



# 센서를 장착한 차량을 이용한 도로 횡단경사 측정에 관한 연구

## A Study for Measuring of Cross Slope Using Instrument Vehicle with Multiple Sensors

윤 덕 근\*      정 동 훈\*\*      성 정 곤\*\*\*      이 상 화\*\*\*\*  
 Yun, Duk Geun    Jeong, Dong Hoon    Sung, Jung Gon    Lee, Sang Hwa

### Abstract

This research introduces the method to measure cross-slope using Road Safety Survey and Analysis Vehicle(RoSSAV) with multiple sensors. Cross-slope is an important element like horizontal alignment and vertical alignment in evaluating safety of the roads. In many cases, cross-slope is different from drawings due to frequent overlays. It is extremely difficult to measure cross slope at the roads which has huge traffic volume. Therefore, the algorithm, which can be used when driving the RoSSAV with GPS/INS and Laser Scanner sensors was developed for measuring the cross-slop. Also, in order to examine the algorithm, the superelevation was measured by Laser Scanner and GPS/INS system during travelling and the result was verified by statistical verification.

**Keywords :** *cross slope, superelevation, GPS, INS, laser, survey*

### 요 지

본 논문은 차량에 각종 센서를 장착한 도로안전성 조사 분석 차량을 이용하여 도로의 횡단경사를 측정하는 방법에 관해 소개하였다. 횡단경사는 평면선형, 종단선형과 더불어 도로 설계의 중요한 요소이며, 도로의 안전성을 평가하는 데에도 필수적인 요소이다. 그러나 횡단경사의 경우 도로의 잦은 덧씌우기로 도면과 다르게 나타날 수 있으며, 교통량이 많은 도로에서 횡단경사를 측정하는 데에는 많은 어려움이 존재한다. 이에 본 연구에서는 GPS/INS 및 레이저 스캐너 등을 장착한 도로안전성 조사 분석 차량으로 주행 중 횡단경사를 측정하는 알고리즘을 개발하였다. 또, 현장에서 개발된 알고리즘의 적용성을 검토하기 위해 횡단경사 중 편경사가 설치된 곡선구간을 선택하여 레이저 스캐너와 GPS/INS 통합시스템을 사용하여 주행 중 편경사를 측정하고, 이를 통계적으로 검증하였다.

**핵심용어 :** *횡단경사, 편경사, GPS, INS, 레이저, 측량*

\* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 · 연구원  
 \*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 · 선임연구원 · 공학박사  
 \*\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 도로연구부 · 수석연구원 · 공학박사  
 \*\*\*\* 정회원 · 명지대학교 교통공학과 박사과정



## 1. 서론

도로의 특성을 설명할 때 도로를 구성하고 있는 평면곡선, 종단경사, 횡단경사 등 기하구조 정보는 필수적이며 이 기하구조 정보는 도로의 안전성 평가에 있어 요구되어지는 중요한 정보이다. 기하구조 요소 중 횡단경사 정보는 도로의 배수와 주행 차량의 원심력과 관련된 중요한 기하구조이다. 신재명(1999)의 논문에서 따르면 도로의 입체시거를 계산할 때 편경사의 변화에 따라 시거차이가 발생한다고 되어 있는 것을 고려할 때, 평면시거, 종단시거 뿐만 아니라 입체시거를 고려할 때 횡단경사는 중요한 요소로서 평가되어진다.

횡단경사를 포함한 평면, 종단선형 등 기하구조 요소는 대부분 기존 도로 도면을 통해 취득되어 왔으나, 모든 도로의 도면에 존재하지 않고, 도면이 존재하더라도 선형개량이나 재포장 등을 통하여 실제 도로와 도면이 다르게 나타나는 경우가 많다. 특히 중차량 교통량이 많은 지역에서는 노면 포장의 소성변형으로 인해 횡단경사가 다르게 나타나며, 잦은 재포장 등으로 원래 도면상의 횡단경사와는 다르게 나타난다. 이러한 경우 도로의 횡단경사를 측정하기 위해서는 현장에서 직접 횡단경사를 측정해야 하나 차량이 소통하고 있는 도로에서 횡단경사를 측정하는데 많은 어려움이 존재할 뿐 아니라 편경사 접속설치 구간에서는 연속적으로 편경사가 변화되기 때문에 조밀하게 측량해야 하는 번거로움이 존재한다.

이에 본 연구에서는 GPS(Global Positioning System)와 INS(Inertial Navigation System)를 장착한 차량을 이용하여 실제 주행속도에서 도로의 횡단경사를 추출할 수 있는 알고리즘을 개발하고, 실제 도로에서 취득한 데이터를 이용하여 도로의 편경사를 계산하여 알고리즘의 타당성을 조사하였다.

## 2. 기존 편경사 추출 방법론

### 2.1 GPS 실시간 동적 측위법을 이용한 도로 편경사 추출

서동주(2002)의 논문에서는 DGPS(Differential GPS)를 이용하여 동적 측위 방법으로 원곡선과 완화곡선이 삽입된 약 2km의 도로 구간에서 편경사를 추출한 후 기존 설계 도면과 비교하였다. 이 방법은 이동식 기지국을 설치한 후 제작한 손수레를 이용하여 도로의 중심선 및 양방향 도로 외곽선을 이동하여 측량한 방법으로 도로 중심선과 외곽선의 좌표의 좌표차를 이용하여 편경사를 측정하였다. 또 노태호(2001)의 논문에서도 같은 방법으로 동적 측위법을 이용하여 편경사를 측량한 후 이를 자동적으로 계산하는 프로그램을 개발하였다.

이 두 방법은 차량의 자세를 이용하여 도로의 편경사를 측정하는 방법이 아니라 도로면의 고저차를 GPS를 이용하여 측량함으로써 편경사를 측정하였다.

### 2.2 수치영상을 이용한 도로 편경사 추출

이종출(2004)의 논문에서는 3차원 수치사진측량 기법을 사용하여 편경사를 추출하였으며, 이를 위해 먼저 연구대상 도로의 일부 곡선구간을 선정하여 차로중심선과 양방향 길어개를 CCD카메라를 이용하여 영상을 취득하고, 취득한 영상을 분석하여 편경사를 추출하여 total station과 관측한 값을 비교하였다.

## 3. 횡단경사 분석을 위한 알고리즘 개발

도로안전성 조사 분석 차량(Road Safety Survey Analysis Vehicle, RoSSAV)은 차량에 GPS, INS, DMI(Distance Measurement Unit), CCD(Charge-Coupled Device) 카메라, 고정식 및 회전식 레이저 스캐너 등 각종 센서를 장착하여 차량 주행 중 도로



의 각종 정보를 취득하고, 취득한 정보를 이용하여 도로의 기하구조 정보를 분석할 수 있는 차량이다.

본 연구에서는 도로안전성 조사 분석 차량을 이용하여 횡단경사를 분석할 수 있는 방법으로 고정식 레이저 스캐너를 이용하는 방법과 차량에 장착된 GPS/INS 통합센서를 이용하는 방법을 개발하였다.

### 3.1 고정식 레이저 스캐너를 이용한 횡단경사 측정 방법

고정식 레이저 스캐너는 도로안전성 조사 분석 차량에 장착되어 있어, 도로 및 도로 시설물의 정보를 취득하기 위해 차량을 노측에 정차시킨 후 노면 및 도로의 전체적인 형상을 스캔한다. 레이저 스캐너 전방 최대 100m까지 노면의 형상을 추출할 수 있고, 고정된 상태에서 노면의 형상을 추출하기 때문에 정확한 노면 경사를 추출할 수 있는 장점이 있으나, 측량을 위해 차량을 정지시켜야 하며, 스캐너로부터 추출한 좌표를 절대좌표로 변환하기 위하여 스캐너의 위치 및 자세를 알고 있어야 한다.

레이저 자료는 스캔 시 노면의 반사강도에 따라 자료가 수집되어 칼라로 변환하면 반사강도가 강한 차선은 주위와 확연히 다른 색깔을 가지게 된다. 따라서 이를 이용하면 차선별 좌표를 이어 하나의 선형으로 추출할 수 있다.

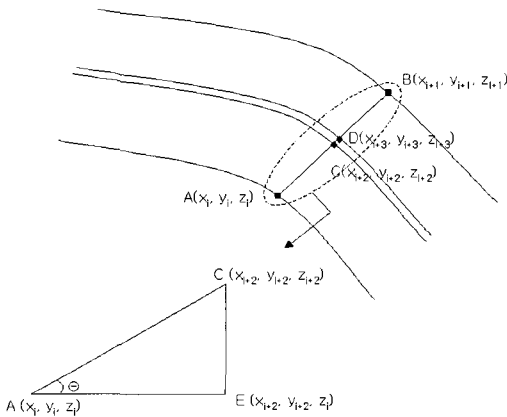


그림 1. 레이저 스캐너를 이용한 차선 추출

레이저 스캐너로부터 좌표를 취득한 후 도로의 진행방향에 대한 수직 경사로 해당 수직선과 차선과의 교점에 속하는 좌표들의 경사도를 추출할 때 횡단경사를 추출할 수 있다.

그림 1에서 한 방향 차로 조사 측정에서 횡단경사 ( $G_i$ )를 의미하는 AC 기울기  $\theta$ 는  $A(x_i, y_i, z_i)$ ,  $C(x_{i+2}, y_{i+2}, z_{i+2})$  두 점으로 구할 수 있으며, 점 C에서 점 A선상에 수직으로 교차하는 점을 E라 하면 E의 좌표는  $(x_{i+2}, y_{i+2}, z_i)$ 가 된다.

이 때 방향별 횡단경사는 다음의 수식을 이용하여 구할 수 있다.

$$G_i(\%) = \frac{z_{i+2} - z_i}{\sqrt{(x_{i+2} - x_i)^2 + (y_{i+2} - y_i)^2}} \quad (\text{식 1})$$

여기서  $G_i$  : 측정  $i$ 에서의 횡단경사

### 3.2 GPS/INS 통합시스템을 이용한 횡단경사 측정 방법

GPS/INS 통합 장비는 도로안전성 조사 분석 차량 주행 중 차량의 위치인  $(x, y, z)$ 값과 차량의 자세 값인 Roll, Pitch, Yaw를 구할 수 있다. 진행방향을 x축이라 하고 진행방향에 대하여 왼쪽을 y축, 천정을 z축으로 잡을 때, pitch는 y축에 대한 회전, yaw는 z축에 대한 회전, roll은 진행방향인 x축에 대한 회전을 나타낸다. 이 때 취득되는 Roll 값을 이용하여 횡단경사·편경사를 추출할 수 있다. Roll은 각도인 degree로 나타나며 취득한 Roll 값을 이용하여 횡단경사  $G$ 는 그림 2와 같이 비교적 간단하게 구할 수 있다.

$$G(\%) = \tan(\text{Roll}) \times 100\% \quad (\text{식 2})$$

이 방법은 고정식 레이저 스캐너를 이용하는 방법보다 신속하게 노면의 기울기 정보를 취득할 수 있지만, 차량의 주행시 발생할 수 있는 기울기로 인하여 고정식 레이저 스캐너에 비하여 약간의 오차를 포함할 수 있다.

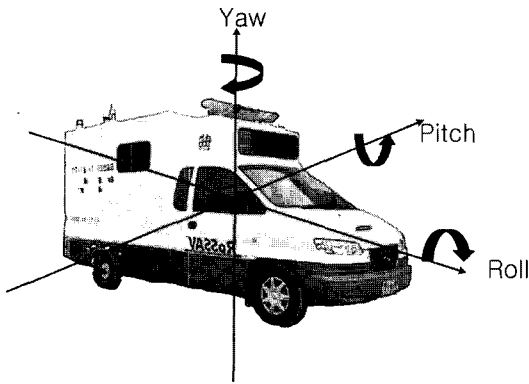


그림 2. 차량의 자세

횡단경사를 측정하기 위한 방법론의 장단점을 비교하면 표1과 같다.

표 1. 횡단 경사를 측정하기 위한 방법론 비교

측정방식	장 점	단 점
레이저 스캐너	· 정확한 노면 경사를 측정할 수 있음	· 차량을 정지하여 측정함 · 많은 시간이 소요됨 · 절대 좌표로 변환을 위해 레이저 스캐너 위치를 정확히 측정해야 함
GPS/INS 시스템	· 실제 차량 주행속도로 측정이 가능 · 취득 데이터를 가공할 필요없이 바로 사용 가능함	· 차량 이동중에 측정하여 오차가 발생할 수 있음

## 4. 횡단경사 분석을 위한 현장 검증

본 연구에서 개발한 횡단경사를 분석 알고리즘을 검증하기 위해 현장에서 도로안전성 조사 분석 차량을 이용하여 편경사를 취득하고 취득한 값의 오차를 분석하였다.

조사구간은 실험여건과 접근성 등을 고려하고, 곡선반경이 비교적 작고 편경사가 큰 지점 중 노면 상태가 양호한 지점을 선정하였다. 이에 본 연구에서는

국도 17호선인 안성-용인 구간을 선정하였다. 특히 이 구간은 덧씌우기를 막 완료한 구간으로 일반적인 아스팔트 도로에서 발생할 수 있는 소성변형이 존재하지 않는 구간으로 포장 상태가 양호하여 횡단경사 분석을 위한 실험에는 이상적 조건의 도로였으며, 중앙분리대가 없어 고정식 Laser를 이용하여 선형을 스캔할 때 반대 방향 차로까지 데이터 취득이 가능한 지점이었다.

조사 대상 구간은 약 10km 정도이나 본 실험의 목적은 전체 구간의 횡단경사를 구하는 것이 아니라 실제 횡단경사에 대한 측정 방법의 적용성과 결과치의 유효성을 검증하는데 있기 때문에, 횡단경사가 가장 크게 나타나는 구간, 즉 편경사가 존재하는 곡선구간을 대상으로 실험을 수행하였다. 본 조사구간에는 편경사가 가장 크게 나타나는 구간으로 곡선반경 441m, 곡선길이 약 650m 구간의 곡선부가 존재하여 해당 구간을 대상으로 편경사를 측정하였다.

본 조사에서 횡단경사(편경사) 측정을 위해 사용한 방법은 (1)토탈스테이션 측량, (2)고정식 레이저 스캐너 측량, (3)GPS/INS를 이용한 도로안전성 조사 분석 차량 주행 등 총 3가지 방법으로 수행하였다.

본 연구에서의 조사구간은 새로 덧씌우기 공사가 시행되어 기존 도면과 편경사가 다르게 나타나 실제 도로의 편경사에 새로운 측량이 요구되었다. 이에 본 연구에서는 토탈스테이션을 이용하여 실제 도로의 편경사를 측량한 후 이를 레이저 스캐너와 GPS/INS 시스템에서 추출한 값과 비교하였다.

### 4.1 GPS 기준점 측량 및 토탈스테이션 측량

#### ① 실험 과정

GPS기준점을 측량하는 목적은 토탈스테이션만으로 도로를 측량할 경우 좌표 값이 토탈스테이션을 원점으로 하는 좌표로 표현된다. 그러나 본 연구에서는 GPS/INS 시스템으로 편경사를 계산한 후, 그 값을 토탈스테이션과 비교하기 위하여 동일한 좌표체계인 절대좌표로의 변환이 요구되었다. 따라서 토탈스테

이선을 측량하는 점 중 일부 점에 GPS 기준점 측량을 하여 토탈스테이션의 좌표를 절대좌표계로 변환하여야 한다.

또 GPS 기준점 측량을 하게 될 경우 DGPS(Differential GPS)의 사용이 가능하게 되어 최대 관측오차를 single GPS로 사용하게 될 때의 오차인 수 m 오차범위 (3m~30m)에서 수 cm 오차범위로 줄일 수 있어 GPS 기준점 측량을 하였다.

GPS 측량이 끝난 후에 이 기준점에 다시 토탈스테이션을 세우고 도로상의 최외곽 차선을 약 10m 간격으로 측량하여 각 지점의 3차원 좌표를 취득하였다.

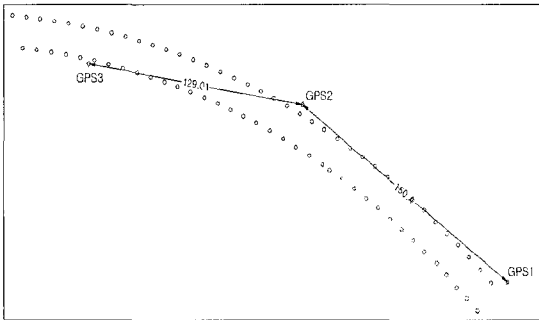


그림 3. GPS 기준점과 최외곽 차선 측량지점

## ② 실험결과

본 연구에서는 선정한 실험구간이 포장 덧씌우기 공사로 인하여 도면과 횡단경사가 다르게 나타나 토탈스테이션을 이용하여 횡단경사의 참 값을 구하려고 하였다.

그림 3에서처럼 GPS 2와 GPS 3 기준점에 토탈스테이션을 설치하고 측량을 통해 편경사를 측정하였다. 이 때 토탈스테이션의 측량 값의 타당성을 검증하기 위하여 토탈스테이션으로 취득한 좌표를 이용하여 곡선부의 임의의 세 점을 추출하여 다음 식을 이용하여 곡선반경을 산출하였다. 토탈스테이션을 통해 구한 곡선과 도면에 기재된 곡선반경 441m를 고려하여, 차이가 발생하지 않는다면, 토탈스테이션의 값을 참값으로 고려할 수 있다는 가정을 세웠다.

이 때 원곡선내 임의의 세 점  $(x_c, y_c)$ ,  $(x_{c+1}, y_{c+1})$ ,  $(x_{c+2}, y_{c+2})$  를 이용하여 원곡선의 중심점  $(x_M, y_M)$  과 곡선반경 R을 구하는 식은 다음과 같다.

$$x_M = \frac{(x_{c+2}^2 + y_{c+2}^2) - (x_c^2 + y_c^2) + \left\{ \frac{(x_{c+1}^2 + y_{c+1}^2) - (x_c^2 + y_c^2)}{(y_{c+1} - y_c)} \right\} (y_c - y_{c+2})}{2 \left\{ (x_{c+2} - x_c + \frac{(x_c - x_{c+1})}{(y_{c+1} - y_c)} (y_{c+2} - y_c)) \right\}} \quad (\text{식 3})$$

$$y_M = \frac{(x_{c+1}^2 + y_{c+1}^2) - (x_c^2 + y_c^2) + 2x_M(x_c - x_{c+1})}{2(y_{c+1} - y_c)} \quad (\text{식 4})$$

$$R = \sqrt{(x_c - x_M)^2 + (y_c - y_M)^2} \quad (\text{식 5})$$

여기서  $(x_M, y_M)$  : 원곡선 중심 좌표

R : 원곡선반경

$(x_{c+i}, y_{c+i}, z_{c+i})$  : 원곡선내의 임의의 좌표

현장에서 취득한 토탈스테이션의 좌표로부터 도출한 평면선형 기하구조 정보의 결과는 다음 표와 같다.

표 2. 토탈스테이션 좌표로부터의 평면선형분석

토탈스테이션 좌표		원 중심점		곡선반경 (R) (m)	각 측정간 거리(m)
X	Y	X <sub>M</sub>	Y <sub>M</sub>		
233321.06	407914.03	233278.9	407471.7	444	191.34
233503.15	407855.27				114.25
233593.55	407785.39				106.63
233381.14	407904.01	233279.1	407471.6	444	51.33
233481.23	407867.24				75.68
233525.51	407841.29				114.25
233434.79	407887.74	233279.5	407472.5	443	83.58
233503.15	407855.27				128.46
233593.55	407785.39				
233354.08	407909.50	233279.5	407472.2	444	
233434.79	407887.74				
233547.34	407825.82				



조사 구간의 설계곡선반경은 441m이며, 표 2와 같이 토탈스테이션을 통해 도출한 곡선반경은 444m로 약 3m정도의 오차가 발생하였다. 이 정도의 오차는 실제 도로의 시공오차와 토탈스테이션의 측정 오차로 발생한 것으로 간주하였을 때, 토탈스테이션의 관측 값을 참 값으로 고려하여도 무방한 것으로 나타났다. 즉, 토탈스테이션으로 관측한 편경사는 실제 도로의 편경사로 볼 수 있다는 것으로 결론지었다.

표 3. 토탈스테이션을 이용하여 측량한 측점별 편경사

측 점	누적거리	횡단거리	높이차	편경사	방향
1	0.00	15.40	0.38	2.49	↑ 용인방향
2	10.60	15.40	0.44	2.87	
3	21.19	15.42	0.50	3.25	
4	31.79	15.39	0.59	3.84	
5	42.38	15.33	0.64	4.14	
6	52.98	15.40	0.68	4.41	
7	63.57	15.41	0.70	4.52	
8	74.17	15.43	0.75	4.87	
9	84.76	15.48	0.78	5.01	
10	95.36	15.44	0.78	5.05	
11	105.95	15.38	0.75	4.91	
12	116.55	15.32	0.75	4.89	
13	127.14	15.35	0.77	5.03	
14	137.74	15.33	0.77	5.00	
15	148.33	15.38	0.72	4.67	
16	158.93	15.42	0.71	4.61	
17	169.52	15.39	0.74	4.83	
18	180.12	15.38	0.75	4.90	
19	190.71	15.36	0.73	4.76	
20	201.31	15.71	0.73	4.63	
21	211.90	15.77	0.76	4.82	
22	222.50	15.76	0.75	4.76	
23	233.09	15.71	0.77	4.90	
24	243.69	15.71	0.76	4.87	
25	254.28	15.67	0.78	4.96	
26	264.88	15.61	0.79	5.04	
27	275.47	15.19	0.78	5.14	
28	286.07	15.58	0.79	5.08	
29	296.66	15.88	0.80	5.03	
30	307.26	15.63	0.78	4.97	

토탈스테이션을 이용하여 편경사를 백분율로 계산한 결과, 표 3과 같이 용인방향에서 안성방향(하행방향)으로 측점 1~9까지는 기울기가 점차 증가하는 양상을 보이다가 측점 9부터 30까지는 5% 내외로 일정하게 나타났다. 즉, 조사구간의 최대 편경사는 5%로 시공한 것으로 나타났다.

③ 편경사 접속 설치 길이 및 편경사 변화율 산정

Total Station으로 산출한 편경사를 이용하여 편경사 접속 설치 길이를 산정하고 이론적인 계산 값과 비교해보았다. 조사구간의 곡선반경  $R = 441m$ , 도로폭 = 15m(왕복), 설계속도 = 80km/h, 최대편경사 = 5%일 때 편경사 접속 설치도는 그림 4와 같다. 도로폭은 토탈스테이션에서 구한 도로폭의 평균 값이며, 편경사 접속 설치율  $q$ 는 설계 권고 값인 1/150을 사용하였다.

$L$ (편경사 접속 설치 길이)은 측점의 경사가 0으로 시작되어 최대 편경사가 적용되는 측점까지의 거리로 수식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 L &= \frac{w}{2} \times S \times \frac{q}{100} \\
 &= \frac{15}{2} \times 5 \times \frac{150}{100} \\
 &= 56.25m
 \end{aligned}
 \tag{식 6}$$

- 여기서,  $w$  = 도로 폭
- $S$  = 최대 편경사
- $q$  = 편경사 접속 설치율

TL(Total Length)이란 편경사 접속설치를 위한 편경사 접속설치구간의 총길이로서, 도로 내측의 편경사 -2% 지점에서 최대 편경사가 적용되는 측점까지의 거리이므로 최대 편경사 +2%를 하여 구하도록 하며 수식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 TL &= \frac{w}{2} \times (s+2) \times \frac{q}{100} \\
 &= \frac{15}{2} \times (5+2) \times \frac{150}{100} \\
 &= 78.75m
 \end{aligned}
 \tag{식 7}$$



평면 곡선내의 편경사 변화구간(L)은 편경사 총 접속설치구간(TL) 구간의  $\frac{1}{3}$  인 지점이므로 다음과 같이 산정할 수 있다.

$$\frac{1}{3} \times L = \frac{1}{3} \times 56.25 = 18.75m \quad (\text{식 8})$$

조사한 자료를 이용하여 편경사의 기울기 변화를 판단하고 편경사 접속 설치율을 산출하였다. 먼저 각 지점별 편경사를 그래프로 나타내어 편경사의 기울기가 변화하는 부분을 나타낸 결과 다음의 그림 4와 같았으며, 편경사의 기울기가 변화하는 표 3에서 측정 점 8과 9지점인 거리 74.17, 84.76구간의 중간으로 약 80m 지점으로 고려되었다.

즉, 조사한 data에 의한 편경사 접속 설치 길이는 80m, 계산된 편경사 접속 설치 길이는 78.75m로 1.25m 정도 차이가 발생하였으나 이는 조사 구간의 data가 도로의 표준형단경사가 시작되는 지점부터 산정하지 않았기 때문에 나타나는 오차로 보여진다.

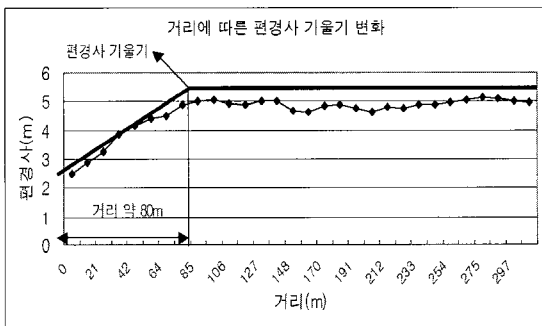


그림 4. 조사구간의 편경사 기울기 변화

## 4.2 레이저자료 취득

### ① 실험과정

레이저 스캐너는 레이저광을 발진하고 이 광선이 대상물에서 반사되어 되돌아오는 시간을 측정함으로써 거리를 계산하는 측량기기로 짧은 시간동안 세밀하고도 정확한 3차원 공간정보를 취득하고자 할 수

있기 때문에 시설물 형상측정에 효과적인 장비이다. 본 연구에서는 초당 1,000개(1,000Hz)의 3차원공간자료를 취득할 수 있고 100m까지 측정이 가능하며 50m거리에서  $\pm 4\text{mm}$ 의 오차를 가지는 레이저 스캐너 장비를 사용하였다.

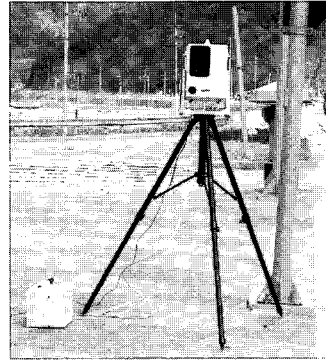


그림 5. 레이저 스캐너

실험지역이 곡선부에 총 연장 약 650m 이상으로 본 연구에서는 기기설치 여건 등을 고려하여 5개의 구간 약 250m의 구간에 대해 레이저 자료를 취득하였다.

### ② 실험결과

실험구간의 단면형상을 확인하기 위해서는 일정거리 간격으로 단면을 잘라야 하는데 실험구간이 도로의 곡선구간이기 때문에 먼저 그 곡선을 모델링하여 수학적인 선형을 만드는 것이 필요하다. 본 연구에서는 취득된 레이저자료를 CAD상에 표시하고 자료의 양 끝단에서 각각 한 점, 중간에서 나머지 한 점을 선택하여 반경이 일정한 원호를 그려 넣었다. 이 원호를 일정 거리 간격으로 분할하여 총 30개가 되도록 측정점 간 거리를 10.595m로 하였다. 각 측정점은 중심선을 기준으로 폭 16m, 길이 1m, 높이 1m의 직육면체를 형성하였다. 그림 6은 CAD상에서 레이저 자료, GPS/INS 궤적자료, 각 측정점을 함께 보인 것이다. 이 때 측정점 중 레이저가 조밀하게 스캔한 곳인 총 17개 단면(1~3, 13~15, 18~28)에 대해 횡단경사 추출이 가능하였다. 이중 그림 7은 대표적인 단면 4개를 추출한 그림이다.

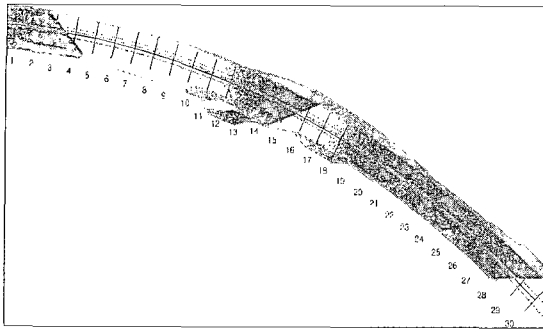
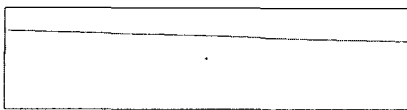
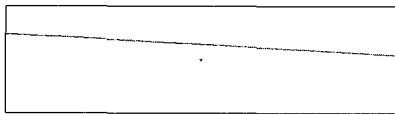


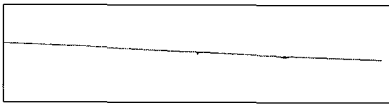
그림 6. 도로 조사자료와 일정거리 간격의 측정점



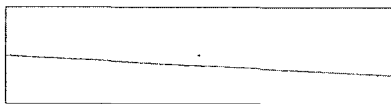
(a) 측정점 1의 단면



(b) 측정점 14의 단면



(c) 측정점 19의 단면



(d) 측정점 23의 단면

그림 7. 각 측정점별 단면

레이저 스캐너를 이용해 산출한 각 단면의 편경사는 표 4와 같다.

레이저 스캐너를 이용해 산출한 편경사의 경우 토탈스테이션과 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 그러나 레이저 스캐너는 스캐너를 중심으로 원추형으로 스캔하기 때문에 스캐너로부터 가까운 영역은 조밀하게 데이터를 취득할 수 있으나, 스캐너로부터 멀리 떨어진 곳은 데이터 취득 밀도가 낮기 때문에 정확도

가 낮아질 수도 있다. 따라서 정밀한 데이터 취득을 위해 레이저 스캐너를 일정 간격으로 이동하여 데이터를 취득하여야 하는 단점이 존재한다.

표 4. 레이저 스캐너를 이용하여 산출된 방향별 편경사

단면	레이저 스캐너	토탈 스테이션	오차 (%)	단면	레이저 스캐너	토탈 스테이션	오차 (%)
1	2.64	2.49	0.15	16		4.61	
2	3.01	2.87	0.14	17		4.83	
3	3.52	3.25	0.27	18	4.89	4.90	-0.01
4		3.84		19	4.51	4.76	-0.25
5		4.14		20	4.46	4.63	-0.17
6		4.41		21	4.54	4.82	-0.28
7		4.52		22	4.67	4.76	-0.09
8		4.87		23	5.01	4.90	0.11
9		5.01		24	5.02	4.87	0.15
10		5.05		25	4.74	4.96	-0.22
11		4.91		26	4.86	5.04	-0.18
12		4.89		27	5.03	5.14	-0.11
13	4.92	5.03	-0.11	28	5.19	5.08	0.11
14	4.91	5.00	-0.09	29		5.03	
15	4.62	4.67	-0.05	30		4.97	

### 4.3 GPS/INS 시스템을 이용한 편경사 측정

#### ① 실험 과정

도로안전성 조사 분석 차량에 GPS/INS 시스템을 장착하여 약 60km/h~80km/h의 속도로 주행하며, 안성방향으로 2회, 용인방향으로 1회 주행하였다. 이 때 기준국 GPS를 동시에 설치하여 DGPS 방식으로 데이터를 처리하였으며, 1초에 100개로 취득되는 데이터(100Hz)를 1m 간격으로 좌표(x, y, z) 및 차량의 자세인 roll, pitch, yaw로 데이터를 출력하여 출력된 데이터 중 토탈스테이션과 측정점과 가장 근접한 좌표를 선택하여 해당 지점의 roll 값을 취득한 후 식 1을 이용하여 편경사를 산출하였다.





② 실험 결과

그림 8은 1m 간격으로 출력한 3회의 주행 궤적을 측정 번호와 함께 나타낸 것이다. 그림에서 곡선의 안쪽인 안성방향은 2회의 주행궤적이 대체로 일치하고 있으며 바깥쪽 용인방향과는 평행하게 진행하고 있음을 볼 수 있다.

표 5에는 토탈스테이션을 이용하여 측량한 편경사 값과 GPS/INS를 이용하여 취득한 편경사를 동일한 측점에 대해 나열하고 비교하였다. 표에서 안성(A)와 안성(B)은 시간차를 두고 안성방향으로 반복하여 주행하여 취득한 것이고 용인은 용인방향으로 1회

주행하여 취득한 결과이다.

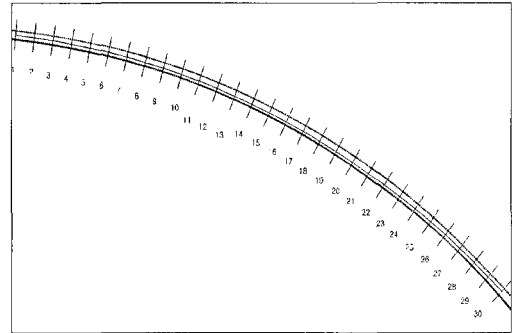
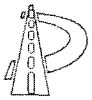


그림 8. 1m 간격으로 출력한 주행 궤적

표 5. 측량값과 GPS/INS 통합시스템으로 구한 측정별 편경사 비교(단위 : %)

측 점	측량값 (토탈스테이션)	용인방향		안성방향(A)		안성방향(B)	
		편경사	오차	편경사	오차	편경사	오차
1	2.49	1.92	-0.57	3.24	0.75	3.37	0.88
2	2.87	2.61	-0.26	3.46	0.60	3.49	0.63
3	3.25	3.21	-0.05	4.01	0.76	3.85	0.60
4	3.84	4.01	0.16	4.78	0.94	4.67	0.83
5	4.14	4.34	0.20	4.82	0.68	4.81	0.67
6	4.41	4.21	-0.20	4.60	0.19	4.73	0.32
7	4.52	4.27	-0.26	4.91	0.38	5.00	0.48
8	4.87	4.47	-0.40	5.71	0.84	5.63	0.75
9	5.01	5.51	0.50	5.39	0.38	5.22	0.21
10	5.05	5.73	0.69	5.14	0.09	5.19	0.15
11	4.91	4.91	0.00	5.24	0.33	5.42	0.51
12	4.89	5.12	0.23	4.97	0.07	5.04	0.15
13	5.03	5.44	0.41	4.47	-0.56	4.61	-0.42
14	5.00	5.56	0.56	4.59	-0.40	4.85	-0.15
15	4.67	5.80	1.13	4.01	-0.66	4.05	-0.63
16	4.61	5.53	0.92	4.47	-0.14	4.55	-0.07
17	4.83	5.83	1.01	5.17	0.34	5.07	0.25
18	4.90	6.17	1.27	4.86	-0.04	4.86	-0.04
19	4.76	6.22	1.46	4.68	-0.08	4.63	-0.13
20	4.63	5.70	1.08	4.93	0.30	4.92	0.30
21	4.82	5.51	0.69	4.94	0.11	4.89	0.06
22	4.76	5.58	0.83	4.65	-0.11	4.66	-0.10
23	4.90	5.51	0.61	4.49	-0.41	4.46	-0.44
24	4.87	5.73	0.86	4.56	-0.31	4.56	-0.31
25	4.96	5.59	0.63	4.57	-0.38	4.53	-0.43
26	5.04	5.39	0.35	4.56	-0.48	4.54	-0.51
27	5.14	6.46	1.31	4.30	-0.84	4.29	-0.86
28	5.08	7.01	1.93	4.32	-0.75	4.36	-0.72
29	5.03	6.27	1.24	4.27	-0.76	4.46	-0.58
30	4.97	5.68	0.71	4.46	-0.51	4.57	-0.40



### ③ GPS/INS 시스템의 분석 결과의 검증

토탈스테이션을 참 값으로 고려했을 때, GPS/INS의 값이 유의한 값을 가지고 있는지, 즉 토탈스테이션의 값(참 값)과 GPS/INS의 값이 서로 차이가 있는지 여부를 통계적 방법을 통해 유의성 검증을 수행하였다. 즉, 토탈스테이션으로 취득한 좌표에서 분석한 편경사를 표본집단 1, GPS/INS 시스템에서 취득한 좌표로 분석한 편경사를 표본집단 2로 구분할 때, 표본집단 1과 표본집단 2는 동일한 지 여부를 판단해야 한다. 표본집단 1, 2는 상호 영향을 주지 않는 독립집단이고, 이 표본집단은 표본수가 많지 않아(n=30개) 두 독립표본의 평균에 대한 분석을 통해 집단 간의 차이 여부를 분석하기 위해 t-검정을 사용하여 분석하였고, 유의수준은 5%로 설정하여 분석하였다.

본 연구에서는 토탈스테이션으로 분석된 편경사를 참 값으로 가정하고, 토탈스테이션의 값과 각 표본집단 용인방향, 안성방향 A, 안성방향 B에 대해 유의차 검증을 수행하였다.

이 때 가설을 다음과 같이 설정하였다.

$H_0$  : 두 집단의 평균이 동일

$H_1$  : 두 집단의 평균이 상이

즉, 가설  $H_0$ 은 토탈스테이션으로 도출한 편경사 값과 GPS/INS 시스템으로 도출한 편경사 값이 동

일하여 GPS/INS의 값이 참 값을 가진다는 것이고, 가설이 기각될 경우에는 GPS/INS의 값이 토탈스테이션의 값과 상이한 값 즉, 참 값을 가지지 못하므로, 데이터의 신뢰성이 확보되지 못 한다고 볼 수 있다. 이를 유의수준 5%로 t-검증을 수행한 결과 다음과 같은 결과가 나왔다.

검증을 수행한 결과 용인방향으로 주행한 경우에는 기각역에 존재하여 토탈스테이션과 서로 다른 값을 가지는 집단, 즉 데이터의 신뢰성에 의심을 가질 수 있는 것으로 나타난 반면 안성방향으로 주행한 두 번의 경우 토탈스테이션의 값과 같은 집단 즉, 신뢰할 수 있는 데이터로 나타났다.

### ④ 용인방향 GPS/INS 데이터의 원인분석

본 연구에서는 용인방향(상행)으로 주행한 경우의

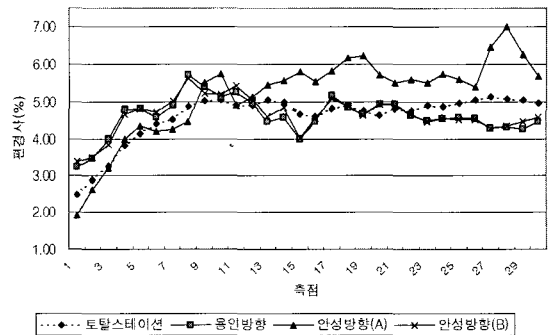


그림 9. 측정별 편경사 비교

표 6. 토탈스테이션과 GPS/INS 값의 비교

	토탈스테이션과 용인방향 GPS/INS 비교		토탈스테이션과 안성방향(A) GPS/INS 비교		토탈스테이션과 안성방향(B) GPS/INS 비교	
	평균	분산	평균	분산	평균	분산
평균	4.608	5.176	4.608	4.643	4.608	4.619
분산	0.436	1.267	0.436	0.248	0.436	0.265
관측수	30	30	30	30	30	30
공동(Pooled) 분산	0.851		0.342		0.350	
가설 평균차	0		0		0	
자유도	58		58		58	
t 통계량	-2.384		-0.227		-0.070	
P(T<=t) 양측 검정	0.020		0.820		0.944	
결론	두 집단이 서로 상이함		두 집단이 서로 동일함		두 집단이 서로 동일함	



편경사가 신뢰하지 못하는 원인을 분석하고자 다음과 같은 분석을 수행하였다. 그림 9는 토탈스테이션과 GPS/INS 통합시스템을 이용한 각 측정별 편경사를 나타낸 것이다.

토탈스테이션으로 측량한 값은 비교적 완만한 선형을 보이는데 반해 GPS/INS 측정값은 상대적으로 급격한 변화를 보이고 있다. 이는 근본적으로 GPS/INS가 가지는 고유의 측정 민감도와 오차가 가장 큰 원인이고, 다음으로 차량의 자세뿐만 아니라 주행 중 발생하는 차량의 진동이 측정자료에 부가되어 나타나기 때문인 것으로 생각된다. 토탈스테이션 측량 값에 비해 GPS/INS로부터 얻은 값들이 변동을 보임에도 불구하고 하행(A) 및 하행(B)(안성방향)는 거의 흡사한 추세를 보이는 반면 상행(용인방향)의 GPS/INS의 편경사는 토탈스테이션의 측정값에서 많이 차이가 나는 것을 육안으로도 관측할 수 있었다.

이는 GPS는 삼변측량의 기법을 사용하기 때문에 위치측정 정확도는 수신기에서 동시에 관측된 위성의 배치에 따른 영향을 많이 받는다. 즉, 위성들이 한 방향의 비슷한 고도에 모여 있으면 위성들이 형성하는 기하학적 도형의 형태가 나빠져서 수신기의 위치를 결정하는데도 오차가 증가하게 된다. 위성의 배치에 따른 영향은 정확도 저하율(DOP: Dilution of Precision)로 표시하는데 이 값은 위성의 의사거리에 단위오차가 있을 경우, 측위오차가 몇 배가 될 것인지를 나타낸 것이다. 따라서 DOP의 값이 작을수록 더 정확한 위치측정 결과를 기대할 수 있다. DOP의 종류에는 GDOP(Geometrical DOP), PDOP(Position DOP), HDOP(Horizontal DOP), VDOP(Vertical DOP), TDOP(Time DOP) 등이 있는데 그 중 VDOP는 위성의 고도에 따른 정확도를 나타낸다.

HDOP는 PDOP에서는 오차와 관련된 뚜렷한 경향을 찾을 수 없었으나 VDOP에 대해서는 그림 10과 같이 용인방향 자료에서 크게 나타나고 있다. 즉, 용인방향 자료를 취득하는 동안 지붕이 높은 버스나

화물차가 옆 차로를 주행하여 순간적으로 GPS 위성의 배치상태가 나빠져서 오차가 크게 나타난 것으로 판단되었다.

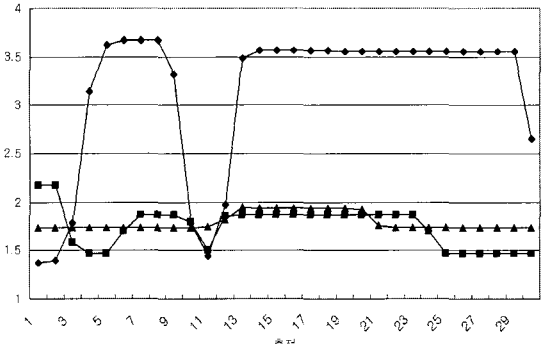


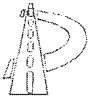
그림 10. 측정별 수직 정확도 저하율(VDOP) 비교

이에 본 연구에서는 도로의 데이터를 취득하기 위해 GPS/INS 시스템을 운용할 때 도로의 선형을 따라 정확히 주행할 뿐만 아니라 지붕이 높은 버스나 화물차량이 옆 차로를 주행할 경우에는 이를 가능한 한 피해서 저속으로 주행할 경우 비교적 정확하고, 신속하게 편경사를 분석할 수 있는 것으로 나타났다. 또 GPS/INS를 운용한 후 저하율 DOP를 검증하여 DOP가 낮을 경우에는 데이터를 사용하지 않는 검증적 절차를 제안할 수 있다.

## 5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 레이저 스캐너와 GPS/INS 통합시스템이 장착된 도로안전성 조사 분석 차량을 이용하여 도로의 편경사를 측정할 수 있는 알고리즘과 이를 현장에 적용하여 검증하였다.

레이저 스캐너를 이용할 경우 비교적 정확한 편경사를 추출할 수 있으나 스캐닝을 하는 한 지점당 약 30분정도의 스캐닝 시간이 요구되어, 본 연구에서 3 지점을 스캐닝하는데 준비시간까지 포함하여 약 2시간 정도의 많은 시간이 소요되었다. 반면에 레이저 스캐닝을 통해 취득한 데이터는 도로 노면뿐만 아니



라 도로 주변시설물의 데이터까지 취득할 수 있는 장점이 있어 향후 이 데이터를 이용할 경우 입체시거 계산까지 가능한 것으로 나타났다.

GPS/INS 통합시스템이 장착된 도로안전성 조사 분석 차량의 경우 차량의 주행속도로 데이터를 취득할 수 있어, 실험구간의 3회 조사(안성방향 2회, 용인방향 1회)의 경우 5분 이내의 데이터 취득시간이 소요되어 상당히 신속하게 데이터를 취득할 수 있었고, 주변 차량의 소통에 영향을 받지 않고, 안전하게 데이터 취득이 가능하였다. 그러나 GPS의 위성 수신상태에 따라 데이터의 신뢰도가 변경될 수 있어, 데이터 취득 후 위성 신호 수신 상태를 검증하는 DOP를 검증하여 데이터를 취득할 때, 신뢰성 있는 편경사를 구할 수 있는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 도로안전성 조사 분석 차량을 이용하여 차량의 기울기를 이용해 도로의 횡단경사를 추출하는 것이 가능하다는 결론을 도출하였다.

본 논문에서는 도로안전성 조사 분석 차량을 이용하여 횡단경사를 추출하는 방법론을 제시하였다. 그러나 도로는 횡단구성뿐만 아니라 평면선형 종단선형이 복합적으로 구성되어 있어, 횡단선형을 분석하는 알고리즘에다 평면 및 종단선형을 분석하는 알고리즘을 복합적으로 결합하여 도로의 기하구조를 분석할 필요가 있다. 이에 현재 각 도로의 선형별 분석 결과를 복합적으로 결합하는 연구가 진행되고 있으며, 향후 이 결과를 이용하여 기하구조에 따른 안전성을 평가하는 알고리즘의 개발을 계획하고 있다.

## 참고문헌

1. 건설교통부(2000), “도로의 구조 및 시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침”

2. 노태호(2001), “위성측량에 의한 도로 편경사 자동 추출 알고리즘 개발”, 대한토목학회 2001 학술발표회 논문집

3. 서동주(2002), “GPS 실시간 동적 측위법을 이용한 도로 편경사 추출”, 한국측량학회지, 제 20권 제 2호, P183~190

4. 신재명(1999), 입체시거분석을 통한 평면선형과 종단선형 중첩가능범위 설정에 관한 연구, 명지대학교 석사논문

5. 이종출, 차성렬, 이영도, 김세준(2004), “수치영상을 이용한 도로편경사 추출”, 2004 한국측량학회 춘계 학술발표회 논문집

6. 일본도로협회(2005), “도로구조령의 해설과 운용”

7. 한국건설기술연구원(2003), 도로안전성 조사분석 차량개발 연구보고서 (1차년도)

8. 한국건설기술연구원(2004), 도로안전성 조사분석 차량개발 연구보고서 (2차년도)

9. 한국건설기술연구원(2005), 도로안전성 조사분석 차량개발 연구보고서 (3차년도)

10. Jihan Ryu(2004), “Estimation of vehicle Roll and Road Bank Angle”, 2004 American Control Conference, Boston, Ma road bank angle”, Vehicle System

11. Michael Cramer(1997), “GPS/INS Integration, Photogrammetric Week 1997, Institute for Photogrammetry”, University of Stuttgart.

12. Naser El-Sheimy(2000), “Integrated Systems and their Impact on the Future of Positioning, Navigation, and Mapping Applications”, FIG Working Week 2000, Prague

〈접수 : 2006. 4. 24〉