

지상 이동체 기반의 다중 센서 통합 데이터를 활용한 도로의 3차원 기하정보 추출에 관한 연구

김문기^{1*} · 성정곤²

Extracting Three-Dimensional Geometric Information of Roads from Integrated Multi-sensor Data using Ground Vehicle Borne System

Moon-Gie KIM^{1*} · Jung-Gon SUNG²

요 약

한국건설기술연구원(KICT)에서는 도로의 안전성 분석을 위해서 도로의 각종 정보를 이동하는 차량을 이용하여 신속하게 취득하고, 이를 토대로 도로의 결함구간을 분석할 수 있는 도로 안전성 조사 분석 차량(RoSSAV, Road Safety Survey and Analysis Vehicle)을 개발하였다. 본 연구를 통해 도로의 안전성에 의심이 되는 지역에 대해서 3차원 도로 모델링을 통한 도로 선형 결함 알고리즘을 개발하였으며, 이를 위해서는 신속하고 정확한 데이터가 수집되어야 한다. 차량에 회전식 레이저 스캐너, GPS(Global Positioning System), INS(Inertial Navigation System), CCD(Charge-Coupled Device) 카메라 그리고 DMI(Distance Measuring Instrument) 등 여러 센서를 장착하여 데이터를 취득하였다. 마지막으로 이들 데이터를 통합하여 3차원 도로 기하(도로 중심선, 도로 경계선), 도로 시설물과 사면을 추출하였다.

주요어 : 다중 센서 통합, 이동체 기반의 회전식 레이저 스캐너, 3차원 도로 기하정보추출, GPS/INS

ABSTRACT

Ground vehicle borne system which is named RoSSAV(Road Safety Survey and Analysis Vehicle) developed in KICT(Korea Institute of Construction Technology) can collect road geometric data. This system therefore is able to evaluate the road safety and analyze road deficient sections using data collected along the roads. The purpose of this study is to extract road geometric data for 3D road modeling in dangerous road section and The system should be able to quickly provide more accurate data. Various sensors(circular laser scanner, GPS,

2008년 5월 30일 접수 Received on May 30, 2008 / 2008년 8월 10일 수정 Revised on August 10, 2008 / 2008년 8월 18일 심사완료 Accepted on August 18, 2008

1 한국건설기술연구원 도로연구실 연구원 Researcher, Highway Research Division, Korea Institute of Construction Technology

2 한국건설기술연구원 도로연구실 책임연구원 Research Fellow, Highway Research Division, Korea Institute of Construction Technology

* 연락처자 E-Mail : mgkim@kict.re.kr

INS, CCD camera and DMI) are installed in moving object and collect road environment data. Finally, We extract 3d road geometry(center, boundary), road facility and slope using integrated multi-sensor data.

KEYWORDS : *Multi-Sensor Data Integration, Mobile Laser Scanner, 3D Road Geometric Information Extraction, GPS/INS*

서론

도로는 기능적 측면인 이동성과 접근성 확보의 목적으로 건설되어 왔으나, 국가경제의 성장과 함께 삶의 질적 향상으로 도로의 안전성 확보가 강조되고 있는 실정이다. 도로는 도로면, 교량, 터널, 경사지 등 복잡하고 다양한 시설물들로 구성되어 있다. 전통적인 측량방법인 GPS와 토탈스테이션(total station)을 사용하는 경우 이들 시설물에 대한 정확한 3차원 위치정보 등을 위한 데이터를 수집하는 데는 오랜 시간과 많은 비용이 든다. 고정식 지상 레이저 스캐너를 사용하는 경우 지상에 고정되어 측량을 실시하며, 무수히 많은 포인트 데이터와 정밀한 위치 정확도를 제공하나 긴 연장의 도로에 사용하기 위해서는 지상기준점 측량 등 많은 시간이 소요된다. 복잡하고 다양한 지형지물이 존재하는 긴 연장의 도로에 대해서는 신속하고 빠른 데이터 취득 그리고 단일 센서 사용의 한계점 극복을 위한 다중 센서의 통합이 필요하다(Yu 등, 2007). 본 연구에서는 도로 안전성 분석을 위한 데이터를 취득하기 위해서 적합한 센서를 선정하였으며, 차량에 장착하여 긴 구간의 도로 및 도로 주변 시설물에 대한 조사 속도와 정확도 등을 고려하였다. 차량을 이용한 모바일 매핑 기술은 1980년대부터 개발되어왔다(Tao 등, 2007). 모바일 매핑 시스템은 지상에서 특히, 도로상에서 실시간으로 다양하고 복잡한 지형지물정보를 획득하기에 적절한 방법이며 기존 측량 방법과 대비하여 비용 및 시간적인 면에서 효율성이 높다고 판단된다. 차량에 CCD 카메라

만을 사용하여 도로에 대한 데이터를 취득하는 경우 여러 대의 카메라가 필요하며 이를 처리하기 위한 장비의 구성과 전원장치가 요구된다. 또한, 야간이나 날씨에 따라서는 데이터 취득이 불가능하며 광원에 의해서 영상의 밝기 값이 다르게 나타나 위치의 분석이 어려울 수 있다(Zhao 등, 2003). 반면, 근적외선 파장대의 회전식 레이저 스캐너를 사용하는 경우 주야에 관계없이 365일 조사가 가능하며, 지상 레이저 스캐너와 달리 지상 기준점이 필요하지 않다. CCD 카메라와 연동하여 취득하는 경우에는 각종 시설물에 대한 위치 적정성 분석과 시설물의 위치정보 분석 및 시설물 상태의 파악이 매우 용이하다. 본 연구에서 개발한 차량 시스템이 커브길과 경사로 같은 다양한 조건하에서 도로를 따라 이동 중에 여러 센서들이 작동되어 데이터가 취득되는 모습은 그림 1과 같다.

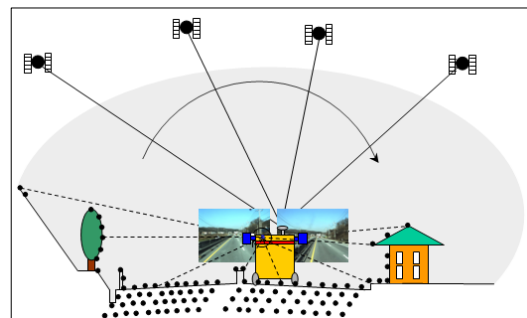


FIGURE 1. 다중 센서 데이터의 취득 모습

회전식 레이저 스캐너는 차량 진행방향에 대해서 직각으로 레이저 빔을 발산한다. 이때 지형지물로부터 반사된 시간을 이용하여 거리를 계산하고 동시에 회전 각도를 취득하게 된

다. 그림 2는 본 연구에서 개발된 도로 안전성 조사 분석 차량을 일반국도에서 운행하여 취득된 회전식 레이저 스캐너 데이터의 특징을 보여준다.

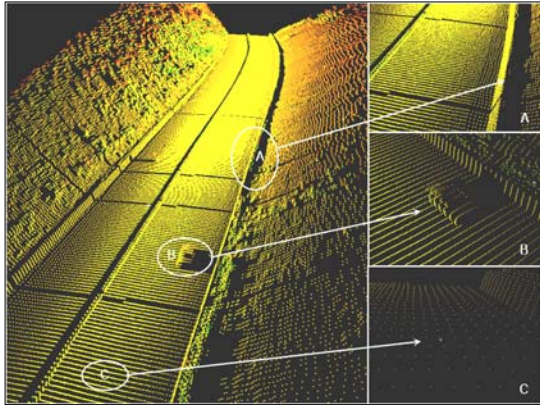


FIGURE 2. 회전식 레이저 스캐너 데이터의 특징 분석

그림 2에서 A는 차량에 장착된 회전식 레이저 스캐너가 취득 높이의 한계에 의해서 발생하는 폐색지역을 보여준다. B는 도로상의 차량으로 인하여 도로면 및 경계와 도로 시설물인 옹벽에 관한 데이터가 취득되지 못하는 모습을 보여준다. C는 실제로 포인트 데이터가 레이저 스캐너의 회전 방향인 횡단면 방향을 따라서 취득되는 모습을 보여준다. 또한 그림 2를 분석하면 거리가 멀수록 점 밀도는 낮아지며, 수풀이나 나무 등에 의해서 사면의 데이터가 취득되지 못하는 것을 알 수 있다.

그림 3은 경기도 파주시 적성면의 절토지역에 대해서 취득된 CCD 카메라 영상과 회전식 레이저 스캐너 데이터의 모습을 보여준다.

회전식 레이저 스캐너 데이터는 무수히 많은 3차원 위치 정보를 제공하나, 폐색지역이 발생하여 지형지물의 판별이 어려운 경우가 발생한다. 반면, CCD 카메라 영상은 사람이 분석하기 쉬운 RGB밝기 값 정보를 제공하나 3차원 위치 정보의 획득 절차가 복잡하고 어렵다. 이러한 데이터 간의 특성을 반영하여 본 연구에서는 회전식 레이저 데이터만을 사용하



FIGURE 3. CCD 카메라와 회전식 레이저 스캐너에 의해서 취득된 데이터

는 자동화 기법과 CCD 카메라 영상을 보조 데이터로 사용한 반자동 기법을 적용하여 도로 관련 지형지물을 추출하였다. 또한, 수치지형도 데이터를 사용하여 불규칙 삼각망(TIN, Triangular Irregular Network)을 제작한 후 최종적으로 도로 안전성 분석을 위한 3차원 도로 모델링을 하였다. 본 연구에서 3차원 도로 모델링을 위해서 분류한 도로 관련 데이터는 다음과 같으며, 이를 위해서 사용된 데이터는 회전식 레이저 스캐너, CCD 카메라 영상, 수치지형도(digital map) 그리고 GPS/INS 통합 처리 데이터이다.

- 노면(road surface)
- 도로 중심선(road center line)
- 도로 경계(road boundary)
- 도로 시설물(road facilities) : 중앙분리대, 가드레일, 가드웬스, 방호벽, 낙석방지울타리)
- 사면(road cut slope)

회전식 레이저 스캐너와 관련하여 도로영역에 해당하는 데이터를 추출하는 연구로써 김세근 등(2006)은 차량에 GPS, INS, 회전식 레이저 스캐너를 장착한 후 데이터를 취득하였다. 회전식 레이저 데이터에서 선형성을 분석하고 1차적으로 도로임을 판별한 후, 선형성 중에서 수평성분을 도로라고 간주하였다. 투영중심부 터 높이가 일정한 부분까지 재분류하여 도로를 추출한 후 도로경사도가 임계값 이하의 데이터를 도로로 판별하여서, 도로선형과 횡단면 데이터를 추출하였다. CCD 카메라 영상 데이터를 레이저 스캐닝 데이터 처리에 적용하면 정확한 도로 선형 및 횡단면, 경사, 굴곡 정보 제

공의 가능성을 제시하였다. Manandhar 등 (2001)은 3차원 GIS 데이터 구축을 위한 연구로 도심지에 대해서 차량에 장착된 회전식 레이저 스캐너 데이터를 활용하였으며, 3차원으로 변환된 전체 포인트 집합(point cloud)에서 도로면, 빌딩, 나무, 전신주 등의 지형지물을 추출하는 알고리즘을 연구하였다.

이상 기존 연구 사례들을 분석한 결과 긴 구간의 도로를 따라 취득된 복잡하고 많은 포인트 데이터를 쉽고 효율적으로 처리할 수 있는 접근방법이 요구되며 본 연구에서는 3차원의 회전식 레이저 스캐너 데이터를 횡단면(cross section) 데이터로 변환하여 CCD 카메라 영상 데이터와의 퓨전을 통하여 도로 관련 지형지물을 추출하는 알고리즘을 연구하고자 한다.

시스템 개요

1. 차량 시스템

그림 4는 본 연구에서 실험한 한국건설기술 연구원의 도로 안전성 조사 분석 차량의 모습을 보여준다.



FIGURE 4. 차량에 장착된 센서

차량의 위치정보를 제공해주는 GPS, GPS가 단절되는 지역에서 자이로(gyro)와 가속도계(accelerometer)를 이용하여 위치정보를 보정해주는 INS, 실세계를 3차원 포인트로 표현해주는 회전식 레이저 스캐너와 차량의 진행 방향을 따라서 촬영된 영상정보를 제공하는

CCD 카메라와 이상 열거된 센서들을 작동시키기 위해 컴퓨터 등이 탑재되어 있다. GPS와 INS을 하나의 컨트롤러(controller)를 사용하여 통합하는 시스템의 후처리 결과 위치오차는 3cm 이하, 자세오차는 1.0°/h의 오차를 가진다 (한국건설기술연구원, 2007). 표 1은 차량에 탑재된 각 센서의 세부사양을 보여준다.

TABLE 1. 센서의 사양

센서	항 목	세부사양
회전식 레이저 스캐너	스캐닝 각도	360°
	각 분해능 간격	0.125°
	데이터 전송방식	CAN
	최대 해상도	3.9mm
CCD 카메라	최대 펄스	14.4KHz
	카메라 렌즈	단판 칼라 CCD 11.5mm Auto IRIS 렌즈
GPS	채널 수	12채널, 2주파(L1/L2) 수신기
INS	Gyro Bias	1.0°/h
	데이터 기록시간	100Hz

움직이는 차량과 다양한 도로의 환경에서 회전하는 레이저 스캐너를 사용하여 신속하게 그리고 많은 데이터를 취득하는 경우 매우 안정적이고 빠른 시간에 반응을 하는 시스템의 개발이 중요하다(김문기 등, 2007). 본 연구에서는 안정적인 데이터를 수집하고 전송을 위해서 산업용 컴퓨터(PXI)와 1Mb/sec 이상의 데이터 전송 속도를 제공하는 CAN(Controller Area Network) 통신카드를 선택하였다. 회전식 레이저 스캐너는 차량에서 설치될 수 있는 최대한 높은 곳에 거치대를 제작하여 설치하였다. 회전식 레이저 스캐너는 차량의 진행방향과 평행하게 설치하였으며, 진행방향에 대해서 시계방향으로 회전을 하면서 대상물까지의 거리를 측정한다. 그림 5에서 (a)는 차량의 후면에 설치된 회전식 레이저 스캐너를 (b)는 데이터 수집 장치인 산업용 컴퓨터와 CAN 통신을 위한 주변장치의 모습을 보여준다.

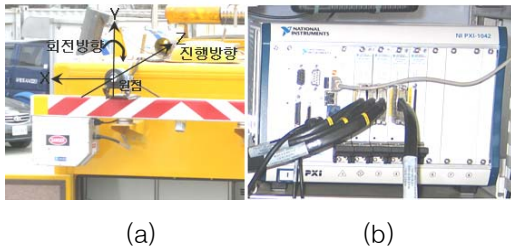


FIGURE 5. 회전식 레이저 스캐너 및 주변장치

차량에 장착된 다중 센서들은 서로 다른 특성을 가지며 이를 위해서 거리계를 사용하여 일정거리에 따라서 동기화하는 동기화 장치(ESD: External Synchronization Device)가 필요하다. 그림 6은 동기화 장치와 센서들의 구성을 보여준다. 동기화 장치는 거리계로부터 입력되는 회전수를 누적하여 일정 거리마다 이벤트 신호를 발생시킨다. 이벤트 신호는 카메라가 연결된 영상 저장용 컴퓨터에 삽입되어 있는 프레임 그래버(frame grabber)에 약 ±5V의 전압 신호를 주게 된다. CCD 카메라인 경우 동기화 장치에서 임의의 거리 단위로 펄스가 프레임 그래버로 전

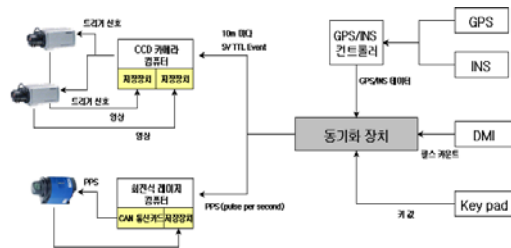


FIGURE 6. 동기화 장치의 구성도

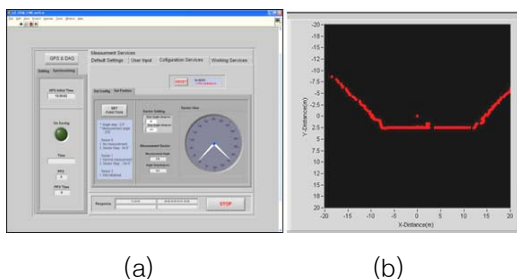


FIGURE 7. (a) 취득 소프트웨어, (b) 도로의 형상

달되고 다시 프레임 그래버에서 CCD 카메라를 작동시켜 데이터를 취득하며 영상 저장용 컴퓨터의 하드디스크에 저장하게 된다.

2. 소프트웨어

그림 7은 LabView 환경에서 개발된 취득 소프트웨어의 GUI(Graphic User Interface)를 보여주고 있다.

그림 7에서 (a)는 스캐닝 각도 및 분해능 등의 파라미터 값을 설정하는 모습을 (b)는 회전식 레이저 스캐너를 중심으로 취득된 도로의 형상을 보여준다. 도로면의 공중에는 데이터가 거의 존재하지 않으며, 취득된 데이터의 점 밀도와 각 분해능을 높이기 위해서 공중 방향을 제외한 270°로 스캔범위를 고정 값으로 설정하였으며, 이때의 각 분해능은 0.5°가 된다. 반면 터널 통과 구간에서 스캐닝 하는 경우 스캔범위를 360°로 설정이 가능하도록 하였다.

연구내용

그림 8은 본 연구에서 최종적으로 3차원 도로 모델링을 위한 전체적인 처리절차를 자세히 설명하고 있다.



FIGURE 8. 전체적인 처리절차

수집 및 처리 단계는 각종 센서들로부터 취득된 데이터를 사용하여 2차원의 회전식 레이저 스캐너 데이터를 3차원 포인트 데이터로 변환하는 단계이다. 추출 단계는 레이저 포인트 데이터로부터 도로 및 도로 시설물 그리고 사면을 추출하여 3차원 도로 모델링을 위한 자동 및 반자동 알고리즘을 적용하는 단계이다.

1. 수집 및 처리 단계

1.1 각 센서의 설치 및 이격량 계산

1) 회전식 레이저 스캐너의 각도 보정

회전식 레이저 스캐너는 바닥을 0°로 설정하였다. 그러나 아무리 지표면과 평행하게 설치하더라도, 0°인 경우 정확히 바닥면과 수직인지를 확인하여야 한다. 회전식 레이저 스캐너의 헤더에서 노면까지 수직거리를 측정하기 위해서 스캐너 헤더에 실과 추를 달아서 거리를 측정하였다. 또한, 취득된 회전식 레이저 스캐너 데이터에서 0°인 경우 거리와 비교하여 각도를 보정하였다.

2) GPS/INS/회전식 레이저 스캐너간의 이격거리 계산

GPS/INS 데이터를 통합처리하면 차량에 설치된 INS를 기준으로 차량의 위치와 자세요소가 계산된다. 이때 GPS와 INS의 이격거리 데이터가 필요하다. 회전식 레이저 스캐너 데이터 또한 INS를 기준으로 이격된 데이터가 있어야 비로소 실제의 3차원 데이터로 변환이 된다. 따라서 본 연구에서는 GPS와 토털스테이션을 사용하여 삼각측량을 하였으며, 정밀한 GPS와 INS, INS와 회전식 레이저 스캐너와의 이격거리를 계산하였다.

1.2 GPS/INS 데이터 통합처리

그림 9는 GPS/INS 데이터의 통합 처리결과를 그림 10은 회전식 레이저 스캐너에서 취득된 2차원 극 좌표계의 데이터를 보여준다. 두 데이터는 같은 GPS 시간대에서 취득된 데이터이다.

GPS Time (Sec)	Easting (m)	Northing (m)	H-MSL (m)	Roll (Deg)	Pitch (Deg)	Heading (Deg)
366469.7328	176755.632	462895.596	14.137	-0.4580040000	-0.2099680000	61.1328170000
366469.7329	176755.632	462895.596	14.137	-0.4579680000	-0.2099670000	61.1329100000
366469.7330	176755.632	462895.596	14.137	-0.4579320000	-0.2099660000	61.1330030000
366469.7331	176755.632	462895.596	14.137	-0.4578960000	-0.2099650000	61.1330970000
366469.7332	176755.632	462895.596	14.137	-0.4578600000	-0.2099640000	61.1331910000
366469.7333	176755.632	462895.596	14.137	-0.4578240000	-0.2099630000	61.1332850000
366469.7334	176755.632	462895.596	14.137	-0.4577880000	-0.2099620000	61.1333790000
366469.7335	176755.632	462895.596	14.137	-0.4577520000	-0.2099610000	61.1334730000
366469.7336	176755.632	462895.596	14.137	-0.4577160000	-0.2099600000	61.1335670000
366469.7337	176755.632	462895.596	14.137	-0.4576800000	-0.2099590000	61.1336610000
366469.7338	176755.632	462895.596	14.137	-0.4576440000	-0.2099580000	61.1337550000
366469.7339	176755.632	462895.596	14.137	-0.4576080000	-0.2099570000	61.1338490000
366469.7340	176755.632	462895.596	14.137	-0.4575720000	-0.2099560000	61.1339430000

FIGURE 9. GPS/INS 통합 처리 결과

GPS Time(Sec)	Angle(Deg)	Distance(m)	Intensity
366469.7328	40.0	3.1602	173
366469.7329	40.5	3.2070	171
366469.7330	41.0	3.2031	172
366469.7331	41.5	3.2617	171
366469.7332	42.0	3.2812	173
366469.7333	42.5	3.3008	171
366469.7334	43.0	3.3398	172
366469.7335	43.5	3.3828	173
366469.7336	44.0	3.4102	173
366469.7337	44.5	3.4219	173
366469.7338	45.0	3.4375	173
366469.7339	45.5	3.4414	173
366469.7340	46.0	3.4844	173

FIGURE 10. 회전식 레이저 스캐너 취득 결과

지상기준점에서 GPS 측량한 기준국 데이터와 이동체인 도로 안전성 조사 분석 차량의 GPS/INS 데이터를 사용하여 DGPS 후처리와 GPS/INS 통합처리를 실시하였다.

1.3 3차원 포인트 데이터로의 변환

같은 GPS 시간대의 GPS/INS 통합처리 데이터와 극 좌표계로 구성된 회전식 레이저 스캐너 데이터를 이용하여 그림 11과 같은 변환 과정에 의해서 최종적으로 실제세계의 3차원 절대 좌표계로 변환하게 된다.

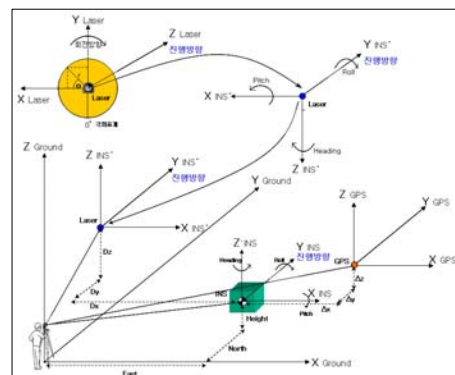


FIGURE 11. 3차원 포인트 데이터로의 변환

변환 과정을 자세하게 설명하면 다음과 같다. 도로 안전성 조사 분석 차량의 바닥에 장착된 INS는 조수석 방향이 +X, 차량의 진행방향으로 +Y, 차량의 상단이 +Z로 좌표계가 설정되어 있다. 회전식 레이저 스캐너인 경우 차량의 진행방향의 반대방향으로 설치되어 있으며, 바닥을 0°로 기준으로 하고 시계방향으로 회전하게 된다. 회전식 레이저 스캐너 데이터는 회전각도(θ)와 이동거리(r)인 극 좌표계로 구성이 되며, 오른손 법칙에 의해서 차량의 진행방향을 Z로 할 경우 X축과 Y축이 결정이 된다(그림 5(a) 참조). 식(1)은 Sine과 Cosine 법칙에 의해서 변환된 결과이며 차량의 진행방향이 Z축 이므로 이때 Z축은 0이 된다.

$$\begin{aligned} X_{Laser} &= r \times \cos\theta \\ Y_{Laser} &= r \times \sin\theta \\ Z_{Laser} &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

GPS/INS 통합처리는 차량에 설치된 INS을 기준으로 위치(East, North, Heading)와 회전각(Pitch, Roll, Heading)이 계산된다. 따라서 회전식 레이저 스캐너 데이터는 INS 기준의 좌표계와 일치 시켜주어야 한다. 식(2)에서 X_{INS} , Y_{INS} , Z_{INS} 는 INS 좌표축과 일치시킨 회전식 레이저 스캐너의 좌표축을 설명한다.

$$\begin{aligned} X_{INS} &= X_{Laser} = r \cos\theta \\ Y_{INS} &= 0 \\ Z_{INS} &= -Y_{Laser} = -r \sin\theta \end{aligned} \quad (2)$$

또한 3차원 공간상에서 X, Y, Z축의 순서대로 회전을 시켜야 하며 이때 사용되는 회전행렬은 다음 식(3)과 같다. 여기서 Roll은 진행방향인 Y축을 기준으로, Pitch는 진행방향의 직각인 X축을 기준으로, Heading은 Z축을 기준

으로한 회전각이다. 따라서 회전 순서가 X, Y, Z이므로 이때의 회전각도의 순서는 Pitch, Roll, Heading이 된다.

$$R_{HRP} = R_H \cdot R_R \cdot R_P = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{pmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} R_H &= \begin{pmatrix} \cos H & \sin H & 0 \\ -\sin H & \cos H & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \\ \text{여기서, } R_R &= \begin{pmatrix} \cos R & 0 & -\sin R \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin R & 0 & \cos R \end{pmatrix} \text{이며} \\ R_P &= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos P & \sin P \\ 0 & -\sin P & \cos P \end{pmatrix} \end{aligned}$$

따라서,

$$\begin{aligned} m_{11} &= \cos H \cos R \\ m_{12} &= \sin H \cos P + \cos H \sin R \sin P \\ m_{13} &= \sin H \sin P - \cos H \sin R \cos P \\ m_{21} &= -\sin H \cos R \\ m_{22} &= \cos H \cos P - \sin H \sin R \sin P \\ m_{23} &= \cos H \sin P + \sin H \sin R \cos P \\ m_{31} &= \sin R \\ m_{32} &= -\sin P \cos R \\ m_{33} &= \cos R \cos P \end{aligned}$$

이 된다.

최종적으로 실세계의 3차원 좌표계로 변환된 회전식 레이저 스캐너의 3차원 포인트 데이터 위치(X_{Ground} , Y_{Ground} , Z_{Ground})는 식(4)와 같이 간략하게 계산이 된다. 여기서 D_x , D_y , D_z 는 INS로부터 회전식 레이저 스캐너까지의 이격거리이다(그림 11참조).

$$\begin{pmatrix} X_{Ground} \\ Y_{Ground} \\ Z_{Ground} \end{pmatrix} = R_{HRP} \begin{pmatrix} X_{INS} \\ Y_{INS} \\ Z_{INS} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} D_x \\ D_y \\ D_z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} Easting \\ Northing \\ Height \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} m_{11}r\cos\theta - m_{13}r\sin\theta + D_x + Easting \\ m_{21}r\cos\theta - m_{23}r\sin\theta + D_y + Northing \\ m_{31}r\cos\theta - m_{33}r\sin\theta + D_z + Height \end{pmatrix}$$

(4)

여기서,

$$R_{HRP} \begin{pmatrix} X_{INS} \\ Y_{INS} \\ Z_{INS} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} r\cos\theta \\ 0 \\ -r\sin\theta \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} m_{11}r\cos\theta - m_{13}r\sin\theta \\ m_{21}r\cos\theta - m_{23}r\sin\theta \\ m_{31}r\cos\theta - m_{33}r\sin\theta \end{pmatrix}$$

이다.

2. 추출 단계

2.1 TIN 생성

도로 및 도로에 존재하는 시설물은 지표면 위에 존재한다. 따라서 도로 관련 지형지물을 추출하기 전에는 반드시 지표면을 표현하는 TIN 생성 과정이 필요하다. 본 연구에서는 수치지형도의 등고선과 표고점 레이어를 사용하여 TIN을 생성하였다.

2.2 횡단면 데이터(cross section)로 변환

수많은 레이저 포인트 데이터 중에는 도로에 해당하는 포인트가 많은 비중을 차지한다. 따라서 도로 추출은 3차원 도로 모델링에 있어서 가장 먼저 수행되어야 하는 중요한 부분이며 본 연구에서는 횡단면 데이터로 변환하는 방법을 적용하였다. 회전식 레이저 스캐너는 차량의 진행방향과 평행하게 설치되어 회전을 하면서 데이터를 취득하게 된다. 회전각도 0~360°를 하나의 구간(section)으로 구분하였으며, 1 회전시(한 구간) 회전식 레이저 스캐너의 취득 데이터를 도시하면 그림 12와 같다.

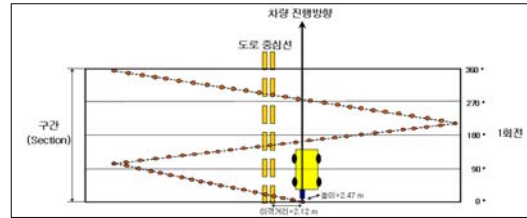


FIGURE 12. 회전식 레이저 스캐너 데이터의 분포

회전식 레이저 스캐너 데이터는 차량의 진행과 동시에 회전을 하면서 데이터를 취득하기 때문에 취득된 데이터는 그림 12와 같이 연속된 지그재그(∑) 형태의 패턴으로 나타나게 된다. 횡단면 데이터는 도로 중심선을 기준으로 좌우로 이격되는 점들의 집합으로 스캔된 점으로부터 도로 중심선까지 직각방향인 이격거리와 스캔된 점의 높이 값으로 이루어진다. 이때 도로 중심선과 회전식 레이저 스캐너와의 이격거리는 실험결과 2.12m를 적용하였다. 즉, X, Y, Z로 구성되는 3차원 포인트는 한 구간에서 회전각도가 0°인 회전식 레이저 스캐너의 위치를 기준으로 이격거리와 높이 값의 형태로 변환이 되며, 도로 중심선과 회전식 레이저 스캐너 헤더와의 차이인 2.12m를 감하면 결국 도로 중심선을 기준으로 한 이격거리와 높이 값으로 변환이 된다.

2.3 3차원 도로 기하정보 추출

도로에 해당하는 포인트 데이터는 도로의 다양한 조건하에서 차량이 거동하면서 데이터를 취득하게 되므로 실제의 데이터는 손실되고 노이즈를 포함하여 불규칙적으로 존재하게 된다. 본 연구에서 도로 추출을 위해서 가정한 조건과 접근방법은 다음과 같다.

- 도로는 왕복 4차선 이상이며 가속 및 감속차로와 길어깨를 포함한다고 가정한다. 또한, 건설교통부에서의 도로설계지침 제 7조(횡단구성 요소의 폭)에 의거 차로의 폭을 3.5m로 가정한다.

- 실제의 도로는 가속 및 감속차로 등과 같이 차로의 수가 다르다는 점을 가정하여 좌측의 도로면과 우측의 도로면을 따로 추출한다.
- 3차원 포인트 데이터를 구간단위의 횡단면 데이터로 변환 후에 한쪽 도로면에서 임의의 두 점을 이어서 한 쪽 도로면의 횡단경사를 계산하고 반대쪽의 도로면에 대해서도 같은 방법을 사용한다(도로 중심선 추출 참조).
- 도로면의 끝을 찾는 도로 경계선 추출 알고리즘을 적용하여 최종적으로 3차원의 좌·우 도로면을 결정하게 된다.

1) 도로 중심선 추출

횡단면 데이터는 도로 중앙에 설치된 중앙 분리대에 의해서 반대편 차도의 데이터가 존재하지 않는 경우(폐색지역)와 차도의 끝으로 갈수록 점 밀도가 낮아지는 특징이 있다. 이를 위해서 우측 도로면인 경우에는 도로 중심선으로부터 이격거리 +3.5m와 +7m인 지점의 높이를 추출하였다. 그 후, 두 점을 잇는 직선을 도로 중심선까지 이어서 만난 지점의 높이 (h_{right})와 좌측 도로면과 만난 높이(h_{left})을 계산하며 그림 13에서 점선으로 표시하였다.

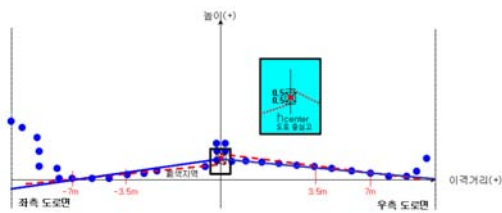


FIGURE 13. 도로 중심선의 높이 및 도로면 추출 원리

그러나 실제로 취득된 회전식 레이저 스캐너 데이터는 스캐너 데이터의 불규칙한 분포에 의하여 좌·우 도로면의 데이터가 그림 13에서 사각형 내부에 나타난 바와 같이 도로 중심선에서 일치하지 않는 것을 알 수 있다. 두 지점의 높이를 평균하여 도로 중심선에서

의 높이(h_{center})를 다시 계산하였으며 식(5)와 같다.

$$h_{center} = 0.5 \times (h_{left} + h_{right}) \tag{5}$$

이렇게 하여 결정된 도로 중심선의 높이에서 그림 13의 실선과 같이 -7m 지점의 높이를 연결하는 선은 좌측 도로면으로 결정되며, 마찬가지로 7m 지점의 높이와 연결되는 선이 우측 도로면이 된다. 추출된 도로 중심점을 이으면 도로 중심선이 생성된다.

2) 도로 경계선 추출

도로 경계선을 추출하는 알고리즘을 적용하기 위해서 편경사 조건을 사용하였다. 최대 편경사는 8%까지가 설계규정(건설교통부 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침)이며 도로 폭을 3.5m로 가정하면 Tangent 법칙에 의해서 탐색범위의 높이차는 0.3m로 계산된다. 높이차이 ±30cm의 탐색범위에 해당하는 점을 도로 중심선에서 도로면을 따라서 도로끝점까지 탐색하다가 높이 차이가 나는 연석이나 측구 또는 가드레일과 같은 포인트가 존재하면 도로 경계점으로 결정이 되며 자세한 설명은 그림 14와 같다.

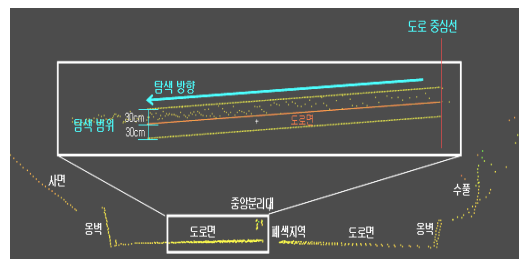


FIGURE 14. 도로 경계점 추출 알고리즘

추출된 도로 경계점들을 연결하면 도로 경계선이 생성된다. 최종적으로 한 구간 내에서 도로 중심선과 도로 경계선을 연결하면 3차원 도로가 생성된다.

2.4 도로 시설물 추출

1) 레이저 스캐너 데이터를 사용한 방법

도로 시설물 추출을 위한 방법은 도로 경계선을 기준으로 각 시설물별로의 규정된 시설코드의 제원(폭, 높이) 값을 이용하여 탐색구역의 크기를 설정하였다. 그림 15와 같이 탐색구역의 크기를 설정한 후 탐색구역 내에서 포인트의 분석하여 최종적으로 도로 시설물을 자동으로 결정하게 된다.

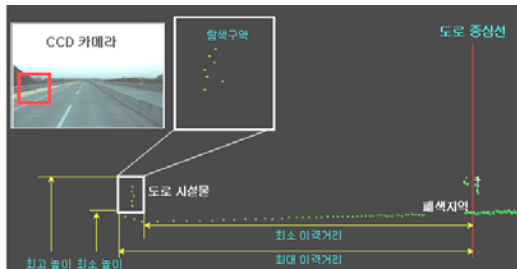


FIGURE 15. 도로 시설물 추출 알고리즘

탐색구역에서 좌상, 우하의 X, Y 좌표를 식으로 표현하면 식(6)과 같다.

$$\begin{aligned}
 \text{좌상}(X) &= \text{도로 경계점 } X + \text{시설물 폭} \\
 \text{좌상}(Y) &= \text{도로 경계점 } Y + \text{시설물 높이} \\
 \text{우하}(X) &= \text{도로 경계점 } X(\text{최소이격거리}) \\
 \text{우하}(Y) &= \text{도로 경계점 } Y(\text{최소높이})
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

2) CCD 카메라 영상을 사용한 방법

회전식 레이저 스캐너로부터 거리가 멀어질수록 점 밀도는 낮아지고, 장애물 등에 의해서 도로 시설물의 데이터가 취득되지 못하는 경우 자동 추출 알고리즘의 적용이 어려운 경우가 발생하였다. 또한 자동 추출된 도로 시설물이 잘못 추출된 경우도 존재하였다. 이를 위해서 본 연구에서는 차량의 전방에 설치된 CCD 카메라의 영상을 판독하여 사용자가 직접 3차원 포인트 데이터 상에 도로 시설물 라이브러리를 선택하도록 하는 반자동 기법 알고리즘을 적용하였다. 그림 16은 본 연구에서

사용한 도로 시설물 라이브러리의 모습과 시설코드를 보여준다.

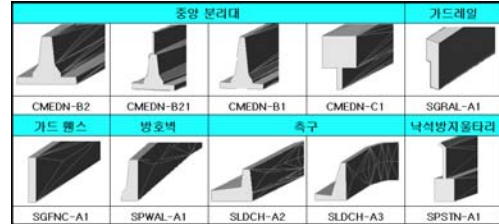


FIGURE 16. 도로 시설물 라이브러리

2.5 사면 추출

사면은 시공도면을 참조하지 않는 이상 기울기를 알 수가 없고 사면에 존재하는 수풀이나 수목에 의해서 회전식 레이저 스캐너 데이터로는 판별하기가 어렵다. 도로 및 도로 시설물의 추출이 끝나면 남은 회전식 레이저 포인트 데이터에는 사면 데이터가 존재한다. 도로 시설물이 없는 경우 생성된 도로 경계선에서부터 그리고 도로 시설물이 추출된 경우 그 끝 지점에서부터 사면의 시작점으로 하였다. 사면 추출을 하기 위해서는 도로 밑에 존재하는 지표면(surface)을 표현하는 TIN 데이터가 필요하다. 이를 이용하여 시작점에서의 해당지역이 절토인지 성토인지를 판단하여야 한다. 시작점에서의 높이가 지표면보다 낮으면 절토 사면이 되며 반대인 경우에는 성토사면이 된다. 지금까지 추출된 도로, 도로 시설물 및 사면과 TIN을 중첩하면 그림 17과 같이 나타난다.

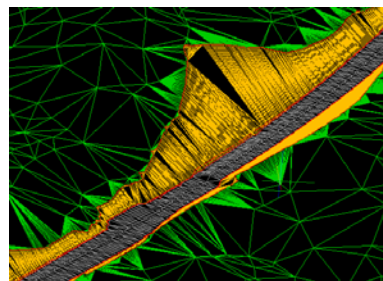


FIGURE 17. 추출된 3차원 도로 데이터 및 TIN

3. 3차원 도로 모델링

그림 18, 19는 지금까지 추출된 도로관련 지형지물과 지표면 데이터를 사용하여 3차원 도로 모델링을 하는 과정과 결과를 보여주며 3D 모델링 엔진을 제공하는 Autodesk사의 Civil 3D 2007에서 구현하였다.

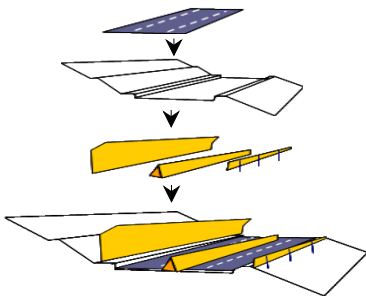


FIGURE 18. 3차원 도로 모델링 과정

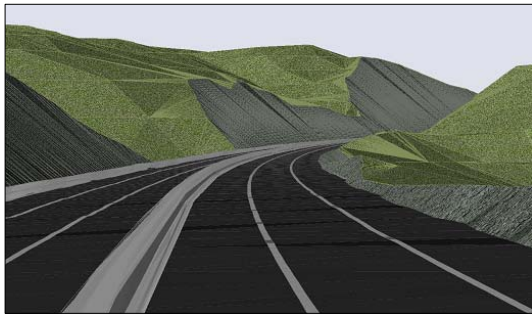


FIGURE 19. 3차원 도로 모델링 결과

결론

본 연구에서는 도로 안전성 조사 분석 차량에 설치된 센서를 활용하여 전체적인 처리절차 그리고 추출 알고리즘을 자세히 설명하였으며, 최종적으로 3차원 도로 모델링을 구현하였다. 본 연구를 통하여 도출된 결론은 다음과 같다.

첫째, 회전식 레이저 스캐너 데이터를 사용하는 경우 주야 및 날씨에 관련 없이 원하는

지역에 대해서 위성영상이나 항공사진에서 취득하지 못하는 도로 및 도로 시설물에 대한 3차원 데이터를 신속하게 취득할 수 있는 장점이 있다.

둘째, 회전식 레이저 스캐너의 3차원 데이터만을 사용하여 도로정보를 자동으로 추출하지 못하는 경우 보조 자료인 CCD 카메라 영상을 사용하여 수동으로 추출하는 경우가 효율적임을 실험을 통해서 알 수 있었다.


셋째, 본 연구를 통한 데이터는 차량항법시스템(CNS, Car Navigation System)과 연계하여 현재 위치한 3차원 도로정보, 도로의 급경사나 급커브에 대한 정보의 제공이 가능하다. 또한 공중에서 취득되지 못하는 한계점을 지상에서 취득한 데이터를 제공하여 3차원 GIS에서 데이터의 활용이 가능하다.

넷째, 도시계획, 교통통제, 도로관리와 유비쿼터스 등의 구축에 있어서 도로의 정확한 위치정보, 형상(폭, 길이)을 제공하며, 의사결정자료로의 활용이 예상된다.

다섯째, 현재 차량에 한대의 회전식 레이저 스캐너를 장착하였으며, 실험을 하는 동안 주변의 차량이나 장애물로 인하여 패색지역이 발생하여 도로 및 도로 시설물이 취득되지 못하였다. 이를 대한 보완을 위해 향후 연구방향으로 여러 방향(multiple view)으로 회전식 레이저 스캐너를 추가 장착하는 방안이 등이 요구된다.

여섯째, 긴 연장의 도로에 대해서 측량을 하는 경우에는 많은 데이터 용량과 이를 후처리하기 위한 많은 시간이 소요되므로 이에 대한 개선방법이 요구된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 첨단도시기술개발사업-지능형국토정보기술혁신사업과제의 연구비 지원(과제번호 07국토정보C03)에 의해 수행되었습니다. 

참고문헌

- 김문기, 성정곤. 2007. 도로안전성 조사분석차량을 이용한 회전식 레이저 데이터 취득시스템 개발. 한국지리정보학회 추계학술대회지 313-323쪽.
- 김세근, 이현용, 주영은. 2006. 모바일 레이저 스캐닝 데이터를 이용한 도로선형 및 횡단면 추출에 관한 연구. 한국지리정보학회지 9(3):207-218.
- 한국건설기술연구원. 2007. RoSAS(5차년도 연구보고서) 도로 안전성 조사 분석 차량 개발. 12쪽.
- 건설교통부. 2000. 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침. 122쪽.
- Yu, Si-Jie., Sukumar, S.R. Koschan, A.F. Page, D.L. and M.A. Abidi. 2007. 3D reconstruction of road surfaces using an integrated multi-sensory approach, Optics and Laser in Engineering 45:808-818.
- C. Vincent Tao, Jonathan Li, 2007. Advances in Mobile Mapping Technology, Taylor & Francis, pp.xi.
- H. Zhao. and R. Shibasaki. 2003. A Vehicle-borne Urban 3D Acquisition System using Single-row Laser Range Scanners. IEEE Trans. SMC Part B: Cybernetics 33(4). Aug. 2003. pp.658-666.
- Manandhar, D. and R. Shibasaki. 2001. Vehicle-borne Laser Mapping System (VLMS) for 3-D Urban GIS Database. 7th International Computers in Urban Planning and Urban management Conference. University of Hawaii at Manoa, USA. CD-ROM publication.
- <http://rosas.kict.re.kr>(도로 안전성 조사 분석 차량 홈페이지) 