

# Mobile Mapping System을 이용한 도로 평탄성과 편경사 분석 연구\*

김기창<sup>1,2</sup> · 윤하수<sup>1\*</sup> · 최윤수<sup>1</sup>

## Analysis of Road Surface Irregularity and Superelevation Using Mobile Mapping System\*

Gi-Chang KIM<sup>1,2</sup> · Ha-Su YOON<sup>1\*</sup> · Yun-Soo CHOI<sup>1</sup>

### 요 약

우리나라는 산업화 이후 경제발전으로 도로 인프라가 폭발적으로 증가하였고, 현재도 신설도로 구축과 기존도로의 보수와 확장 등으로 도로 인프라의 변화와 양적인 확대가 진행되고 있다. 이러한 도로 인프라는 차량의 안전 운전을 뒷받침하여야 하며, 도로 관리는 안전 운전의 중요한 역할을 담당하고 있다. 본 논문은 중부내륙고속도로의 사고위험 구간에 대한 평탄성과 편경사를 MMS로 분석하여 MMS를 이용한 도로 기하구조의 분석 가능성을 확인하는 것이다. MMS를 이용한 도로 평탄성을 분석한 결과 연구 대상지 총 8개 구간에서 50%를 넘는 도로가 개량공사가 필요한 것으로 분석되었으며, 편경사의 경우 2개의 구간에서 편경사 기준을 50%이상 벗어난 것으로 나타났다. 이를 통하여 MMS를 이용한 도로기하구조 분석이 가능함을 확인 할 수 있었다. 향후, 모든 도로를 대상으로 진행 중인 정밀도로지도 구축에서 생성된 MMS 데이터와 본 연구에서 제안한 방법을 이용하면 도로기하구조에 따른 사고위험 구간을 효율적으로 조사할 수 있으며, 도로시설물의 유지관리에도 MMS 결과를 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

**주요어 :** 종단선형, 평탄성, 편경사, 도로 기하구조, 이동식지도제작체계(MMS)

### ABSTRACT

Road infrastructure has increased explosively due to economic development after industrialization and at present road infrastructure is being changed and increased by construction of new roads and maintenance and expansion of existing roads. Such road infrastructure should support safe driving. Road management plays an important role in

2019년 09월 11일 접수 Received on September 11, 2019 / 2019년 09월 25일 수정 Revised on September 25, 2019 / 2019년 09월 25일 심사완료 Accepted on September 25, 2019

\* 본 연구는 국토교통부/국토과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음 (과제번호 19NSIP-B145070-02)

1 서울시립대학교 공간정보공학과 Dept. of Geoinformatics, University of Seoul

2 (주)유원지리정보시스템 U1 Geographic Information System

※ Corresponding Author E-mail : hasu9@uos.ac.kr

safe driving. The purpose of this dissertation is to verify predictability of dangerous sections by analyzing road geometrical structure such as surface irregularity and superelevation for some sections in Central Inland Expressway by MMS and present ways of managing roads using MMS. Having analyzed surface irregularity of roads by using MMS, it was found that over 50 percent of all eight sections, targets of this study need betterments and for superelevation, over 50 percent of two sections goes against superelevation standard. Targets of this study are sections that accidents occurred frequently based on history of past accidents and predictability of dangerous sections can be verified through analysis of road geometrical structure using MMS. Using MMS data created by construction of high definition maps which are being undergone for all roads and methods proposed by this study will help investigate dangerous sections efficiently according to road environment. A result of MMS can be used for maintenance of road furniture.

**KEYWORDS** : *Longitudinal alignment, Surface irregularity, Superelevation, Road geometrical structure, Mobile mapping system*

## 서론

### 1. 연구배경 및 목적

국토교통부 2018년 교통안전 연차보고서에 의하면, 2017년 말 기준 전국의 도로 총연장은 110,091km로서 2016년 108,780km와 비교하여 1.21% 증가하였다. 그리고 2008년을 기준으로 도로는 연평균 약 0.6%씩 증가하고 있으며, 10년간 총연장은 5,855km가 증가하였다(국토교통부, 2018). 이처럼 도로의 양적 팽창과 함께 도로의 확장, 노선 변경과 같은 도로의 변화도 많이 발생하고 있다. 신설도로나 기존도로 모두 차량의 안전 운전을 뒷받침하는 공간이 되어야 하며, 도로의 관리는 안전 운전의 중요한 역할을 하고 있다.

교통사고란 ‘차(車)’의 교통으로 인하여 사람이 사망 또는 부상하거나, 물건이 파손되는 것을 의미한다. 국토교통부 보고서에 의하면, 2008년부터 2017년까지 교통사고는 연평균 20만건 이상이 발생하였다. 최근 자료인 2017년 우리나라 도로 교통사고는 총 216,335건으로 하루에 약 600건 정도 발생하고 있으며, 사망자는 하루에 약 11.5명이 발생하고 있다

(MOLIT, 2018). 이러한 교통사고의 원인은 크게 3가지로 구분할 수 있다. 첫 번째는 도로환경에 따른 원인으로 볼 수 있다. 도로환경 요인은 크게 도로의 구조적 문제와 교통안전 시설의 문제로 구분할 수 있다. 도로의 구조적 문제는 도로이용자가 쾌적하고 안전하게 도로를 이용할 수 있도록 도로 자체가 최소한으로 갖추어야 할 기준을 의미하며, 도로의 선형요소를 도로설계에 맞게 시공하는 것이 한가지 예가 될 수 있다. 교통안전 시설은 도로의 구조 상태를 보완하여 사고를 최소화하고, 운전자에게 전방의 도로상태나 운전이 필요한 정보를 사전에 전달하는 것이다. 두 번째는 차량 자체에 의한 원인으로 차량의 구조적 결함이나 정비 불량으로 교통사고가 발생하는 경우이며, 세 번째는 운전자의 부주의나 조작 잘못 등에 의해 교통사고가 발생하는 경우이다.

MMS(Mobile Mapping System)는 지상에 측량기기를 세우고 대상물 관측을 통해 위치정보를 획득하던 기존의 방법에서 신속하고 편리하게 위치정보를 획득하기 위해 개발된 새로운 지도제작 체계이다(NGII, 2018). 구체적으로 이동체에 디지털카메라, 레이저 스캐너, GNSS(Global Navigation Satellite System) 수신기, 관성항법장치 등을 탑재하여 정밀한 측

위와 고품질의 공간정보 DB 구축을 위한 기술이다. 지상에서 특히, 도로상에서 실시간으로 다양하고 복잡한 지형·지물 정보를 획득하기에 가장 적합한 가장 적합한 방법이다(Choung, 2017).

도로 기하구조란 도로의 횡단면, 선형(평면선형과 종단선형), 교차로(평면교차와 입체교차) 등의 기하학적 제원에 관한 구조를 의미하며, 교통안전 측면에서 중요한 요소이다(TS, 1998). 도로 주행 시 설계요소가 충분히 확보된 구간에서는 운전자에게 안전하고 쾌적한 주행여건을 제공하지만 그렇지 못한 경우는 운전자에게 긴장감과 감속을 유발한다(Choi, 2005). 본 연구에서는 도로 기하구조 중 종단선형의 평탄성과 도로 곡선부분의 편경사를 MMS를 이용하여 분석하였다.

MMS를 이용한 도로 선형연구로 Kang(2013)은 ADAS(Advanced Driver Assistance Systems)에 적용할 수 있는 다목적 고정밀 도로지도의 제작 방법을 제시하고 검증하였다. Yoo(2015)는 3차원 레이저 스캐너와 지상 MMS 자료를 병합하여 3차원 객체모델을 구축하고 정밀도를 분석하였다. Yeom(2018)은 제한적으로 보급되어있는 포장관리시스템을 많은 기관이 활용할 수 있도록 MMS를 이용하여 도로포장 상태를 분석하여 적합성을 검증하였다.

도로 기하구조와 사고위험 구간을 분석한 선형연구로 Park *et al.*(2010)은 고속도로에서 GPS(Global Positioning System)를 장착한 프로브 차량의 속도자료를 수집하여 사고위험 구간을 추출하는 방법을 제시하였다. Moon(2013)은 GIS(Geographic Information System)를 활용하여 도로의 선형조건에 따른 도로 곡선부의 사고 위험도를 평가하고 위험 구간을 제시하였다. Park *et al.*(2019)은 도로기하구조 조건에서 기상상태에 따라 교통사고에 미치는 영향을 분석하는 연구를 수행하였다.

도로를 주제로 MMS와 기하구조를 연구한 국내 논문을 조사한 결과 MMS를 이용하여 도로 지도를 구축하거나 구축된 객체의 정밀도 향상에 관한 연구는 많았으나 MMS로 도로 기하구

조를 분석하는 연구는 상대적으로 많이 없었다. 그리고 기하구조를 분석한 연구는 준공도면, GIS, GPS를 이용하여 도로 기하구조를 계산하고 사고위험 구간을 분석하는 논문이 주를 이루었다. 본 연구의 차별성은 도로 기하구조의 MMS 분석 가능성을 확인하는 것이다.

## 연구방법

### 1. 연구범위

MMS를 이용하여 도로 기하구조를 분석하기 위하여 본 연구에서는 중부내륙선 8개 구간의 총연장 10km로 실험 대상지로 선정하였다. 실험 대상지는 한국도로공사의 ‘중부내륙선 시설개량 공사’의 과거 사고 이력을 분석하여 실험대상 구간을 선정하였다. 사고위험 구간을 대상지로 선정한 이유는 도로의 기하구조가 교통사고의 원인이 될 수 있어 대상지로 선정하였다. 그림 1은 실험 대상지의 위치를 표 1은 대상지의 구간 길이와 도로 정보를 나타낸 것이다.

### 2. MMS 장비 사양과 정확도 검증방법

본 연구에 사용된 MMS 장비는 일본 Mitsubishi Electronic 사에서 만든 장비로서 LiDAR(Light Detection And Ranging) 센서 2대, 5M pixel CCD 카메라 2대, GPS 3대, IMU(Inertial Measurement Unit) 1대로 구성된 MMS-G220 모델을 사용하였다. 3개의 GPS 안테나는 삼각망으로 처리하여 평균 위치가 계산되고 차량의 자세와 함께 정밀한 측위가 가능하다. 야간 조사나 터널 촬영이 가능하도록 서치라이트를 장착하여 주·야간 구분 없이 실험할 수 있도록 하였다. 그림 2는 MMS-G220 장착된 센서를 나타낸 것이며, MMS-G220의 센서 제원은 표 2와 같다.

연구에 사용될 MMS의 장비 성능과 정확도를 검증하기 위하여 측량이 완료된 검증구간에 대하여 테스트를 시행하였다. 검증대상 구간은 의왕시 안양-성남 간 고속도로의 복의왕 IC 옆 농협통합 IT센터 주변을 선택하여 속도

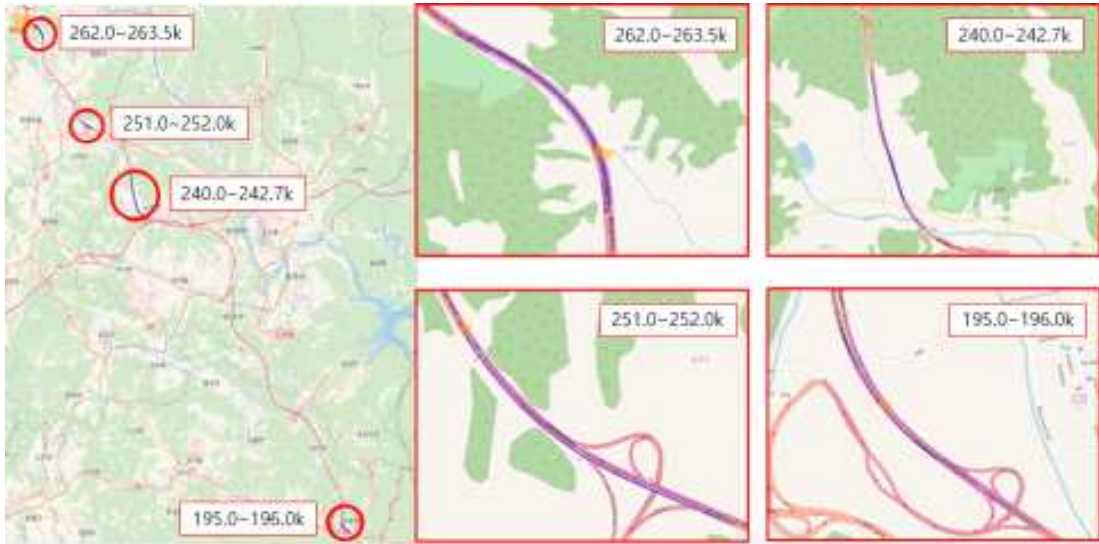


FIGURE 1. Study area(Central inland highway)

TABLE 1. Study area (Central inland highway)

Direction	Road-section length	Geometrical structure
Direction of Yang-Pyeong	195.0~196.0km	· Radius of curve : 1,100m · Longitudinal slope : -1.15~0.7%
	240.0~241.0km	· Radius of curve : 1,500m · Longitudinal slope : -0.35%
	251.0~252.0km	· Radius of curve : 1,600m · Longitudinal slope : -2.1~+2.87%
	262.0~263.5km	· Radius of curve : 1,400m · Longitudinal slope : +0.93%
Direction of Chang-Won	195.0~196.0km	· Radius of curve : 1,100m · Longitudinal slope : +0.7~-1.15%
	240.7~242.7km	· Radius of curve : 4,000m · Longitudinal slope : -3.8%
	251.0~252.0km	· Radius of curve : 1,600m · Longitudinal slope : +2.87~-2.1%
	262.0~263.5km	· Radius of curve : 1,400m · Longitudinal slope : -0.93%

40~70km/h, GPS 수신기 양호한 시간대의 조건으로 테스트 측량을 실시하였다. 장비 검증 결과 X와 Y축의 표준편차는 3.1cm, Z축에 대한 표준편차는 3.0cm로 데이터 품질 및 장비의 성능이 이상 없음을 확인하였다. 본 연구에서는 검증이 완료된 MMS 장비를 이용하여 실험 대상지의 고속도로 본선과 갓길의 종단경사와 편경사를 평균속도 80km/h로 측량하였으며, 정확

도 검증과 보정을 위해 실험 대상지 8개 구간에 27점의 GNSS 측량을 수행하였다.

### 3. MMS 자료 획득 및 처리방법

도로의 기하구조를 MMS로 탐지하는 방법은 그림 3과 같다. 먼저, 실험 대상지에 대한 MMS 현장측량을 수행하여 취득한 데이터를 1차 후처리(GNSS/INS 통합처리)를 한다. 후처리 결과

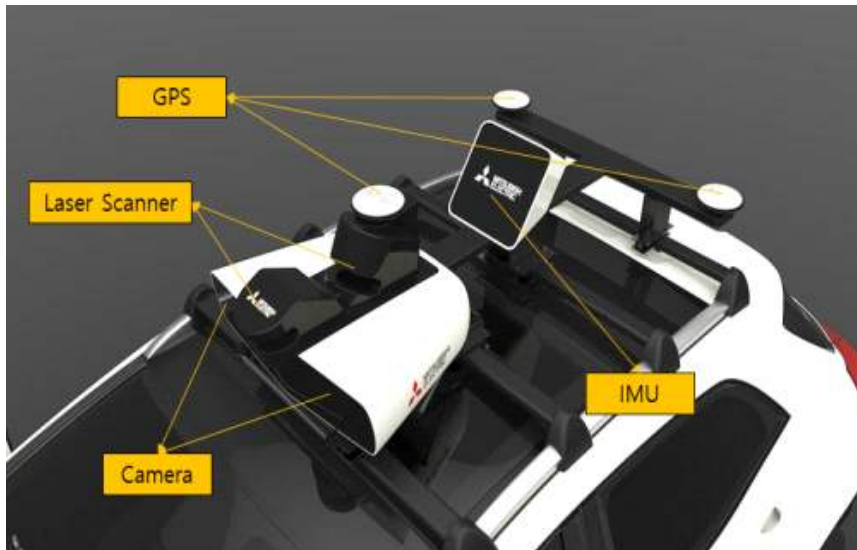


FIGURE 2. Sensor configuration of MMS-G220

TABLE 2. Specification of MMS-G220

Component	Specification
LiDAR	Dual laser head : 27,100 points per second
Scanner FOV	180 degrees
Positioning system	Mitsubishi positioning system
Accuracy	Less than $\pm 6\text{cm}$ (GPS/IMU error included)
Spatial Resolution	10cm (Driving at 40km/h)
Camera	2 EA, Charge Coupled Device, 5 Mega pixels

MMS 차량의 위치 정확도가 높은 경우 LiDAR 데이터를 생성하고, 위치 정확도가 낮으면 MMS 재측량을 수행한다. 생성된 LiDAR 데이터의 정확도를 높이기 위해 측량(보정)점을 이용하여 LiDAR 데이터를 보정한다. 보정된 LiDAR 데이터는 검증점을 이용하여 검토 후 정확도가 기준보다 낮다고 판단되었을 경우, 보정 및 정합 과정을 다시 수행한다. 이후 보정된 LiDAR 데이터를 이용해 객체추출에 의한 도화를 실시하여 기하구조를 생성하고 생성된 기하구조를 기준 기하구조와 비교·분석한다.

#### 4. 도로 기하구조 생성

- 1) 종단선형과 평탄성  
도로의 평탄성을 분석하기 위해서는 도로 전

체에 대한 기하구조를 생성해야 한다. 실험 대상지의 기하구조를 생성하기 위하여 MMS를 이용하여 종단선형을 구축하고 50cm 격자를 이용하여 도로의 평탄성을 분석하였다. 종단선형이란 도로의 중심선이 입체적으로 그리는 종단방향 선을 의미하며, 평탄성은 포장면의 평활도 정도를 나타낸다. 평탄성은 교통사고와 밀접한 관련이 있으며, 일반적으로 도로의 중횡단 방향의 요철량을 측정하여 지표로 하여 포장의 파괴 정도를 표시하는데 이용된다. 본 연구에서는 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙」을 기준으로 실험 구간의 평탄성 이상 유무를 판단하였다.

MMS를 이용하여 종단선형을 생성하기 위해 MMS 점군(Point cloud) 데이터와 차선, 도로

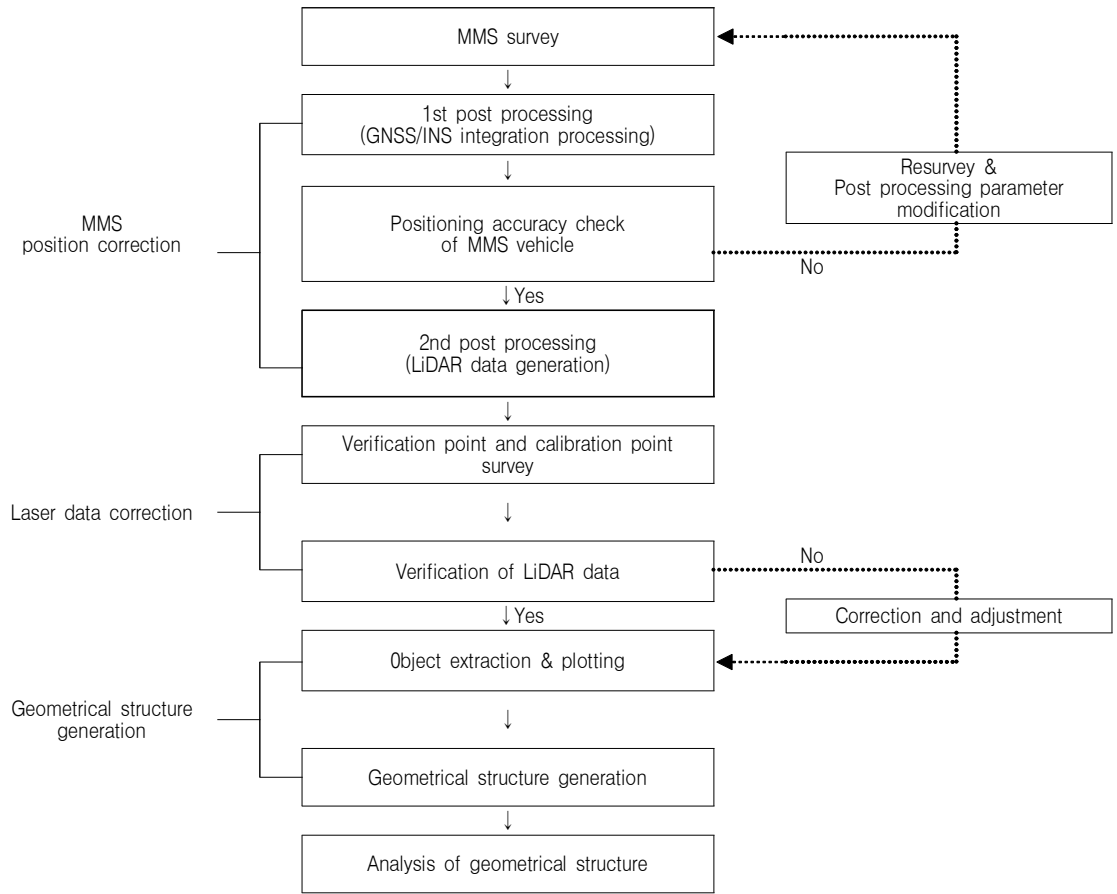


FIGURE 3. MMS data processing flow chart

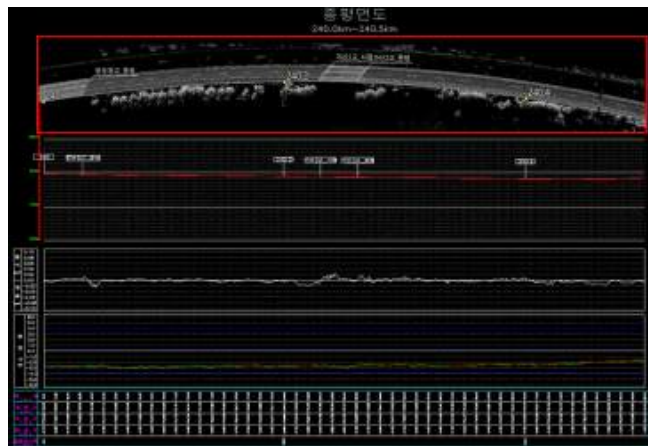


FIGURE 4. Longitudinal alignment

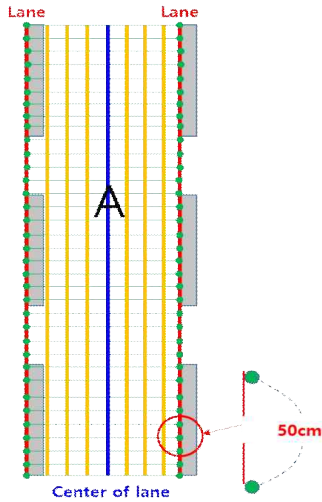


FIGURE 5. Grid generation

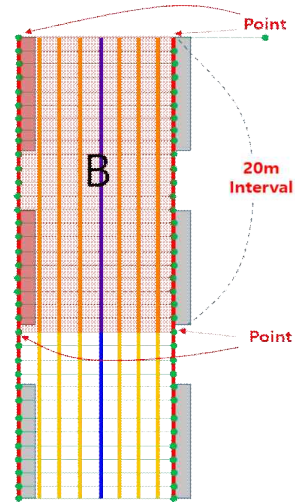


FIGURE 6. 20m Interval

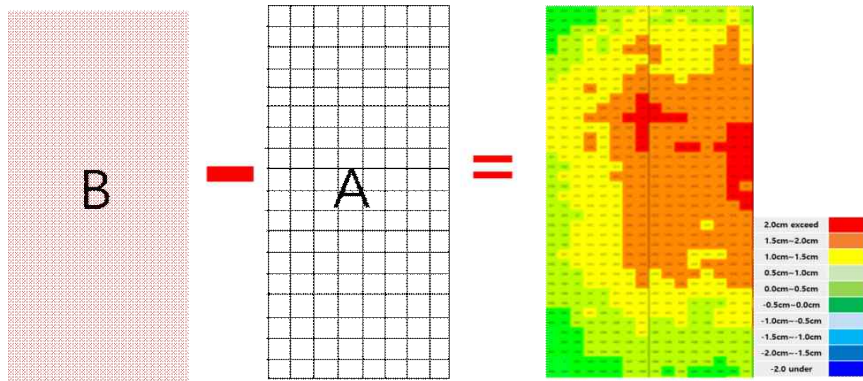


FIGURE 7. Surface irregularity analysis method

가장자리를 도화 자료를 이용하였다. 도로의 도화 기준은 차선 페인트의 좌측면과 도로시설물(연석 등)을 이용하였다. 그림 4는 중단선형 기하구조를 이용하여 구현한 평면도이다.

도로의 평탄성 분석을 위하여 50cm 간격으로 도로 격자를 생성하고, 생성된 격자를 기반으로 20m 단위로 구분하여 평탄성을 분석하였다. 20m 단위로 평탄성을 분석한 이유는 중단거리를 200m, 100m, 50m, 20m 기준으로 중단선형을 분석한 결과 20m 기준의 중단선형이 기하구조 검토와 도로의 처짐, 솟음 부분을 분석하

는데 적합한 것으로 판단되었다.

50cm 간격의 격자 생성은 도로의 차선을 이용하여 차로중심선을 생성하였다. 이렇게 생성된 차로중심선을 기준으로 50cm 간격의 횡단선을 생성하고 차로중심선에서 좌·우차선을 기준으로 사등분하여 중단선을 생성하였다. 마지막으로 차로의 중단선형과 50cm 간격의 횡단선을 결합하여 폴리곤(polygon)으로 처리하였다. 격자 높이의 경우 점군 데이터를 이용하여 격자에 반영하였다(그림 5). 50cm 격자를 기반으로 20m 간격으로 평탄성을 분석하기 위하여 20m

단위점의 높이를 기준으로 전체적인 폴리곤을 생성하였다. 20m 단위점 사이의 점들은 20m 단위점의 높이 값에서 선형화(직선보간)를 적용하여 균등하게 높이 값을 증가 또는 감소하도록 하였다(그림 6). 최종적으로 20m 간격을 이용하여 생성된 높이 값과 MMS 데이터를 이용하여 생성된 50cm 간격의 높이 값을 비교하여 도로의 평탄성을 분석하였다(그림 7).

2) 편경사

편경사는 도로에서 곡선의 바깥쪽을 안쪽보다 높게 하여 차량의 원심력에 의한 영향을 감소 또는 제거하여 차량의 탈선을 방지하는 것으로 운전자나 승객의 안전을 위해 고려되어야 할 요소이다(Jo, 2003). 본 연구에서는 실험 대상지 곡선 구간의 반경과 고속도로 차량 속도를 고려하여 최대 편경사가 6%를 초과하지 않는 것으로 편경사 기준을 설정하였다. 표 3은 ‘도로설계편람’에 제시된 곡선반경에 따른 편경사를 나타낸 표이다.

실험 대상지의 편경사를 분석하기 위해 MMS

를 이용한 실제 편경사와 도로설계편람에서 정의된 기준 편경사를 비교하였다. MMS를 이용한 실제 편경사의 기하구조는 MMS 점군 데이터를 활용하여 도로 차선을 도화하고 차로중심선을 생성한 후 차로중심선을 기준으로 수직이 되는 횡 방향의 라인을 생성하였다. 그리고 횡 방향 라인의 양 끝점에 높이 값을 입력하여 실제 편경사를 계산하였다.

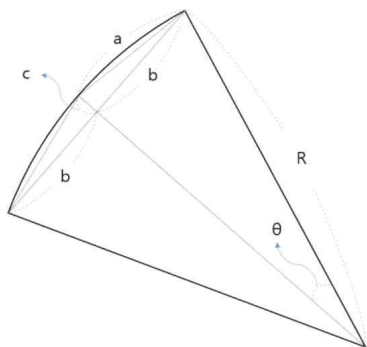
기준 편경사는 그림 8과 같은 원곡선의 요소와 식 1을 이용하여 계산하였다. 식 1에 따르면 곡선반경(R) 산출에 필요한 요소는 ‘b’와 ‘c’이다. ‘b’는 도로 곡선구간의 시작점과 종료점을 직선으로 연결한 현(Chord) 길이의 절반을 의미하며, 현의 중점에서 곡선으로의 수직선 길이는 ‘c’이다. 두 가지 요소의 길이는 CAD를 이용하여 산출하고, 식 1을 이용하여 도로 곡선반경을 계산하였다.

그림 9는 실험 대상지 중 한 곳의 원곡선 요소를 산출한 결과를 나타낸 그림이다.

표 4는 실험 대상 구간의 기준 편경사와 곡선반경을 산출한 결과이다.

TABLE 3. Superelevation due to curved radius(m) and car speed

Super-elev.	2%	3%	4%	5%	6%
Design speed					
120 km/h	6,900~3,840	3,840~2,470	2,470~1,610	1,610~1,050	1,050~710
110 km/h	5,800~3,230	3,230~2,070	2,070~1,360	1,360~880	880~600
100 km/h	4,800~2,650	2,650~1,690	1,690~1,070	1,070~690	690~460
90 km/h	3,900~2,150	2,150~1,370	1,370~880	880~560	560~380
80 km/h	3,100~1,680	1,680~1,060	1,060~670	670~420	420~280



$$\sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1$$

$$R \sin \theta = b, R \cos \theta = R - c$$

$$R^2 \sin^2 \theta = b^2, R^2 \cos^2 \theta = (R - c)^2$$

$$R^2 \sin^2 \theta + R^2 \cos^2 \theta = b^2 + (R - c)^2 \tag{1}$$

$$R^2 (\sin^2 \theta + \cos^2 \theta) = b^2 + R^2 - 2Rc + c^2$$

$$R^2 = b^2 + R^2 - 2Rc + c^2 (\because \sin^2 \theta + \cos^2 \theta = 1)$$

$$2Rc = b^2 + c^2$$

$$\therefore R = (b^2 + c^2) / 2c$$

FIGURE 8. Circular curve



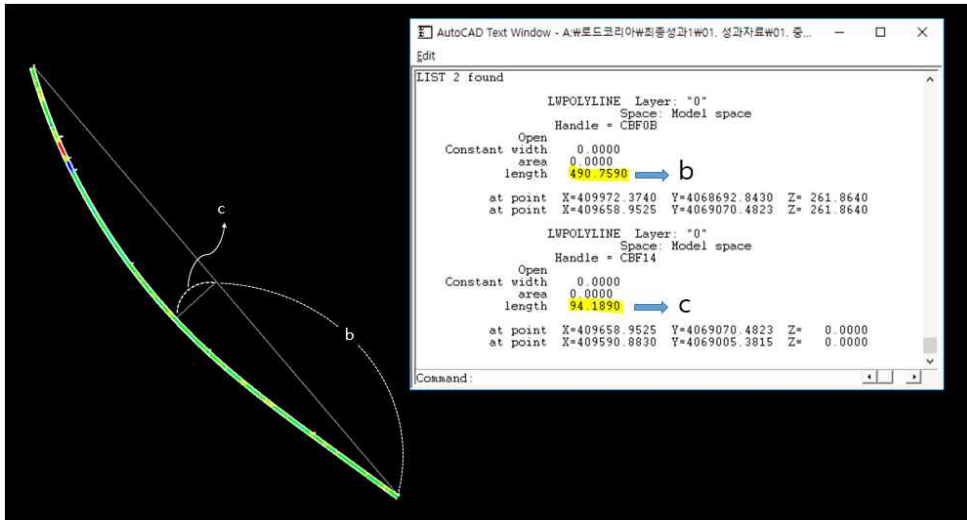


FIGURE 9. Calculate radius using CAD

TABLE 4. Result of reference superelevation and curved radius

Direction	Road-section length	Radius(R)	Super-elev.	b factor (m)	c factor (m)
Two-way road	195.0~196.0km	1325.611m	5.0%	490.7590	94.1890
Direction of Yang-Pyeong	240.0~241.0km	1485.684m	4.0%	108.3566	3.9567
Direction of Chang-Won	240.7~242.7km	4052.965m	2.0%	350.0672	15.1465
Two-way road	251.0~252.0km	1591.605m	4.0%	374.2678	44.6305
Two-way road	262.0~263.5km	1405.142m	4.0%	424.7114	65.7224

### 실험결과

#### 1. 평탄성 분석

중부내륙고속도로의 사고위험 구간에 대하여 종단평면의 평탄성을 분석한 결과 모든 실험 대

상의 총연장 대비 50%를 상회하는 구간이 처짐(Deflection) 또는 솟음(Camber)로 분석되어 도로 개량공사가 필요한 것으로 판단되었다. Alternating은 처짐과 솟음이 같이 나타난 구간이다. 표 5는 실험대상지 전체의 평탄성을 분석

TABLE 5. Result of surface irregularity

no.	Direction	Road-section length	Full length (m)	Improvement section (m)	Length by longitudinal section situation (m)			Rate (%)
					Deflection	Camber	Alternating	
1	Yang-Pyeong	195.0~196.0Km	1,000	506.0	382.5	56.0	67.5	50.6
2	Yang-Pyeong	240.0~241.0Km	1,000	950.0	786.0	31.0	133.0	95.0
3	Yang-Pyeong	251.0~252.0Km	1,000	747.0	389.0	309.0	49.0	74.7
4	Yang-Pyeong	262.0~263.5Km	1,500	863.0	723.0	82.0	58.0	57.5
5	Chang-Won	195.0~196.0Km	1,000	664.0	242.0	229.0	193.0	66.4
6	Chang-Won	240.7~242.7Km	2,000	1354.0	498.0	705.0	151.0	67.7
7	Chang-Won	251.0~252.0Km	1,000	868.0	534.0	12.0	322.0	86.8
8	Chang-Won	262.0~263.5Km	1,500	759.5	55.5	696.0	8.0	50.6

TABLE 6. Result of superelevation

no.	Direction	Road-section length	Full length (m)	Exceed standard(+)		Below standard(-)	
				length(m)	Rate(%)	length(m)	Rate(%)
1	Yang-Pyeong	195.0~196.0Km	1,000	-	-	56.0	5.60
2	Yang-Pyeong	240.0~241.0Km	1,000	-	-	260.5	26.05
3	Yang-Pyeong	251.0~252.0Km	1,000	527.5	52.75	-	-
4	Yang-Pyeong	262.0~263.5Km	1,500	1,050.5	70.03	-	-
5	Chang-Won	195.0~196.0Km	1,000	5.0	0.50	-	-
6	Chang-Won	240.7~242.7Km	2,000	-	-	-	-
7	Chang-Won	251.0~252.0Km	1,000	710.5	71.05	-	-
8	Chang-Won	262.0~263.5Km	1,500	284.5	18.97	-	-

한 최종 결과이다. 특히, 양평방향 240.0~241.0km 구간과 창원방향 251.0~252.0km 구간은 도로 총 도로 길이의 95%가 기준에 부합하지 않고 개량이 필요한 것으로 나타났다.

## 2. 편경사 분석

편경사는 계산된 기준 편경사와 MMS를 이용한 실제 편경사 값을 비교하였다. 기준 편경사는 “평면곡선 반지름에 따른 편경사(도로설계편람)” 기준의 최대편경사 6%를 적용한 경우를 적용하고 MMS를 이용한 편경사를 산출하여 편경사 기준에 부합하지 않는 구간을 분석하였다. 기준에 맞지 않는 편경사를 판단하는 기준은  $\pm 0.5\%$  허용오차범위 이상의 차이로 (+)값은 기준초과로 (-)값은 기준미달로 판단하였다. 실험 대상지의 편경사를 분석한 결과 편경사 대부분의 사고취약구간에서 기준을 초과한 것으로 확인되었고, 창원 방향 240.7~242.7km 구간을 제외하고 대부분 구간에서 기준범위를 초과하거나 미달하는 구간이 존재하였다. 특히 양방향 251.0~252.0km 구간과 양평 방향 262.0~263.5km 구간의 경우는 50% 이상이 편경사 기준 오차범위를 초과한 것으로 분석되었다.

## 결 론

본 연구는 중부내륙고속도로의 사고위험 구간에 대하여 평탄성, 편경사와 같은 도로 기하구조를 MMS를 이용하여 분석하였다. 첫째, 점군 데이터를 이용하여 차량 진행 방향으로의 도로

의 평탄성을 분석하였다. 제시된 중단평면은 50cm 간격의 격자로 분할된 점군 데이터를 기초로 20m 단위의 격자를 구성하여 도로의 처짐과 솟음을 확인할 수 있었다. 실험 대상지인 중부내륙고속도로의 8개의 사고위험 구간의 중단평면 평탄성 분석결과 모든 구간에서 총연장거리 대비 50%를 넘는 구간에서 처짐 또는 솟음으로 나타났으며, 해당 구간의 개량공사가 필요한 것으로 판단되었다. 특히, 양평방향 240.0~241.0km 구간과 창원방향 251.0~252.0km 구간은 대부분 중단평면의 평탄성 기준에 부합하지 않은 것으로 나타났다.

편경사를 분석하기 위하여 도로설계편람의 기준 편경사와 MMS를 이용한 실제 편경사를 비교하였다. 분석 결과 대부분의 사고위험 구간에서 편경사 기준을 초과하거나 미달하는 것으로 확인되었다. 특히 창원과 양평 양방향 251.0~252.0Km 구간과 양평 방향으로 262.0~263.5Km 구간의 경우는 50% 이상이 편경사 기준의 오차범위를 초과한 것으로 나타났다.

위와 같이 MMS를 이용한 도로의 기하구조를 분석한 결과 MMS를 이용한 기하구조 분석이 가능한 것으로 나타났다. 이를 통하여 MMS를 이용한 교통사고 위험 구간의 예측 가능성을 확인하였으며, 효율적인 도로 관리와 교통사고 예방에 MMS를 활용할 수 있을 것으로 판단하였다.

현재 우리나라는 자율주행자동차를 위한 정밀 도로지도를 MMS를 이용하여 구축하고 있다.

전 국토의 도로를 대상으로 하는 정밀도로지도 구축에서 생성된 MMS 데이터와 본 연구에서 제안한 방법을 이용하면 도로환경에 따른 사고 위험 구간을 효율적으로 조사할 수 있으며, 도로시설물의 조사도 가능하므로 도로의 유지관리에 MMS를 활용할 수 있을 것으로 사료된다

**KAGIS**

## REFERENCES

- Cho, K.J. 2019. Geomatics Engineering 5th Edition. Yang Seo Gak, Seoul, Korea. 422-423pp (조규진. 2019 측량정보공학 개정 5판. 양서각, 422-423쪽).
- Choi, B.K. 2005. A Study on the Traffic Accident Effects of Highway Design Factors. Master Thesis, Hanyang University, Seoul, Korea. 62-63pp (최백균. 2005. 도로기하구조 설계요소가 교통사고에 미치는 영향에 관한 연구. 한양대학교 공학대학원 석사학위논문. 62-63쪽).
- Choung, Y.J. 2017. Extraction of 3D Objects Around Roads Using MMS LiDAR Data, Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies, 20(1):152-161 (정윤재. 2017. MMS LiDAR 자료를 이용한 도로 주변 3차원 객체 추출. 한국지리정보학회지, 20(1):152-161).
- Kang, I.G. 2013. The Method for Improving the Integrity of the Data from Land-based Mobile Mapping System to Create Multipurpose Precise Road Map. Ph.D. Thesis, University of Seoul, Seoul, Korea. 89-91pp (강인구. 2013. 다목적 정밀 도로지도 제작을 위한 지상 MMS 자료의 무결성 향상 방법. 서울시립대학교 대학원 박사학위논문. 89-91쪽).
- MOLIT(Ministry of Land, Infrastructure and Transport). 2016. A Handbook of Road Design. 3-32pp (국토교통부. 2016. 도로설계기준. 3-32쪽).
- MOLIT(Ministry of Land, Infrastructure and Transport). 2018. Traffic Safety Annual Report 2018. 3p, 74p (국토교통부. 2018. 교통안전 연차보고서. 3쪽, 74쪽).
- Moon, J.W. 2013. GIS based Hazardous Segments Using Road Alignment Conditions. Master Thesis, Chonbuk National University, Jeon-Ju, Korea. 31-32pp (문재웅. 2013. GIS기반 도로선형 조건에 따른 교통사고 위험구간 선정연구. 전북대학교 산업기술대학원 석사학위논문. 31-32쪽).
- NGII(National Geographic Information Institute). 2016. Dictionary of Spatial Information. 167p (국토지리정보원. 2016. 공간정보 용어사전. 167쪽).
- Park, J.H., C. Oh, T.H. Kim and S.H. Joo. 2010. Extraction of Hazardous Freeway Sections Using GPS-Based Probe Vehicle Speed Data. The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, 9(3):73-84 (박재홍, 오철, 김태형, 주신혜. 2010. GPS 프로브 차량 속도자료를 이용한 고속도로 사고 위험구간 추출기법. 한국ITS학회논문지 9(3):73-84).
- Park, S.J., S.Y. Kho and H.C. Park. 2019. The Effects of Road Geometry on the Injury Severity of Expressway Traffic Accident Depending on Weather Conditions. The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems, 18(2):12-28 (박수진, 고승영, 박호철. 2019. 도로기하구조가 기상상태에 따라 고속도로 교통사고 심각도에 미치는 영향 분석. 한국ITS학회논문지 18(2):12-28).

- TS(Korea Transportation Safety Authority). 1998. A Study on the Development of Diagnostic Items and Judgment Criteria for Road Safety Diagnosis System. 36-41pp (한국교통안전공단. 1998. 도로안전진단 제도의 진단항목 및 판정기준 개발에 관한 연구 보고서. 36-41쪽).
- Yeom, J.H. 2018. Analysis and Evaluation of Road Pavement Condition Using Mobile Mapping System. Master Thesis, University of Seoul, Seoul, Korea. 63-64pp (염준호. 2018. 모바일매핑시스템을 이용한 도로포장 상태 분석 및 평가. 서울
- 시립대학교 공간정보공학과 GSE 석사학위논문. 63-64쪽).
- Yoo, W.S. 2015. A 3Dimensional Object Modeling via Integrated Data Processing of MMS and Laser Scanning Data. Master Thesis, University of Seoul, Seoul, Korea. 96-97pp (유원석. 2015. MMS와 레이저 스캔자료의 병합을 통한 3차원 객체모델 구현. 서울시립대학교 도시과학대학원 석사학위논문. 96-97쪽).
- Ministry of Government Legislation : <http://www.moleg.go.kr> (법제처 홈페이지) 