

모바일 레이저 스캐닝 데이터를 이용한 도로선형 및 횡단면 추출에 관한 연구

김세근^{1*} · 이현용² · 주영은³

A Study on the Extraction of Horizontal Alignment and Cross-Section of Roads using Mobile Laser Scanning Data

Se-Geun KIM^{1*} · Hyun-Yong LEE² · Young-Eun JOO³

요 약

도로교통 안전진단에 있어 도로의 형상분류를 통한 도로 선형 및 횡단면 데이터의 추출은 매우 중요한 작업이다. 기존의 조사원에 의한 도로안전진단은 많은 시간과 비용이 요구되는 반면 도로안전진단을 위한 다양한 정보를 제공하지 못한다는 단점이 있다. 따라서, 레이저 스캐닝 장치를 장착한 차량측량시스템을 이용, 수치사진측량시스템 기술을 활용하여 자동으로 도로형상을 분류하고, 도로 선형 및 횡단면 데이터를 추출하는 방안이 필요하다.

본 논문에서는 이를 위해 모바일 레이저 스캐닝 데이터를 취득하여 처리하고, 이를 통해 도로 선형 및 횡단면 데이터를 추출할 수 있는 방안을 제시하고, GPS-VAN 을 이용 취득된 모바일 레이저 스캐닝 데이터를 처리, 도로 선형 및 횡단면 데이터를 추출하는 연구를 진행하였다.

주요어 : 차량측량시스템, 수치사진측량시스템, 레이저 스캐닝, 도로선형, 도로횡단면

ABSTRACT

The extraction of horizontal alignment and cross-section of roads is very important task in road safety diagnosis. Existing road safety diagnosis methods by investigators need much time and expense but don't provide various data. Therefore, we need road shape classification automatically and extraction method of horizontal alignment and cross-section of roads through digital photogrammetry system using GPS-VAN with laser scanner.

In this paper, we propose a method of mobile laser scanning data acquisition, processing and developing extraction methods of horizontal alignment and cross-section of roads using mobile laser scanning data by GPS-VAN.

KEYWORDS : GPS-VAN, Digital Photogrammetry System, Laser Scanning, Horizontal Alignment Cross-Section of Roads

2006년 8월 28일 접수 Received on August 28, 2006 / 2006년 9월 19일 심사완료 Accepted on September 19, 2006

1 이엔지정보기술(주) 솔루션개발팀 Solution Technology Team, E&G Information Technology Co., Ltd

2 이엔지정보기술(주) 지리정보사업팀 Geographic Information Biz Team, E&G Information Technology Co., Ltd

3 이엔지정보기술(주) 대표이사 CEO, E&G Information Technology Co., Ltd

* 연락처 E-mail : skmj@engit.com

서론

우리나라의 교통사고 발생수준은 OECD 회원국 중 최고 수준으로, 타 부문에 비하여 외국과의 경쟁력이 낮은 것으로 보고되고 있으며, 이러한 교통사고는 사회경제적으로 막대한 손실을 초래할 뿐만 아니라 국가경쟁력 제고에도 장애요소가 되고 있다.

이는 우리나라의 도로교통관련 조직체계, 법규, 계획, 제도, 정책 및 사업으로 이루어지는 도로교통안전 관리체계에 매우 심각한 문제가 있음을 의미하며, 도로교통안전 관리체계와 관련된 주요 문제점 하나가 비체계적 도로교통안전 대책으로 도로개통 이전의 안전대책 미비, 점(point) 위주의 교통안전개선 사업, 새로운 도로교통안전시설 및 장비 설치노력 부족 등의 문제점을 보이고 있다.

이는 조사원을 활용한 기존의 도로안전진단이 많은 시간과 비용이 요구되며, 도로안전진단을 위한 다양한 정보를 제공하지 못한다는 점이 원인이라 할 수 있다.

이러한 문제점을 개선하기 위하여 기존 도로 및 신규 개설 도로에 대한 체계적이며 효율적인 안전진단 기술의 개발이 요구되고 있으며, 본 논문에서는 도로교통 안전진단 기술의 일환으로 도로선형 및 도로시설의 상태를 자동으로 모니터링 할 수 있는 수치사진측량(Digital Photogrammetry) 기술을 도입, 차량측량시스템(GPS-VAN)에 레이저 스캐너를 장착하여 취득된 모바일 레이저 스캐닝 데이터를 이용, 도로 선형 및 횡단면을 추출하는 방법을 제시하고자 한다.

차량측량시스템을 이용한 도로안전진단 기술의 개발은 또한 기존 GPS와 사진측량기술을 통합하는 수치사진측량 기술을 한 단계 향상시키는 차원에서도 중요하다 할 수 있다.

관련 연구 동향

수치사진측량관련 기술은 그 동안 국내외적으로 연구와 기술개발이 계속되어 왔으며, 다

양한 분야에서의 활용이 시도되고 있다.

도로형상이나 선형 등 도로 특성관련 분야에서는 GPS 실시간 동적 측위방법에 의한 도로의 편경사 추출 연구(서동주 등, 2002), 수치사진측량을 이용한 도로평면선형 추출(이종출 등, 2003) 및 도로평면선형정보체계 개발 연구(서동주 등, 2003)등이 이루어져 왔으며, 수치영상과 레이저 데이터를 통합하여 도로형상을 생성하는 기법에 대한 연구(이수암 등, 2006)등으로 지속적인 연구가 계속되고 있다.

또한 CCD 카메라와 GPS/INS, 레이저 스캐너 등을 장착한 차량측량시스템을 이용하여 취득된 데이터를 활용한 연구도 이루어지고 있다.(김준철 등, 2003; 정동훈 등, 2005)

차량측량시스템의 경우 국내에서는 한국도로공사와 건설기술연구원에서 도로 노면조사, 관리를 위한 목적으로 캐나다의 Roadware Corp.의 ARAN시스템을 도입하였으나 GPS/INS 및 수치사진측량 기술 등에 관한 기술력 부족, 이해부족 및 도로노면의 국가적인 특성에 따라 적용하지 못하고 있는 실정이며, 2000년대에 들어와 모바일 매핑시스템을 처음으로 개발한 이엔지정보기술(주)과 한성유아이엔지니어링에서 GPS-VAN과 GPSight라는 제품을 2002년 3월경에 출시하였고, 건설기술연구원에서는 도로시설물 DB 작성을 위한 사진기록차량인 Digital Photologging 시스템을 개발하였다. 그 밖에 대학(연세대, 경상대, 인하대, 성균관대 등)에서도 많이 연구되고 있지만, 시스템 통합의 문제나 최종 3차원 위치결정 오차를 줄여야 하는 문제들이 남아있다. 국외에서는 과거 십여 년 동안 육상에서의 항법시스템은 많은 발전을 이루어 Automatic Vehicle Location and Navigation (AVLN), Intelligent Vehicle Highway System (IVHS), Intelligent Transportation System (ITS) 등으로 발전하였고, 최근에는 Mobile Mapping System(MMS)의 개발이라는 비약

적인 개발을 이룩하였다. 과거의 AVLN시스템은 Satellite-based Sensor(GPS), Land-Radio-Station 기법, 도로 시설물(Beacon), 또는 Dead reckoning(DR) Sensor(Compass and odometer) 등을 사용하는 단일 센서 시스템이 대부분이었으나 최근에는 보다 높은 정확도를 얻기 위해 GPS/INS와 같은 통합된 항법센서가 채택되고 있으며, 이 시스템은 단일 센서 시스템보다 비용이 많이 들지만 우수한 성능과 유동성, 정확성 및 신뢰성이 높다.

이상과 같이 수치사진측량 기법과 차량측량 시스템을 이용한 모바일 레이저 스캔 데이터를 이용, 도로의 형상 및 선형을 추출하려는 연구가 지속적으로 이루어져 왔으며, 현재는 2차원적 데이터뿐만 아니라 3차원 형상에 대한 요구가 높아지며, 도로형상 및 선형정보의 추출을 위해 위성측량 시스템인 GPS와 CCD 카메라를 결합한 도로조사 첨단차량을 이용한 3차원 레이저 스캐닝 데이터 및 CCD 영상의 취득과 이를 이용하여 도로의 형상 및 선형정보 등을 추출 활용하고자하는 노력이 계속 되고 있다.

시스템의 구성

1. H/W 구성

도로 선형 데이터 및 시설물 데이터 추출, 레이저 데이터 취득을 위한 GPS-VAN의 H/W구성은 그림 1과 같다. 도로안전진단시스템은 차량에 CCD 카메라, GPS/IMU를 설치한 GPS-VAN에 Mobile laser scanner를 장착한 형태로 CCD 카메라를 이용하여 좌우측 영상 데이터와 GPS/INS 데이터를 이용하여 위치 정보를 취득하고, Mobile laser 장비를 이용하여 레이저 데이터를 취득하도록 구성되어 있다. 표 1은 GPS-VAN 에 설치된 센서 재원을, 표 2는 Laser scanner의 재원을 나타낸다.



FIGURE 1. GPS-VAN laser system

TABLE 1. 센서 재원

장 비	재 원
GPS	Trimble 5700
INS	Litten LN200
CCD Camera	UINQ UC-900
Lens	Auto IRIS Lens
Laser Scanner	LMS 291-S05

TABLE 2. Laser scanner 재원

Model	LMS 291-S05
Range	max.80m
Anguler resolution	0.5 /1(degree)
Measuring rate	0.25 : 80 or 52 ms, 0.5 : 40 or 26 ms, 1 : 13 ms
Interaces	RS 232 / RS 422 (max 500kBuad)
Switching output	PNP / NO or N C
Supply voltage Uv	24 VDC / 15% (ripple max 500mV)
Light transmitter	Laser diode (Infra-red light)
Service life (at 25 °C)	MTTF 50,000 h
Lase protection class	1 (IEC 825-1/EN 60825-1)
Shock resistance	IEC 68
Enclosure rating	IP 65
Ambient temperature	-30 to 50°C
Storage temperature	-30 to 70°C
Weight	approx. 4.5kg

2. S/W 구성

GPS-VAN의 소프트웨어 시스템 구성은 GPS-VAN 차량으로부터 얻어진 입체영상, GPS 데이터, IMU 데이터 등을 분석·처리하여 촬영된 모든 입체영상에서 정밀한 3차원 정보를 추출하는 모듈로 구성된다. 각 모듈별 단계는 크게 네 부분으로 첫 번째, 카메라렌즈 보정 단계로 초점거리, 주점의 위치 및 렌즈왜곡에 대한 정보를 계산하는 과정을 카메라 검정(Camera calibration)이라 하며, GPS-VAN 시스템에서는 카메라 보정 방법으로 자체검정(Self-Calibration)방법을 적용하였다. 두 번째는 칼만 필터 모듈을 이용하여 관성항법시스템(IMU)와 비관성 센서인 GPS를 통합하여 위치 데이터를 취득하는 GPS/IMU 통합단계, 세 번째, CCD 카메라 투영중심의 위치를 기준으로 GPS/IMU 데이터와 CCD 카메라 통합단계를 거치며, 마지막으로 3차원 좌표추출, 레이저 데이터 취득 및 처리단계로 구성된다. 즉, GPS-VAN의 소프트웨어 시스템은 One-Stop 방식으로 단계적으로 일괄적인 처리가 가능하도록 구성하였다.

본 연구에서는 현재 GPS/IMU 통합데이터와 레이저 스캐닝 데이터를 이용하여 도로의 형상을 분류하고, 도로 선형 및 횡단면을 추출하였다.

3. 레이저 데이터의 처리

3.1 레이저 스캐너의 정확도 검정

레이저 스캔 데이터의 정확도를 검정하기 위해 그림 2와 같은 3차원 타겟을 설치한 후 취득된 데이터를 처리하여 측정값 오차 범위를 40cm 이하가 되도록 조정한다. 이는 1:1,000, 1:5,000 수치지도의 오차범위를 고려한 것이다.

3차원 타겟은 전체 타겟벽면의 크기가 가로 약 2.30m, 세로 약 1.90m 이며, 총 타겟의 수는 117개이다. 또한 각각의 3차원 타겟의 길이는 10cm, 20cm, 30cm(각각 12개) 로 하여 타겟 벽면에 고르게 분포하도록 설치 하였다.

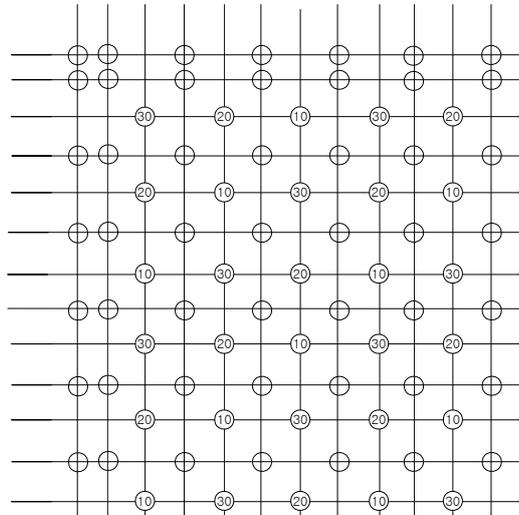


FIGURE 2. 3차원 타겟의 배치 구성도

3.2 레이저 데이터의 검정(Calibration)

레이저 스캐닝 데이터를 취득시 정확도 향상을 위한 레이저 검정 알고리즘은 다음과 같다. 이것은 하나의 시스템으로부터 다른 시스템의 좌표변환에 대해 필요한 7개 파라미터의 변환이다. 이 알고리즘은 레이저 스캐너의 외부표정요소를 간단하게 얻을 수 있으며, 이러한 요소는 CCD 카메라 또는 다른 Multi sensor들을 통합하여 보정하는데 필요하다.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = s \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 \\ r_4 & r_5 & r_6 \\ r_7 & r_8 & r_9 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{bmatrix} \quad (1)$$

식(1) 은 $x = sRX + T$ 과 같이 표현할 수 있으며, 또는 식(2) 로부터 계산할 수 있다.

$$f = sRX + T - x = 0 \quad (2)$$

식(2)에서 x 는 레이저 좌표시스템에서의 target 좌표이며, X 는 측량 좌표 시스템에서의 target 좌표이다.

s는 축척계수이고, R은 회전행렬(rotation matrix)이며 T는 선형이동벡터(translation vector)이다.

식(2)에서 x 와 X 의 결과는 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$Av + B\Delta = f \tag{3}$$

where $A = [s^0 M^0 \quad -I_{3 \times 3}]$, $v = \begin{bmatrix} \nu_x \\ \nu_X \end{bmatrix}$,

$$B = [M^0 X \ s^0 M_1^0 X \ s^0 M_2^0 X \ s^0 M_3^0 X \ I_{3 \times 3}]$$

v : x 와 X 의 잔차

Δ : 7 Unknown Parameter(scale, ω , ϕ , κ ,

T_x , T_y , T_z)

M : ω, ϕ, κ 로 이루어진 회전 행렬

M_1, M_2, M_3 : M 을 구성하는 회전 행렬($[r_1, r_2, r_3], [r_4, r_5, r_6], [r_7, r_8, r_9]$)

M_1, M_2, M_3 은 ω, ϕ, κ 을 이용하여 각각의 요소를 유도한다.

$$\Delta = [\delta s \ \delta 1 \ \delta 2 \ \delta 3 \ \delta 4 \ \delta T_1 \ \delta T_2 \ \delta T_3]t$$

만일 동등한 무게가 관찰된다고 가정하면 식(2), (3)을 이용하여 식(4)을 계산 할 수 있다.

$$\Delta = \text{pinv}(Bt \times B) * (Bt \times f) \tag{4}$$

Δ 는 처음의 근사값에 추가된 값을 예상할 수 있다 비선형식과 반복식을 통해 스케일, 3차원 회전각(ω, ϕ, κ), 그리고 선형이동벡터($T : T_x, T_y, T_z$)와 같은 알려지지 않은 요소값의 모든 것을 구할 수 있다.

3.3 레이저 데이터의 Geo-Referencing

레이저 데이터를 처리하기 위해 레이저 데이터 자체의 좌표계에서 지구좌표계로의 변환이 이루어져야 한다. 레이저 센서 자체의 스캐닝 포인트 좌표(X_l, Y_l, Z_l)에서 지구좌표계의 포인

트 좌표(X_g, Y_g, Z_g)로 $A = [s^0 M^0 \quad -I_{3 \times 3}]$ 변환한다(그림 3 참조).

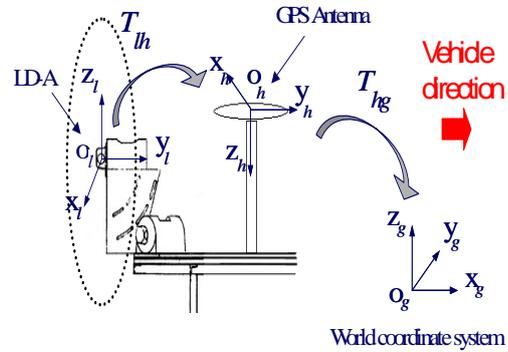


FIGURE 3. 레이저 스캐닝 데이터의 Geo-Referencing

각각의 스캐닝 라인의 항법 데이터는 GPS안테나의 중심에서 행렬 T_{lh} 를 이용하여 GPS가 위치한 좌표로부터 지구좌표계로 변환한다. 반면에 레이저 스캐너로부터 GPS위치의 좌표계로 변환은 행렬 T_{lg} 의해 계산된다.

다음의 식(5)는 α 의 각에서 γ 만큼 떨어진 곳의 포인트의 지구좌표계로 변환하는 변환식이다.

$$(x, y, z) = T_{lh} T_{lg} (-r \sin \alpha, 0, -r \cos \alpha) \tag{5}$$

where T_{lh} : Laser 좌표계에서 GPS 좌표계로의 변환 행렬

T_{lg} : GPS 좌표계에서 실세계 좌표계로의 변환 행렬

자료 획득 및 처리

1. 대상 지역 및 자료 획득

본 연구의 대상 지역은 대전광역시 중구 오류동 서대전 4거리 일대로 교차로 중심 도심도로 구간이다. 이 도로구간은 복잡한 도심도로로 현대의 도시지역에 대한 도로상태 및 현황을

잘 나타내고 있으며, 교통사고 다발지역으로 본 연구를 위한 최적의 대상지라 할 수 있다. 레이저 스캐너를 장착한 차량을 이용해 교차로 중심으로 운행하여 레이저 스캐닝 데이터를 획득하였다.

레이저 스캐너는 그림 1에서 보는 바와 같이 차량의 뒷면에 장착하였으며 지형지물에 대해 수직방향으로 최대 20Hz 속도로 360도를 회전하면서 스캐닝하여 자료를 획득한다. 차량의 이동속도는 양질의 데이터 획득을 위해 평균 시속 40km 이하로 운행하면서 차량의 이동방향인 수평방향으로 대상물을 스캐닝하게 된다.

레이저 스캐너가 Scanner 중앙에서 0° 방향

의 위치에서 시계방향으로 한 바퀴를 회전하면서 획득되는 포인트의 개수는 360°에 대해 단위각 0.5°로 720개 포인트이며 이중 하늘 부분을 제외한 약 600개 정도의 포인트를 이용 지형지물에 대한 양질의 데이터를 얻을 수 있다 (그림 4 참조). 본 연구의 경우 도로면에 대한 현황 및 상태를 정밀하게 스캐닝하기 위해 포인트 단위각을 0.5°로 설정하여 방향각 89.5° ~ 269.5°의 180° 범위를 스캔한 자료를 획득하였다. 아울러, 후처리시 Geo-Referencing을 위해 차량에 장착된 GPS/IMU 장비로부터 위치 및 자세정보를 획득하였다.

취득된 레이저 스캔 데이터의 형식은 표 3이

TABLE 3. 취득된 Laser scan data sample

* Scan Line Number	:	3269
* PROFILE FORMAT value	:	432
* PROFILE INFO value	:	258
* PROFILE START _T value	:	1558120
* PROFILE END _T value	:	1558220
* PROFILE ENDDIR value	:	1432
* PROFILE DIRSTEP value	:	8
* PROFILE POINTNUM value	:	360
* PROFILE STARTDIR value	:	4312

0	0	0	0	0	6487	5900	2435	1964	1857	1868	1873	1875	1871	1877	1879
1887	1889	1887	1893	2070	2479	2111	2590	2518	2421	2319	2236	2143	2063	1994	1945
1886	1849	1797	1748	1685	1635	1596	1561	1518	1483	1431	1409	1370	1325	1283	1266
1233	1209	1194	1166	1140	1128	1104	1073	1062	1048	1023	1012	1011	985	982	967
935	933	925	915	895	888	883	865	850	851	839	832	820	822	798	800
797	787	769	765	760	753	759	739	728	714	717	716	705	691	687	681
699	671	674	661	656	657	655	641	648	643	631	619	621	607	612	619
605	595	602	597	595	586	584	588	595	581	584	566	574	564	559	575
567	554	555	550	563	547	550	556	552	553	546	550	537	549	542	536
540	533	532	525	541	539	531	539	533	534	537	528	529	519	530	528
526	524	522	524	520	518	506	518	510	519	515	509	511	519	509	514
520	511	514	514	508	514	501	502	501	512	505	519	507	508	517	503
510	509	500	495	513	519	517	509	517	509	510	513	513	510	504	505
514	514	523	515	517	522	516	525	526	516	527	522	528	528	532	533
524	529	532	536	...											

항 목	설 명
Scan Line Number	현재 파일의 총 스캔라인 개수
PROFILE START _T value	스캔라인 시작 시 컴퓨터 시간
PROFILE END _T value	스캔라인 시작 시 컴퓨터 시간
PROFILE ENDDIR value	스캔라인 끝 지점의 방향각 (89.5°)
PROFILE DIRSTEP value	스캔 포인트 단위 각 : 8 = 0.5°, 16 = 1°
PROFILE POINTNUM value	스캔 포인트 개수(180/0.5 = 360)
PROFILE STARTDIR value	스캔라인 시작 지점의 방향각(269.5°)
Scanpoint	스캔 포인트 거리

며, GPS/IMU 데이터는 표 4와 같다. 표 3의 경우 scan point 값이 0인 경우는 하늘과 같은 대상물이 없는 공간을 의미한다.

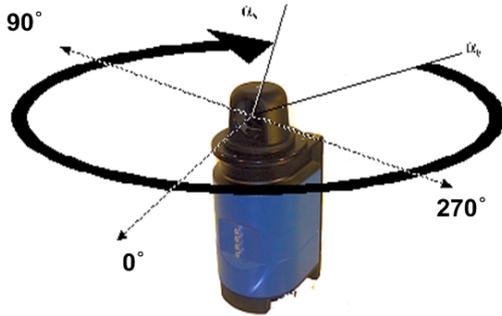


FIGURE 4. Laser scanner 방향각

2. 자료의 처리 및 분석

2.1 레이저 데이터의 처리 흐름

그림 5는 레이저 스캐닝 데이터를 이용한 지형 및 지물추출을 위한 방법에 대한 전체적인

시스템 흐름도로서, 차량에 장착된 외부기록장치는 레이저 하드웨어장치에서 기록되는 레이저 데이터와 GPS 수신기로부터 수신된 GPS 데이터 및 IMU 장치로부터 얻어지는 IMU 데이터로 구성되어진다. 레이저 데이터는 레이저 하드웨어장치의 레이저 센서로부터 스캐닝된 대상물까지의 거리값이 레이저 데이터 입력수단을 통해 획득되어진다. GPS 데이터 입력수단은 GPS 수신기로부터 현재 차량의 위치(x,y,z)를 획득하기 위한 수단이며, IMU 데이터 입력수단은 차량의 운행에 따른 위치와 자세정보를 입력하기 위한 수단이다. 그림 5의 입력수단으로부터 얻어진 데이터로부터 지형 및 지물을 추출하기 위해서는 세 입력데이터를 동기화하여 통합하는 처리가 필요로 하다. 데이터 및 지형 및 지물추출은 그림 5의 지형 및 지물추출을 위한 건물추출과 나무추출 및 도로추출의 기능을 제공하며, 또한 지형 및 지물추출을 위한 전처리 과정으로 지형지물분류와 레이저 데이터 및 추출된 지형 및 지물을 출력하기 위한 출력기능을 제공한다.

TABLE 4. 취득된 GPS/IMU data

1	2	3	4	8	9	10
350512.0959	0.6346405423	2.2225098956	51.5184014408	~ 0.0088343199	-0.0324155987	-2.7823727433
350512.1895	0.6346404049	2.2225098384	51.5052131858	~ 0.0077896371	-0.0309260314	-2.7813193805
350512.2943	0.6346402519	2.2225097749	51.4915299581	~ 0.0049425955	-0.0284098803	-2.7802298282
350512.3879	0.6346401160	2.2225097179	51.4827140399	~ 0.0048043079	-0.0262847749	-2.7789402002
350512.4928	0.6346399648	2.2225096538	51.4764311941	~ 0.0057462686	-0.0240859687	-2.7776510170
350512.5864	0.6346398303	2.2225095975	51.4717316832	~ 0.0027248435	-0.0225730113	-2.7769110907
350512.6912	0.6346396803	2.2225095346	51.4679211785	~ -0.0000298929	-0.0224120936	-2.7763774616
350512.7848	0.6346395471	2.2225094780	51.4659579375	~ -0.0008040083	-0.0231530061	-2.7760796534
350512.8896	0.6346393989	2.2225094153	51.4628587069	~ -0.0022468325	-0.0242708127	-2.7752171790
350512.9832	0.6346392671	2.2225093593	51.4591739463	~ -0.0022445884	-0.0257944269	-2.7741659572
350513.0880	0.6346391201	2.2225092976	51.4526575730	~ -0.0036978595	-0.0292909317	-2.7734637917
350513.1816	0.6346389901	2.2225092420	51.4472829766	~ -0.0037986927	-0.0320290108	-2.7734118093
350513.2865	0.6346388462	2.2225091795	51.4387250888	~ -0.0014234831	-0.0323873237	-2.7735091908
column	항 목		설 명			
1	GPStime	GPS 관측시간 (sec)				
2	위도	관측 위치의 위도 (radian)				
3	경도	관측 위치의 경도 (radian)				
4	고도	관측 위치의 고도 (m)				
8	roll	관측 위치 진행 축 중심의 회전각 (radian)				
9	pitch	관측 위치 진행 축의 경사각 (radian)				
10	yaw	관측 위치 진행 방향각 (radian)				

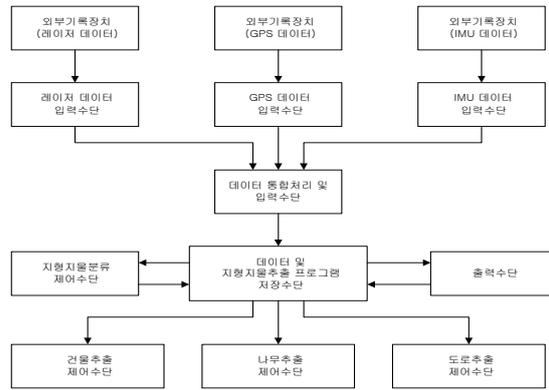


FIGURE 5. 지형 및 지물추출을 위한 전체적인 시스템 흐름도

2.4 도로형상추출

지구좌표계로 변환된 레이저 스캐닝 데이터의 각 포인트 정보를 이용하여 지형지물분류를 통해 건물, 나무 및 도로형상으로 지형 및 지물의 분류를 위한 전처리 과정을 거친 후(그림 5), 도로형상을 추출하게 된다. 전체적인 도로형상추출을 위한 흐름도는 그림 6과 같다.

첫 번째 단계로, 레이저 스캐닝 데이터의 모든 포인트의 좌표를 비교하여 스캔 영역을 얻어내기 위해 최소 x, y 및 최대 x, y 좌표를 계산한 후, 얻어진 레이저 스캐닝 데이터의 영역의 크기를 이용하여 ZImage의 사이즈를 계산한 후 생성한다. ZImage는 레이저 데이터의 (x,y,z)정보를 이용하여 각 점에 대한 고도값인 z값을 나타내는 2차원의 수직영상을 의미한다.

두 번째 단계로, 도로형상으로 분류된 라인에 해당하는 레이저 데이터에 해당하는 점들에 대해 ZImage와 대응되는 점들에 대해 해당 데이터의 높이값이 지면으로부터 0.5m 이상인지를 검사한다. 이는 형상 분류된 도로데이터가 지면으로부터 너무 높이 있으면 도로형상에서 삭제하여 정확한 도로형상을 추출하기 위한 처리이다. 또한, 해당 레이저 데이터의 높이값인 Z값이 지면으로부터 밑으로 4.0m이하로 지면보다 밑에 있는 경우 Z값에 -4.0으로 보간한다. 이때 4.0m는 일반적으로 도로 지하에 매설

되는 지하시설물의 최대 심도를 고려하여 결정하였으며, 도로면 스캔 중 맨홀에 의한 오류를 보정하고, 높이값이 허용 오차이상인 데이터를 보정하기 위한 처리과정이다. 이때 지면의 높이는 GPS 수신기의 높이에서 차량의 높이를 제거함으로써 계산된다.

또한, 이전 점과의 각도를 측정하여 45° 이상인 경우에는 위의 두 조건에 만족하더라도, 도로형상으로 분류하지 않는다.

마지막 단계로, 추출된 도로형상을 저장하고 도로의 레이저 스캐닝 포인트(x,y,z)만을 추출 저장한다.

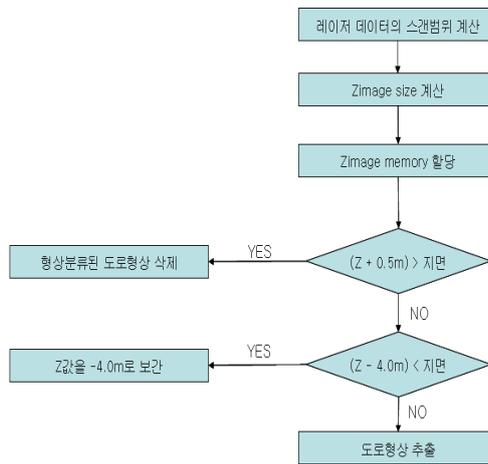


FIGURE 6. 도로형상 추출과정

도로선형 및 횡단면 추출 결과

1. 도로 선형 및 횡단면 추출 과정

도로형상 분류를 수행하면 레이저 스캐닝 포인트(x,y,z)에 도로, 건물, 나무로 분류된 형상별 플래그 비트가 추가된 스캐닝 포인트 데이터를 얻게 된다. 플래그 비트 값별로 색을 달리하여 레이저 스캐닝 포인트 데이터들을 가시화 할 수 있다(그림 7참조).

형상분류된 레이저 스캐닝 데이터의 플래그 값을 이용 그림 8과 같은 일련의 과정을 통해 도로에 대한 레이저 스캐닝 포인트 데이터만을 추출한 후, GIS 툴을 활용하여 레이저 스캐닝 라인별 데이터의 양 끝점에 대해 Linear interpolatin(선형 보간법)을 적용하여 도로 선형을 구성한다(그림 9). 또한, 각 라인별 데이터의 z 값을 이용 도로의 횡단면을 구성한다(그림 12).

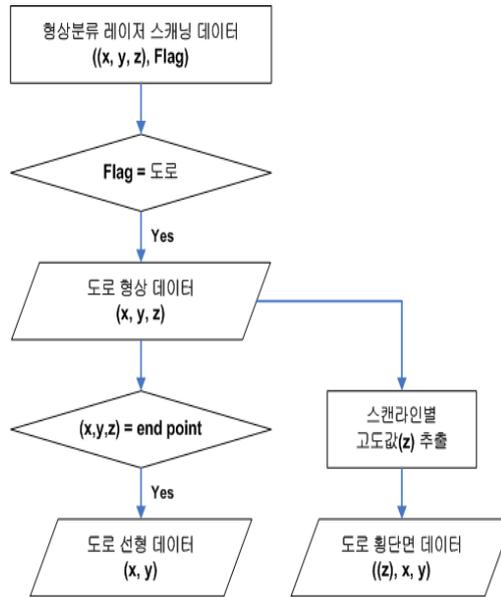


FIGURE 8. 도로 선형/횡단면 추출 과정

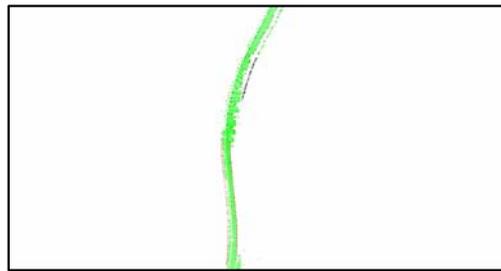
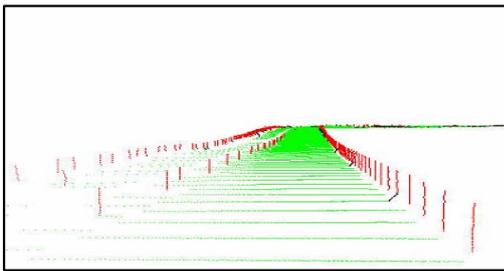


FIGURE 7. 추출된 도로 형상

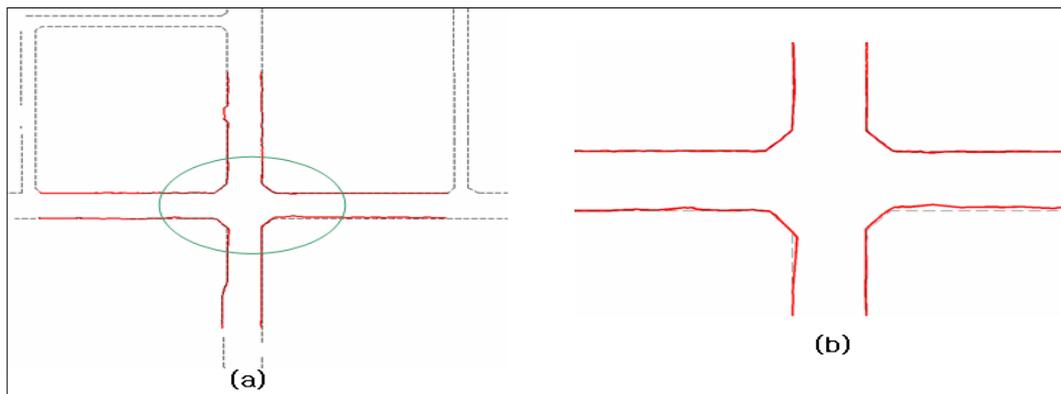


FIGURE 9. 교차로 중심 도로선형

2. 도로 선형 및 횡단면 추출 결과

그림 9의 (a)는 추출된 도로선형(실선)을 해당지역 수치지도의 도로 레이어(점선)와 오버레이 시킨 것이다. 그림 9의 (b)는 교차로 중심으로 확대한 그림이다. (b)에서 보듯 추출된 도로선형과 실제 수치지도상의 도로가 일부 구간에서 차이를 보이고 있으며 이는 레이저 스캐닝 데이터 취득시 해당 구간에 주차된 차량 및 도로의 시설물에 의해 발생한 오차로 판단되며, 이는 향후 연구과정에서 CCD 카메라 영상을 이용하는 방법 등을 통하여 개선하여야 할 과제이다. 또한, 그림 10과 11은 도로의 직선 구간과 곡선 구간의 선형을 추출한 결과이다.

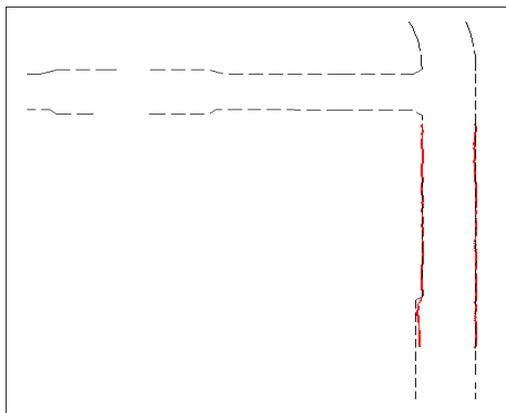


FIGURE 10. 직선 도로 선형

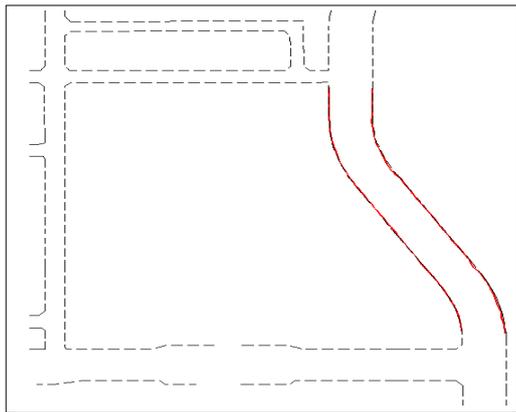


FIGURE 11. 곡선 도로 선형

그림 12는 도로에 대한 각 스캔라인별 고도값(z)를 이용 GIS 툴을 통해 3차원으로 구성하고, 그 횡단면을 보인 것으로 도로의 특징적 횡단면을 잘 보여주고 있다. 그림 12의 수직축은 고도값(z)를 나타내며, 그림 12에서 횡단면은 화살표가 표시하는 선형을 의미한다. 두께처럼 보이는 부분은 스캔 라인별 간격에 따른 공백 구간을 도로 횡단면 형상을 가시화하기 위해 사용한 GIS 툴이 임의로 보간(Interpolation)하여 3차원으로 보인 결과로 나타난 것으로 실제 도로 횡단면 데이터는 아니다.

횡단면 추출 및 구성의 경우 레이저 스캐닝 데이터의 라인별 포인트들, 즉 고도값을 지닌 점들의 분포도가 매우 이상적이며 조밀하여 향후 레이저 스캐닝 간격, 스캔 방향을 조밀하고 다양하게 수행하면 도로의 노면상태 및 굴곡 등에 대한 분석이 가능한 양질의 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

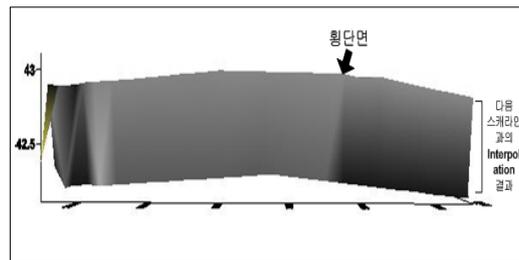


FIGURE 12. 도로 횡단면

기존 조사원에 의한 현장 조사에서 얻어지는 2차원적인 점 위주의 도로 선형 및 시설물 정보에 비해 GPS-VAN과 같은 첨단 차량을 이용해 획득된 모바일 레이저 스캐닝 데이터에 의한 도로의 형상 분류한 후 일련의 과정을 거쳐 추출된 도로 선형, 횡단면은 실제 도로 여건을 잘 보여주는 데이터를 제공하고 있으며, 이를 활용하여 도로안전진단을 위한 다양한 파라미터들을 정량화하여 추출할 수 있는 가능성을 확인 하였다.

또한 이러한 모바일 레이저 스캐닝 데이터를 활용, 도로의 기하학적 구조 데이터를 취득함

으로써 기존의 사람에 의한 조사에 비해 저비용으로 도로 형상 데이터 구축이 가능하며, 최신 데이터를 신속히 제공함으로써 도로의 형상 분석을 통해 도로안전진단 및 이에 따른 대책 수립에 효율적인 근거 자료를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

결 론

본 연구에서는 대상지역 도로구간에 대한 정밀 도로 선형 및 횡단면을 3차원 모바일 레이저 스캐닝 데이터만을 이용하여 취득된 데이터의 선형성을 분석하여 1차적으로 도로임을 판별한 후, 선형성 중에서 수평성분, 수직성분, 대각성분 중 수평방향에 해당하는 데이터만을 도로라고 간주하여, 투영중심부터 높이가 일정한 부분까지 재분류하여 도로 추출한 후 도로 경사도가 임계값이하의 데이터만을 도로로 최종적으로 추출하는 모듈을 개발, 자동기법으로 도로면에 대한 도로형상 포인트만을 추출하였으며, 이를 이용하여 도로선형과 횡단면 데이터를 추출하였다. 이를 통해 도로의 기하학적 구조 데이터의 추출 및 향후 도로안전진단을 위한 다양한 데이터를 제공할 수 있는 연구의 토대를 수립하였으며, 그 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 모바일 레이저 스캐너를 이용하여 도로의 선형 및 도로면에 대한 상태를 정밀하게 스캐닝된 레이저 스캐닝 데이터를 이용하기 때문에 기존의 사람에 의한 조사에서는 제공하기 힘든 실제 도로 형상에 대한 데이터를 제공할 수 있다.

둘째, 레이저 스캐닝 데이터에 GPS/IMU 정보를 이용하여 변환된 지구좌표계의 3차원 모바일 레이저 스캐닝 데이터의 각 포인트 정보를 이용하여 자동기법으로 지형지물분류를 통해 도로형상을 추출하고 이를 통해 도로 선형 및 횡단면 데이터를 추출하였다. 이는 기존의 도로진단 방식과 비교하여 자동으로 데이터를

처리함으로써 최종 결과물을 자동화하여 추출할 수 있는 가능성을 제시하였다.

셋째, 향후 도로안전진단 분야로의 활용을 위한 연구의 토대로서, 도로의 형상에 대한 다양한 데이터를 구축하는데 있어 많은 시간과 인력이 필요한 기존 방식에 비해 신속하게 데이터를 취득하고 처리하며, 저비용으로 양질의 데이터를 제공할 수 있는 가능성을 확인하였다.

넷째, 본 연구의 GPS-VAN 차량에서 취득되는 CCD 영상데이터를 레이저 스캐닝 데이터의 처리에 적용하면 보다 정확한 도로 선형 및 횡단면, 경사, 굴곡 정보를 제공할 수 있을 것이며, 이는 향후 계속적 연구를 통하여 개발하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 건설기술평가원 지원의 “도로교통 안전진단 및 관리를 위한 통합정보시스템 구축” 사업 1차년도 연구 결과로 수행되었음. **KAGIS**

참 고 문 헌

- 서동주, 장호식, 이종출. 2002. GPS 실시간 동적 측위법을 이용한 도로 편경사 추출. 한국측량학회지 20(2):183-190.
- 이종출, 강인준, 김남식, 서동주. 2003. 수치영상을 이용한 도로평면선형 추출. 한국측량학회 학술대회지. 123-128쪽.
- 김준철, 박수영, 윤여상, 주영은, 최종현. 2003. 레이저 스캐닝 데이터를 이용한 정밀 도로 수치표고모델 제작에 관한 연구. 한국측량학회 학술대회지. 245-250쪽.
- 서동주, 이종출. 2003. 수치사진측량을 이용한 도로평면선형정보체계 개발. 한국측량학회지 21(4):347-353.
- 정동훈, 윤천주, 성경곤. 2005. 도로안전성 조사 분석차량을 위한 영상취득 시스템 개발. 한국도로학회지 7(4):163-171.

- 이수암, 김태정, 정동훈, 성경곤. 2006. 레이저 데이터와 CCD영상의 합성을 통한 3차원 도로 형상 생성 기법. 대한원격탐사학회 학술대회지. 15-18쪽.
- Clarke, K. C. 1990. Analytical and Computer Cartography. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA. pp. 1-288
- Cromley, G. C. 1992. Digital Cartography. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA. pp. 1-336
- Jones C. 1997. Geographical Information System and Computer Cartography. Addison Wesley, Longman, USA. pp. 1-336
- D. Manandhar, R. Shibasaki. 2000. Prototype development for vehicle based laser mapping system(VLMS). International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B2. Amsterdam pp. 363-370
- Christopher Jones. 1997. Geographical Information System and Computer Cartography. Addison Wesley, Longman, USA.
- Marc VAN Kreveld Jurg Nievergelt. 1997. Algorithmic Foundations of Geographic Information Systems. Springer. pp. 1-287
- C.Dana Tomlin. 1990. Geographic Information Systems and Cartographic Modeling. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, USA. pp. 1-572 