

토지피복 및 지형특성을 고려한 항공라이다자료의 3차원 표면모형 복원

송철철* · 이우균** · 정희성*** · 이관규****

3D Surface Model Reconstruction of Aerial LIDAR(Light Detection And Ranging) Data Considering Land-cover Type and Topographical Characteristic

Chul-Chul Song* · Woo-Kyun Lee** · Hoe-Seong Jeong*** · Kwan-Kyu Lee****

요 약

우리나라는 일반적으로 좁은 지역에서도 다양한 토지피복분포와 복잡한 지형기복을 보인다. 그러나, 대부분의 항공라이다 관련 외국의 선행연구사례들은 대부분 토지피복이나 지면경사가 일정한 지역을 연구대상으로 하고 있다.

본 연구는 다양한 토지피복 및 지형기복의 분포특성에 따라 3차원 표면모형을 재구성하는 방법의 탐색을 위해 수행하였다.

연구대상지로는 설악동매표소 인근에서 지형기복이 다양한 산림, 하상이 드러난 암석지 및 가로수와 건물, 주차장 등의 인공시설물이 분포하는 지역을 선정하였다. 자료처리절차는 우선, 정사항공사진을 이용하여 토지피복 및 지형기복에 따라 영역을 구분하고 이 결과를 이용하여 항공라이다 자료를 분할하였다. 분할된 각각의 자료들은 토지피복 및 지형특성에 따라 상이한 처리절차를 거쳐 3차원 표면모형을 별도로 구성하고 이를 통합함으로써 전체적인 3차원 모형을 복원하였다.

이러한 토지피복 및 지형특성을 고려한 3차원 표면모형은 경관관리, 산림조사 및 수치지도 작성 등에 효과적으로 이용될 수 있다. 아울러, 대용량의 항공라이다 자료처리 시, 전체 자료를 방형의 격자구획으로 분할하여 처리하는 과정에서 발생할 수 있는 한계를 보완하는 데에도 유용할 것으로 판단된다.

주요어 : 항공라이다, 토지피복, 지형기복, 3차원 표면모형, 재구성

*고려대학교 생명과학대학 환경GIS/RS센터(ccsong@hanmail.net)

**고려대학교 생명과학대학 환경생태공학부(leewk@korea.ac.kr)

***환경정책평가연구원(hsjeong@kei.re.kr)

****강원대학교 산림환경과학대학 산림경영·조경학부(gglee@kangwon.ac.kr)

ABSTRACT : Usually in South Korea, land cover type and topographic undulation are frequently changed even in a narrow area. However, most of researches using aerial LIDAR (Light Detection And Ranging) data in abroad had been acquired in the study areas to be changed infrequently.

This research was performed to explore reconstruction methodologies of 3D surface models considering the distribution of land cover type and topographic undulation.

Composed of variously undulatory forests, rocky river beds and man-made land cover such as streets, trees, buildings, parking lots and so on, an area was selected for the research. First of all, the area was divided into three zones based on land cover type and topographic undulation using its aerial ortho-photo. Then, aerial LIDAR data was clipped by each zone and different 3D modeling processes were applied to each clipped data before integration of each models and reconstruction of overall model.

These kinds of processes might be effectively applied to landscape management, forest inventory and digital map composition. Besides, they would be useful to resolve less- or over-extracted problems caused by simple rectangle zoning when an usual data processing of aerial LIDAR.

Keywords : aerial LIDAR(Light Detection And Ranging), land cover, topographic undulation, 3D surface model, reconstruction

1. 서론

항공라이다(LIDAR, Light Detection And Ranging) 자료는 3차원 정보를 지닌 많은 수의 점 데이터들이 모인 point cloud 형태이다(Sithole과 Vosselman, 2003). 이 점들을 지면, 식생 및 건물 등의 지형지물로 구분하고(Filin, 2002) 각 분류군별 표면모형화(surface modeling)를 통하여 해당 지형지물의 3차원 정보를 복원(reconstruction)한다.

일반적으로 표면모형은 네 가지로 구분할 수 있는데, 분류하기 이전의 상태에서 점 데이터들을 3차원 표면으로 만든 수치 표면모형(DSM, Digital Surface Model), 지

면상에 분포하는 점들만을 분리하여 구성한 수치고도모형(DEM, Digital Elevation Model), 산림지역 상층식생의 임관(林冠, forest canopy)에 속한 점들로 구성된 수치임관모형(DCM, Digital Canopy Model) 및 건물이나 송전탑 등과 같은 인공구조물에 대한 모형이 있다.

이때, 지형지물 유형에 따라 점 데이터를 분리하는 자동화 알고리즘의 대부분은 하나의 시작점에서 출발하여 일정한 영역 내에서 인접한 점들간의 기울기 등 임계치(threshold)를 만족하는 점들을 찾아 하나의 표면으로 연결하여 나가는 영역성장(region growing)형 방식(Sithole과 Vosselman, 2003; Vosselman 등, 2004)과 영역분할 및

병합형 방식(Soille, 2003)의 두 가지 범주에 포함된다.

항공라이다 자료를 이용한 3차원 복원 과정의 대부분은 지면점의 분리절차를 우선 수행하며 나머지 미분류점들로부터 지면에 대한 상대적인 높이 차이나 인접한 미분류점간 높이값의 변이정도를 기준으로 식생 및 건물 등을 추출하는 절차로 작성한다(Bartels와 Wei, 2006).

그런데, 국외의 항공라이다 응용분야 연구 중 지형추출에 대한 연구들은 대부분 동일한 유형의 토지이용과 피복을 지니고 있거나 지형의 경사분포가 대체적으로 일정한 곳을 연구대상지로 선정하는 경향이 있다. 이스라엘의 McIntosh와 Krupnik (2002)은 정확한 3차원 표면모형을 작성하기 위해 함께 취득한 항공사진으로부터 지형지물의 경계선 추출을 병용하였는데, 지형이 평탄한 주거지를 대상으로 하였다. Masaharu와 Ohtsubo(2002)는 복합적인 지형을 구분하기 위한 필터링방법을 고층 빌딩과 상가가 밀집한 평지의 신쥬쿠 시가를 대상으로 실시하였고, Zhang 등(2003)은 항공라이다 자료로부터 비지형 요소를 제거하는 형태학적 필터(morphological filter)에 관한 연구에서 평탄한 FIU(Florida International University) 캠퍼스지역을 대상으로 하고 있다. Oude Elberink와 Vosselman(2006)은 현행 네덜란드 정부에서 관리하는 2차원 지형정보 데이터베이스에 속한 지역 중 평원지역에 있는 자동차전용도로의 교차로부근을 대상으로 항공라이다를 이용한 3차원 정보의 결합방법을 제시하였다. 독일의 Bartels 등(2006)은 데이터 분포의 왜곡도에 근거한 지형생성연구에서 역시

평탄한 시가지역을 대상으로 하였다. 국내의 연구로는 윤 등(2006)이 산림지역에서 지면점을 추출하는 연구를 수행한 바 있다.

또, 국내에서는 대용량의 항공라이다 자료의 처리를 위한 자료구조화 시 GIS자료를 도엽단위로 유지하는 것과 유사하게 전체 취득자료를 단순한 형태의 방형구획으로 분할하여 처리하는 것이 일반적이다.

그러나, 몇몇 대도시를 제외하고는 대부분 토지피복 및 지형기복이 다양한 편인 우리나라의 일반적인 공간특성을 감안할 때 외국의 균질한 지역을 대상으로 한 연구성과를 그대로 적용하거나 관행적인 방형구획에 의한 자료처리에는 한계가 있다.

따라서, 본 연구에서는 토지피복 및 지형특성의 변화가 다양한 연구대상지역을 선정하여 이러한 특성에 따라 영역을 분할하고 각각의 영역별로 적정한 자료처리 과정을 적용하여 3차원 표면을 복원하는 처리절차의 탐색을 위해 수행하였다.

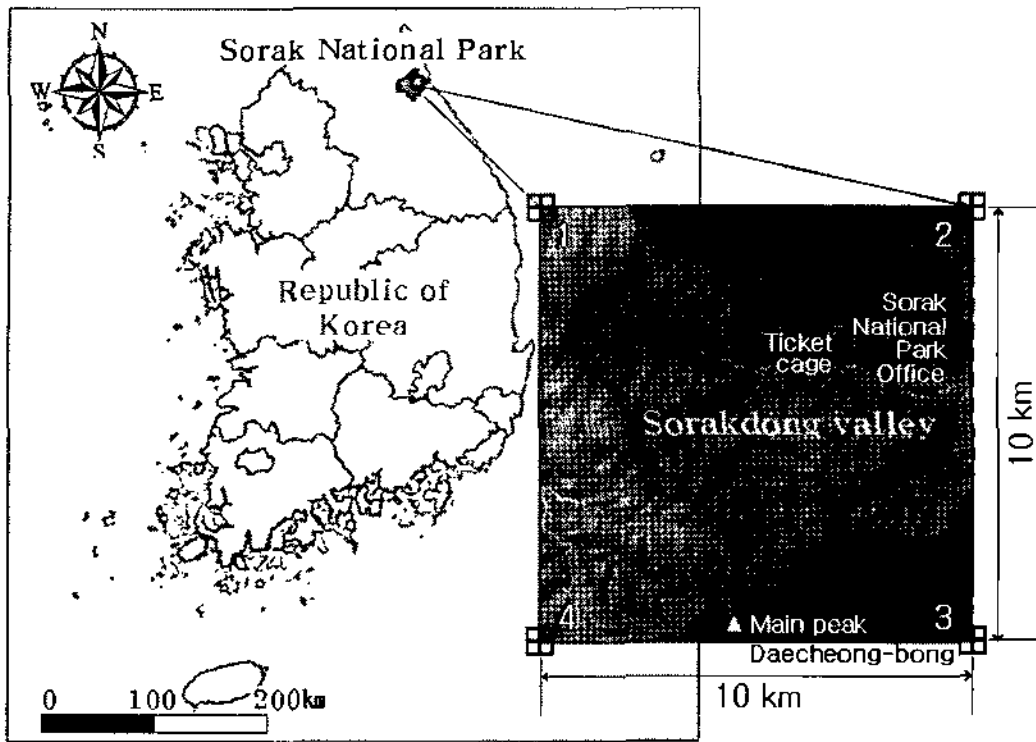
2. 본 론

2.1. 자료취득

2.1.1 자료취득지역

2006년 11월 중순에 수행되었던 항공라이다의 자료취득은 Figure 1에서 보는 바와 같이 설악산국립공원 내 설악동 계곡을 중심으로 사전에 설정한 50km²의 자료취득범위에 걸쳐 이루어졌으며, 이 지역에 대해 항공라이다 자료 외에도 디지털

항공사진을 함께 취득하였다.



[Fig. 1] Location of data acquisition area

2.1.2 항공라이다

자료취득대상지에서 취득한 항공라이다 자료의 특성은 다음의 Table 1과 같다. 여기서 주요 특성으로는 전체 자료의 영역은 미리 설정했던 자료취득지역을 포함할 수 있도록 한 것이며 전체가 약 70km²에

<Table 1> Data descriptions of aerial LiDAR

Specification		Performance
Flight elevation		2,450m
Accuracy	Vertical	0.3m
	Horizontal	1.23m
Number of Echo		4
Intensity capture		12bit
Laser repetition rate		Max. 70kHz
Scan angle		0 ~ ±25°
Swath width		0 ~ 0.93×altitude
Beam divergence		0.2 or 0.7mrad(1/e)
Laser classification		Class IV
No. of collected points		93,328,850
Data size		4,147MB
Area of the collected		70,480,989m ²
Mean of point density		1.32 points/m ²

걸쳐 9천 3백만개 이상의 점 데이터를 취득하여 1평방미터의 단위면적당 1.32개의 밀도를 지닌 자료를 얻을 수 있었다. 이 자료는 한진정보통신(주)이 취득하여, 비행후처리(post-flight processing)를 실시한 이후에 제공받았다.

2.1.3 정사항공사진

항공라이다와 함께 취득한 215장의 항공사진은 한진정보통신(주)이 정사화하여 제공해주었다. 정사항공사진의 영역은 앞서 설정한 50km²의 자료취득범위와 동일하며, 공간해상도는 0.35m급이었다(Table 2).

<Table 2> Data descriptions of aerial photograph

Specification	performance
Flight elevation	2,450m
Resolution	22Mpixel
	(4,080×5,440)
Image size	36×48mm
Pixel size	0.009mm
Lens	Schnieder Krunznach
Focal length	50mm, F2.8
Field of view	51°×40°FOV
Shutter speed	30 ~ 1/1000sec.
Standard cycle rate	4.5sec/frame
No. of collected photos	215
Data size of collected	13.7GB
Data size of orthophoto	1.5GB
Spatial resolution	0.35m

3. 연구대상지 선정

자료취득영역가운데 좁은 면적에 걸쳐

이질적인 토지이용 및 피복상태가 나타나고 급격한 경사변화가 있는 지역을 현장 답사 및 정사항공사진의 육안판독을 통해 선정하였다. 그 결과, 설악동 매표소 앞의 주차장을 중심으로 남북 및 동서방향으로 400m씩의 방형 대상지를 선정하였다.

4. 자료처리절차

4.1 처리절차 개요

자료처리절차는 Figure 2에 제시한 바와 같이 토지이용 및 피복형태와 경사분포 특성을 토대로 연구대상지역을 분할하는 것으로 시작하였다. 분할결과, 산림, 하상이 드러난 암석지 및 인공시설지로 나눌 수 있었다.

그런 다음, 분할된 영역에 따라 서로 상이한 분류절차를 적용하여 3차원 모형을 만들고 이들을 함께 구성하여 복원과

정을 마무리하였다.

자료처리과정의 전반에 걸쳐 TerraSolid 및 ArcGIS 계열의 소프트웨어를 사용하였다.

4.2 라이다자료의 분류영역 구분

항공라이다 자료는 한 번의 레이저 광선발신으로부터 토지피복의 유형에 따라 여러 개의 반사(echo)가 발생하기도 하며 지형기록에 따라 분류절차의 초기에 실시하는 지면점 분류기준이 달라져야 한다.

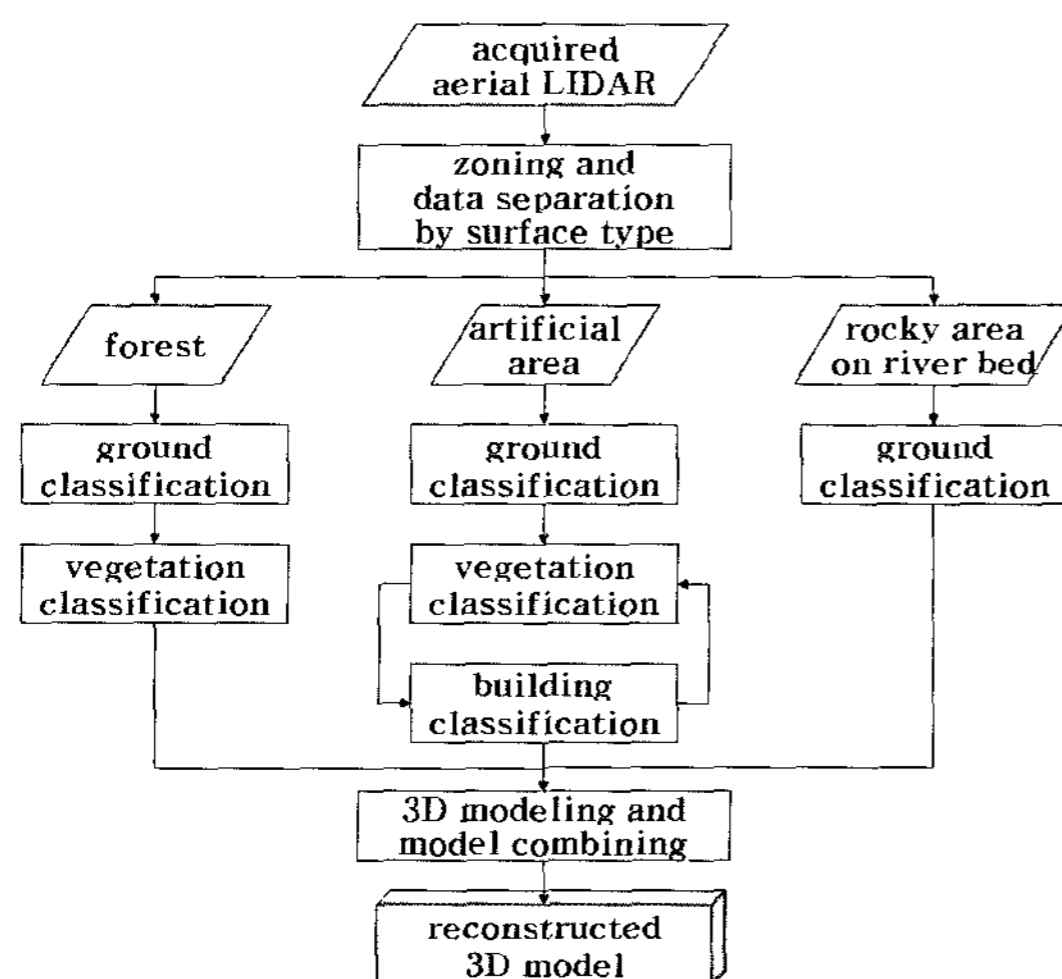
따라서, 본 연구에서는 0.35m급의 고해상도 정사항공사진을 육안판독하여 연구 대상지에 대해 토지피복 및 지형기록에 따른 영역분할을 우선 실시하였다. 이렇게 분할된 영역별로 각각 상이한 자료처리 절차를 적용하였다. 이렇게 영역을 분할하여 상이한 처리절차를 적용하는 방식은 Leckie 등(2003)과 Koch 등(2006)이 수치표면모형의 형태가 복잡한 산림지역에 적용하였다.

4.3 라이다자료의 분류

4.3.1 산림

항공라이다 자료로부터 산림지역을 분류해내는 것은 산림 및 자연자원관리 분야는 물론 지도제작에도 중요하나 임목(立木)의 수고(樹高, tree height)와 밀도에 관한 정보를 정확히 획득하기란 어렵다 (Flood, 1999).

Haugerudd와 Harding(2001)는 서로 상이한 토지피복과 지형기록을 지닌 지역이 연결한 영역을 연구대상지로 정하여 식생



[Fig. 2] Data process flow

층 아래에 분포한 지형기복을 파악할 수 있도록 지상부의 산림을 제거하는 몇 가지의 가상 산림벌채 알고리즘을 제시하기도 하였다.

항공라이다 단독으로 또는 동일한 지역의 정사이미지를 함께 활용하여 개체목별 수관구획(樹冠區劃, crown delineation) 및 수고추출을 위한 방법론(Leckie 등, 2003; 광, 2005; Koch 등, 2006)들은 이미 많은 연구가 있었고, 매우 복잡한 절차로 수관구획의 정확성을 향상시키려고 노력하고 있다(Chen 등, 2006).

본 연구에서는 산림지역에 대하여 지면점을 우선 분류하고 나머지는 식생으로 구분하는 간단한 절차로 처리하였다.

4.3.2 하천

수계지역에서 수심을 측량하는 등의 분과학을 수심학(水深學, Bathymetry)이라 하며, Mullen 등(1995)은 이미 항공라이다를 이용하여 수면아래의 대상물을 탐지하는 방식에 대해 제안한 바 있다. 그러나, 본 연구대상지에서 자료를 취득할 당시에는 하천지역에 수위가 전혀 없이 다양한 크기의 암석들만이 그대로 노출되어 있는 상태였다.

이러한 다양한 크기의 암석분포는 기복변화가 심한 표면을 구성하나 산림지역과는 완전히 다른 형태의 자료점 분포를 지닌다. 그 이유는 입목의 경우, 표면이 해면조직처럼 되어 있어 자료점들이 여러 개의 층을 이루는 반면에 암석의 표면은 단단하고 밀도가 높아 단일한 층을 이루는 특징이 있기 때문이다.

따라서, 본 연구대상지내의 하상이 드러난 암석지에 대해서는 별도의 지면점분류 등의 분류절차를 생략하고 모든 자료점들을 지면점이라고 일괄적으로 구분하였다.

4.3.3 인공시설지

본 연구대상지내의 인공시설지 영역은 설악동 집단시설지구의 일부로서 국립공원 관리시설 및 상가시설 등의 건물과 가로수나 조경수 등이 식재된 지역이다.

건물에 대해 취득한 항공라이다 자료는 건물의 표면가운데 주로 지붕에서 반사된 자료점들을 지니게 된다. 이러한 점들로 구성된 3차원 모형은 인공구조물이 지닌 주요 특성인 breakline과 경계선을 포함하지 못하므로 이들을 적합하는 기하학적 평면을 추정하여 3차원 모형으로 사용하였다(Morgan과 Habib, 2002).

또한, Haala 등(1998)은 3차원 모형에서 지붕표면의 높이값 변이가 공간해상도와도 관련되어 있음을 확인하였고 지붕의 형태를 유형화하였다. 또, 단순한 형태의 몇 가지 원시모형(primitive)을 제시하고 이들을 조합한 건물모형으로 3차원 건물모형을 완성하였다.

본 연구대상지의 인공시설지 내 건물모형을 만드는 절차는 우선 지면점 분류결과를 바탕으로 수치고도모형을 작성하고 이 지표면으로부터 1.3m이하와 3.5m초과의 자료점들을 우선 생울타리나 가로수 등의 식생으로 구분하였다.

그 사이의 높이를 지닌 나머지 잔존점들은 건물 추출을 위한 후보집단으로서

차량과 건물 및 이용객 등으로부터 취득된 자료들이다. 여기서, 1.3m초과부터 3.5m 이하의 높이는 차량의 표준규격을 감안한 것이고 건물의 경우 층수에 따라 층고를 규제하고는 있으나 층고높이에 따른 규제는 없어 차량과 동일하게 설정하였다.

그런 다음, 인공시설지의 식생과 건물 후보집단으로 분류된 자료점들을 정사항공사진에서 참조하여 식생점 및 건물점으로 재분류하고 최종 잔존점은 잡음(noise)으로 분류하였다.

4.4 3차원 표면모형의 복원

토지피복 등에 의해 영역을 분할하고 분할된 영역별로 지형지물의 유형에 따라 지면, 식생, 건물 및 잡음을 구분하였다. 이 자료들을 이용하여 분할된 영역별로 3차원 모형을 작성하는데 이 가운데 인공시설지 내의 건물은 자료취득 밀도가 매우 높지 않은 경우 breakline을 모형에 포함시키지 않으면 지붕이나 벽체의 형태를 알아보기 어렵다. 또한 가로수의 경우는 여러 층의 echo가 있어 수관의 외곽부 외의 수관내 반사점들과의 불규칙삼각표면이 생성되어 식별이 곤란하다.

따라서, 건물과 가로수의 경계선 작성,

건물 지붕표면의 적합(fitting), 가로수 수관의 외곽점 추출 등의 부가적인 처리를 통해 최종적으로 3차원 모형을 복원하였다.

이 때, 현실성을 증가시키기 위해 정사항공사진이나 건물의 입면사진 등을 3차원 표면모형에 입히기도 하는데 이를 image draping, mapping 또는 texturing이라 한다.

5. 결과 및 고찰

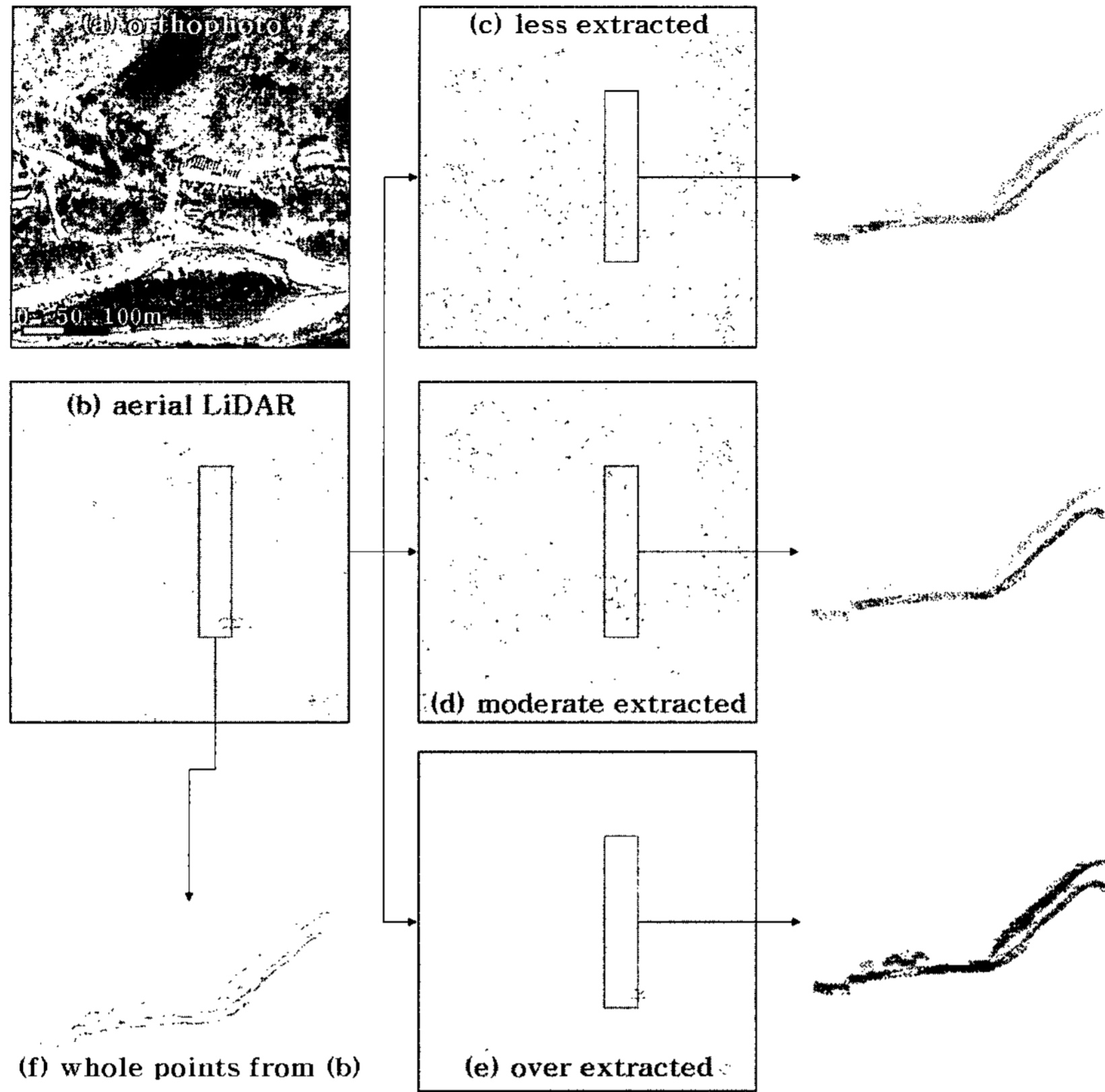
5.1 영역분할결과

연구대상지로 선정된 지역 전체에 대하여 현행 우리나라의 항공라이다 자료처리용 소프트웨어로 널리 보급된 TerraSolid 제품군의 영역확장방식 지면점분류를 실시해보았다. 이 때, 분류를 위한 임계치 설정은 다음의 Table 3과 같다.

전체 영역에 대하여 동일한 기준으로 지면점을 분류한 결과, 연구대상지의 산림과 하상이 드러난 암석지에서 충분한 지면점의 추출이 곤란하였다. 이 지역은 인공시설지보다 경사기복의 변화가 큰 곳으로서 충분한 지면점을 추출하기 위해 지면점분류를 위한 임계치 설정범위를 변화시켜야 하는데 그 결과 비교적 평탄한

<Table 3> Parameter setting for simple ground classification

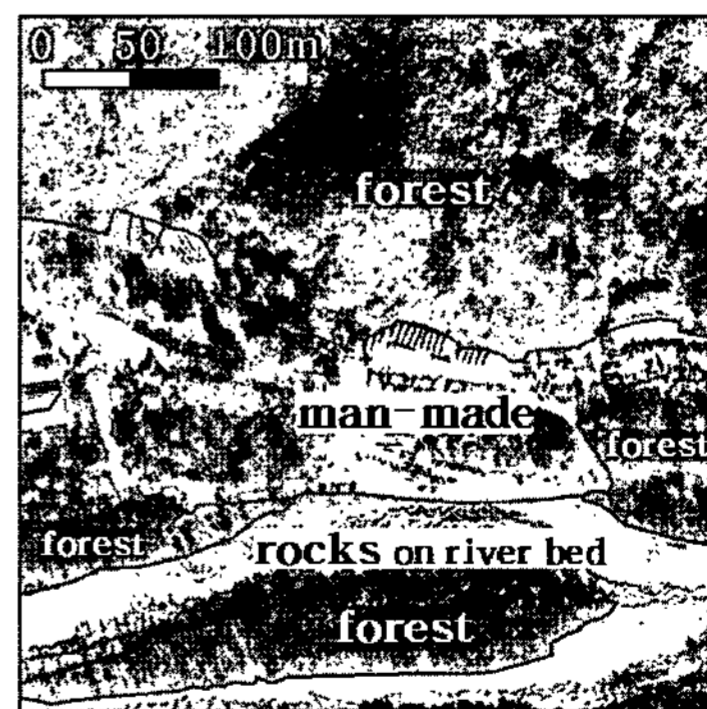
Parameter	Value
Initial point selection	Aerial + Ground points
Max. of building size	60.0m
Max. of terrain angle	88.0°
Max. of Iteration angle	6.0°
Max. of Iteration distance	1.4m
Classification option(Edge length to reduce iteration angle)	< 5.0m



[Fig. 3] Results of ground point extraction by different classification condition

인공시설지에서는 지면이외의 자료점들이 지면점으로 구분되는 등 분류가 섬세하게 조절되지 않았다. 또한, 하상이 드러난 암석지의 경우는 모든 자료점이 지면점으로 추출되어야 하나 이를 위해 임계치의 설정범위를 변화시키면 다른 지역들에서는 지면점이 과다하게 추출되어 버린다(Figure 3).

따라서, Figure 4와 같이 토지피복 및 지형기복에 따라 전체 연구대상지를 분할하였으며 각각의 특성에 따라 상이한 임계치들을 적용하여 전체 연구대상지에 대해 충분한 지면점을 분류해 낼 수 있었다(Table 4).



[Fig. 4] Zoning of study area by surface type

이 과정에서 토지피복 등을 기준으로 분할한 영역은 총 160,000m²의 면적이운데 산림이 55.1%, 하상이 드러난 암석지가

<Table 4> Result of ground classification

result \ zoning	before zoning			after zoning
	less extracted	moderate extracted	over extracted	
ground points	61,660	81,762	374,427	127,341
total no. of points	374,427	374,427	374,427	374,427

<Table 5> Result of zoning by surface type

type	area(m ²)	%	no. of points	%
forest	88,145	55.1	208,966	55.8
rock	29,390	18.4	65,111	17.4
man-made	42,465	26.5	100,350	26.8
total	160,000	100.0	374,427	100.0

18.4%, 그리고 인공시설지가 약 26.5%로 구획되었다(Table 5). 자료점의 분할결과도 살펴보면, 전체 37만여개의 자료점 가운데 산림이 55.8%, 하상이 드러난 암석지가 17.4%, 그리고 인공시설지가 약 26.8%로 나타났다. 그 결과, 분할영역간에 면적비율과 자료점의 구성비율이 유사하였으나 산림의 경우는 표면의 형태가 여러개의 층으로 되어 있어 면적에 비해 다소 자료점 수가 많아지는 경향이 있었고, 암석지의 경우는 표면반사가 단순하므로 자료점 수의 비율이 낮아지는 경향을 보였다.

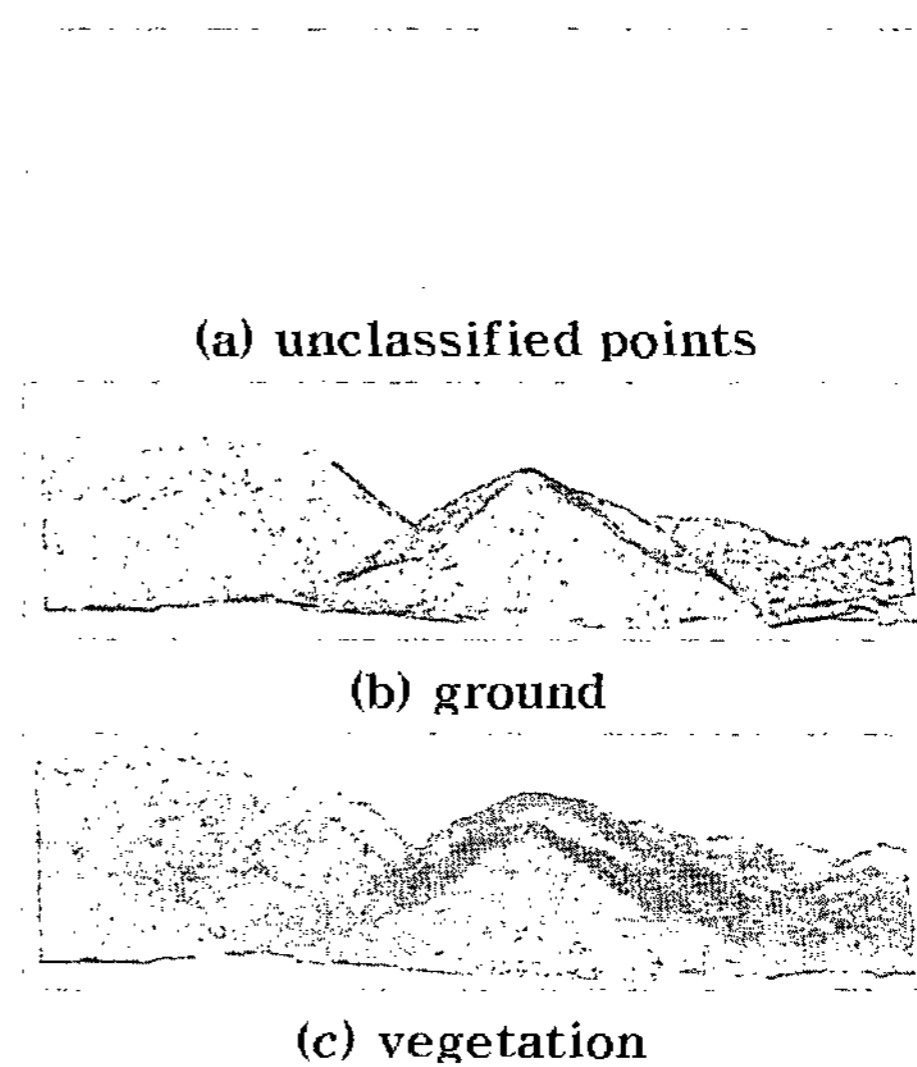
또한, 자료점수에 전체면적을 나누어 평균 자료점의 밀도를 구하면 1평방미터 당 2.34개로 설악동 계곡의 자료취득영역에서 얻은 평균밀도보다 높게 나타났다.

5.2 자료분류결과

5.2.1 산림

산림영역에서는 Figure 5와 같이 지면점 분류 및 식생분류의 2단계로 분류를 실시하였고, 그 결과 Table 6에서 보는 바와

같이 37,254개의 지면점과 171,712개의 식생점으로 분류되었으며 이는 산림영역에서 취득한 전체 자료점들 가운데 각각 17.8%와 82.2%에 해당하는 결과이다. 이러한 구성비율을 다른 토지피복 유형 등과 비교하면 상대적으로 산림영역은 식생층의 발달로 인해 식생에 의한 차폐효과가 크므로 지면점에 대한 자료취득이 적었음을 알 수 있다.



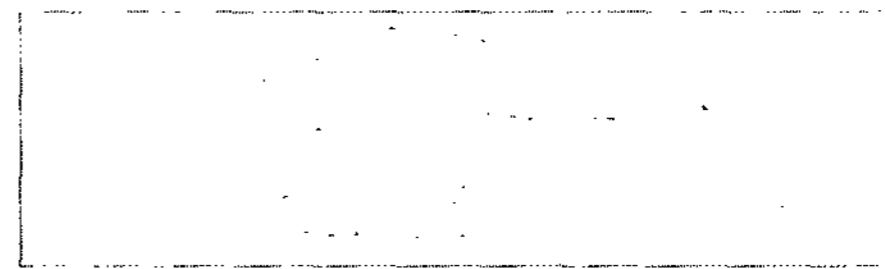
[Fig. 5] Results by data process in forest

<Table 6> Results of point classification by surface type

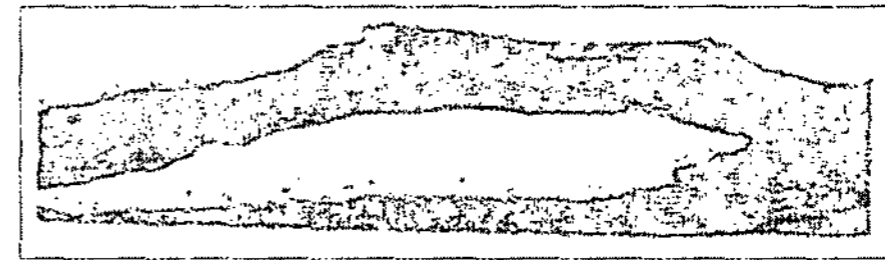
type	no. of points	ground points		vegetation points		building points		noise	
		no.	%	no.	%	no.	%	no.	%
forest	208,966	37,254	17.8	171,712	82.2	-	-	-	-
rock	65,111	65,111	100.0	-	-	-	-	-	-
man-made	100,350	24,976	24.9	68,908	68.7	2,844	2.8	3,622	3.6
total	374,427	127,341	34.0	240,620	64.3	-	-	-	-

5.2.2 하상이 드러난 암석지

자료취득 당시에 유량이 전혀 없어 하상의 암석이 그대로 드러난 암석지 영역은 모두 지면점으로 분류값을 일괄적으로 할당하는 방식을 사용하여 분류하였다(Figure 6). 이러한 결과는 다른 토지피복 유형 등과 비교하면 매우 상이한 것으로 다른 토지피복 유형별로 구분하여 상이한 방식으로 분류해야 하는 분명한 이유를 나타내고 있다(Table 6).



(a) unclassified points



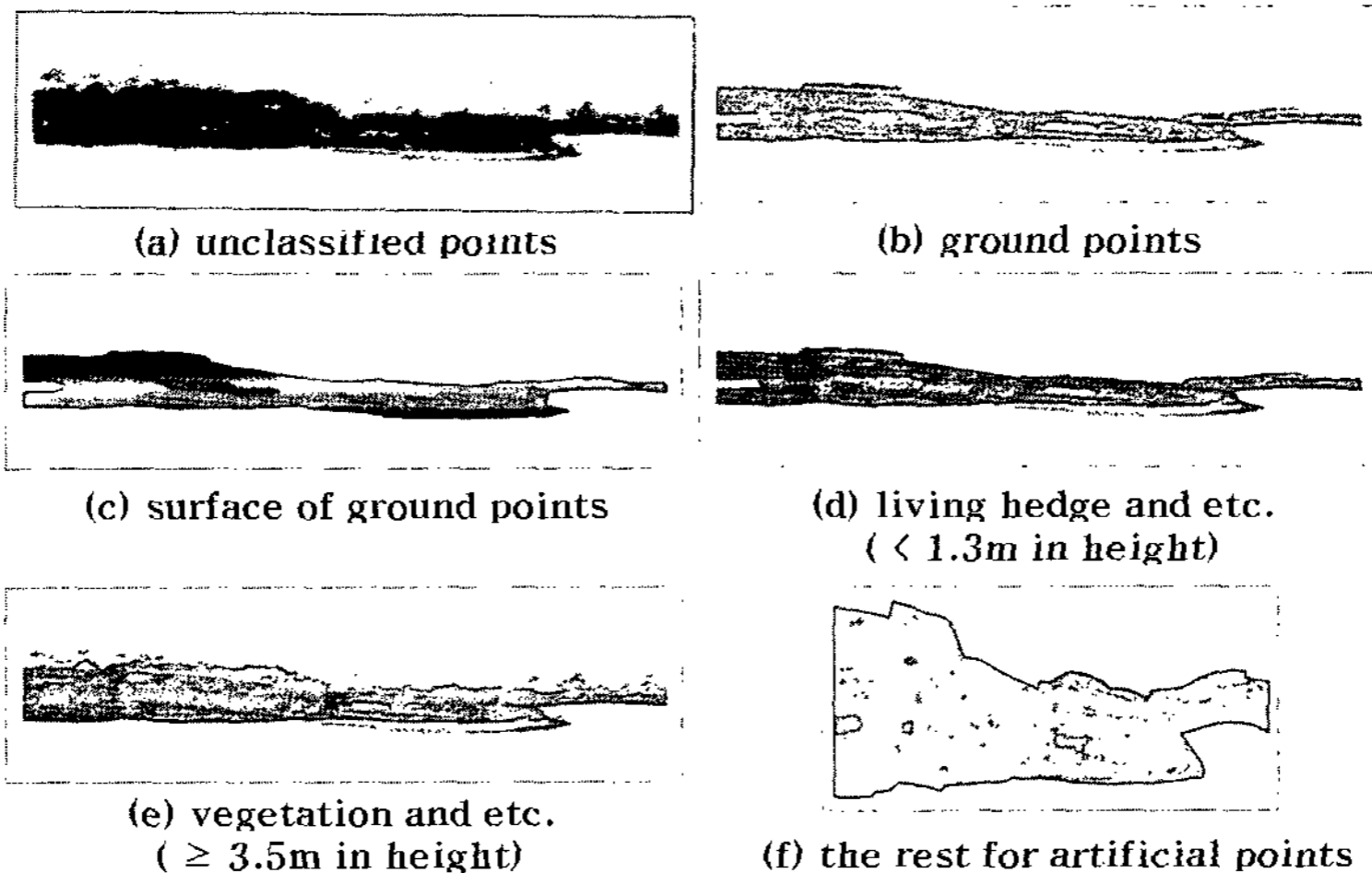
(b) rocky river bed as ground class

[Fig. 6] Results by data process in rocky river bed

5.2.3 인공시설지

Figure 7은 인공시설지 영역에서의 분류

절차에 따라 지면점 분류, 생물타리와 가로수 등의 하층 및 상층식생 분류, 건물 추출 후보군의 잔류상태까지의 자료처리 결과를 나타낸다.



[Fig. 7] Results by data process in man-made area

이 미분류된 잔류점과 기분류된 식생점들을 정사항공사진을 참조하여 식생 및 건물에 대한 재분류를 실시하고 최종까지 미분류군으로 잔류한 나머지 점들은 차량 및 이용객 등에 의한 잡음으로 분류하였다. 그 결과, 전체 인공시설지 영역에서 취득한 항공라이다 자료 중, 24.9%가 지면, 68.7%가 식생, 2.8%가 건물로 분류되었다. 이 절차에 따라 분류한 결과, 최종적으로 분류되지 않고 잔존한 나머지 3.6%의 자료점들 잡음으로 구분되었다(Table 6).

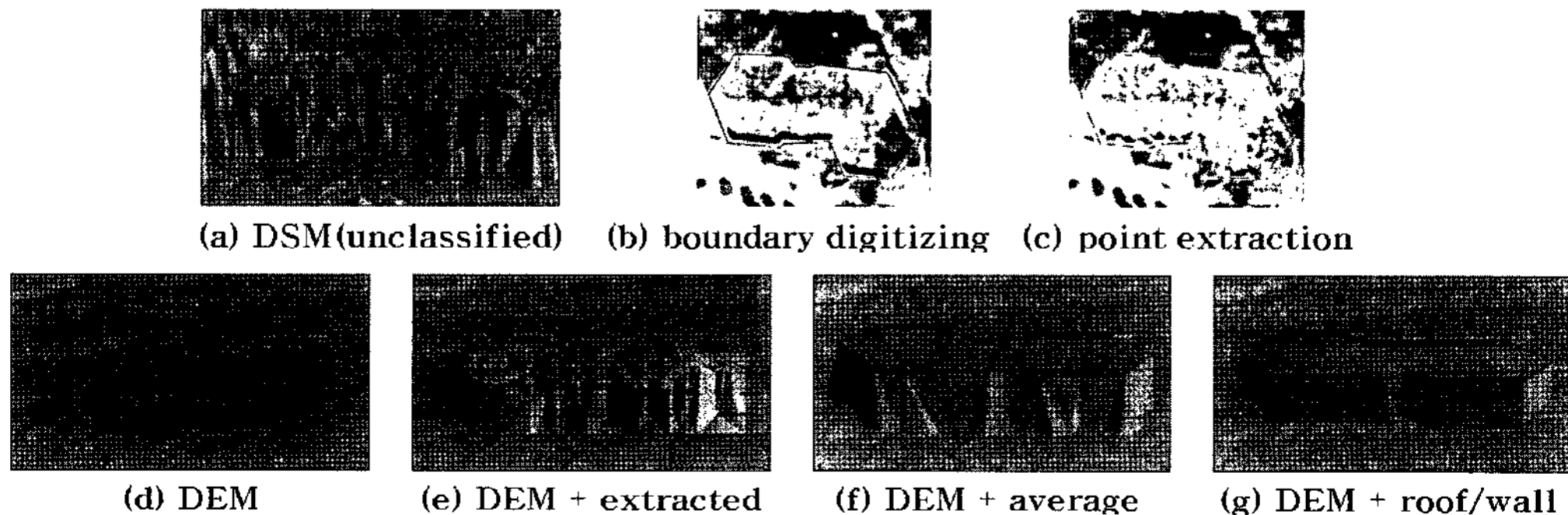
5.3 3차원 표면모형의 복원결과

산림, 하상이 드러난 암석지 및 인공시설지로 분할하여 분류한 지면과 식생들은 분류군별로 통합하여 불규칙 삼각망으로 구성하였다. 그런데, 이 과정에서 특히 건물과 같은 인공시설물의 경우는 인공물의 3차원 모형상의 특징인 breakline을 포함시킬 수 없어 부가적인 자료처리가 필요하다(Figure 8(a)).

본 연구에서는 정사항공사진을 육안판독하여 건물지붕의 외곽경계선을 디지털이징하고 기와지붕처럼 물매가 있는 경우

에는 지붕표면의 상층부에 변곡점들을 추가로 입력하였다. 그런 다음, 물매가 있는 지붕의 경우에 경계선의 높이값은 경계내에서 추출한 점들의 최소값으로 할당하여 이를 breakline으로 설정하였고 추가로 입력한 상층부 변곡점의 높이는 추출한 점들 중 최대값으로 할당하였다. 정사항공사진을 육안판독한 결과, 물매가 없는 경우는 경계선 안의 높이를 추출한 점들의 평균값으로 할당하여 이를 breakline으로 설정하였다. 또한, 벽체의 작성을 위해 건물경계선을 추가로 편집하여 벽체선을 작성하고 주변 지면점들보다 작은 값으로 높이를 부여하였다. 이 과정에서 작성된 지붕 및 벽체의 breakline과 상층부 변곡점으로 불규칙삼각망을 구성하여 3차원의 건물모형을 최종적으로 복원하였다(Figure 8).

그 밖에 가로수와 같은 식생으로 분류된 자료점들의 경우, 개체목 단위로 3차원 모형화를 하여야 하는 경우 수관의 자료점을 모두 이용하여 불규칙삼각망을 구성하는 것은 표면의 구조를 복잡하게 만들고 불필요한 자료량의 증가를 초래하므로 수치표면모형을 단위 voxel로 나누어 최고점들만을 재추출하는 절차를 적용하



[Fig. 8] Results by data process in building reconstruction

기도 하였다(Popescu등, 2002; Henning과 Radtke, 2006).

6. 결 론

본 연구는 외국과는 달리, 다양한 토지 피복 및 지형기복의 분토특성을 지닌 국내의 일반적인 연구대상지를 선정하여 해당 지역의 항공라이다 자료로부터 3차원 표면모형을 재구성하는 방법을 탐색해보고자 수행하였다.

연구대상지로는 설악동매표소 인근에 지형기복이 다양한 산림, 하상이 드러난 암석지 및 가로수와 건물, 주차장 등의 인공시설물을 포함하는 남북 및 동서방향으로 400m씩의 방형 대상지를 선정하였다.

자료처리절차로는 우선, 정사항공사진을 이용하여 토지피복 및 지형기복에 따라 영역을 구분하고 이 결과를 토대로 항공라이다 자료를 분할하였다. 이렇게 분할된 각각의 영역별로 토지피복 및 지형특성에 따라 서로 다른 자료점 분류절차들을 적용하여 3차원 표면모형을 별도로 구성하고 이를 통합하여 연구대상지의 3차원 모형을 복원하였다. 이 과정에서 건물과 같은 인공구조물의 추가적인 자료처리를 수행하였다.

그 결과, 항공라이다 자료의 분류과정 중에서 일반적으로 가장 먼저 선행하는 지면점분류의 경우, 토지피복 및 지형기복의 변화가 다양한 지역에 대해서는 획일적인 기준에 의하기보다는 영역을 분할하여 처리하는 것이 바람직하였다.

또한, 건물의 3차원 모형복원은 고밀도

로 취득되지 아니한 경우에 breakline의 형태를 식별하기 어려우므로 지붕 및 벽체 형태를 반영하는 추가적 자료처리를 통하여 적절한 복원이 가능하였다.

아울러, 식생점으로 분류된 자료점들로부터 개체목단위로 3차원 모형을 복원하기 위해서는 외곽선 추출 및 수고점 찾기의 기본적인 처리절차와 함께 단위 voxel에서의 최고점 추출을 통한 data thinning 과정이 사용되고 있음을 확인하였다.

끝으로, 항공라이다 자료에 대해 토지피복 및 지형특성을 고려하여 분할처리를 수행한 본 연구의 방법론은 대용량의 항공라이다 자료처리 시, 단순한 형태의 방형구획으로 자료를 구조화하여 일괄적인 분류작업을 적용하는 과정에서 발생할 수 있는 분류성과의 한계를 보완하는 데에도 유용하게 응용될 수 있을 것으로 판단된다.

사 사(謝辭)

본 연구는 한국환경정책평가연구원 ‘LiDAR를 활용한 국립공원내 집단시설지구의 3차원 정밀지형자료 구축(2006년 위탁연구)’ 및 산림청 ‘산림과학기술개발사업(과제번호: S10107L0201004)’의 지원에 의하여 수행된 연구결과의 일부임.

참고문헌

곽두안, 2005, 개체목 및 임분조사를 위한 LiDAR 응용에 관한 연구, 한국임학회지 94(6): 431-440.

- 윤정숙, 이규성, 신정일, 우충식, 2006, 산림지역에서의 항공Lidar자료의 특성 및 지면점 분리, 한국원격탐사학회지, Vol. 22, No. 6, pp. 533-542.
- Bartels, M. and Wei, H., 2006. Segmentation of LIDAR Data Using Measures of Distribution. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* XXX VI(7): 426-431.
- Bartels, M., Wei, H. and Mason, D. C., 2006, DTM Generation from LIDAR Data using Skewness Balancing, *International Conference on Pattern Recognition*, I: 566-569.
- Chen, Q., Baldocchi, D., Gong, P., and Kelly, M., 2006, Isolating individual trees in a Savanna Woodland using small footprint LiDAR data, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 72(8): 923-932.
- Filin S., 2002, Surface Clustering from Airborne Laser Scanning Data, *ISPRS Commission III Symposium Photogrammetric Computer Vision*, Graz, Austria, September, pp. 119-124.
- Flood M. 1999. Commercial development of airborne laser altimetry, *Workshop on mapping surface structure and topography by airborne and spaceborne lasers*, ISPRS November, La Jolla (California),
- Haala, N., Brenner, C. and Anders, K., 1998, 3D URBAN GIS FROM LASER ALTIMETER AND 2D MAP DATA, *ISPRS J. Photogrammetry & Remote Sensing*, 32, Part 3/1, pp. 339-346. (3)
- Haugerud, R. A. and Harding, D. J., 2001, SOME ALGORITHMS FOR VIRTUAL DEFORESTATION (VDF) OF LIDAR TOPOGRAPHIC SURVEY DATA, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*. XXXIV-3/W4: 211-217.
- Henning, J. G. and Radtke, P. J., 2006, Ground-based Laser Imaging for Assessing Three-dimensional Forest Canopy Structure, *Photogrammetry Engineering & Remote Sensing*, 72(12): 1349-1358.
- Koch, B., Heyder, U. and Weinacker, H., 2006, Detection of individual tree crowns in airborne LiDAR data, *Photogrammetry Engineering & Remote Sensing*, 72(4): 357-363.
- Leckie, D., Gougeon, F., Hill, D., Quinn, R., Armstrong, L. and Shreenan, R., 2003, Combined high-density LiDAR and multispectral imagery for individual tree crown analysis, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 29(5): 633-649.
- Masaharu, H. and Ohtsubo, K., 2002, A Filtering Method of Airborne Laser Scanner Data for Complex Terrain, *ISPRS Photogrammetric Computer Vision*.
- McIntosh, K. and Krupnik, A., 2002, Integration of laser-derived DSMs and matched image edges for generating an accurate surface model, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 56(3): 167-176.
- Morgan, M. and Habib A., 2002, Interpolation of LIDAR data and automatic building extraction, *ACSM-ASPRS Annu. Conf.*, pp.19~26.
- Mullen, L. J., Vieira, A. J. C., Herezfeld, P. R. and Contarino, V. M., 1995, Application of RADAR Technology to Aerial LIDAR Systems for Enhancement of Shallow Underwater Target Detection, *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 43(9): 2370-2377.
- Oude Elberink, S. and Vosselman, G., 2006, Adding the Third Dimension to a Topographic Database Using Airborne Laser Scanner Data, *ISPRS Photogrammetric Computer Vision*.
- Popescu, S. C., R. H. Wynne, and R. F. Nelson, 2002, Estimating plotlevel tree heights with lidar: Local filtering with a canopyheight

- based variable window size, *Computers and Electronics in Agriculture*, 37(1-3): 71-95.
- Sithole, G. and Vosselman, G., 2003, Report: ISPRS Comparison of Filters, ISPRS, p. 6-7.
- Soille, P., 2003, *Morphological Image Analysis: Principles and Applications*, 2nd edition, Springer-Verlag, Berlin, Germany, pp. 63-97, 267-290.
- Vosselman, G., Gorte, B. G. H., Sithole, G. and Rabbani, T., 2004, RECOGNISING STRUCTURE IN LASER SCANNER POINT CLOUDS, *IAPRS*, vol. 36, part 8/W2, pp. 33-38.
- Zhang, K. Q., Chen, S. C., Whitman, D., Shyu, M. L., Yan, J. H. and Zhang, C. C., 2003, A progressive morphological filter for removing nonground measurements from airborne LIDAR data, *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, No. 4, pp. 872-882.