

# RTK-GPS와 TS를 이용한 도로선형분석 및 GIS 구축

## The Analysis of Road Alignment and Construction GIS Using RTK GPS and TS

장상규<sup>1)</sup> · 홍순헌<sup>2)</sup> · 김가야<sup>3)</sup>

Jang, Sang Kyu · Hong, Soon Heon · Kim, Ga Ya

### Abstract

In the future, the design of road should be convenient in using of high-technology information and it needs the design of alignment that is able to make the maximum vehicles inducement function appropriated for CNS(Car Navigation System). So it needs to analysis appropriately the alignment of road for the improvement design of road which is established and to make the design of road and the coordinate of the main points. Therefore, this research had acquired the road data by RTK-GPS to accurate the analysis of road alignment and compared with Total Station. As the result, we could acquire the design source of the road alignment using RTK-GPS. Also, it was estimated the accuracy after comparing the design with RTK-GPS coordinates. We made an analysis of the degree of slant or the ups and downs of surface. We made an analysis of three dimensional visual information which was included in GIS concept and estimated the accuracy. Finally, we analyzed the earth volume calculation by comparing with Total Station.

Keywords : RTK-GPS, GIS, CNS, TS

### 요 지

미래의 도로설계는 첨단정보이용에 편리하고, 자동차 항법체계에 맞추어 차량유도기능을 극대화할 수 있는 선형설계가 필요하다. 따라서 기존 도로의 도로개량설계를 위해서 도로선형에 대한 정확한 분석이 필요하며, 도로설계도와 주요점의 좌표가 필요하게 된다. 본 연구에서는 도로 선형에 대한 정확한 분석을 실시하기 위해서 RTK-GPS로 정보를 획득하였고 토달 스테이션과 비교 검증하였다. 이를 바탕으로 설계좌표와 RTK-GPS 좌표를 비교하여 그 정확도를 평가하였다. 또한 GIS 개념의 3차원 시각정보를 통해 고도의 변화율, 경사도, 사면의 요철형태를 분석하였다. 마지막으로 토달스테이션과의 비교로 토공량 산정에서의 비교 고찰도 병행하였다.

핵심용어 : RTK-GPS, GIS, 차량항법체계, 토달스테이션

### 1. 서 론

사회가 점진적으로 정보화 산업사회로 변화해감에 따라 정확한 지형정보의 획득은 중요한 의미를 지니게 되었고, 이러한 지형정보를 시각화함으로써 공간적, 기능적 분석 효과를 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라 건설기술의 고부가 가치를 창출할 수 있다(유복모, 1999). 한편 국토가 좁고 산악지역이 많은 우리나라에서는 하나의 도로가 완공되기 까지 많은 어려움을 가지고 있으며, 완공 후에도 유지 및

관리에 상당한 노력과 어려움이 있다(이종출, 2001). 설계 도서가 훼손되거나 분실되어 설계제원을 산정하고자 하는 도로의 경우에 기술자에 따라 상이한 결과를 보이므로 그 신뢰성이 의심되는 경우도 있다. 이런 문제를 극복할 수 있는 지형공간정보체계(GIS : Geo-Spatial Information System)는 지형 및 공간체계와 관련있는 복잡한 현실 문제를 해결할 수 있는 지형 공간적 표현 및 분석 기능을 제공하며, 도로계획 수립시 이러한 기능을 이용하여 효율적인 노선선정을 수행할 수 있는 시각적 효과를 제공하기도 한

1) 연결저자 · 정회원 · 상주대학교 토목공학과 교수(E-mail:skjang@sangju.ac.kr)

2) 정회원 · 밀양대학교 토목공학과 교수(E-mail:hongsh@arang.miryang.ac.kr)

3) 동의대학교 도시공학과 교수(E-mail:kmgya@dongeeui.ac.kr)

다(이종출외 2명, 2000).

고도의 정보화시대에서 멀티미디어 시대의 컴퓨터 기술은 인간중심의 집약기술로 전환하는 시점에 있으며, 특히 설계분야에서 컴퓨터 시스템의 발전으로 기존의 2차원적인 단순한 설계에서 벗어나 3차원 입체 영상속에서 현실감을 느끼며 업무를 수행하려는 욕구가 급속도로 증가하고 있다. 기존의 도로정보획득은 단순히 사무실에서 지도나 간단한 측량에 의해 2차원으로 획득되어 왔고, 이를 컴퓨터에 의한 3차원 지형정보로 구축하기엔 무리가 있었다. 따라서 이미 계획된 도로에 대해 선형변경이 용이하지 않고, 선형변경시 종횡단 자료를 재측해야 하는 등 비용 및 수량산출시 많은 시간이 소요되는 단점이 있었다(박준, 1998, 이종출 등, 2000).

따라서 본 연구에서는 현재 공사가 완료되어 있는 도로에 대해 RTK-GPS(Real-Time Kinematic GPS)를 이용하여 위치정보를 획득하고, 이를 지형공간정보체계에 의한 분석을 통하여 기존 설계자료로 사용 가능 여부를 판단하고, 3차원 자료분석 및 모델링 등 시각정보자료구축 자료로서 사용 가능한지를 판단하고자 한다. 또한 기존의 2차원적 도로설계를 3차원 도로설계로 전환함으로써 도로선형을 비교 분석하고자 한다. 그리고 전체 도로중에서 일부 구간을 대상으로 3차원 도로선형정보를 획득함에 있어 미리 확보된 기준점을 이용하여 GPS로 위치값을 산출하여 이를 기반으로 RTK-GPS에 의한 위치정보를 획득한다. 획득된 정보를 바탕으로 도로평면선형설계요소를 도출하여 이를 분석하고, 도로 중심선 좌표를 평가한 후, 수치지형모델(DTM)을 추출하여 도로선형정보구축에 사용 가능한지

를 판단하였다. 이러한 과정을 그림 1에 나타내었다.

## 2. RTK-GPS와 GIS에 의한 공간분석

실시간으로 고정확도 측위를 성취하기 위해서 이중차 기법은 반송파 자료를 이용하여 성취될 수 있다. 이는 기준국에서 이동국으로 전송된 원시 의사거리와 반송파 관측값 그리고 그들의 보정값을 요구한다. 이러한 기법을 실시간 동적 GPS 측위라 하고, 그림 2와 같다. 기준국은 반송파 위상과 코드파 위상 관측값을 한 대 이상의 이동국에 전송하며, 이동국은 수집된 관측값을 기준국에서 얻은 관측값과 결합하여 cm 수준 정확도의 위치 결과값을 얻는다.

RTK-GPS 측위는 이중차 반송파 위상의 미지정수들을 실시간으로 관측하는 것을 필요로 한다. 따라서, RTK-GPS 시스템에 대한 기본 알고리즘은 이중차 실수부와 고정부 미지정수 측위값에 기초한다. 또한 기준국과 이동국 거리는 수 km로 제한되어야 하며, 미지정수값들은 OTF(On The Fly)로 고정될 수 있고, 실수부 값으로 해석될 수 있다(村井 後治, 2002).

GIS에서 이루어지는 자료분석은 주로 공간을 분석하는 것이므로 공간분석이라고 한다. 공간 데이터베이스 내에 들어있는 도형자료와 속성자료를 분석하여 현실세계의 의문에 대한 답을 찾는 것을 의미한다. 현실에서 정보를 얻기 어렵거나 데이터베이스 분석이 편리하다고 판단될 때 사용된다. 또한 모델은 현실에서는 어려운 현상을 구현하는데 유리하다. 공간분석의 유형은 크게 세 가지로 나눌 수 있는데, 첫 번째 도형자료를 이용한 분석, 두 번째 속성자료를 이용한 분석, 세 번째 도형과 속성자료를 이용한 통합 분석이다.

도형자료를 이용한 분석은 서로 다른 도형자료를 분석

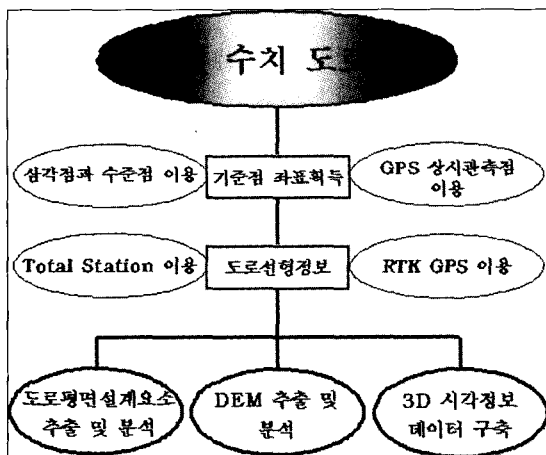


그림 1. 연구의 흐름도

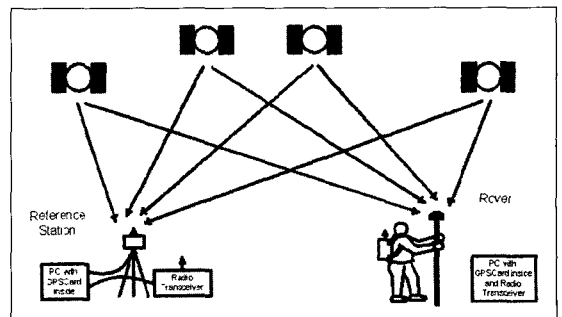


그림 2. RTK-GPS

하기 위해서 도형자료 상호간의 자료를 통일해야 하며, 포맷변환(format exchanging), 동형화(conflation), 경계정합, 지도분할 등의 작업이 필요하다. 속성자료를 이용한 분석에서 일반적인 도면정보 분석은 대부분 속성정보와 결합하여 이루어지고, 속성정보의 특성을 가지고 새로운 도형정보를 생성하거나 수정하는 기능도 활용된다. GIS에 있어서 공간분석 기능의 주된 효용은 도형자료와 속성자료의 통합분석에 있고, 이는 크게 점관련 자료의 분석 기능, 관망분석, 중첩분석, 공간추정 등이다. 이들 분석은 주로 ArcView 3.2a을 이용하여 국가기본도를 바탕으로 이루어졌다.

### 3. 기준점 관측과 분석방법

연구대상지 선정에 있어 RTK GPS 측량을 신속하고 정확하게 할 수 있으며, 도로의 평면선형관측 및 선형이 비교적 좋은 상주시 화동면에 위치하고 있는 그림 3과 같은 도로를 선택하였다.

기준점 관측은 GPS을 이용하여 정적방법으로 관측되었으며, 관측에 사용된 수신기는 Ashtech사의 이주파 수신기 1대와 Sokkia사의 일주파 수신기 3대를 이용하여 관측되었다. 표 1은 GPS 연속관측점으로부터 획득된 WGS 84



그림 3. 연구대상

표 1. 기준점 좌표

St.	Bessel 좌표계	
	Geographical coord. (degree)	Planar coord. (m)
CP01	$\phi = 36.40870069$	X= 323900.3835
	$\lambda = 127.9768929$	Y= 108240.7312
	H= 281.810000	-
CP02	$\phi = 36.40466044$	X= 323452.4318
	$\lambda = 127.9765187$	Y= 108202.4151
	H= 277.710000	-

좌표를 좌표변환하여 나타낸 것이다.

그림 4는 RTK GPS로 도로 중심선과 주변 현황을 관측한 2차원 도면이며, 도로 중심선은 1m 간격으로 중심선 선형을 따라 관측되었다.

그림 5는 관측된 도로선과 중심선 그리고 주변현황을 관측한 자료를 이용하여 3차원 등고선도를 작성한 것이다. 등고선의 간격은 1m 단위로 설정하여 추출하였고, DTM

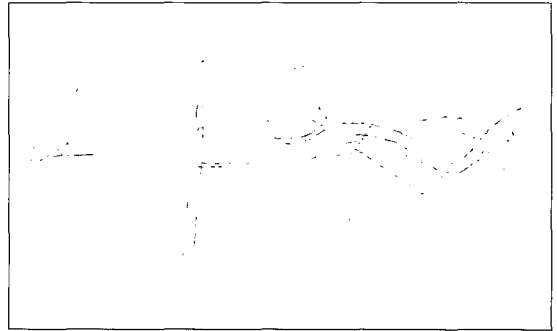


그림 4. RTK-GPS에 의한 실측도면

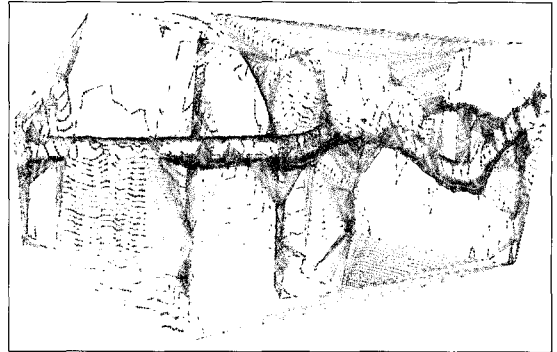


그림 5. 3D 등고선도

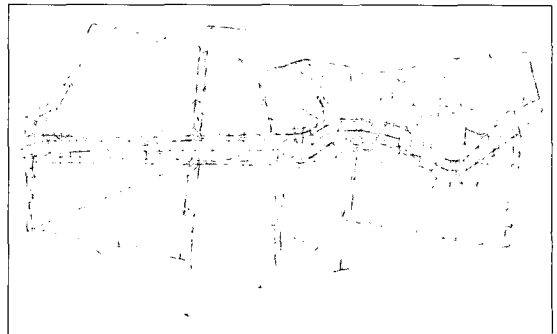


그림 6. TIN 생성

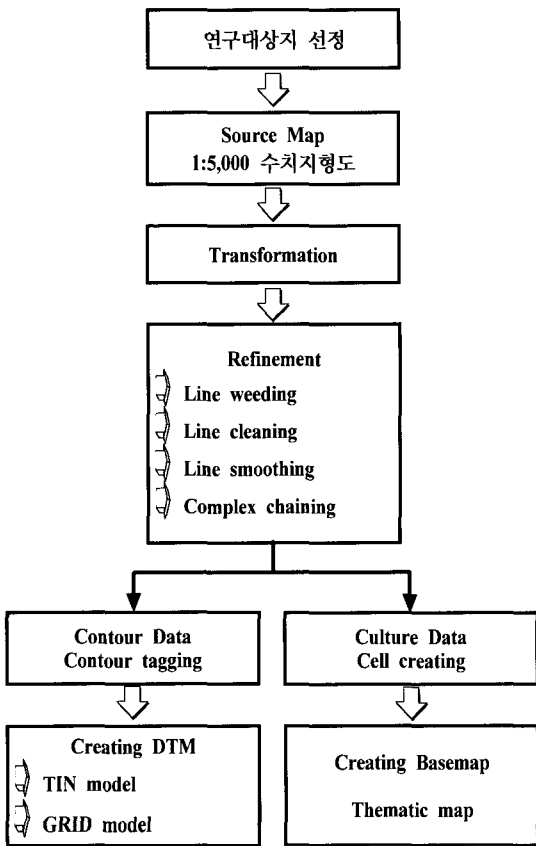


그림 7. DTM 생성 흐름도

을 만들기 위한 사전 작업으로서 수행되었다. 그림 6은 3차원 등고선도를 이용하여 산출된 DTM의 TIN 망으로서 고도행렬이 가지는 자료의 중복을 줄일 수 있으며 여러 형태의 연산에 매우 효율적이다.

TIN 망을 통해서 경사의 정도와 경사의 방향성을 도출할 수 있으며, 경사는 수평면에 접하는 면으로 정의할 수 있다. 따라서, 고도의 변화율이나 측고선으로 경사도나 사면의 요철 형태를 나타냄으로서 3차원 정보제공을 위한 기반자료로 사용된다.

그림 7은 수치지형모델(Digital Terrain Model; DTM)과 기본도를 생성하는 흐름도로서, DTM은 지형정보를 생성하기 위한 사전단계에서 등고선 추출과정을 수행한 후, 등고선의 연결 오류 등에 대한 확인작업으로 수행된다. 또한 추출된 등고선은 선의 형태로 표면에 연속적인 값의 배치가 이루어지지 않기 때문에 실질적인 지형의 표면처리를 위해서 등고선간의 보간과 같은 모델링을 통해 이루어지게 된다.

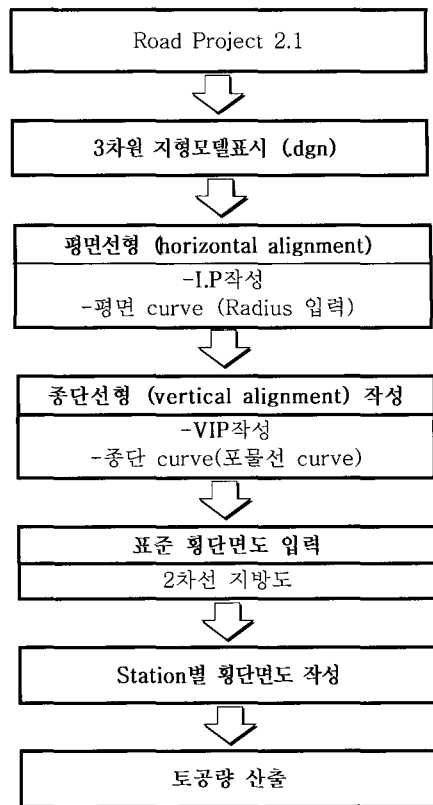


그림 8. 중·횡단면도 작성 흐름도

그림 8은 중·횡단면도 및 토공량 산출의 흐름도로서, Road Project 프로그램을 이용하여 평면선형과 지반 현황도에 의해 종단도를 작성하고 종단고, 종단구배, 변환점 및 종단곡선 반경등을 입력한다. 입력된 값에 의해 평면선형에 따른 도로의 중·횡단면도를 작성하고, 기본설계로서 생성된 도로를 조합한 지형모델링은 선정된 노선에 대한 성토와 절토량을 산출하게 된다.

## 4. 분석 및 비교

### 4.1 선형 좌표 분석

RTK-GPS와 토탈스테이션에 의해 관측된 도로 중심선 좌표를 비교하기 위해서 도로설계 프로그램을 이용하여 20m 간격으로 취득된 도로선형 데이터를 표 2~표 3과 같이 나타내었다. 관측은 도로 중심선을 따라 1m 간격으로 측량되었지만 이를 전부 나타낼 수 없어서 20m 간격으로 나타내었고, 다른 데이터들은 생략하였다. 표 2와 표 3은 실험대상지에 대해 20m 간격으로 측량된 도로 중심선

좌표로서, 실험대상 도로의 전체 길이는 약 400m이고, 포장된 도로의 폭은 편도 2.5m이다.

표 2는 X축에 대한 차이값을 나타내었고, 표 3은 Y축에

대한 차이값을 나타내었다. 표 2의 X축 차이값에 대한 평균오차는 0.045m이고, 표 3의 Y축 차이값에 대한 평균오차는 0.047m로 나타났다. 이들 평균오차가 5cm 미만으로

표 2. X축 좌표

No.	설계좌표(m)	TS(m)	RTK-GPS(m)
No. 1	323576.27	323576.2764	323576.2682
No. 2	323595.00	323594.9960	323595.0041
No. 3	323614.98	323614.9372	323615.0179
No. 4	323634.97	323634.8785	323634.9712
No. 5	323654.90	323654.8197	323654.9044
No. 6	323674.75	323674.7609	323674.7476
No. 7	323694.78	323694.7862	323694.7809
No. 8	323714.68	323714.6433	323714.7141
No. 9	323734.58	323734.5845	323734.5473
No. 10	323754.55	323754.5257	323754.5809
No. 11	323774.03	323774.0264	323773.9305
No. 12	323793.79	323793.7934	323793.7453
No. 13	323813.48	323813.4763	323813.4769
No. 14	323832.25	323832.2495	323832.2481
No. 15	323849.61	323849.6114	323849.5978
No. 16	323868.90	323868.8965	323868.8012
No. 17	323886.46	323886.4639	323886.4201
No. 18	323904.65	323904.6458	323904.6330
No. 18+11	323915.24	323915.2401	323915.1527
평균오차	$t = \frac{[ X ]}{n} = \frac{0.8551}{19} = 0.0450$		

표 3. Y축 좌표

No.	설계좌표(m)	TS(m)	RTK-GPS(m)
No. 1	287842.94	287842.9366	287842.9366
No. 2	287841.34	287841.4074	287841.3147
No. 3	287842.85	287842.9397	287842.8489
No. 4	287844.47	287844.4720	287844.4718
No. 5	287845.94	287846.0043	287845.9047
No. 6	287847.52	287847.5367	287847.4926
No. 7	287849.05	287849.0755	287849.0255
No. 8	287850.60	287850.6013	287850.5584
No. 9	287852.16	287852.1337	287852.1913
No. 10	287853.67	287853.6660	287853.6898
No. 11	287850.18	287850.1785	287850.2434
No. 12	287848.06	287848.0584	287848.0765
No. 13	287851.37	287851.3285	287851.4187
No. 14	287857.97	287857.9663	287857.9747
No. 15	287867.92	287867.8942	287867.9411
No. 16	287870.61	287870.6095	287870.6823
No. 17	287861.19	287861.1890	287861.1977
No. 18	287852.97	287852.9377	287853.0073
No. 18+11	287850.00	287849.9974	287850.0087
평균오차	$t = \frac{[ X ]}{n} = \frac{0.8926}{19} = 0.0470$		

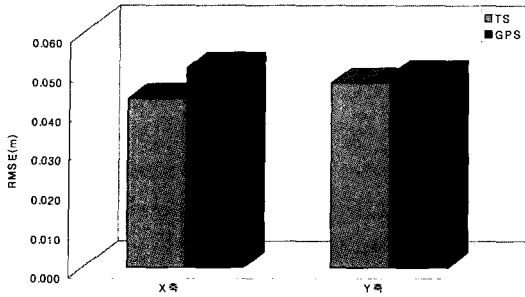


그림 10. TS와 RTK GPS의 RMS

나타났다.

그림 9는 실제 도로설계 도면의 좌표를 이용하여 나타낸 것으로서, 그림 10은 설계 도면 좌표와 관측된 TS, RTK-GPS 관측값의 표준편차를 나타낸 것이다.

#### 4.2 교점 및 원중심좌표 분석

원곡선 반경(R)을 일정하게 부여하여 TS와 RTK GPS

관측값에 대한 교점(IP), 원중심, 시점(BP), 종점(EP)의 좌표 그리고 완회곡선의 parameter(A)를 산출하였으나 전체 값을 모두 나타낼 수 없으므로 교점(IP), 원중심좌표, 반경(R)을 나타내었다.

표 4는 교점(IP) 좌표에 대해 산출된 좌표를 비교한 것으로서, X축 평균오차가 0.21207m이고, Y축 평균오차가 0.20449m로 나타났다. IP 좌표값의 추출에서는 그림 11에서와 같이 X, Y축 좌표별로 0.14m~0.34m, 0.16m~0.23m의 오차가 발생하였으나, 평면선형 좌표와 비교하였을 때 5m 이하로 선형의 양부를 판단하는 선형분석에서 실용성이 있다고 판단된다(문전환, 2000).

표 5는 도로선형 프로그램을 이용하여 반경(R)을 임의로 입력하여 산출된 원중심 좌표에 대해 산출된 좌표를 비교한 것으로서, X축 평균오차가 0.22959m이고, Y축 평균오차가 0.25640m로 나타났다. 표 4의 교점 좌표에 대한 평균 오차와 비교하여 원중심 좌표의 평균오차가 큰 차이는 없다. 그러나 그림 12에서 최소 0.001m에서 최대 0.70m의 차이를 나타내고 있음을 보여주고 있다.

표 4. IP 좌표의 비교

IP No.	Axis	TS(m)	RTK-GPS(m)	Diff.(m)
IP1	X	323588.56730	323588.42890	0.13840
	Y	287840.68283	287840.45880	0.22403
IP2	X	323600.49800	323600.34630	0.15170
	Y	287841.20180	287841.43506	-0.23326
IP3	X	323654.99330	323654.64990	0.34340
	Y	287836.83500	287836.99676	-0.16176
IP4	X	323866.81710	323866.60230	0.21480
	Y	287874.48180	287874.28290	0.19890
평균 오차		$t_x = 0.21207, t_y = 0.20449$		

표 5. 원중심 좌표의 비교

CC No.	Axis	TS(m)	RTK-GPS(m)	Diff.(m)
CC1	X	323592.79077	323592.18739	0.60338
	Y	287880.82107	287880.90068	-0.07961
CC2	X	323600.38004	323600.35191	0.02813
	Y	287781.95061	287781.23484	0.71577
CC3	X	323652.31598	323652.31704	-0.00106
	Y	287887.43553	287887.35415	0.08138
CC4	X	323862.78457	323862.49664	0.28793
	Y	287848.48482	287848.17675	0.30807
평균 오차		$t_x = 0.22959, t_y = 0.25640$		

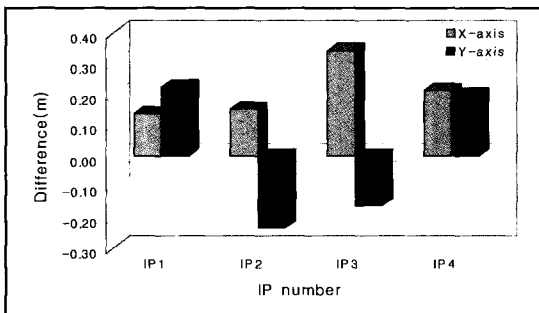


그림 11. IP 좌표의 차이값

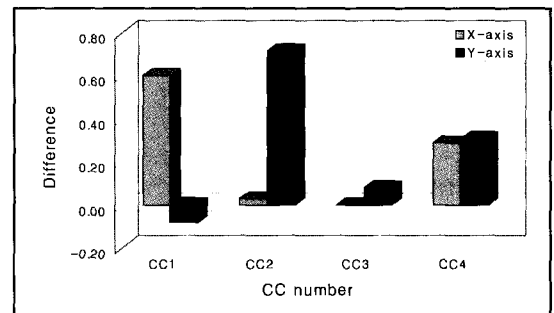


그림 12. 원중심좌표의 차이값

표 6. 토공량 비교

구 분	TS	RTK-GPS
흙깎기	2817.90 m <sup>3</sup>	2838.60 m <sup>3</sup>
흙쌓기	312.00 m <sup>3</sup>	308.00 m <sup>3</sup>
누가토량	2505.90 m <sup>3</sup>	2530.60 m <sup>3</sup>

### 4.3 토공량 분석

도로선형에 대한 분석에서 토공량은 계획고에 따라 달라지므로 큰 의미는 없지만 최종 결과값으로 산출되기 때문에 본 연구에서는 간단히 표 6과 같이 나타내었다.

표 6은 기본값을 동일하게 하여 산출되었고, 토사에 대한 환산계수는 0.9, 리핑암에 대한 환산계수는 1.1, 발파암에 대한 환산계수는 1.28로 하였다. 이처럼 질/성토량에서 TS 결과와 RTK-GPS 결과값이 절토량에서 20.7 m<sup>3</sup>, 누가토량에서 24.7 m<sup>3</sup>의 차이를 보였다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 도로위치정보의 효율적이고 과학적인 관리를 위하여 실시간 동적 GPS에 의한 3차원 위치정보를 취득하여 도로선형 설계요소를 추출하였고, 이를 토대로 절·성토량을 계산한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 실시간 동적 GPS 관측에 의해 도로중심선 선형좌표를 취득하여 실제 좌표와 관측값을 비교한 결과, 두 관측값 모두 평면선형에 대해 X축, Y축 표준편차는 약 5cm 미만

의 차이를 나타내었다.

2. 도로선형의 기본 요소인 설계제원을 RTK-GPS를 활용하여 자료획득을 통해 TS로 관측된 평면선형요소와 비교한 결과, IP점의 X-좌표 차이값의 평균오차는 0.21207m 이고, Y-좌표 차이값의 평균오차는 0.20449m로서 도로선형제원을 재현할 수 있었다.

3. 관측된 자료에 의하여 도로의 선형을 재현하면, 훼손되거나 유실된 도로설계도면의 평면선형을 계산할 수 있으며, IP점의 원중심 좌표에 대한 평균오차는  $t_x = 0.22959m$ ,  $t_y = 0.25640m$ 로 나타났고, 토공량 비교에서는 동일한 계획고로 TS의 토공량과 실시간 동적 GPS 관측값의 토공량은 거의 비슷한 0.98%의 차이를 보였다. 이는 관측방법에 따른 토공량은 차이가 없음을 보여준다.

## 참고문헌

- 문전환 (2000), GPS에 의한 도로의 평면선형분석, 부경대학교 산업대학원 석사학위논문, p. 31.
- 박준 (1998), 평면선형 설계요소에 대한 도로의 안전성 연구, 대구대학교 대학원 석사학위논문, pp. 15-20.
- 유복모 (1999), 지형공간정보체계, 동명사, pp. 1-16.
- 이종출 (2001), 동적 GPS 관측에 의한 도로의 평면선형 분석, 한국측량학회지, 제 19권, 제 1호, pp. 39-45.
- 이종출, 서동주, 허중호 (2000), 최소제곱법에 의한 평면선형 설계제원 산정, 대한토목학회 학술 발표회, pp. 139-142.
- 이종출, 이영대, 서정훈 (2000), GPS에 의한 도로의 평면 선형분석, 대한토목학회 학술 발표회, pp. 553-557.
- 村井 後治 (2002), 空間情報工學, 대한측량협회, pp. 131-161.
- (접수일 2003. 9. 15, 심사일 2003. 11. 27, 심사완료일 2003. 12. 22)