

# 라이다데이터와 수치지도를 이용한 도로의 3차원 모델링 3D Road Modeling using LIDAR Data and a Digital Map

김성준<sup>1)</sup> · 이임평<sup>2)</sup>

Kim, Seong Joon · Lee, Impyeong

### Abstract

This study aims at generating automatically three dimensional geometric models of roads using LIDAR data and a digital map. The main processes in the proposed method are (1) generating a polygon encompassing a road region using a road layer from the digital map, (2) extracting LIDAR points within the road region using the polygon, (3) organizing the points into surface patches and grouping the patches into surface clusters, (4) searching the road surface clusters and generating the surface model from the points linked to the clusters, (5) refining the boundary using a digital map. By applying the proposed method to real data, we successfully generated the linear and surface information of the roads.

Keywords : LIDAR, Digital Map, Road, Model, 3D, Segmentation, Grouping

### 요 약

본 연구는 라이다데이터와 수치지도를 이용하여 도로의 3차원 기하모델을 자동으로 생성하는 것을 목표로 한다. 도로모델을 생성하는 주요 과정은 (1) 수치지도의 도로경계 레이어를 이용하여 도로영역을 나타내는 다각형을 생성하고, (2) 다각형을 이용하여 도로영역내의 라이다 점을 추출하고, (3) 점을 표면패치로 분할하고, 표면패치를 그룹화 하여 다시 표면패치집단으로 구성하고, (4) 도로표면패치집단을 식별하고 여기에 포함된 점을 추출하여, 추출된 점을 이용하여 표면모델을 구성하고, (5) 도로경계선을 수치지도를 이용하여 정제한다. 제안된 방법을 실측 데이터에 적용하여 도로의 선형 및 표면정보를 성공적으로 추출할 수 있었다.

핵심어 : 라이다, 수치지도, 도로, 모델, 3차원, 분할, 그룹화

## 1. 서 론

GIS시스템에서 참조되는 수치지도와 같은 대부분의 공간정보는 2차원 데이터로 구축되어 있다. 현실 세계의 3차원 공간상에 3차원의 형태로 존재하는 다양한 지형지물을 2차원의 형태로 표현하게 되면 많은 정보가 누락되거나 왜곡된다. 대용량의 3차원 데이터를 처리, 저장, 가시화를 위한 컴퓨터 관련 기술의 빠른 발전으로 인해 현재에는 복잡하고 실사에 가까운 3차원 공간정보를 효율적으로 다룰 수 있게 되었고, 이에 따라 특히 도시의 3차원 공간정보에 대한 수요와 활용이 크게 증가하고 있다.

또한, 측량기술 분야에서도 기술이 고도화되면서 실제

계를 표현하기 위한 데이터 취득 방법도 점차 다양화되고 있다. 이미 광범위하게 사용되고 있는 항공영상 뿐만 아니라 레이저 펄스를 이용하여 객체표면의 3차원 좌표 값을 획득할 수 있는 라이다의 이용도 일반화되어 감에 따라, 이러한 데이터를 이용한 도시의 3차원 공간정보를 추출하는 많은 연구가 활발히 이루어지고 있다.

도시의 3차원 공간정보는 크게 지면, 건물 및 도로 등의 3차원 모델로 구성된다. 다양한 센서 데이터와 기존의 GIS 데이터를 이용하여 지면과 건물에 대한 3차원 모델을 생성하는 많은 연구들이 수행되어 왔다. 상대적으로 도로의 3차원 모델 생성에 대한 연구는 많지 않았지만, 최근 들어 도로의 3차원 모델과 활용이 크게 증가하고 있

1) 서울시립대학교 공간정보공학과 박사과정(E-mail:sinus7953@uos.ac.kr)

2) 교신저자·서울시립대학교 공간정보공학과 교수(E-mail:iplee@uos.ac.kr)

다. 예를 들어, Amborz 등(2005)은 교통상황 시뮬레이션에, 최영일 등(2004)은 차량의 가상현실 운행 시뮬레이터에 활용되었고, 또한 많은 연구들에서 도로의 안전성 및 도로표면의 상태를 검사하기 위해 이용되고 있다(Javidi 등, 2004 ; Mcghee 등, 2004 ; Laurent 등, 1997).

도로의 3차원 모델은 크게 도로에 대한 선형정보와 표면정보로 구성된다. 선형정보는 중앙선, 차선, 경계선 등의 3차원 선형모델로 구성되고, 표면정보는 도로표면의 경사 및 굴곡도 등을 계산할 수 있도록 도로표면에서 조밀하게 측정된 고도 값으로 구성된 3차원 표면모델로 구성된다. 기존의 연구로는 주로 도로의 2차원 선형정보를 추출하는 연구가 많이 수행되었다. 과거에는 위성 또는 항공영상으로부터 도로정보를 자동 추출하는 연구가 많았는데, 단일 센서 데이터가 갖는 한계를 극복하기 위해서 최근에는 이중 센서 데이터를 융합하여 도로추출의 정확도 및 자동화율을 제고하였다. 예를 들어, Youn 등(2008)은 정상영상과 라이다데이터를 이용하고, Hinz 등(2003)은 다양한 각도에서 취득한 다중 항공영상으로부터 도심의 도로 네트워크를 추출하였다.

도로의 표면정보는 주로 지상의 Mobile Mapping System (MMS)로 취득된 데이터로부터 추출되었다. MMS는 차량에 다양한 센서를 탑재하여 도로를 주행하면서 도로표면에 대한 센서데이터를 취득하는 시스템이다. 초기에는 디지털카메라를 부착하여 도로표면의 영상정보를 취득하였고, 최근에는 레이저스캐너를 추가해서 도로표면에서 조밀하게 취득된 점을 취득하였다. 도로표면정보를 취득하기 위한 대표적인 상업용 MMS는 Pathview, ARAN, Digital Imaging System, VIASAT(Schwarz 등, 1993), GeoVAN 등이 있다. 이와 같은 MMS를 이용하여 도로정보를 추출하는 다양한 방법들을 Tao(2000)가 요약하여 정리하였다. 특히, Yu 등(2007)과 김준철(2003)은 레이저스캐너와 디지털카메라를 함께 탑재한 MMS에서 취득된 다중센서 데이터로부터 도로표면의 3차원 모델을 생성하는 방법을 제안하였다.

도로모델링과 관련된 위와 같은 많은 선행연구들이 있었지만 항공센서데이터를 이용하는 방법들은 주로 도로의 2차원 선형정보를 추출하는 것에 집중하였다. 도로의 3차원 표면정보는 MMS 등의 지상센서데이터를 이용하는 방법들로 생성되었고, 생성된 표면모델이 정밀하다는 장점이 있었지만 모든 도로를 주행하면서 센서데이터를 취득해야 하기 때문에 데이터 취득에 수반되는 비용이 크

다는 제약이 있었다. 이리하여 본 연구는 항공라이다데이터를 기 구축된 수치지도와 융합하여 도로의 3차원 모델을 생성하고자 한다. 항공라이다는 표면에서 조밀하게 측정된 점을 제공하기 때문에 도로의 표면정보를 추출하는 것에 용이하지만 선형정보를 정확하게 추출하기 어렵다. 이에 기 구축된 수치지도에서 포함된 도로의 경계에 대한 정보를 보조적으로 사용한다.

항공라이다데이터를 이용한 도로 모델링에 대해서는 다음과 같은 연구들이 수행되었다. Pannaik(2003)는 라이다데이터를 이용하여 도로표면의 기울기 정보를 추출하는 연구를 수행하였다. Hatger 등(2003)은 차량항법용 수치지도(GDF)를 이용하여 라이다데이터에서 도로영역만을 분할하는 연구를 수행하였다 Koch 등(2006)은 라이다데이터 등으로부터 생성된 DTM을 이용하여 도로 등 수치지도에서 2차원으로 구축된 객체를 객체마다의 고유의 특성 및 속성을 고려해서 3차원으로 변환하는 연구를 수행하였다.

라이다데이터로부터 도로의 표면모델을 정밀하게 추출하기 위해서는 도로영역에서 취득한 점들로부터 순수하게 도로의 표면에서 측정된 점만 식별하는 과정이 중요하다. 기존의 연구에서는 수치지도의 도로경계선을 이용하거나 점 기반의 필터링을 이용한 방법을 제시하였다. 그러나 이러한 방법은 중앙분리대, 차량 등 도로위에 존재하는 다양한 비(比)도로 점에 대한 고려가 미흡할 수 있다. 이에 본 연구는 피쳐(feature) 기반의 효율적이고 실용적인 분할방법(이임평, 2006a)을 적용하여 도로영역 내에서 순수하게 도로표면에서 반사된 점만을 추출하여 도로모델링을 수행하고자 한다. 수치지도에서 명시된 개략적인 도로영역내의 라이다 점을 그룹화 하여 평면패치의 집합으로 구성된 후 평면패치들 중에 도로표면에 존재하지 않는 것을 제거하여 순수하게 도로표면 상에 존재하는 점을 분류하여 이로부터 도로의 표면모델을 생성한다.

## 2. 방법론

### 2.1 개요

본 연구에서 제안된 방법은 라이다데이터와 수치지도를 입력으로 최종적으로 도로의 경계선 및 표면모델을 생성한다. 제안된 방법은 크게 2단계로 구성된다. 1단계는 라이다 데이터로부터 순수하게 도로표면에 측정된 점 - 도로표면 점을 추출하고, 2단계는 추출된 도로표면 점으

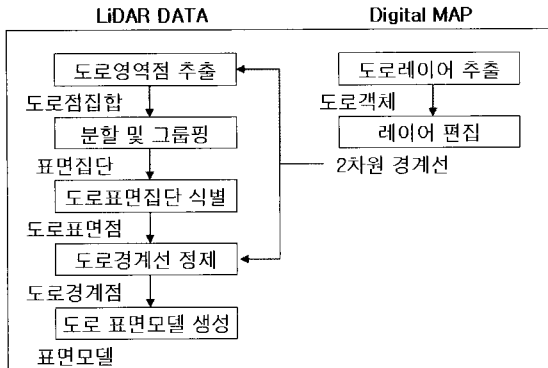


그림 1. 제안된 방법의 개략적인 흐름

로부터 도로경계선과 표면모델을 포함하는 도로의 3차원 모델을 생성한다. 제안된 방법의 개략적인 흐름은 그림 1과 같다. 수치지도의 도로 레이어를 이용하여 도로의 2차원 경계선을 생성하고, 이를 이용하여 라이다데이터에서 도로영역에 해당하는 점들만을 추출한다. 추출된 점들에 대해 분할과 그룹화를 수행하여 순수하게 도로표면을 나타내는 점과 차량이나 도로시설물 등의 비도로 표면 점을 분류한다. 마지막으로 2차원 경계선과 이웃하는 표면 점들의 평면계수를 이용하여 도로표면영역의 3차원 경계선을 정제하여 생성하고, 도로표면에 대한 TIN(Triangular Irregular Network)으로 표현된 표고모델을 생성함으로써 도로모델링을 완료한다.

## 2.2 도로표면 점 추출(단계1)

### 2.2.1 도로영역 점 추출

수치지도의 도로레이어로부터 도로의 경계를 나타내는 객체를 추출한다. 수치지도 v2.0의 경우는 도로의 경계가 폐합되어 하나의 다각형으로 구성되어 있지만, 수치지도 v1.0의 경우는 도로의 경계를 따라 생성된 폐합되지 않은 선형객체로 구성된다. 이러한 선형객체는 폐색지역이나 도화사의 실수 등의 원인으로 인하여 실제 도로의 면을 완전하게 감싸는 연속적인 형태로 구성되지 않는 경우가 있다. 이러한 오류는 편집을 통하여 수정하고 폐합하여 도로영역을 나타내는 2차원 다각형을 생성한다.

라이다데이터로부터 도로영역 다각형을 이용하여 도로 영역내의 라이다 점을 추출한다. 하나의 점이다각형의 내부 또는 외부에 존재하는가를 판단하는 방법은 박지혜(2005)가 사용한 Inside-Outside Test를 적용하였다. 위의 방법은 임의의 다각형을 볼록다각형으로 분할한 후 점이

분할된 볼록다각형 중 하나의 내부에 존재하는가를 판단한다.

### 2.2.2 분할(Segmentation)

분할은 주어진 원시 입력 데이터로부터 보다 일반적인고, 요약적이며, 명시적인 표현을 생성하는 과정이다(이임평, 2006a). 3차원 공간상의 객체표면에 불규칙하게 분포하고 있는 점들은 그룹화를 통해 공간적으로 연속된 표면패치(surface patches)의 집합으로 구성할 수 있다. 이는 단순한 점의 집합이 아닌 보다 요약적이고 명시적으로 표현이기 때문에, 빌딩이나 도로와 같은 객체를 추출함에 있어서 보다 효과적으로 활용될 수 있다.

본 연구에서는 이임평(2006a)이 제시한 방법을 적용하여 분할을 수행한다. 분할을 수행하는 주요 과정을 살펴보면 먼저 각 점에 대하여 주변 점들에 대한 인접성을 수립하고, 이를 기반으로 초기패치들을 생성한다. 생성된 초기패치들 중 실제 의미 있는 평면일 가능성이 높은 패치부터 주변의 점들을 포함하면서 영역을 확장한다. 이렇게 확장이 끝난 패치는 평면을 근사하는 평면방정식의 계수와 패치에 포함된 점, 그리고 그 경계에 대한 정보를 담고 있다. 본 연구에서는 패치에 포함된 점과 경계정보를 이용하여 표면 모델과 3차원 도로표면경계선을 생성한다.

### 2.2.3 그룹화(Grouping)

표면패치들을 그룹화 하여 표면집단으로 구성하는 과정이다(Lee, 2002). 이 과정을 통해 실제 하나의 객체에서 비롯된 여러 표면패치들이 하나의 표면집단으로 그룹화 된다. 표면집단으로 그룹화를 하는 기준은 서로 인접한 두 개의 표면패치 사이의 연결성(connectedness)과 상대적인 돌출성(elevatedness)이다. 연결성은 두 패치에서 서로 인접하는 에지(edge)들을 찾아내고, 이들 간의 연결성 정도를 계산하는 것으로써 에지간의 거리가 가깝고, 각각의 에지의 길이가 길수록, 그리고 에지를 포함하는 패치의 점 밀도가 조밀할수록 연결성은 높게 정의된다. 돌출성은 수평적으로 인접한 패치간의 수직적인 높이 차이에 대한 정도를 계산하는 것으로 두 패치의 서로 인접하는 에지들을 찾아내고 이들의 수직적인 높이 차이를 기반으로 정의된다. 만약 하나의 객체에서 비롯된 표면패치의 경우는 서로 간의 연결성이 크나 돌출성은 작다는 것을 고려해서, 이를 만족하는 표면패치들은 하나의 그룹으

로 포함시켜 표면집단으로 구성한다.

### 2.2.4 도로표면집단 식별

분할과 그룹화를 거쳐 최종적으로 생성된 것은 도로경계선 내부에 존재하는 도로와 비도로 객체의 표면을 나타내는 표면집단이다. 여러 표면집단들 중에서 도로표면을 나타내는 집단 - 즉, 도로표면집단을 식별해야 한다. 앞의 과정을 살펴보면 라이다 점에서 분할과 그룹화를 수행하기 이전에, 수치지도 상의 도로경계선 이내에 존재하는 점만을 추출하였고, 따라서 여러 개의 표면집단들 중에서 도로표면집단은 그 영역이 가장 크고 동시에 돌출성이 낮을 것이라는 점을 착안할 수 있다. 이를 적용하여 순수한 도로표면집단을 식별한다. 본 방법은 이임평(2006b)이 제시한 라이다데이터로부터 지표면 점을 추출하는 방법을 도로의 표면 점식별에 적합하도록 변형하였다.

## 2.3 도로모델생성(단계2)

### 2.3.1 도로경계 정제

추출한 도로표면집단의 경계에 대해 정제한다. 도로표면집단의 경계는 엄밀한 의미에서 도로표면의 경계가 아니라 도로표면 점들 중에 최 외곽의 점들을 연결한 것이다. 따라서 실제 도로표면집단의 경계는 라이다데이터의 특성으로 인하여 그 모습이 거칠(rough)기 때문에, 수치지도의 도로경계선을 이용하여 경계점데이터를 매끄럽게 정제한다. 방법은 다음과 같다. 그림 2와 같이 (1)먼저 경계점의 수치지도 상의 도로경계선에 수선을 내리고 그 교점을 계산하여 새로운 도로표면 경계점의 수평위치를 계산한다. 그리고 (2)계산된 교점을 중심으로 수평위치상에서 일정거리 이내에 존재하는 라이다 점들을 찾아내어 표면모델에 적용하여 평면계수를 찾아낸다. 마지막으로 (3) 교점의 수평좌표를 평면방정식에 대입하여 높이 값을 산출하여 새로운 도로경계점을 생성한다.

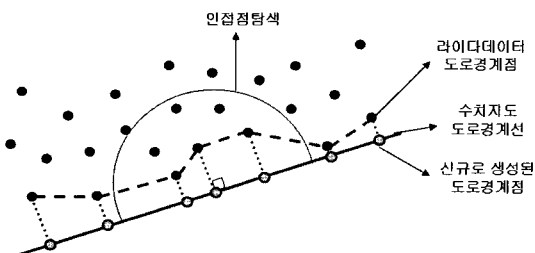


그림 2. 도로경계점을 수치지도 경계선에 투영

이와 같이 신규로 생성되는 도로경계점은 라이다데이터의 도로표면 점과 함께 도로표면 모델을 생성하는데 이용된다.

### 2.3.2 도로표면모델 생성

표면을 나타내는 모델은 여러 연구에서 개발이 되었으며, 방법에 따라 각각의 장단점이 존재한다. 가장 일반적인 방법으로는 DEM(Digital Elevation Model), TIN(Triangulated Irregular Network), 등고(contour line)데이터 표현 방법 등이 있는데, 그 중에서 현재 가장 널리 사용되는 것은 DEM 표현 방법이다. 그 이유는 표현이 간단하고 분석이 쉽기 때문이다. 그러나 DEM으로 지형을 표현하는 경우에는 데이터의 용량이 커지는 단점이 있다. 지형 데이터 표현 방법 가운데 가장 데이터용량이 작은 것은 TIN이다. TIN데이터를 이용한 분석 알고리즘은 매우 복잡하다는 단점이 있지만 데이터의 정확도 면이나 용량 면에서는 다른 표면모델방법에 비해 나은 성능을 보여준다(최미나 등, 2002). 본 연구에서는 최소한의 데이터 용량으로 순수한 도로 표면 점들의 정보를 최대한 보존하여 공간 분석시의 그 정확도를 높이고자 TIN을 이용하여 도로의 표면 모델을 생성하고자 한다. 도로표면 점과 정제되어 생성된 경계점에 기반 한 Delaunay triangulation 방법을 적용한다.

## 3. 적용 및 검토

### 3.1 실험데이터

실험 대상지역으로는 충청남도 대전광역시외의 일부 구릉지역을 선정하였다. 본 연구의 실험 대상지역은 단순한 일직선 형태의 도로가 아닌 경사가 있는 구릉지 위에 세 도로가 서로 만나는 지점이기 때문에 특수한 경우에도 제안한 방법이 적용되는지 알아보려고 한다. 그림 3은 실험 대상지역에 대한 항공영상, 라이다데이터, 수치지도이다. 항공영상에서 대상지역을 살펴보면 두 도로가 하나로 이어지는 모습을 띠고 있다. 표 1은 실험지역의 라이다데이터의 특성을 보여준다. 수치지도의 축척은 1:1000이며, 도로경계와 관련된 레이어(시도, 군도, 면리간도로, 부지안도로, 특별시도, 광역시도, 소로 등)를 이용하였다.

### 3.2 실험과정

#### 3.2.1 데이터전처리

먼저 도로경계와 관련된 레이어를 추출하고 하나의 도

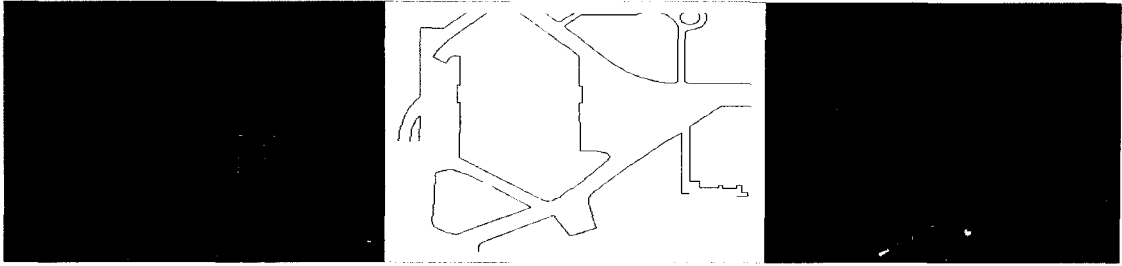


그림 3. 실험대상지역의 항공영상, 수치지도, 라이다데이터

표 1. 라이다데이터의 제원

항목	값
점개수	63,726 점
점밀도	2.72 점/m <sup>2</sup>
X최소값	232,432
X최대값	232,574
Y최소값	319,335
Y최대값	319,500
좌표계	WGS84, TM

로면으로 편집한다. 그리고 도로경계선을 구성하는 선분들에 대한 방정식 계수를 산출할 수 있도록 도로경계선을 구성하는 좌표 점들을 추출한다. 아래의 그림 4는 추출된 좌표 점들을 연결하여 도로경계선을 재현한 모습이다. 그림 5는 라이다데이터의 이상점을 제거한 후, 라이다데이터에서 수치지도의 도로경계선 이내에 존재하는 점만을 추출하여 나타낸 그림이다.

### 3.2.2 분할 및 그룹화

일차적으로 도로영역 내의 점 데이터를 추출한 후에는 분할을 수행한다. 그림 6은 초기패치들이 영역확장을 하여 생성된 표면패치의 모습으로 총 7개의 패치가 생성됨

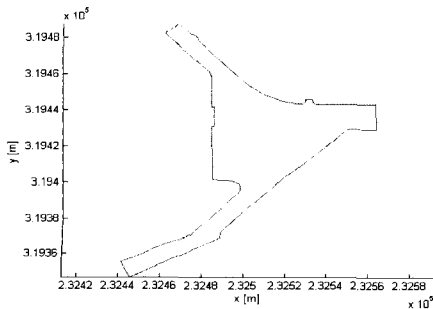


그림 4. 도로경계점을 연결한 도로경계선

을 알 수 있다. 그림을 보면 몇 개의 서로 인접하는 패치가 서로 중복되어 생성되는 것을 볼 수 있다. 이는 영역을 확장하는 과정에서 도로면의 경사가 큰 부분에 대해서 발생하는데, 중복영역 내에 있는 점 데이터는 두 패치의 영역에 모두 포함될 수 있음을 의미 한다. 본 연구에서는 모두 도로 표면 점만을 알기 위해 표면 분할을 수행한 것이므로, 중복영역이 실험에 영향을 미치지 않는다.

생성된 평면패치를 표면집단으로 구성하기 위해서는 2.2.3에서 설명된 각각의 패치들 간의 연결성과 돌출성을 계산하고, 이를 바탕으로 그룹화를 수행한다. 인접성과 돌출성은 이임평(2006)이 제안한 방법을 적용하였다. 인접한 두 개의 표면패치 사이의 연결성은 식 (1)과 같이 정의된다. 여기서  $\theta_{conn}(s_1/s_2)$ 는 S2를 기준으로 S1과의 연결성을 나타낸다.

$$\theta_{conn}(s_1, s_2) = \theta_{conn}(s_1/s_2) \cdot \theta_{conn}(s_2/s_1) \quad (1)$$

S1패치의 돌출성은 인접한 주위의 모든 패치 S<sub>k</sub>와의 돌출성 합으로 정의하고, 패치간의 돌출성은 식 (2)과 같이 가장 가까운 에지(Edge)의 길이와 높이 차이를 고려하여 계산한다.

$$\theta_{elev}(e_{i,1}, e_{j,k}) = Leng(e_{i,1}) \cdot Diff(e_{i,1}, e_{j,k}, z) \quad (2)$$

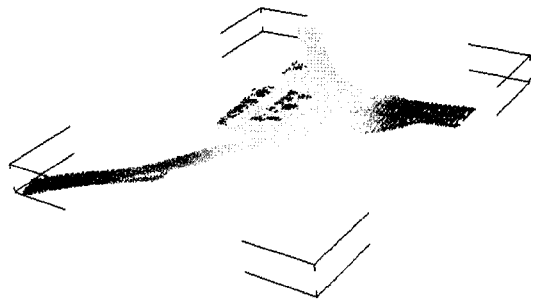


그림 5. 도로영역내의 라이다 점

표 2를 보면 P0 패치에 대하여 P1 및 P2 패치는 상대적으로 높은 연결성과 낮은 돌출성 수치를 보이고 있는 높은 연결성과 낮은 돌출성은 두 표면패치가 실제 한 표면을 나타낸다는 사실을 암시한다. 반면에 P4 및 P5 패치는 상대적으로 낮은 연결성과 높은 돌출성을 보이고 있다. 그리고 P0과 연결성이 높은 P1번 패치와 P3번 패치 사이에도 높은 연결성과 낮은 돌출성을 보임을 알 수 있다. 그림 7은 그룹화가 수행되어 생성된 표면집단의 모습이다. 7개의 패치들 간의 연결성과 돌출성을 고려하여 표 3과 같이 P0, P1, P2, 및 P3 패치가 S0 표면집단으로 그

룹핑되었음을 알 수 있다.

그룹화를 통해 평면패치들이 표면집단으로 구성되면 하나의 표면 집단은 하나의 의미 있는 객체를 나타낸다. 이러한 표면집단들 중에서 면적이 크면서 다른 집단과 비교하여 상대적으로 돌출성이 낮은 표면집단은 도로면을 나타내는 표면집단일 가능성이 크다. 이러한 조건을 이용하여 표면집단 중에서 S0를 도로표면집단으로 선택하였다. 그림 8은 선택된 도로표면집단을, 그림 9는 S0번 표면집단에 포함된 점을 가시화한 모습이다. 가시화된 도로 표면 점을 살펴보면 그림 5에서 나타나있는 붉은색 원부분의 점들이 제거되었음을 알 수 있다. 이는 그림 6의 P4, P5, P6 패치는 순수한 도로표면이 아닌 것으로 판별되어

표 2. 표면패치간의 돌출성과 연결성

표면패치ID		돌출성	연결성
P0	P1	0.0917347	1032.45
P0	P2	0.0556776	1288.47
P0	P4	0.133474	323.992
P0	P5	0.234929	0
P0	P6	0.198797	0
P1	P3	0.096654	908.116

표 3. 그룹화결과 표면집단과 표면패치ID

표면집단ID	표면패치ID
S0	P0, P1, P2, P3
S1	P4
S2	P5
S3	P6

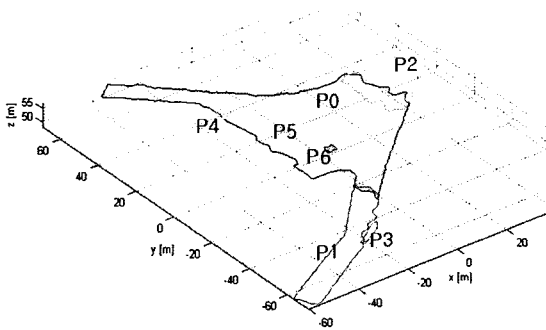


그림 6. 평면패치와 각각의 패치경계선

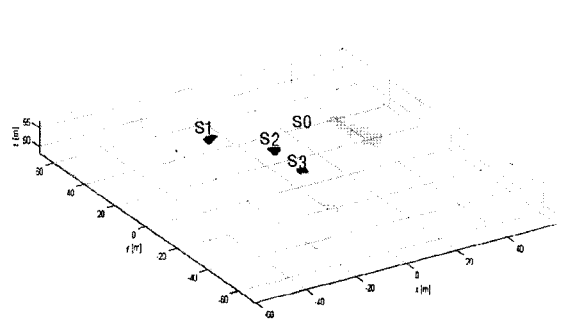


그림 7. 평면패치들로 구성된 표면집단

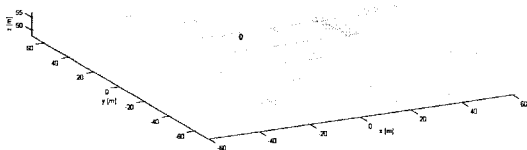


그림 8. 식별된 도로표면집단

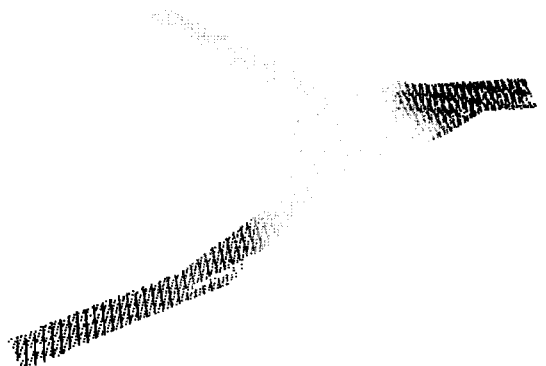


그림 9. 도로표면집단을 구성하는 점

순수한 도로표면을 나타내는 S0번 표면집단에 포함되지 않았기 때문이다. P3 패치는 P0 패치와는 연결성이 없지만 P1과의 연결성이 높기 때문에 S0 표면집단에 포함되었음을 알 수 있다. 그림 3의 항공영상에서와 같이 결과 P3 패치는 P1 패치가 나타내는 도로와 연결되는 내리막 도로의 일부분으로 확인되었다.

### 3.2.3 도로경계선의 정제

그림 10은 도로표면집단을 이루는 점 데이터 중에서 경계점만을 가시화한 그림이다. 본 연구에서 제안하는 방법을 사용하여 각각의 경계점을 수치지도의 도로경계선에 투영함으로써 아래의 그림 11과 같이 경계점들을 조정할 수 있다.

### 3.3 실험 결과 및 분석

지금까지 수치지도와 라이다데이터를 이용하여 도로표면 점들을 추출하고 이를 기반으로 표면모델과 도로중심선을 생성하여 보았다. 그림 12는 데이터 셋에 대해 생성된 도로표면 모델을 VRML로 변환하여 가시화한 모습이다.

본 연구의 핵심은 라이다데이터로부터 도로영역의 점 데이터를 추출함에 있어서 차량이나 기타 도로시설물을 나타내는 점 데이터를 배제하고 순수한 도로의 표면 점만을 이용하여 모델링을 수행하는 것이다. 따라서 도로영역 내의 점 데이터 중에서 비 도로표면 점들이 합리적으로 제거되었는지에 대한 간단한 검증을 해보았다. 그림 13은 완성된 도로표면모델과 도로영역 내에 있지만 비 도로표면 집단으로 식별된 점들을 가시화한 모습이다. 그림에서와 같이 S1, S2 및 S3 표면집단은 3차원 공간상에서 도로표면모델 위에 존재함을 볼 수 있고, 각각의 점들에 대해서 수평좌표를 도로표면집단의 점 데이터를 기반으로 생성된 TIN에 내삽 함으로써 높이 차이를 계산하였다. 세 집단의 평균은 각각 0.89, 1.26, 0.96으로 약 1m 차이가 있음을 알 수 있다. 그림 3에서 확인할 수 있듯이, 세 표면집단을 구성하는 점 데이터는 도로표면이 아닌 차량 위에서 반사된 것으로 판단된다. 검증결과 도로상의 라이다데이터에서 비 도로표면 점들이 제거되고 순수한 도로표면 점들만 선택이 되었음을 알 수 있다.

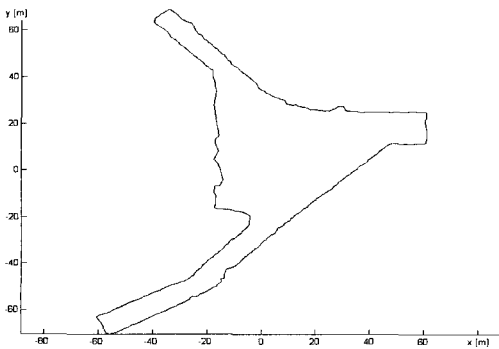


그림 10. 도로표면집단의 경계선

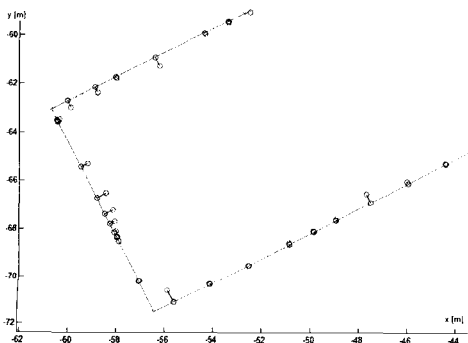


그림 11. 도로 경계점이 수치지도의 도로경계선으로 투영

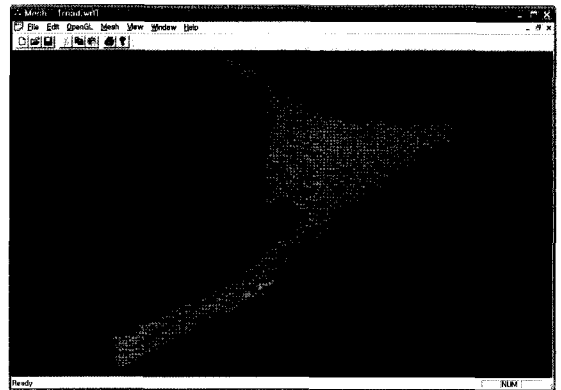


그림 12. VRML에서 가시화된 도로표면모델

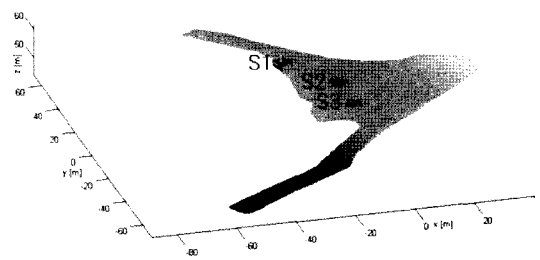


그림 13. 도로표면모델과 비도로 표면집단

## 4. 결 론

본 연구는 항공라이다데이터와 수치지도를 이용하여 도로의 3차원 표면정보와 선형정보를 포함하는 도로의 3차원 기하모델을 생성하는 방법을 제시하고 실측데이터에 적용하여 검증하였다. 이를 통해 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 도로영역내의 라이다점들 중에서 순수하게 도로 표면에서 측정된 점을 라이다점에 대한 분할 및 그룹화 과정을 통해 정교하게 식별할 수 있다.

둘째, 라이다데이터를 수치지도와 융합한다면 수치지도에 포함된 2차원 도로객체에 대한 3차원 모델을 효율적으로 생성할 수 있다.

향 후 연구로 본 연구에서 제시한 방법으로 추출한 도로의 표면 점에 대해 도로의 속성을 고려한 제약요소를 고려하여 조정한다면 보다 정확한 도로의 표면모델이 생성될 수 있을 것이다. 또한 보다 다양한 도로형태와 수치지도의 축척에 대하여 케이스별로 실험을 수행할 예정이다. 본 연구를 통해 제안된 방법으로 도로의 3차원 기하모델을 효율적으로 생성될 수 있고, 이러한 도로의 모델은 교통 시뮬레이션, 도로의 안전성, 도로표면이 상태 확인 등에 유용하게 활용될 것이다.

## 감사의 글

본 연구는 2006년도 서울시립대학교에서 지원한 교내 학술연구조성비로 수행되었습니다. 이에 깊은 감사를 드립니다(과제번호 : 200605011036).

## 참고문헌

김남신 (2003), 규칙기반 모델링에 의한 지도요소일반화, 박사학위논문, 한국교원대학교.  
김준철 (2003), 레이저스캐닝 데이터를 이용한 정밀 도로 수치표고모델 제작에 관한 연구, 추계학술발표회 논문집, 한국측량학회, pp. 245-250.  
박경렬 (1999), 수치지도제작을 위한 자동일반화시스템 개발, 박사학위논문, 충북대학교.  
박지혜 (2005), 라이다데이터와 수치지도를 융합한 건물의 자동 모델링, 석사학위논문, 서울시립대학교 공간정보공학과.  
이임평 (2006a), 항공 라이다 데이터의 분할: 점에서 패치로”, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 24권 제 1호, pp. 1-11.  
이임평 (2006b), 라이다 데이터로부터 지표점 추출을 위한 피처 기반 방법, 대한원격탐사학회지, 대한원격탐사학회, 제 22권,

제 4호, pp. 265-274.  
이종출 (2001), 동적GPS관측에 의한 도로의 평면선형 분석, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제 19권 제 1호, pp. 39-45.  
최미나, 김시완, 이학철, 이기준 (2002), 형태적 특성을 고려한 지형 모델, 학술발표논문집, 한국정보과학회, pp. 238-240.  
최영일, 장석, 김규희, 조기용, 권성진, 서명원 (2004), 차량 시뮬레이터를 위한 3차원 도로모델의 렌더링 성능 향상에 관한 연구, 한국자동차공학회논문집, 한국자동차공학회, 제 12권 제 5호, pp. 162-170.  
Ambroz, M., Krasna, S., and Prebil, I. (2005), 3D road traffic situation simulation system, *Advances in Engineering Software*, Vol. 36, Issue 2, pp. 77-86.  
Automatic Road Analyzer (ARAN), Roadware Group, Inc., <http://www.roadware.com>  
Digital Imaging System, International Cybernetics Corporation, <http://www.internationalcybernetics.com>  
Douglas, D., Peucker, T. (1973), Algorithm for the reduction of number of points required to represent a digitized line or its caricature, *The Canadian Cartographer*, Vol. 10, No. 2, pp. 112-122.  
GeoVAN, GeoSpan Corporation, <http://www.geospan.com>  
Hatger, C. and Brenner, C. (2003), Extraction of Road Geometry Parameters from Laser Scanning and Existing Databases, *Workshop 3-D reconstruction from airborne laser-scanner and InSAR data*, ISPRS, Dresden, Vol. 34, Part 3/W13.  
Hinz, S. and Baumgartner, A. (2003), Automatic extraction of urban road networks from multi-view aerial imagery, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, ISPRS, Vol. 58, No. 1-2, pp. 83-98.  
Javidi, B., Kim, D., and Kishk, S. (2004), *A laser-based 3D data acquisition system for the analysis of pavement distress and roughness*, Technical Report No. HR 04-300, Department of Transportation, the University of Connecticut.  
Koch, A. and Heipke, C. (2006), Semantically correct 2.5D GIS data - The integration of a DTM and topographic vector data, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, ISPRS, Vol. 61, Issue 1, pp. 23-32.  
Laurent, J., Talbot, M., and Doucent, M. (1997), Road surface inspection using laser scanners adapted for the high precision measurements of large flat surfaces, *International Conference on Recent Advances in 3-D Digital Imaging and Modeling*.  
Lee, I. (2002), *Perceptual Organization of Surfaces*, Ph.D. Dissertation, Dept. of Civil and Environmental Engineering and Geodetic Science, The Ohio State University, Columbus, OH, USA.  
McGhee K.H. (2004), *Automated pavement distress collection techniques. a synthesis of highway practice*. Report for national cooperative highway research program (synthesis 334), transportation research board of the national academies.  
Pathview, Pathway Services, Inc., <http://www.pathwayservices.com>



- Pattnaik, S.B., Hallmark, S. and Souleyrette, R. (2003), Collecting road inventory using LIDAR surface models, Map India.
- Schwarz, K.P., Martell, H.E., El-Sheimy, N., Li, R., Chapman, M.A., and Cosandier, D. (1993), VIASAT - a mobile highway survey system of high accuracy, *the IEEE Vehicle Navigation and Information Systems Conference (VNIS'93)*, pp. 476-481.
- Tao, C.V. (2000), Mobile mapping technology for road network data acquisition, *Journal of Geospatial Engineering*, Vol. 2, No. 2, pp. 1-14.
- Youn, J., Bethel, J.S., Mikhail, E.M, and Lee, C., (2008), Extracting Urban Road Networks from High-resolution True Orthoimage and Lidar, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, ASPRS, Vol. 74, No. 2, pp. 227-237.
- Yu, S., Sukumar, S.R., Koschan, A.F., Page, D.L., Abidi, M.A. (2007), 3D reconstruction of road surfaces using an integrated multi-sensory approach, *Optics and Lasers Engineering*, Vol. 45, Issue 7, pp. 808-818.

---

(접수일 2008. 2. 9, 심사일 2008. 3. 3, 심사완료일 2008. 4. 16)