

■ 論 文 ■

# GPS-INS 통합시스템을 이용한 도로의 편경사 측정 정확도 연구

A Study on the Superelevation Measuring Accuracy using GPS-INS Integrated System

**정 동 훈**

(한국건설기술연구원 도로연구부  
선임연구원)

**윤 덕 근**

(한국건설기술연구원 도로연구부  
연구원)

**성 정 곤**

(한국건설기술연구원 도로연구부  
수석연구원)

## 목 차

- I. 서론
  - II. 이론적 고찰
    - 1. 도로 편경사의 정의
    - 2. GPS-INS 통합원리
    - 3. 센서설치 및 초기화
  - III. 실험방법
    - 1. GPS 기준점 측량 및 편경사 측량
    - 2. 레이저 자료취득 및 타겟 측량
    - 3. 차량주행 및 GPS-INS 자료취득
  - IV. 실험결과 분석
    - 1. GPS 기준점 처리 결과
    - 2. 편경사 측량결과
    - 3. 레이저 스캐닝자료 처리 및 결과
    - 4. GPS-INS 자료 처리 및 결과
  - V. 편경사 측정 정확도
  - VI. 결론
- 참고문헌

Key Words : 편경사, GPS-INS 통합시스템, 도로안전성 조사분석 차량, 레이저 스캐너, GPS 기준점, 주행계획

## 요 약

본 연구에서는 도로의 안전성을 기증하는 주요한 인자로서 활용되는 곡선구간의 편경사를 신속하고 안전하게 측정하는 방법으로서 GPS-INS 통합시스템을 제안하고 기 건설된 국도의 편경사를 측정할 경우 기대되는 정확도를 실험을 통해 분석하였다. 기 건설된 국도는 재포장, 포장면의 소성변형으로 인해 횡단경사가 변경되는 경우가 발생하지만 조사비용과 안전상의 문제 때문에 이를 측량하기가 쉽지 않았다. 그러나 GPS-INS 통합시스템을 이용할 경우에는 교통에 방해됨이 없이 차량의 주행만으로 약 0.4% 이내의 정확도로 노면의 경사를 측정할 수 있기 때문에 편경사 측정에 유용하게 사용될 것으로 판단된다.

The purpose of this study is to propose a new method using the GPS-INS integrated system which measures the superelevation of a curved road rapidly and safely. Also, using the GPS-INS integrated system, this paper is to analyze the expected accuracy of the superelevation on the roads which are already opened for traffic.

The superelevation of the roads which are already opened for traffic often changes by roads rehabilitation work such as resurfacing of pavement and rutting. However, it is difficult to measure the changes of road geometry because of the high cost and the safety problem.

If the measurement of superelevation using GPS-INS integrated system is used instead of existing conventional surveying method, the superelevation of road is expected to be measured accurately(under 0.4% RMSE) just by driving without interfering the traffic. Therefore, the application of the GPS-INS integrated system is expected to be useful tool for measuring the superelevation of the roads.

## I. 서론

자동차가 평면곡선부를 주행할 때에는 원심력에 의하여 자동차는 곡선 바깥쪽으로 힘을 받게 되며 이때 원심력은 자동차의 속도 및 중량, 평면 곡선반경, 타이어와 포장면의 횡방향 마찰력 및 편경사와 관련하여 자동차에 작용하게 된다. 따라서 운전자의 안전과 쾌적을 확보하기 위해서 평면곡선부에는 도로의 설계속도에 따른 편경사를 적용하도록 규정하고 있다.

새로이 건설되는 국도에 대해서는 건설사가 준공도면 상에 매 20m 간격으로 횡단경사를 표시하여 지방 국토관리청에 납품하고 있으나 도로의 유지관리를 위한 도로대장 전산화도면에는 표시하지 않고 있다. 또, 현재까지 국내·외의 도로안전성 분석 연구 수행에 있어서 도로의 기하구조 정보는 대부분 도면을 이용하여 분석하였으나 실무적인 측면에서 고려할 때 도면이 존재하는 구간에도 도로 선형 개량이나 덧씌우기 공사 등으로 인해 도면과 실제 도로 기하구조 정보가 다른 경우가 존재한다. 이처럼 편경사는 도로의 안전성을 결정하는 중요한 요소임에도 불구하고 도로의 시공 후 준공점사 또는 유지보수 차원의 측정이 이루어지지 않았었다. 다만, 사고다발지역에 대해서는 기존의 측량기법(광학기기를 이용한 각과 거리측정)을 사용하여 안전성 분석을 수행한 예가 종종 있었다.

기존의 측량기법은 정확한 측정이 가능한 반면 작업자가 도로의 가장자리를 따라 측량기기를 들고 이동하여야 하기 때문에 시간과 비용이 많이 소요될 뿐만 아니라 안전에도 문제가 많았다. 근래에는 GPS(Global Positioning System)와 INS(Inertial Navigation System) 기술의 발달로 이동 중 정밀측정이 가능하게 되어 이를 이용한 편경사 측정 사례가 늘고 있다. 서동주 외(2002)는 GPS 실시간 동적 측위법을 이용하여 원곡선과 완화곡선이 삽입된 약 2km의 신설도로에 대해서 도로의 중심선과 양단 길어깨를 측정하여 편경사를 추출하였다. 이 실험은 차량 통행이 없는 신설도로에서 손수레에 GPS를 탑재하여 밀고 가면서 자료를 취득하는 방법을 사용하였다. 유지한(2004)은 GPS-INS로 취득한 차량의 횡방향 기울기로부터 도로의 편경사와 차량의 롤링을 구분하여 추출하는 방법을 제안하였다. GPS-INS로부터 출력된 값은 차체의 롤 값과 편경사 값이 혼재되어 있으므로 그 값에서 롤의 stiffness를 제함으로써 차체의 롤 값을 추출하였다. 이 실험은 편경사의 측정보다

는 차량의 롤값의 추출이 목적이기 때문에 정확한 편경사가 알려진 도로를 대상으로 수행한 연구이다.

본 연구에서는 신속하고 안전하게 기 건설되어 사용되고 있는 도로의 편경사를 측정하기 위한 방법으로서 GPS-INS 통합시스템을 사용할 경우 그 정확도와 오차 발생의 원인에 대해 논하였다. 즉, GPS-INS를 차량에 장치하고 일반국도의 곡선부를 주행하여 자료를 취득한 후 기존의 측량방법으로 취득한 편경사와 비교함으로써 GPS-INS를 이용한 측정방법의 정확도를 분석하였다.

## II. 이론적 고찰

### 1. 도로 편경사의 정의

#### 1) 편경사 접속 설치 길이

편경사는 차량이 곡선부에 진입할 때 발생하는 원심력으로 인해 차량이 도로에서 이탈되는 것을 방지하기 위하여 도로 노면에 물리적으로 경사를 준 것으로 완화곡선 전 길이 설치를 원칙으로 하며, 직선에서 완화곡선 없이 원곡선을 접속할 경우 직선부 2/3, 곡선부 1/3의 비율로 접속 설치하며, 편경사 설치 길이( $L_s$ )는 식(1)에 의해 산정된다.

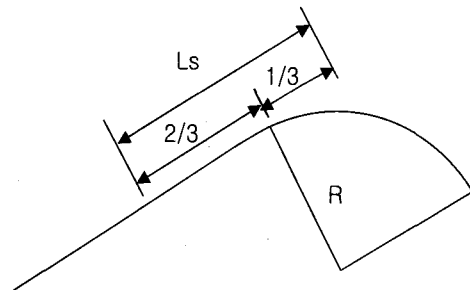
$$L_s = \frac{B \times \Delta i}{q} \quad (1)$$

여기서  $L_s$  : 편경사 설치 길이(m)

$B$  : 기준선에서 편경사가 설치되는 곳까지의 폭(m)

$\Delta i$  : 접속설치구간 시점과 종점 간의 편경사 차(횡단경사 값의 변화량)

$q$  : 편경사 접속 설치율



〈그림 1〉 편경사 설치 길이

편경사 접속 설치율은 <표 1>과 같으며 이는 차로수가 2차로 이하인 곳에서의 편경사 접속 설치율로 3, 4, 5, 6차로가 될 경우 1.25, 1.50, 1.75, 2.00의 보정계수를 곱하여 보정하도록 한다.

<표 1> 편경사 접속 설치 비율

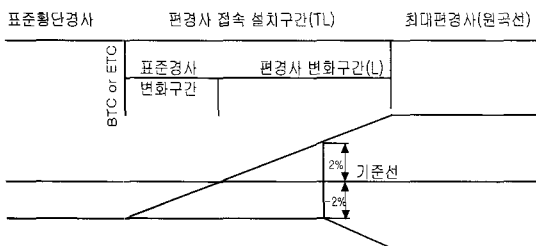
설계속도 (km/h)	100	90	80	70	60	50
접속설치비율 (m/m)	1/175	1/160	1/150	1/135	1/125	1/115

2) 편경사의 구간별 구성 과정

편경사는 차량이 곡선부에 진입할 경우 이를 원활하게 하기 위해 직선구간, 편경사 접속 설치 구간, 평면곡선 구간 등으로 나누어 설치한다.

<표 2> 편경사 구간별 구성 과정

구간	편경사의 구성별 과정	
직선구간	표준 횡단경사만을 갖는 직선부	
편경사 접속설치구간 (TL)	표준경사 변화구간 (T)	도로의 직선부 표준 횡단경사의 바깥쪽 차로 횡단경사를 어느 정도 길이로 내어서 0으로 함
	편경사 변화구간 (L)	안쪽 차로는 도로의 정상 횡단경사를 유지하고 바깥쪽 차로는 계속 기울기를 높여 정상 횡단경사 유지 바깥 차로와 안쪽 차로의 횡단경사가 모두 정상 횡단경사가 된 후 계속해서 경사를 높여 최대 편경사 유지
평면곡선 구간	최대 편경사가 유지되는 곡선부	



<그림 2> 일반적인 편경사 설치도

2. GPS-INS 통합원리

INS는 물리적인 하드웨어와 항법 알고리즘이 포함된 항법 소프트웨어로 나뉜다. 하드웨어는 자이로와 가속도계로 구성된 IMU(Inertial Measurement Unit)와

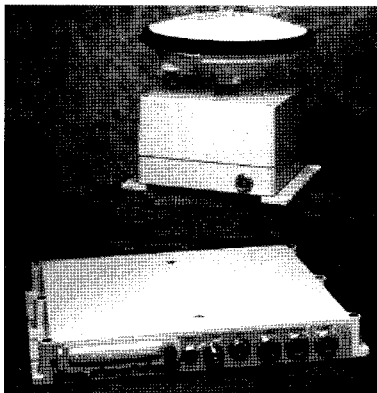
자세 및 위치, 속도 등을 계산하는 항법 컴퓨터 등으로 구성된다. INS의 항법 알고리즘은 IMU로부터 취득된 자이로스코프와 가속도계의 출력을 이용하여 항체의 위치, 속도 및 자세 등의 항법 정보를 계산하는 알고리즘이며 크게 초기 정렬(alignment)알고리즘, 항법 계산 알고리즘, 정규 오차 보상 알고리즘 및 항법 오차 보정 알고리즘으로 나뉜다.

IMU는 가속도를 감지하는 3개의 자이로스코프와 힘을 감지하는 3개의 가속도계로 이루어져 있으므로 앞에서 언급한 6개의 변수를 모두 결정할 수 있다. 즉, 차량의 초기 자세로부터 상대적으로 변환 자세를 계산하기 위해 자이로스코프에서 측정된 값을 시간에 따라 적분하고, 3축에 대한 차량의 가속도를 추출하기 위해 가속도계에서 측정된 값을 사용한다. 시간에 따라 2중 적분한 후에는 초기 위치로부터 상대적인 위치차를 계산할 수 있으므로 이론상으로는 INS만으로도 차량측량 시스템에서 필요한 위치 및 자세에 대한 모든 정보를 취득할 수 있는 것이다. 그러나 INS는 시간에 따라 누적되는 바이어스를 제거하기 위해 정확한 초기위치를 제공받아야 하고, GPS 자체만으로는 위성신호가 단절될 경우 위치를 측정할 수 없기 때문에 GPS-INS 통합시스템이 필요하다. GPS-INS 통합시스템은 위성측위시스템(GPS)과 관성항법시스템(INS)을 결합시킴으로써 각 시스템이 가지는 단점은 보완하고 장점을 증대시키는 역할을 한다.

GPS-INS 통합시스템은 GPS 측정값이 정확할 경우에 그 값을 INS에 입력하고 INS는 GPS 측정값이 입력되고 다음 입력 시까지 단독으로 동작하며 100Hz로 위치, 속도, 자세를 출력한다. GPS 위치가 계산되지 않거나 위성의 배치상태가 좋지 않아서 계산된 위치가 의심스러운 경우, INS 시스템은 자체의 가속도와 회전 측정값을 사용하여 위치, 속도, 자세를 산출한다. GPS 없이 INS로부터 산출된 위치는 시간에 따라 그 정확도가 저하되지만, 도시지역의 빌딩 숲이나 터널과 같이 GPS 신호 단절이 짧은 구간에서는 GPS 신호를 곧바로 수신할 수 있기 때문에 INS 해는 매우 정확하다. 따라서 이 경우의 INS 해는 GPS 시스템에 입력되어 GPS 신호 단절 후 다시 위성을 찾는데 보조적으로 사용되고 실시간 이동측량(RTK: Real-Time Kinematic)을 재초기화 하는데 사용된다. 이렇게 GPS 시스템과 함께 INS 해를 사용함으로써 짧은 신호단절 구간에서 위성 재탐색 시간과 RTK 초기화 시간을 상당히 줄일 수 있게 된다.

### 3. 센서설치 및 초기화

GPS-INS data는 통합처리 후 INS 위치를 기준으로 절대적인 위치와 자세를 출력하기 때문에 GPS안테나와의 이격거리 측정 시 발생한 오차는 결정된 모든 좌표값에 직접적인 영향을 미치게 된다. 따라서 설치 후 정밀한 관측을 통해 정확한 이격거리를 측정하는 것이 바람직하다. GPS 안테나는 다중경로(multipath)에 의한 영향을 줄이기 위해 차량의 가장 높은 곳에 설치하고 INS는 차량의 자세를 직접적으로 감지하여 표현하기 때문에 차량의 자세를 대표할 수 있는 위치에 설치하여야 한다. 즉, 차량의 중심부에 설치하여야 한다. 본 연구에서는 이를 위해 INS를 차량내부 바닥 중간에 설치하고 GPS 안테나는 차량외부 지붕에 중간에 설치하였다. INS를 기준으로 하고 차량의 진행방향을 X축, 차량의 오른쪽 방향을 Y축, 지붕을 Z축으로 할 때 INS를 기준으로 한 GPS 안테나의 이격거리는  $x=0.133$ ,  $y=1.524$ ,  $z=1.841$  이다. GPS 수신기는 2주파 고정밀 측량용을 사용하였으며 INS는 100Hz 광섬유 방식을 사용하였다. <그림 3>은 GPS안테나, IMU, 컨트롤러로 이루어진 통합시스템을 보인 것이고 <표 3>은 통합시스템의 정확도를 보인 것이다.



<그림 3> GPS-INS 통합시스템

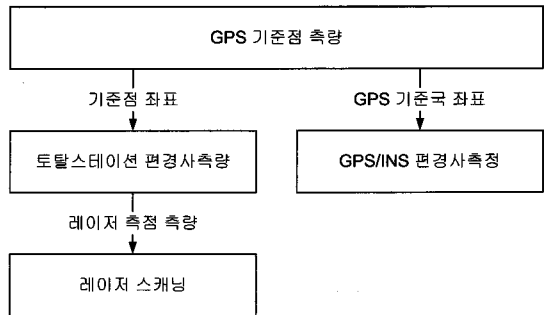
<표 3> GPS-INS 정확도

항목	RMSE	
위치 정확도(m)	0.02~0.03	
속도(m/s)	0.02	
자세 정확도	Pitch(Deg.)	0.015
	Roll(Deg.)	0.015
	Azimuth(Deg.)	0.05
Heading(Deg.)	0.035	

### III. 실험방법

본 연구에서는 토달스테이션을 이용하는 방법, 레이저 스캐너를 이용하는 방법과 GPS-INS를 이용한 방법을 이용하여 횡단경사를 측정하였다. 토달스테이션을 사용하였듯이 이유는 앞에서 언급하였듯이 대상 도로에 있어 재포장을 한 후에 기존의 횡단경사가 도면과 일치하지 않으므로, 새로 형성된 횡단경사의 값을 추출하기 위해서이다.

도로조사분석차량에서는 위치를 측정하는 GPS 수신기와 차량의 자세를 측정하는 INS가 탑재되어있으며 0.01초마다 자료를 취득하여 저장한다. 따라서 GPS-INS 자료를 취득하여 일정거리간격으로 위치와 자세를 계산하면 도로를 주행하는 것만으로도 도로의 편경사를 측정할 수 있게 되는 것이다. 본 연구에서는 GPS-INS 자료를 통해 측정된 편경사의 정확도를 검증하기 위해 기존의 토달스테이션을 이용한 방법과 비교하였으며 실험지역 도로의 편경사가 일정하지 여부를 판정하기 위해 레이저 스캐너를 사용하였다. <그림 4>에 보인 바와 같이 자료 취득은 GPS 기준점 측량, 토달스테이션을 이용한 편경사측량, 레이저 스캐닝, GPS-INS 편경사 측정 등 모두 4단계로 이루어졌다.



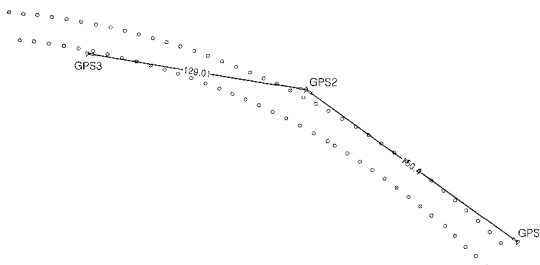
<그림 4> 도로 자료 취득 과정

실험장소는 실험여건과 접근성 등을 고려하여 곡선반경이 비교적 작고 편경사가 높으며 노변이 넓은 국도 상 일정 구간을 탐색하여 경기도 용인시의 국도 17호선을 선정하였다. 편경사량이 적으면 측정값의 변화가 크지 않아 비교가 어렵기 때문에 편경사가 높은 짧은 곡선구간을 대상으로 하였는데 이런 구간은 장비를 설치하고 도로의 선형을 측량하기에 매우 위험하다. 따라서 가능하면 곡선부이면서 차로 수가 많고 노변이 넓은 지역을 선정하는 것이 좋다.

### 1. GPS 기준점 측량 및 편경사 측량

본 연구에서는 GPS수신기와 토달스테이션, 고정식 레이저스캐너를 이용하여 도로현황을 정확히 측량하였다. GPS-INS 통합시스템의 정확도를 비교하기 위해 먼저 도로 주변에 기준점을 설정하고 GPS 측량을 수행하였다.

기준점은 측량의 편의를 위해 도로의 곡선부 중간에 하나를 설치하고 서로 시통이 되는 지점에 두개를 더 설치하였다. 정확한 위치측정을 위해 기준점에 수신기를 설치하고 각 기준점 당 2시간 이상동안 GPS 위성신호를 수신하였다. 2주파 반송파측정 수신기를 이용하였으며 수신간격은 1초이다. GPS 측량이 끝난 후에 이 기준점에 다시 토달스테이션을 세우고 도로상의 최외곽차선을 약 10m 간격으로 측량하여 각 지점의 3차원 좌표를 취득하였다. <그림 5>에 보인 바와 같이 GPS 기준점간 거리는 각각 150.4m와 129.01m이다. 해당 도로는 왕복 4차로로서 최외곽 차선간 횡단거리는 15.3~15.8m이다.



<그림 5> GPS 기준점과 최외곽 차선 측량지점

### 2. 레이저자료 취득 및 타겟측량

본 연구에서는 편의상 도로의 최외곽차선만을 측량하여 도로의 편경사 값을 구하였다. 그러나 도로의 횡단경사는 도로의 분리여부, 차로수, 곡선부의 구성조건에 따라 달라지므로 도로의 횡단면을 정확히 파악할 필요가 있다(건설교통부, 2000).

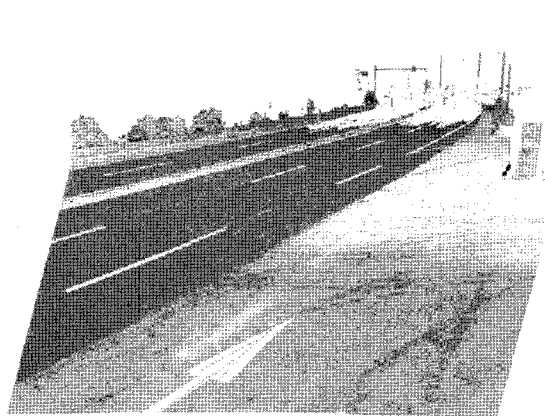
이를 위해 본 연구에서는 3차원 레이저스캐너를 실험에 이용하였다. 레이저스캐너는 레이저광을 발진하고 이 광선이 대상물에서 반사되어 되돌아오는 시간을 측정함으로써 거리를 계산하는 측량기기이다. 짧은 시간 동안 세밀하고도 정확한 3차원 공간정보를 취득할 수 있기 때문에 시설물 형상측정에 효과적인 장비이다. 본 연구에서는 초당 1,000개의 3차원공간자료를 취득할 수 있고 100m까지 측정이 가능하며 50m거리에서 ±4mm의 오차를 가지는 기기를 사용하였다.

실험지역이 도로의 곡선부이고 총 연장이 약 300m 이상이므로 본 연구에서는 기기설치 여건 등을 고려하여 5개의 구간으로 나누어 레이저 자료를 취득하였다. 취득한 원시 레이저 자료는 스캐너의 헤드 위치를 원점으로 좌표가 설정되어있기 때문에 도로형상을 재현하고 각 구간의 레이저 자료를 연결하기 위해서는 기준점을 이용하여 실제계좌표로 변환하여야 한다. 레이저 자료에서는 기준점을 쉽게 구분할 수 없기 때문에 별도의 전용 타겟을 사용한다. 따라서 본 연구에서는 각 구간에 3개 이상의 타겟을 균일하게 배치하고 레이저 자료 취득과 동시에 토달스테이션을 이용하여 타겟을 측량하였다.

취득된 레이저 자료는 3차원좌표와 함께 반사강도 값



(a)



(b)

<그림 6> 실험구간의 (a)디지털 카메라영상과 (b)레이저 스캔 자료

을 가지므로 시점을 조정하여 경관을 분석하고 판단할 수 있고 반사강도 값에 색상을 입혀 <그림 6>에 보인 바와 같이 카메라 영상과 흡사하게 표현할 수도 있다.

### 3. 차량주행 및 GPS-INS 자료 취득

GPS-INS자료를 통합 처리하는데 가장 중요한 것은 자료취득 시작 직후와 종료 직전에 정지상태에서 두 자료를 동시에 일정시간동안 수신하여야 한다는 것이다. 즉, 차량 주행 전과 주행 후 지면이 평탄하고 GPS 수신이 잘 되는 장소에서 정지상태로 GPS 자료와 INS 자료를 동시에 수신하여 두 위치측정 센서를 초기화 하여야 하는 것이다. 본 연구에서는 차량 주행 전 3분 이상 초기화를 수행 한 후 실험구간을 3회(상행 1회, 하행 2회) 주행하여 GPS-INS 자료를 취득하였다. 또 위치결정 정확도를 높이기 위해 GPS 기준점에 기준국 수신기를 설치하고 동시에 자료를 수신하였다. 동시에 수신된 GPS 자료는 DGPS(Differential GPS) 후처리를 통해 위치결정 정확도를 높이는데 사용된다. DGPS란 상대측위의 일종으로 참조점과 미지점에서 동시에 단독측위를 수행하여 공통오차를 상쇄함으로써 측위 정확도를 높이는 측량기법이다(대한측량협회, 2004).

수신간격은 두 수신기 모두 1초로 하였으며 차량의 주행속도는 40~60km/h를 유지하였다.

## IV. 실험결과 분석

### 1. GPS 기준점 처리 결과

실험지역의 GPS 기준점에서 수신된 자료는 동시간대에 취득된 상시관측소 자료와 함께 DGPS(Differential GPS) 처리에 이용된다. 국토지리정보원에서는 전국 14개 지점에 상시관측소를 운용하고 있으며 수신된 자료는 인터넷을 통해 서비스 하고 있다. 본 연구에서는 서울, 수원, 원주, 청주 등 실험지역에서 가까운 4개 지점의 상시관측소 측정자료를 다운로드하여 후처리에 이용하였다.

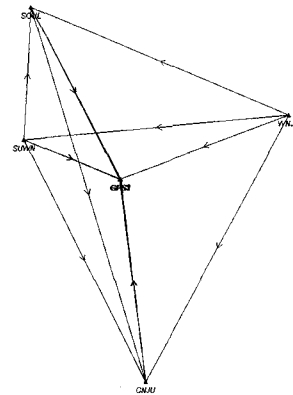
측정한 GPS자료는 매 1초마다 수신하였지만 상시관측소의 자료가 매 30초마다 수신되었기 때문에 30초 단위로 동일시간 동안의 자료만 처리한다.

상시관측소의 좌표는 고정하고 3개의 GPS 기준점을 미지점으로 하여 처리하고 그 결과를 중부원점(경도

127도)을 기준으로 세계측지좌표계로 변환하여 출력하였다. <표 4>는 최종적으로 결정된 상시관측소와 GPS 기준점 좌표이고 <그림 7>은 GPS 자료 처리 시 연결한 상시관측소와 GPS 기준점 간의 삼각망을 보인 것이다.

<표 4> 상시관측소 및 GPS기준점 좌표

Station	위도(도-분-초)	경도(도-분-초)	타원체고(m)
서울(SOUL)	37-37-46.89750	127-04-47.00659	59.121
수원(SUWN)	37-16-31.85301	127-03-15.26382	83.810
원주(WNJU)	37-20-13.94546	127-56-49.51738	180.233
청주(CNJU)	36-37-36.82021	127-27-40.41669	93.479
GPS1	37-10-06.96951	127-22-42.29781	133.364
GPS2	37-10-09.81289	127-22-37.34378	134.906
GPS3	37-10-10.48754	127-22-32.18280	134.580



<그림 7> 상시관측소 자료를 이용하여 실험지역의 GPS 기준점을 계산한 GPS 삼각망

### 2. 편경사 측량결과

도로변에 설치한 GPS 2와 GPS 3 기준점(<그림 5> 참조)에 토달스테이션을 설치하고 측량을 통해 편경사를 측정하였다. 측량 시에는 임의의 측점에 대한 3차원 좌표를 취득하지만 각 지점에서 편경사를 계산하기 위해서는 이 점들을 이용한 선형보간이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 측량된 도로의 최 외곽차선 상의 점을 서로 연결한 후 <그림 5>에 보인 측정의 지시선과 교차되는 상하행 지점사이의 거리와 높이를 독취하였다.

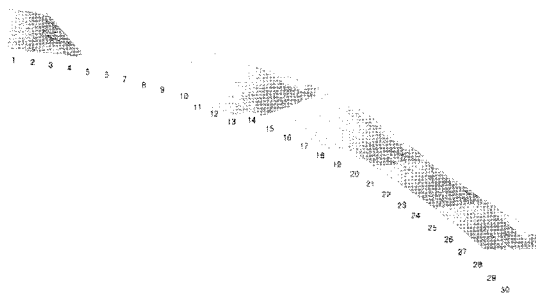
편경사를 백분율로 계산한 결과, <표 5>에 보인 바와 같이 단면 1~9까지는 기울기가 점차 증가하는 양상을 보이다가 단면 9부터 30까지는 5% 내외로 비교적 일정하게 나타났다.

〈표 5〉 토탑스테이션으로 측량한 단면별 편경사

단면번호	누적거리	횡단거리	높이차	편경사(%)
1	0.00	15.40	0.38	2.49
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

### 3. 레이저 스캐닝자료 처리 및 결과

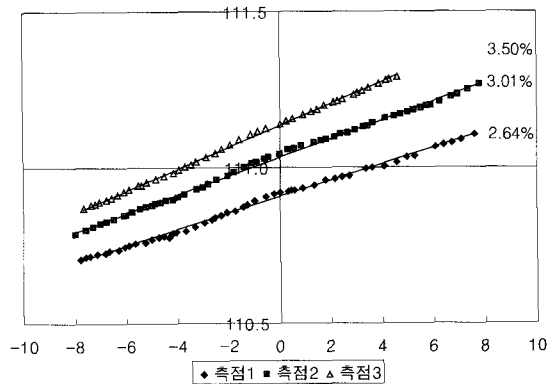
실험구간의 단면형상을 확인하기 위해서는 일정거리 간격으로 단면을 잘라야 하는데 실험구간이 도로의 곡선 구간이기 때문에 먼저 그 곡선을 모델링하여 수학적 선형을 만드는 것이 필요하다. 본 연구에서는 취득된 레이저자료를 CAD상에 plot하고 세 점을 선택하여 반경이 일정한 원호를 그려 넣었다. 이 원호를 일정 거리 간격으로 분할하여 총 30개가 되도록 측정 간 거리를 10.595m로 하였다. 각 측정점은 중심선을 기준으로 폭



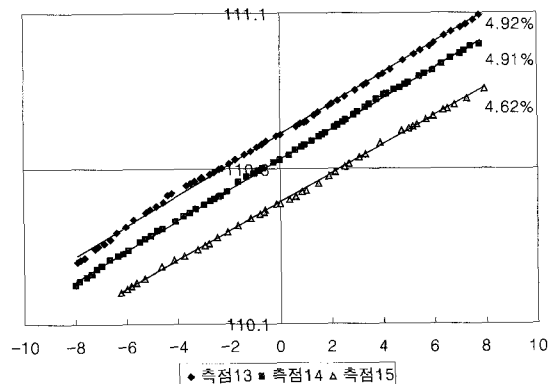
〈그림 8〉 레이저 스캔 자료와 GPS-INS 측정

16m, 길이 1m, 높이 1m의 직육면체를 형성하고 그 체적 내에 포함되는 레이저자료를 보간하여 선형을 만들게 된다. 〈그림 8〉은 CAD상에서 레이저 자료, GPS-INS 궤적자료, 각 측정점 및 측정번호를 함께 보인 것이다.

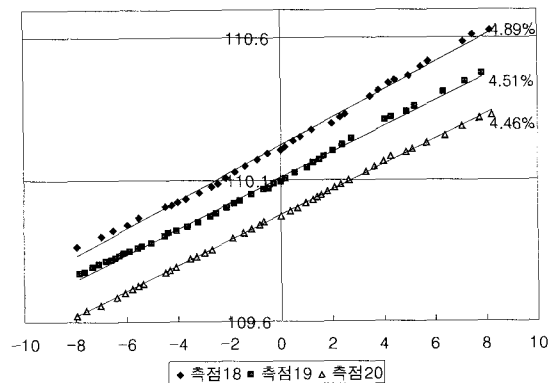
측점별로 단면을 잘라 레이저 자료를 분석한 결과 총 30개의 단면 중 18개(측점 1~3, 13~15, 18~28)에서 도로면의 형상을 확인할 수 있었다. 〈그림 9〉~〈그림



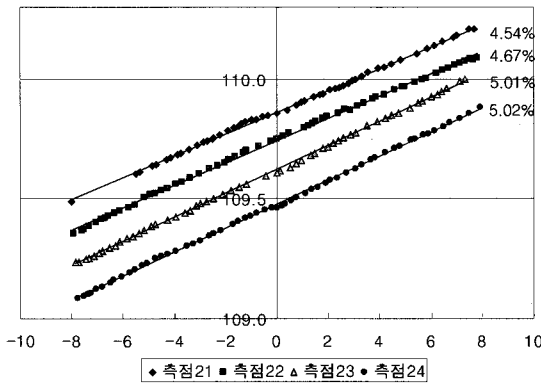
〈그림 9〉 측정 1,2,3의 레이저 측정값



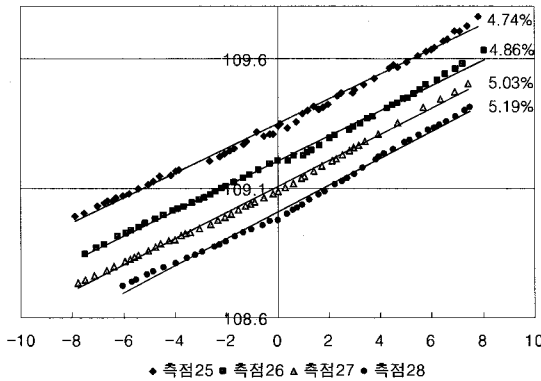
〈그림 10〉 측정 13,14,15의 레이저 측정값



〈그림 11〉 측정 18,19,20의 레이저 측정값



〈그림 12〉 측점 21,22,23,24의 레이저 측정값



〈그림 13〉 측점 25,26,27,28의 레이저 측정값

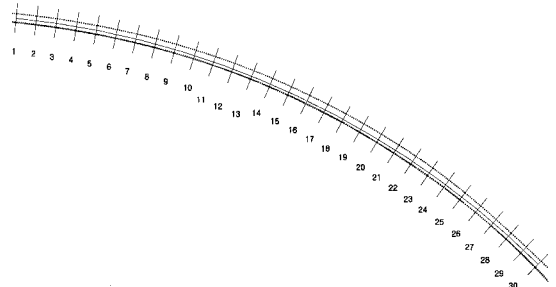
13)은 레이저 자료로부터 추출한 각 단면의 형상을 그래프로 나타낸 것이다. 그래프의 x축은 도로 중앙선으로부터 횡단거리, y축은 표고를 나타내고 단위는 m이다. 각 측점에서 기울기는 거의 일정하지만 상행과 하행차로에서 약간의 기울기 차가 나타나고 있는데 이는 도로면의 시공 후 재포장과 소성변형에 의한 결과로 판단된다.

#### 4. GPS-INS 자료 처리 및 결과

주행 중 취득한 GPS-INS 자료와 동시에 취득한 기준점 GPS 자료를 이용하여 DGPS 방식으로 통합처리한 후 1m 거리간격으로 3D 좌표와 roll 값을 출력하였다. 출력된 각 측점을 CAD에 plot한 후 각 측점에 가장 가까운 좌표값을 선택하고 이 좌표의 roll 값을 출력자료에서 찾아 백분율 편경사로 변환하였다. 〈그림 14〉는 1m 간격으로 출력한 3회의 주행 궤적을 측점 번호와 함께 나타낸 것이다. 그림에서 곡선의 안쪽 하행은 2회의 주행궤적이 대체로 일치하고 있으며 바깥

쪽 상행과는 평행하게 진행하고 있음을 볼 수 있다.

〈표 6〉에는 토탈스테이션을 이용하여 측량한 편경사 값과 GPS-INS를 이용하여 취득한 편경사를 동일한 측점에 대해 나열하고 비교하였다. 표에서 하행(A)와 하행(B)는 시간차를 두고 반복하여 주행하여 취득한 결과이다. 〈그림 15〉는 측점별 편경사를 그래프로 나타낸 것이다.

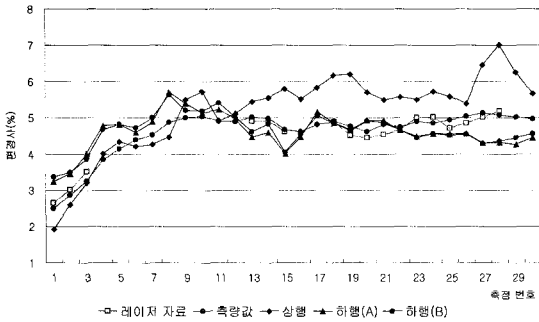


〈그림 14〉 1m 간격으로 출력한 주행 궤적

〈표 6〉 측량값과 GPS-INS 통합시스템으로 구한 측점별 편경사(단위: %)

단면 번호	레이저 자료	측량값	GPS-INS		
			상행	하행(A)	하행(B)
1	2.64	2.49	1.92	3.24	3.37
2	3.01	2.87	2.61	3.46	3.49
3	3.50	3.25	3.21	4.01	3.85
4	-	3.84	4.01	4.78	4.67
5	-	4.14	4.34	4.82	4.81
6	-	4.41	4.21	4.60	4.73
7	-	4.52	4.27	4.91	5.00
8	-	4.87	4.47	5.71	5.63
9	-	5.01	5.51	5.39	5.22
10	-	5.05	5.73	5.14	5.19
11	-	4.91	4.91	5.24	5.42
12	-	4.89	5.12	4.97	5.04
13	4.92	5.03	5.44	4.47	4.61
14	4.91	5.00	5.56	4.59	4.85
15	4.62	4.67	5.80	4.01	4.05
16	-	4.61	5.53	4.47	4.55
17	-	4.83	5.83	5.17	5.07
18	4.89	4.90	6.17	4.86	4.86
19	4.51	4.76	6.22	4.68	4.63
20	4.46	4.63	5.70	4.93	4.92
21	4.54	4.82	5.51	4.94	4.89
22	4.67	4.76	5.58	4.65	4.66
23	5.01	4.90	5.51	4.49	4.46
24	5.02	4.87	5.73	4.56	4.56
25	4.74	4.96	5.59	4.57	4.53
26	4.86	5.04	5.39	4.56	4.54
27	5.03	5.14	6.46	4.30	4.29
28	5.19	5.08	7.01	4.32	4.36
29	-	5.03	6.27	4.27	4.46
30	-	4.97	5.68	4.46	4.57





〈그림 15〉 측정별 편경사 비교

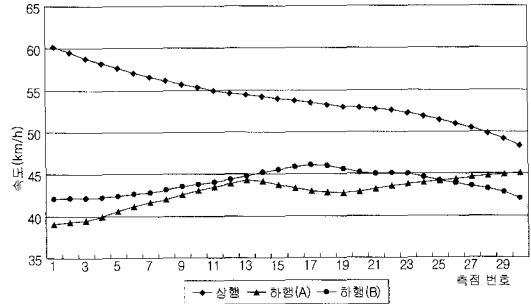
V. 편경사 측정 정확도

이때 식(2)를 이용하여 주행궤적별 평균제곱근오차(RMSE)를 계산한 결과 측량값을 기준으로 상행은 0.83, 하행(A)는 0.51, 하행(B)는 0.49로 나타났다.

$$SE = \sqrt{\frac{\sum \text{오차}^2}{\text{자료의수}}} \quad (2)$$

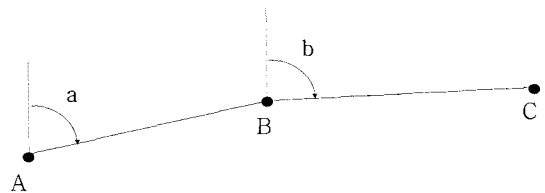
레이저와 토탈스테이션으로 측량한 값은 비교적 완만한 선형을 보이는데 반해 상행, 하행(A), 하행(B) 등 GPS-INS 측정값은 상대적으로 급격한 변화를 보이고 있다. 이는 주행차로의 도로면 특성에 따라 발생하는 진동이 측정자료에 부가되어 나타나기 때문인 것으로 생각된다. 토탈스테이션 측량 값에 비해 GPS-INS로부터 얻은 값들이 변동을 보임에도 불구하고 하행(A) 및 하행(B)는 상호간의 RMSE가 0.10으로 거의 흡사한 추세를 보이는 반면 상행의 GPS-INS의 편경사는 토탈스테이션의 측정 값과 차이가 나는 것을 육안으로도 관측할 수 있다. 즉, 그래프에서 상행자료가 하행의 두 자료에 비해 편차가 크게 나타나고 있고 특히 측정점 27~30까지 편경사가 급격하게 변화하고 있다. 차량이 곡선 구간을 주행할 때에는 곡선 바깥쪽으로 원심력이 작용하기 때문에 주행속도와의 연관성이 있을 수 있다. 즉, 원심력이 크게 작용하는 측정에서는 오차가 크게 나타나야 한다. 그러나 각 측정 별로 차량의 주행 속도를 파악해 본 결과 39~42km/h인 하행에서는 속도와 오차의 관계가 뚜렷하게 나타나지 않았고 상행자료에서는 〈그림 16〉에서 보인 바와 같이 주행속도 그래프에서 측정번호가 증가할수록 속도가 낮아지고 있고 오차가 큰 측

점 27~30 구간에서는 가장 낮은 속도를 보이고 있다. 즉, 원심력이 오차의 한 원인이기는 하지만 그다지 큰 비중을 갖지는 않는 것으로 보인다.



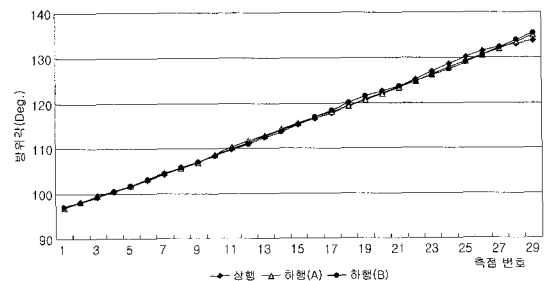
〈그림 16〉 측정별 주행속도

실험구간이 단일 원곡선 구간이기 때문에 도로를 따라서 일정 거리만큼 이동했을 때는 차량의 진행방향 또한 일정한 각도만큼 증가하여야 한다. 즉, 〈그림 17〉에 보인 바와 같이 임의의 측정점 A에서 진북방향과 측정점 B에 이르는 선분을 시계방향으로 측정된 각이 방위각이다. 마찬가지로 측정점 B에서의 방위각은 측정점 C를 향해 측정된 각 b가 된다.



〈그림 17〉 측정점 A, B의 방위각 a, b

이와 같은 방식으로 측정별 방위각을 계산해 본 결과 두 개의 하행자료 모두 일정한 비율로 각도가 증가하는데 반해 상행자료는 측정점 27부터 기울기가 현저히 달라

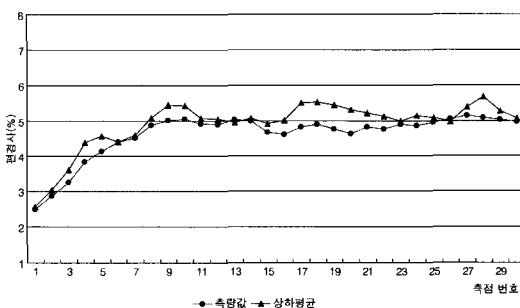


〈그림 18〉 측정별 주행 방위각

지는 것을 볼 수 있다(〈그림 18〉 참조). 즉, 차량의 진행방향이 도로의 선형과 달라지면 도로의 편경사 방향과 차량의 rolling 방향이 어긋나기 때문에 도로의 편경사 측정 정확도를 높이기 위해서는 주행 시 도로의 선형을 정확히 따라가는 것이 중요하다는 것을 의미한다.

편경사가 일정하게 적용된 단일 원곡선 구간을 GPS-INS로 상행 1회, 하행 2회 측정한 결과 측정값을 기준으로 RMSE가 각각 0.83%, 0.51%, 0.49%로 나타났다. 이를 관측값의 평균에 대한 RMSE의 비율인 %RMSE로 나타낼 경우 상행은 17.86%, 하행(A)는 11.16%, 하행(B)는 10.60% 이다.

레이저 스캐너를 이용하여 측정별로 단면을 측정할 결과 전체적인 경사는 측정값과 비슷하지만 상행방향과 하행방향이 서로 차이가 있는 것으로 나타났다. 즉, 실제 도로는 동일한 설계 횡단경사로 시공되었더라도 재포장 및 소성변형, 마모 등에 의해 노면환경이 변화하기 때문에 하나의 차로에 대해서만 편경사를 측정하여 대푯값으로 결정하는데 무리가 있다. 따라서 본 연구와 같이 상하행의 설계편경사가 동일할 경우에는 GPS-INS를 이용할 경우 왕복차로를 주행하여 그 평균값을 취하는 것이 바람직하다. 측정별로 상행과 하행(B)의 평균값을 측정값과 비교하면 RMSE는 0.36%(%RMSE : 7.44)로서 상하행 각각의 오차에 비해 상당히 낮아졌음을 알 수 있다.(〈그림 19〉 참조)



(그림 19) 측정값과 GPS-INS의 상하행 평균값

## VI. 결론

본 연구에서는 도로의 안전성을 가늠하는 주요한 인자로서 활용되는 도로의 횡단경사, 특히 곡선구간의 편경사를 신속하고 안전하게 측정하는 방법으로서 GPS-INS 통합시스템을 제안하고 기 건설된 국도의 편경사를 측정

할 경우 기대되는 정확도를 실험을 통해 분석하였다.

용인지역 국도 17호선의 단일 원곡선 구간에 대해 GPS 기준점 측량, 레이저 스캐닝, 토탈스테이션을 이용한 편경사 측량, GPS-INS 자료 취득 등 다양한 방법으로 편경사를 측정하고 GPS-INS 자료의 오차를 비교함으로써 그 활용방법에 대해 논하였다.

레이저 자료와 주행방위각을 확인한 결과 편경사 오차는 GPS와 INS 센서가 가지는 고유한 특성, 주행차로의 재포장 및 포장면의 소성변형의 영향, 도로선형과 주행방향의 불일치 때문인 것으로 판단된다. 이외에도 도로면의 경사, 차량의 무게, 차량의 무게중심, 윤거, 하중에 따른 완충기(shock absorber) 특성, 주행속도 등에 따라 영향을 받으므로 정확한 보정을 위해서는 상하행의 편경사가 일정한 도로를 여러 번 왕복주행하여 실험한 후 이러한 변수들과 오차간의 관계를 모델링하여야 할 것이다.

오차의 정확한 보정을 위해서는 보정알고리즘을 통한 측정값의 보정이 필요하지만 본 논문에서는 실제 측정값만을 대상으로 하였다. 측정 시 발생한 편경사의 RMSE는 상행에서 0.83%, 하행(A), 하행(B)에서 각각 0.51%, 0.49%로 나타났으며 상행과 하행(B)를 평균할 경우 0.36%로 낮아졌다. %RMSE도 상행에서 17.86%, 하행(A), 하행(B)에서 각각 11.16%, 10.60%로 나타났으며 상행과 하행(B)를 평균할 경우 7.44%로 낮아졌다.

기존의 측량방법으로서 토탈스테이션을 이용하는 것과 GPS를 이용하는 것이 있는데 토탈스테이션은 조사구간이 긴 경우 기계를 여러 번 옮겨 설치하여야 하고 조사자가 도로를 따라 도보로 측정하기 때문에 정확도의 일관성을 확보하기 어렵고 조사시간이 많이 소요된다. 또한 어두운 밤이나 시준이 안 되는 지역, 고속국도와 같이 교통량이 많고 통행속도가 빠른 곳에서는 조사 자체가 곤란하다는 문제가 있다. GPS를 이용할 경우에는 교량 밑이나 산지같이 GPS 수신이 어려운 지역에서는 정확도가 현저히 떨어지는 문제가 있다. 또 왕복 2차로같이 비좁은 국도에서는 조사자의 안전을 위해 점멸등과 같은 장비를 사용하여 통행차량의 서행을 유도하기 때문에 차량의 소통에도 지장을 주게 된다.

본 연구에서 비교해본 결과 토탈스테이션으로 약 300m의 대상 구간을 측량하는데 현장에서 약 3시간의 시간이 걸린 반면 GPS-INS 통합시스템을 탑재한 차량으로는 3회 주행하는데 약 10분이 소요됐다. 즉, GPS-INS 통합시스템을 이용할 경우에는 차량의 주행

만으로 약 0.4% 이내의 RMSE 정확도로 노면의 경사를 측정할 수 있기 때문에 편경사 측정에 유용하게 사용될 것으로 판단된다.

**참고문헌**

1. 건설교통부(2002), “도로의 구조 및 시설 기준에 관한 규칙 해설 및 지침”.
2. 대한측량협회(2004), “신·GPS 측량의 기초”, p.37.
3. 서동주(2002), “GPS 실시간 동적 측위법을 이용한 도로 편경사 추출”, 한국측량학회지, 제20권 제2호, p.183.
4. 이점호·이동민·최재성(2000), “평면곡선부의 속도 및 교통사고 영향분석연구”, 대한교통학회지, 제18권 제1호, 대한교통학회, p.35.
5. 일본도로협회(2005), “도로구조령의 해설과 운용”, p.344.
6. 한국건설기술연구원(2004), “도로안전성 조사분석 차량개발 연구보고서 (2차년도)”.
7. 한국도로공사(2002), “도로설계요령-도로계획 및 기하구조”, p.189.
8. Jihan Ryu(2004), “Estimation of Vehicle Roll and Road Bank Angle”, 2004 American Control Conference, Boston, MA.
9. Michael Cramer(1997), “GPS/INS Integration”, Institute for Photogrammetry, University of Stuttgart.
10. Naser El-Sheimy(2000), “Integrated Systems and their Impact on the Future of Positioning, Navigation, and Mapping Applications”, FIG Working Week 2000, Prague

✉ 주 작 성 자 : 정동훈  
 ✉ 교 신 저 자 : 정동훈  
 ✉ 논문투고일 : 2006. 1. 26  
 ✉ 논문심사일 : 2006. 3. 8 (1차)  
                   2006. 3. 20 (2차)  
 ✉ 심사판정일 : 2006. 3. 20  
 ✉ 반론접수기한 : 2006. 8. 31

