
(b) 고도값을 이용한 분할



(c) 분류 결과



(d) 10단계 차폐울 지도



(e) 4단계 차폐울 지도



(f) 임상도



그림 4. 항공 라이다를 이용한 차폐울 지도 제작 과정 및 결과

표 1. 임상도와 제안 기법에 의한 결과의 밀, 중, 소, 비산림 면적 비교(단위 : m<sup>2</sup>)

구 분	밀	중	소	비산림
임상도	28,923	163,191	0	230,385
제안 기법에 의한 결과	184,444	8,408	18,758	210,888

표 2. 임상도와 제안 기법에 의한 결과의 Confusion matrix

제안 결과 \ 임상도	밀	중	소	비산림
밀	83,069	538,911	0	115,797
중	3,743	17,334	0	12,558
소	6,988	17,908	0	50,138
비산림	21,895	78,612	0	743,047

것을 확인할 수 있었다(표 1). 또한, 분류 관련 연구에서 정확도평가를 위하여 사용하는 방법인 Confusion matrix를 임상도와 제안 기법의 결과에 적용하여 두 자료의 변화 특성을 알아보았다(표 2). 앞서 면적의 변화에서도 나타났듯이 제안 기법을 통해 임상도의 중간 밀도 지역이 높은 밀도 지역으로 대부분 대체되었고, 임상도의 높은 밀도 지역과 비산림 지역이 밀, 중, 소, 비산림 지역으로 더욱 세분화된 것을 표 2를 통해 확인할 수 있었다. 그러나 Confusion matrix를 구성하는 데 있어 임상도와 제안 기법에 의한 결과 중 어떤 것도 정확한 참조 자료라고 할 수 없으므로 전체 정확도와 카파 계수(Kappa coefficient)를 본 논문에서는 제시하지 않았다.

#### 4. 결론 및 향후 연구

차폐율은 최근 이슈로 떠오르고 있는 탄소 배출량 모델링, 산림 생산성 추정 등의 산림 관리 분야와 은폐, 업페 지역 및 감시선 분석 등의 군사과학 분야에서도 매우 중요한 이슈로 떠오르고 있다. 본 논문에서는 항공 라이다 자료를 이용하여 영역 기반 차폐율 산정 기법을 제안하였다. 영역 기반 차폐율 산정 기법은 일정 영역 안에 존재하는 산림 면적의 비율을 통해 차폐율을 구하는 방법으로 수종에 관계없이 차폐율을 산정할 수 있다는 장점이 있다. 영역 기반 차폐율을 산정하기 위하여 대표적인 영상 분할 기법인 유역 분할 기법을 적용하였으며, 포인트 자료로 이루어진 라이다 분류 자료를 래스터화하는 과정에서 빈도수 방법을 채택하여 차후 차폐율 산정에 있어 과대·과소 추정 문제를 해결하

였다. 또한, 산림 지역에 있어서 고해상도 위성영상에 비해 보다 정확하고 정밀한 자료를 취득할 수 있는 항공 라이다 자료를 사용함으로써 필요에 따라 임상도에서 제공하는 정보보다 더욱 세밀한 산림의 차폐 정보를 제공할 수 있었다.

하지만 포인트를 기반으로 하는 라이다 펄스의 특성상 라이다의 포인트가 분포하지 않은 지역이 발생하게 되고, 이 지역들의 포함 여부는 차폐율 산정에 영향을 미치게 된다. 본 논문에서는 일차적으로 이 지역들을 배제하고 차폐율을 산정하였지만, 향후 보간을 통해 이들의 대표 속성값을 부여하고 차폐율을 산정한 후 기존 방법과 비교해 어떤 방법이 더욱 타당할 지에 대하여 연구할 예정이다. 또한, 다양한 영역 분할 기법을 적용하여 차폐율을 산정해봄으로써 어떤 기법이 높은 정확도를 보장하는지에 대해 추가적으로 살펴볼 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(No. 2010-0005617).

#### 참고 문헌

1. 전민철, 정태웅, 어양담, 김진광, (2010), 계절별 항공라이다 자료에 의한 수고 추정, 한국측량학회지, 제28권, 제 4호, pp.441-448.
2. Chang, A. J., Eo, Y. D., Kim, S. W., Kim, Y. M. and Kim, Y. I. (2010), Canopy-cover thematic-map generation for Military Map products using remote sensing data in inaccessible areas, Landscape Ecological Engineering, DOI 10.1007/s11355-010-0132-1.
3. Franklin, S. E., Hall, R. J., Smith, L. and Gerylo, G. R. (2003), Discrimination of conifer height, age, and crown closure classes using Landsat-5 TM imagery in the Canadian Northwest Territories, International Journal of Remote Sensing, Vol.24, No.9, pp.1823-1834.
4. Jennings, S. B., Brown, N. D. and Sheil, D. (1999), Assessing forest canopies and understory illumination: canopy closure, canopy cover and other measures, Forestry, Vol.72, No.1, pp.59-74.
5. Kusakabe, T., Tsuzuki, H. and Sueda, T. (2006), Long-range estimation of leaf area index using airborne laser altimetry in Siberian Boreal, Journal of the Japanese Forest Society, Vol.88, No.1,

- pp.21-29.
6. Lefsky, M. A., Hudak, A. T., Cohen, W. B. and Acker, S. A. (2005), Geographic variability in lidar predictions of forest stand structure in the Pacific Northwest., *Remote Sensing of Environment*, Vol.95, pp.532-548.
  7. Lowman, M. D. and Rinker, H. B. (2004). *Forest canopies*. 2nd ed. Elsevier Academic Press., pp.517.
  8. Morsdorf, F., Kotz, B., Meier, E., Itten, K. I. and Allgower, B. (2006), Estimation of LAI and fractional cover from small footprint airborne laser scanning data based on gap fraction, *Remote Sensing of Environment*, Vol.104, pp.50-61.
  9. Sasaki, T., Imanishi, J., Ioki, K., Morimoto, Y. and Kitada, K. (2008), Estimation of leaf area index and canopy openness in broad-leaved forest using an airborne laser scanner in comparison with high-resolution near-infrared digital photography, *Landscape and Ecological Engineering*, Vol.4, No.1, pp.47-55.
  10. Sun, G. and Ranson, J. (2000), Modeling Lidar returns from forest canopies, *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, Vol.38, No.6, pp.2617-2626.
  11. Vincent, L. and Soille, p.(1991), Watersheds in digital spaces: an efficient algorithm based on immersion simulations, *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.13, No.6, pp.583-598.
  12. Wulder, M., Niemann, K. O. and Goodenough, D. G. (2000), Local maximum filtering for the extraction of tree location and basal area for high spatial resolution imagery, *Remote Sensing of Environment*, Vol.73, No.1, pp.103-114.
  13. Xu Y., Prather, J. W., Hampton, H. M., Aumack, E. N., Dickson, B. G. and Sisk, T. D. (2006), Advanced exploratory data analysis for mapping regional canopy cover. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol.72, No.1, pp.31-38.
  14. Yu, X., Hyypä, J., Kukko, A., Maltamo, M. and Kaartinen, H. (2006), Change detection techniques for canopy height growth measurements using Airborne Laser Scanner data, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol.72, No.12, pp.1339-1348.