

# RTK GPS/GLONASS 조합에 의한

## 도로의 평면선형 적용 분석

### An Analysis of Application for Road Horizontal Alignment by the Combined RTK GPS/GLONASS

이종출\* · 서동주\*\* · 노태호\*\* · 장호식\*\*

Lee, Jong Chool · Seo, Dong Ju · Roh, Tae Ho · Jang, Ho Sik

#### 요 旨

도로상에서 발생하는 교통사고의 많은 부분이 도로의 선형불량에 기인된다. 이러한 도로의 개량설계를 위하여서는 도로의 선형을 정확히 분석할 필요가 있으며, 도로의 설계도와 주요점의 좌표가 필요하게 된다.

따라서, 본 연구에서는 현재 많이 연구되고 있는 인공위성중 RTK GPS/GLONASS의 조합에 의하여 획득된 3차원 자료를 기존 설계도의 제원을 근거로 하여 위치정밀도를 비교하며, 이렇게 재현된 도로의 선형을 평가함으로써 인공위성을 이용한 도로의 선형정보체계를 보다 효율적이고 실용적으로 사용하기 위한 한 접근방법을 제시하고자 한다.

#### 1. 서 론

도로는 국토의 골격을 형성함과 동시에 국가경제활동과 산업발전의 원동력이며, 국가 경쟁력 확보를 위한 선도적 역할을 하기도 한다.

도로상에서 발생하는 교통사고의 많은 부분이 도로의 선형불량에 기인된다. 따라서 도로의 선형을 추출하여, 선형을 구성하는 요소 중 설계조건을 만족하지 못하는 요소가 있는 경우에는 이를 수정하여 도로상에서 자동차가 안전하게 주행할 수 있도록 함은 국가차원에서 해야할 중요한 일이다. 도로의 선형을 추출하기 위해서는 도로 중심선의 3차원 궤적을 자료로 취득하여야 하며, 이를 위하여 여러 가지 방법이 있으나, GPS를 이용하면 쉽게 취득할 수 있다. 그리고, 차량의 항법시스템도 GPS를 이용하므로, GPS에 의하여 취득하면 항법시스템과 동일한 위치해석 자료를 취득하므로 이용면에서 편리하고, 이러한 측위 시스템을 이용하여 여러 방면의 응용분야에 응용되고 있다. 특히 DGPS에 의한 도로의 차량위치

---

\* 부경대학교 공과대학 건설공학부 교수

\*\* 부경대학교 대학원 토목공학과 박사과정

결정<sup>1)</sup>과 GPS 시스템에 의한 차량의 모델링 연구가 진행되고 있으며<sup>2)</sup>, RTK GPS에 의한 도로의 평면선형을 분석도 연구된 바가 있다.<sup>3)</sup> GPS에 의하여 도로 중심선의 3차원 궤적을 자료로 취득할 수 있으나, 장애물의 지장을 받는 경우에는 GPS/GLONASS 조합에 의하여 자료를 취득하면 더욱 정확하며<sup>4)</sup>, DGPS/DGLONASS에 의한 차량의 동적위치결정도 연구되고 있다.<sup>5)</sup>

따라서, 본 연구에서는 현재 많이 연구되고 있는 인공위성중 RTK GPS/GLONASS 조합에 의한 측위방법으로 획득된 3차원 자료를 기존 설계도의 제원을 근거로 하여 위치정밀도를 비교하며, 이에 재현된 도로의 평면선형을 평가함으로써 인공위성을 이용한 도로의 선형체계를 보다 효율적이고 실용적으로 사용하기 위한 한 접근방법을 제시하고자 한다.

## 2. 평면선형의 설계요소 및 선형분석

도로의 선형이란 도로의 중심선이 입체적으로 그려진 선의 형태를 말하며, 평면적으로 보인 도로의 중심선 형태를 평면선형, 종단적으로 보인 도로의 중심선 형태가 종단선형으로 구성되는 바, 평면선형은 종단선형과의 연계를 고려하고, 현지 지형지물에 적합하며, 적절한 크기의 선형요소를 갖는 도로중심선을 결정하는 것이 선형설계에서 중요하다.

### 2.1 평면선형 설계요소

일반적으로 도로의 선형은 자동차의 안전한 주행뿐만 아니라 주행의 쾌적성도 고려하여야 한다. 이러한 관점에서 도로의 평면선형은 그림 1과 같이 자동차의 주행궤적과 비슷한 직선, 원곡선 및 완화곡선으로 구성되며, 설계요소로는 직선, 원곡선 반경, 곡선의 길이, 곡선부의 확폭 및 완화구간 등이 있다.

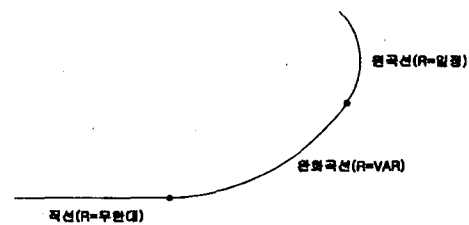


그림 1. 평면선형 요소

직선은 두 점간의 최단거리로써 설정하기 쉬운 특징이 있지만, 직선이 가지는 견고함과 단순함이 결점이 되기 때문에 선형 설계시 주의를 요한다.

곡선은 직선에 비하여 기하학적 형태가 유연하기 때문에 다양한 지형변화에 대하여 순응시킬 수 있고, 원활한 선형을 얻을 수 있기 때문에 그 적용 범위가 넓다. 곡선반경은 노선을 단축하고 추월시거를 충분히 확보하여 운전동작의 급격한 변화를 피하기 위해 지형조건에 따라 큰 것이 좋겠지만, 곡선반경을 충분히 크게 취하기가 곤란하기 때문에 최소 원곡선 반경을 규정하게 된다.

반경이 무한대인 직선과 반경이 유한한 곡선이 접속할 경우, 곡률이 무한대에서 해당 원

곡선의 곡선반경에 따른 유한한 곡률로 돌변하게 되므로, 급격한 원심가속도의 변화 때문에 운전자가 불쾌하게 느낄 뿐 아니라 시각적으로도 선형이 구부러져 보여서 착각을 일으키게 된다. 따라서 곡률이 서서히 변화하고 직선과 원곡선을 매끄럽게 연결할 수 있는 완화곡선이 필요하다.

Clothoid 완화곡선의 매개변수값  $A$ 의 크기는 접속하는 원곡선 반경( $R$ )의 크기와 균형이 필요하므로  $R < 1500\text{m}$ 인 경우에는  $R/2 \leq A \leq R$ 의 범위내로 하는 것이 좋고,  $R \geq 1500\text{m}$ 인 경우에는  $R/3 \leq A \leq R$ 인 범위가 바람직하며,  $A$ 의 크기의 상한은 실용성을 고려하여  $1000\text{m}$ 이 하로 하는 것이 바람직하다.<sup>6)</sup>

## 2.2 선형분석

도로의 평면선형은 도로의 사용성 측면에서 직접적으로 영향을 미치며, 특히 평면선형의 양부는 주행의 안전성과 직접 관련된다. 또한 장래 실용화될 자동차항법시스템(CNS)에서는 선형요소가 시스템 운용에 있어서 중요한 요소가 된다. 도로의 선형이 교통사고와 직접적인 관련 있다고 것이 이에 많은 연구가 수행되어 입증되었다. 곡선반경  $1,000\text{m}$  이하와 종단구배  $3\%$  이상인 지점으로부터 사고율이 급격하게 증가한다는 연구와 곡선 반경이 작을수록 단독사고의 비율이 점차 높아진다는 기존의 연구가 있다<sup>7)</sup>. 그리고 도로선형설계에서 완화곡선의 효율적인 이용모델에 대한 연구도 있다<sup>8)</sup>.

도로의 특정구간에서 교통사고 발생율이 평균값이상으로 높으면, 일단도로의 선형에서 불리한 요소가 있다고 생각할 수 있다.

여기에서 말하는 도로의 선형이란 평면선형뿐만 아니고 종단선형도 포함하며, 평면선형과 종단선형의 조합도 사고율에 크게 영향을 미친다. 기존도로의 선형을 분석하기 위해서는 기존도로의 중심선 궤적 좌표값이 필요하며, 중심선궤적의 3차원 좌표값( $X, Y, Z$ )을 취득하면 평면선형과 종단선형을 분석할 수 있고, 횡단노면 3차원 좌표값을 취득하면 도로의 편경사(Superelevation)를 분석할 수 있다.<sup>3)</sup>

## 3. GPS와 GLONASS의 이론

### 3.1 GPS와 GLONASS의 개요

NAVSTAR GPS(NAVigation System with Time And Ranging Global Positioning System)는 1973년부터 미국방부에 의해서 제작된 위성이 발사하는 radio파를 매체로 한 정밀 항법 및 3차원 측위결정의 체계이다. 시스템의 구성은 6개의 궤도에 4개의 위성인 우주부분, 제어국과 추적국으로 구성되는 제어부분, 그리고 수신기 등을 포함하는 사용자부분으로 나눌 수 있다.

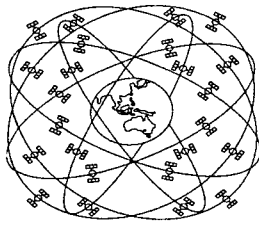


그림 2. GPS의 궤도 및 위성

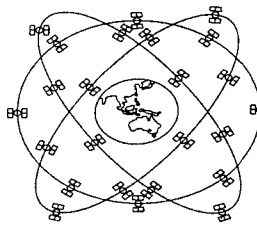


그림 3. GLONASS의 궤도 및 위성

구소련(Soviet Union)에서는 1970년대 이후로 GLONASS(GLOBAL NAVIGATION Satellite System)라는 이름으로 GPS와 극히 비슷한 항법 시스템을 개발하였다. 1988년 소련은 정보화 자료를 해제하기 시작하였고, 국제적 사용을 위한 시스템으로 제공하였다.

GLONASS의 시스템 역시 우주부분, 제어부분 그리고 사용자 부분으로 나눌 수 있다.

### 3.2 GPS와 GLONASS의 비교

GPS와 GLONASS의 구체적인 비교는 표 1과 같이 나타낼 수 있다.

표 1. GPS와 GLONASS의 비교

Parameter	GPS	GLONASS
No. of satellite	21+3 spares	21+3 spares
No. of orbital planes	6	3
Orbital inclination	55°	64.8°
Orbit altitude	20,180km	19,130km
Period of revolution	11hr 58m 40s	11hr 15m 40s
Geodetic datum	WGS 84	SGS 85
System time correction relative to	UTC <sub>(SUÑO)</sub>	UTC <sub>(SU)</sub>
Frequency band L1	1.575MHz	1.602~ 1.615MHz
Frequency band L2	1.228MHz	1.246~ 1.256MHz
Codes	same for all satellites C/A-code on L1 P-code on L1, L2	different for all satellites C/A-code on L1 P-code on L1, L2

### 3.3 실시간 동적 측위(Rael Time Kinematic)

기지국을 중심으로 변조장치(Modem)를 이용하여 이동국에 오차량을 전송함으로써 이동국의 위치 정확도를 향상시키는 것이 실시간 동적 GPS 측위 방식이다. 실시간 동적 측위

는 오차량을 전송하는 신호 종류에 따라 코드만을 사용하는 RTCM(Radio Technical Commission for Maritime Service), NMEA (National Marine Electronics Association)과 반송파 방식의 CPD(Carrier Phase Differential)로 나눌 수 있다. 실시간 동적 측위의 구성은 기지국과 이동국으로 구성되어 있으며, 기지국은 위성신호를 수신하는 위성 안테나와 기지 좌표성과와의 차이를 발견하고 그 차이값을 변조하는 변조장치, 이를 통하여 이동국으로 전송하기 위해 신호를 증폭시키기 위한 증폭기로 구성되어 있다.

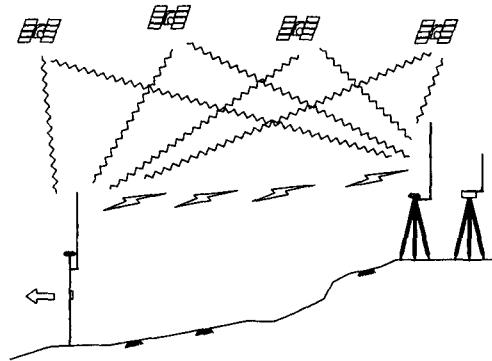


그림 4. RTK GPS 측위방법의 구성

이동국은 기지국에서 발송되는 전파를 수신할 수 있는 안테나와 위성신호를 수신할 수 있는 안테나, 그리고 관측점에 대한 자료입력을 위한 자료제어기로 구성되어 있다.<sup>9)</sup>

## 4. 현장관측

### 4.1 관측대상위치

본 연구를 위한 관측은 2002년 2월 5일에 실시하였으며, 관측대상지역은 경상남도 인근의 국도 〇〇호선중, 설계도가 입수되어 있는 약 2km의 구간을 선정하여 관측하였다. 관측현장의 평면도는 그림 5와 같이 나타낼 수 있으며, 관측현장의 전경은 사진 1과 같다.

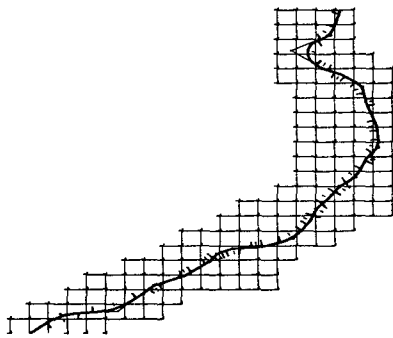


그림 5. 관측현장의 평면도

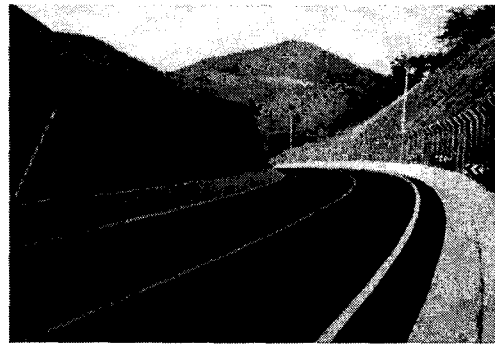


사진 1. 관측현장의 전경

### 4.2 관측장비

관측에 사용된 장비의 수신기는 L1/L2, C/A-code와 P-code 및 반송파를 수신할 수 있

는 20개 채널의 JAVAD 제품이며, 안테나는 외부형타입 Legant 제품을 사용하였다. 구체적인 관측장비의 제원은 다음 표 2와 같다.

표 2. 관측장비의 제원

Tracking Specification			Performance Specification	
Tracking	Signals Tracked	Measure Mode	RTK Mode	
			H	V
40 L1 channels, 20 L1+L2 channels GPS/GLO (optional)	L1/L2 (L1-C/A &L1/L2 Full Cycle Carrier, P1/P2)	Static  Kinematic  RTK  DGPS	10mm+1.5ppm (×Base) for 2 freq.	20mm+1.5ppm (×Base) for 2 freq.

### 4.3 관측시스템

관측시스템은 그림 6과 같이 관측 대상 도로의 인근에 기지국을 설치하고, 이동국은 그림 7과 같이 관측에 적합하게 제작한 차대에 수신기를 일체식으로 결합하여 도로의 중심선을 관측하였다. 차량에 부착하여 도로의 중심선을 측정할 수 있으나, 도로건설 후 공용중인 도로의 중심선을 따라 측정함은 위험할 뿐 더러 운전특성에 따라 관측값이 달라질 수 있으므로, 본 연구에서는 사진 2와 같이 인력으로 끌면서 기존 도로의 중심선의 선형을 측정하였다.

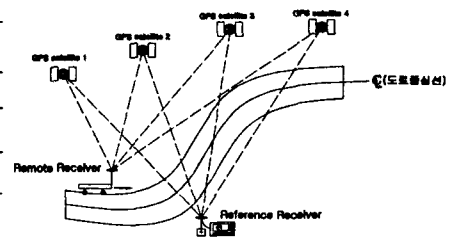


그림 6. 관측시스템의 구성

측량에서 관측기법에 따른 정확도를 비교함에 있어서 관측의 조건을 동일한 조건하에서 하여야 한다. 따라서, 본 연구에서는 GPS의 관측조건과 GPS/GLONASS의 관측조건을 최대한 동일시하기 위하여 각각의 관측시간을 1시간이내의 차이를 벗어나지 않는 범위내에서 각각 실행하였다.

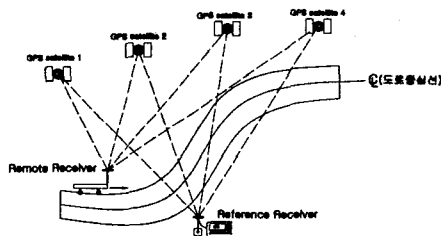


그림 7. 관측시스템의 구성



사진 2. 도로선형의 관측모습

## 5. 관측결과 및 분석

### 5.1 관측결과

관측시스템으로 RTK GPS에 의한 방법과 RTK GPS/GLONASS 조합에 의한 방법으로 도로중심선을 관측한 결과는 표 3과 같이 나타났다.

관측결과의 비교 방법은 설계제원의 도로중심선을 기준으로 도로중심선에서 수직으로 각각에 나타난 관측값과의 차로서 비교하였으며, 표본 자료는 도로중심선을 20m씩 간격을 둔 Chain으로 설정하였다.

관측결과를 보면 RTK GPS의 경우 St. 0+580~St. 1+100의 구간과 RTK GPS/GLONASS의 경우 St. 2+

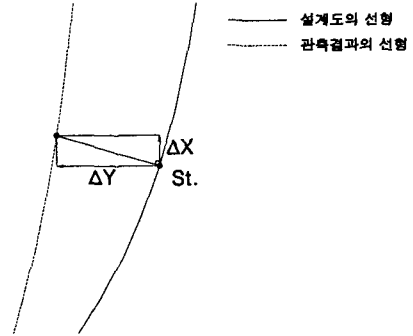


그림 8. 비교방법

380~St. 2+500의 구간에서는 관측되지 않았다. 그 이유는 관측 시간의 조건이 정확하게 동일한 시간이 아니므로, 위성의 상태가 동일하지 않으므로 나타난 결과인 것과 또한, RTK의 관측방법은 관측 위성의 영향도 있지만, 기지국에서 송신하는 전파를 수신국에서 수신하는 변조장치(Modem)의 영향도 있기 때문인 것이라 추정된다. 그리고, RTK GPS의 St. 1+680~St. 1+760구간의 경우는 전파 단절로 인하여 자료가 상실된 것으로 판단된다.

### 5.2 분석

관측 결과를 보면, RTK GPS에 의한 방법으로 관측한 결과 X방향의 평균오차는 6.89cm, Y방향의 평균오차는 4.31cm, 수평위치 오차는 8.54cm로 나타났으며, RTK GPS/GLONASS 조합에 의한 방법으로 관측한 결과 X방향의 평균오차는 4.98cm, Y방향의 평균오차는 3.96cm, 수평위치 오차정확도는 6.80cm와 같이 나타났다. 측정별 X방향 오차를 나타내면 그림 9와 같고, Y방향 오차를 나타내면 그림 10과 같다

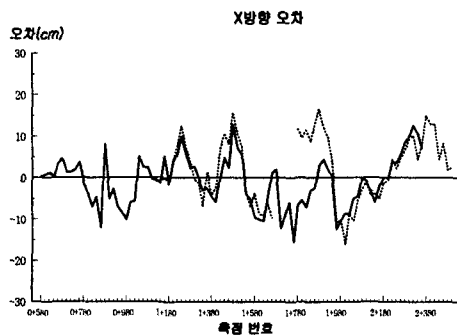


그림 9. X방향 오차

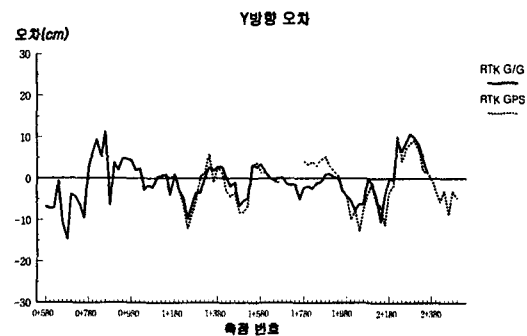


그림 10. Y방향 오차

표 3. 관측결과

표 3. 관측결과(계속)

St.	RTK GPS		RTK GPS/GLONASS		St.	RTK GPS		RTK GPS/GLONASS	
	$\Delta X(\text{cm})$	$\Delta Y(\text{cm})$	$\Delta X(\text{cm})$	$\Delta Y(\text{cm})$		$\Delta X(\text{cm})$	$\Delta Y(\text{cm})$	$\Delta X(\text{cm})$	$\Delta Y(\text{cm})$
0+580	-	-	0.37	-6.73	1+580	-3.81	1.36	-9.55	3.40
0+600	-	-	0.72	-7.28	1+600	-8.59	1.52	-10.03	1.78
0+620	-	-	1.31	-7.11	1+620	-9.17	0.08	-10.42	0.09
0+640	-	-	0.18	-0.66	1+640	-6.25	-0.58	-4.91	-0.45
0+660	-	-	3.44	-11.06	1+660	-9.67	-0.90	1.09	0.10
0+680	-	-	4.60	-14.79	1+680	-	-	1.99	0.18
0+700	-	-	1.20	-3.85	1+700	-	-	-12.24	-1.37
0+720	-	-	1.34	-4.31	1+720	-	-	-9.18	-1.65
0+740	-	-	1.94	-6.25	1+740	-	-	-6.06	-1.51
0+760	-	-	3.64	-9.52	1+760	-	-	-15.57	-5.01
0+780	-	-	-1.28	2.62	1+780	11.95	4.14	-6.72	-2.33
0+800	-	-	-3.87	6.37	1+800	9.61	3.33	-5.43	-1.88
0+820	-	-	-6.93	9.36	1+820	11.46	3.97	-7.19	-2.49
0+840	-	-	-4.67	5.24	1+840	8.82	3.05	-3.12	-1.08
0+860	-	-	-12.09	11.30	1+860	12.80	4.43	-2.50	-0.86
0+880	-	-	8.24	-6.40	1+880	16.56	5.16	3.00	0.94
0+900	-	-	-5.11	3.81	1+900	12.31	2.95	4.36	1.05
0+920	-	-	-2.71	2.02	1+920	9.99	1.70	1.97	0.33
0+940	-	-	-6.96	4.81	1+940	3.85	0.65	0.32	0.05
0+960	-	-	-8.38	4.68	1+960	-10.97	-2.43	-12.50	-2.77
0+980	-	-	-10.09	4.44	1+980	-10.19	-4.13	-10.46	-4.24
1+000	-	-	-6.00	1.98	2+000	16.13	-9.92	-8.63	-5.31
1+020	-	-	-5.62	2.36	2+020	-8.77	-7.66	-8.80	-7.69
1+040	-	-	5.16	-2.84	2+040	-10.44	-12.75	-5.10	-6.23
1+060	-	-	2.53	-1.76	2+060	-5.44	-7.46	-4.57	-6.27
1+080	-	-	2.46	-2.13	2+080	-2.88	-3.95	-0.07	-0.09
1+100	-	-	-0.41	0.41	2+100	-0.79	-1.08	-1.04	-1.42
1+120	-0.97	0.88	-0.58	0.53	2+120	-4.11	-5.96	-3.02	-4.38
1+140	-0.67	0.55	-1.20	0.99	2+140	-3.80	-6.64	-5.97	-10.41
1+160	-0.13	0.10	5.25	-3.97	2+160	-5.23	-11.19	-2.10	-4.50
1+180	-1.01	0.70	-1.54	1.06	2+180	-1.44	-3.67	0.06	0.16
1+200	3.90	-2.49	4.05	-2.59	2+200	-0.67	-1.72	-0.18	-0.47
1+220	7.81	-6.15	5.59	-4.40	2+220	4.42	10.21	3.78	8.73
1+240	12.51	-12.05	9.98	-9.61	2+240	2.22	4.14	3.50	6.54
1+260	7.38	-8.69	5.61	-6.60	2+260	4.52	6.98	5.66	8.74
1+280	3.83	-5.54	2.37	-3.44	2+280	6.60	8.53	8.39	10.85
1+300	-0.48	0.61	2.79	-3.53	2+300	9.21	9.19	9.87	9.86
1+320	-1.10	1.16	-0.18	0.19	2+320	10.28	6.81	12.66	8.38
1+340	-6.71	5.87	-3.10	2.71	2+340	4.43	1.79	10.85	4.39
1+360	1.41	-1.03	-2.45	1.78	2+360	7.88	1.47	7.02	1.31
1+380	-4.53	2.70	-4.50	2.68	2+380	15.00	-0.23	-	-
1+400	-2.50	1.20	-5.89	2.82	2+400	13.03	-2.85	-	-
1+420	6.80	-2.84	-0.14	0.06	2+420	12.81	-5.65	-	-
1+440	10.68	-4.45	4.72	-1.97	2+440	4.34	-3.07	-	-
1+460	8.08	-3.37	2.40	-1.00	2+460	8.23	-8.74	-	-
1+480	15.70	-8.18	12.82	-6.68	2+480	1.87	-3.01	-	-
1+500	10.84	-8.19	7.41	-5.60	2+500	2.43	-4.71	-	-
1+520	7.30	-6.68	5.27	-4.82	평균	$[ X ]/n =$	$[ Y ]/n =$	$[ X ]/n =$	$[ Y ]/n =$
1+540	-3.52	2.82	-3.99	3.20	오차	6.89	4.31	4.98	3.96
1+560	-6.93	3.87	-5.01	2.79					



각각의 관측결과 수평위치정밀도를 비교하여 나타내면 다음 그림 11과 같으며, RTK GPS/GLONASS 조합에 의한 관측 정밀도가 RTK GPS 관측 정밀도보다 정도가 향상됨을 볼 수 있다.

각각의 X방향, Y방향 그리고 수평위치의 관측결과를 나타내면 표 4 및 그림 12와 같이 나타났다.

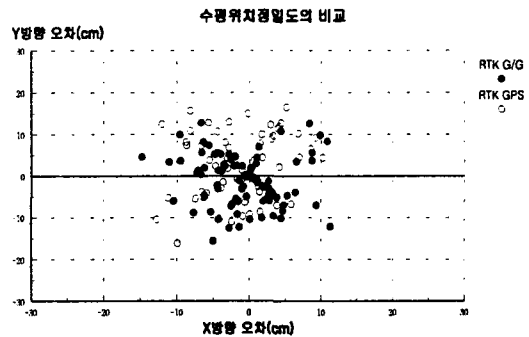


그림 11. 수평위치정밀도의 비교

표 4. 관측결과의 비교

관측방법	평균오차 (cm)		
	X방향오차	Y방향오차	수평위치오차
RTK GPS	6.89	4.31	8.54
RTK G/G	4.98	3.96	6.80

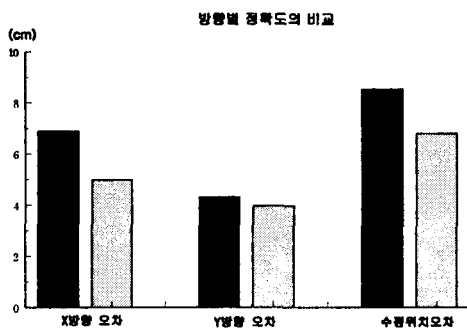
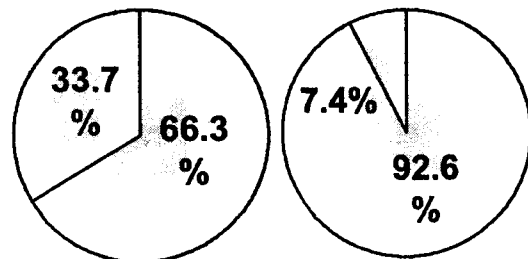


그림 12. 방향별 정확도의 비교



RTK GPS      RTK GPS/GLONASS  
그림 13. 자료 취득률의 비교

자료 취득률을 보면, 전구간에서 RTK GPS의 경우 66.3%, RTK GPS/GLONASS 조합의 경우 92.6%의 자료 취득률을 보였고, 이 두 경우를 비교해 그림 13과 같이 보면 RTK GPS/GLONASS에 의한 관측이 RTK GPS의 관측의 경우보다 약 26.3%의 자료 취득률이 향상됨을 볼 수 있었다.

## 6. 결론

RTK GPS/GLONASS 조합에 의한 측위방법으로 획득된 3차원 자료를 기존 설계도의 제원을 근거로 하여 위치정확도를 비교하였으며, 이 방법으로 재현된 도로의 선형을 평가함으로써 인공위성을 이용한 자동차항법시스템(CNS)을 보다 효율적이고 실용적으로 사용하기 위한 한 접근으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. RTK GPS/GLONASS의 측위방법으로 도로의 평면선형을 분석한 결과 X방향 4.98cm, Y방향 3.96cm의 평균오차를 나타내었으며, 각 방향 모두 5cm 이내로서 자동차항법시스템(CNS) 적용에 유용하게 이용될 수 있을 것으로 기대된다.
2. 기존의 RTK GPS의 측위방법으로 취득된 자료보다 GPS와 GLONASS의 조합에 의한 측위방법이 더욱 향상된 자료 취득률과 정도를 얻을 수 있었다.
3. 본 연구로서, 앞으로 도로선형의 관측 및 평가를 이용함에 있어서 충분히 효율적이며, 선형설계의 기본 자료에 제공할 수 있으리라 기대된다.

## 참고문헌

1. David Bétaille, Philippe Bonnifait, Road Maintenance Vehicles Location using DGPS, Map-Matching and Dead-Reckoning : Experimental Results of a Smoothed EKF, Proceedings of the IAIN World Congress in association with the U.S.ION Annual Meeting, 26-28 June 2000, San Diego, CA.
2. P. D. Savvaadis, I. M. Ifadis, K. Laksakis Modeling a Vehicle-GPS System for road Geometrical Characteristics Verification : A First Approach, Proceedings of the IAIN World Congress in association with the U.S.ION Annual Meeting, 26-28 June 2000, San Diego, CA.
3. 이종출 "동적 GPS 관측에 의한 도로의 평면선형 분석", 한국측량학회지, 제19권 제1호
4. 강준목, 이용욱, 박정현, "GPS/GLONASS 조합에 의한 절대측위 정밀도 분석", 한국측량학회지, 제19권 제1호.
5. 박운용, 이인수, 신상철, 광재하, "Real-time DGPS/DGLONASS에 의한 차량의 동적위치결정에 관한 연구", 한국측량학회지, 제19권 제3호.
6. 강제수, "도로의 계획과 설계", 도서출판 도우엔지니어즈, 1998. 8. pp. 207-230.
7. 강정규, "고속도로 기하구조가 교통사고 발생에 미치는 영향 연구", 서울대학교 환경대학원 석사학위논문, 1985. 2.
8. 조절호, "도로선형설계에서 완화곡선의 효율적인 이용모델", 대구대학교 대학원 석사학위논문, 1997.
9. Hubiao Lan, "Development of a Real -Time Kinematic GPS System : Design, Performance and Result", Depart. of Geomatics Engineering, the University of Calgary, Canada, 1996, PP.14-17.