공 학 석 사 학 위 논 문

GPS/GLONASS를 이용한 도로의 평면선형추출 정확도 향상에 관한 연구

지도교수 이 종 출

이 論文을 [illegible] 學位論文으로 提出함

2002年 8月

부 경 대 학 교 산 업 대 학 원

토 목 공 학 과

박 상 욱

박상욱의 공학석사 학위논문을 인준함

2002년 6월 22일

주 심 공학박사 김 명 식

부 심 공학박사 정 두 희

부 심 공학박사 이 종 출

목 차

목차 i
표목차 iii
그림목차 iv

Abstract v

제 1 장 서 론 1
1.1 연구의 배경 및 목적 1
1.2 연구범위 1
1.3 연구방법 2
1.4 연구연혁 2

제 2 장 설계 이론 검토 4
2.1 평면선형의 구성요소 4
2.2 직선 설계요소 4
2.3 원곡선 설계이론 5
2.4 완화곡선의 설계이론 12

제 3 장 GPS 및 GLONASS 기본이론 20
3.1 GPS 기본이론 20
3.2 GLONASS 기본이론 27

제 4 장 현장관측 30

4.1 관측대상위치 30

4.2 관측장비 31

4.3 관측시스템 32

제 5 장 관측결과 및 분석 34

5.1 관측결과 34

5.2 분석 37

제 6 장 결 론 40

참고문헌 41

표 목 차

표 1. 직선구간의 제한길이 4
표 2. 최소 평면곡선반경 6
표 3. 최소곡선반경 6
표 4. 곡선부 최대편경사 9
표 5. 평면곡선의 최소곡선길이 11
표 6. 완화곡선의 최소길이 13
표 7. 도로의 등급에 따른 최소허용 파라미터(A)값 17
표 8. 설계속도에 따른 클로소이드 파라미터(A)의 최소값 18
표 9. 완화곡선을 생략할 수 있는 원곡선 반경 19
표 10. 관측장비의 제원 31
표 11. 관측결과 35
표 12. 관측결과의 비교 38

그 림 목 차

그림 1. 평면곡선부 주행시의 원심력 7
그림 2. 편경사와 곡률반지름사이의 관계 10
그림 3. 자동차의 완화주행, 곡선반경과 주행궤적 14
그림 4. 완화곡선의 이정량 18
그림 5. GPS의 궤도 및 위성 20
그림 6. GPS 관측방법 종류 23
그림 7. GLONASS의 궤도 및 위성 27
그림 8. 관측현장의 평면도 30
그림 9. 관측현장의 전경 31
그림 10. 관측시스템의 구성 32
그림 11. 수신기와 일체화된 차대모식도 33
그림 12. 도로선형의 관측모습 33
그림 13. 비교방법 34
그림 14. X방향 오차 37
그림 15. Y방향 오차 37
그림 16. 수평위치정밀도의 비교 38
그림 17. 데이터 취득율의 비교 39

A study of Improving Accuracy of Horizontal Alignment with GPS/GLONASS in Highway

Sang-Wook Park

Department of Civil Engineering

Graduate Schol of Industry

Pukyong National University

Abstract

Highways form the bones of a country, are the main power of a national economy and industrial development, and play a leading role in securing national competitiveness.

Most car accidents are due to alignment defects in roads. It is the duty of a nation to maintain safe environments for car driving by eliminating defective alignment elements, which cannot satisfy design requirements. In order to determine highway alignments, it is necessary to obtain 3 dimensional tracks of centerlines. For this purpose, using GPS may be an efficient means when compared to other methods. And, due to the fact that car navigation systems use GPS, it will produce the same positioning data, and be convenient to use. There are many applications using this positioning system. There has been research about positioning cars on highways using DGPS and car modeling using the GPS system, and analyzing horizontal alignments of roads using RTK GPS. Though the 3 dimensional tracks of centerlines can be obtained by using GPS, the GPS/GLONASS combination will give more accurate results when there are obstacles, and there is some research on the kinematic positioning of cars using DGPS/DGLONASS.

In this research, an approaching method was suggested to use more efficiently and practically the alignment system of roads obtained by using satellites, by comparing positioning values obtained by a GPS/GLONASS combination with values in existing drawings for their positioning accuracies, and to evaluate horizontal alignment restructured

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

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

그러나, 국토가 좁고 산악지역이 많은 우리 나라에서는 하나의 도로가 계획에서부터 완공되기까지는 많은 어려움을 가지고 있으며, 이렇게 완공된 도로를 유지 및 관리하는데도 많은 어려움점을 안고 있다.

그 중에서 도로를 유지 및 관리하기 위하여 도로의 선형을 재래적인 측량방식으로 선형을 재현하는데에는 많은 시간을 요구하게 된다.

따라서 본 연구에서는 현재 도로 및 교통분야에서도 많이 이용하고 있는 인공위성인 미국에서 개발한 GPS(Global Positioning System) 위성과 러시아에서 개발한 GLONASS(GLObal NAvigation Satellite System)를 조합하여 측위된 3차원 자료를 기존 설계도의 제원을 근거로 하여 위치정밀도를 비교하며, 이에 재현된 도로의 선형을 평가함으로써 인공위성을 이용한 도로의 선형체계를 보다 효율적이고 실용적으로 유지 및 관리하기 위한 접근방법으로 제시하고자 한다.

1.2 연구범위

본 연구에서는 관측대상 도로의 중심선좌표를 실시간으로 GPS와 GLONASS를 조합에 의해 측위된 3차원 좌표를 이용하여 RTK GPS와 RTK GPS/GLONASS 조합에 의한 수평위치 정확도를 비교 검정하였고, 두 측위별로 자료 취득율을 분석하여 평면선형추출에 대한 정확도 향상에 관한 연구를 범위로 하였다.

1.3 연구방법

본 연구에서는 관측대상도로의 평면선형궤도를 실시간으로 GPS 및 GPS/GLONASS를 조합하여 측위하여 선형을 나타내어 각각에 대한 수평위치오차와 자료취득율을 분석하여 평면선형추출에 대한 정확도를 분석하고자 한다.

1.4 연구연혁

도로상에서 발생되는 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 Data로 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 Data를 취득하므로 이용면에서는 편리하다.

이러한 측위 시스템을 이용하여 여러 방면의 응용분야에 응용되고 있다. 특히 DGPS에 의한 도로의 차량위치결정[1]과 GPS 시스템에 의한 차량의 모델링 연구가 진행되고 있으며[2], RTK GPS에 의한 도로의 평면선형을 분석도 연구된 바가 있다.[3] GPS에 의하여 도로 중심선의 3차원 궤적을 Data로 취득할 수 있으나, 장애물의 지장을 받는 경우에는 GPS/GLONASS 조합에 의하여 Data를 취득하면 더욱 정확하며[4], DGPS/DGLONASS에 의한 차량의 동적위치결정도 연구되고 있다.[5]

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 선형을 평가함으로써 인공위성을 이용한 도로의 선형체계를 보다 효율적이고 실용적으로 사용하기 위한 한 접근방법을 제시하고자 한다.

2. 설계 이론 검토

2.1 평면선형의 구성요소

도로의 평면선형은 경제적·지형적 여건이 허락하는 한도 내에서 주행의 안전, 쾌적 및 연속성을 고려하여야 하며, 그 도로의 설계속도에 따라 자동차가 주행하기에 무리가 없도록 직선, 원곡선, 완화곡선으로 구성되어야 한다. 이 세 가지 요소는 적절한 길이 및 크기로, 연속적이며 일관성 있는 흐름을 갖도록 하여야 한다.

2.2 직선 설계요소

직선은 점간을 최단거리로 연결할 수 있기 때문에, 과거에는 직선이 최선의 것으로 생각하고 곡선은 장애물을 피하려는 경우에만 적용시키는 것이라 생각되어 왔다.

그러나 직선은 지형에 조화시키기가 어렵고 운전자는 그 단조로운 연속성에 주의력과 집중력이 저하되어 사고 발생의 원인이 되기도 한다.

표. 1 직선구간의 제한길이

설 계 속 도(km/hr)		120	100	80	60	50	비 고
최 대 길 이(m)		2,400	2,000	1,600	1,200	1,000	설계속도의 20배
최소 길이 (m)	반대방향으로 굴곡하는 곡선 사이에 삽입되는 직선	240	200	160	120	100	설계속도의 2배
	같은 방향으로 굴곡하는 곡선사이에 삽입되는 직선	720	600	480	360	300	설계속도의 6배

직선을 적용하는 경우 우리 나라에서는 이에 대한 연구 결과가 없고, 독일의 구조지침「R.A.L」에서 표. 1과 같이 규정하고 있다.

표. 1에서의 최대길이란 설계속도를 약 70초간 주행한 거리(V×70/3600×1000≒20·V(m))인데, 이는 모두 경험에 의한 것이므로 지형의 상황변화에 따라 설계자가 결정하여야 할 것이다.

2.3 원곡선 설계이론

곡선을 적용할 때는 지형에 맞도록 설계하되 될 수 있는 한 충분한 반경의 곡선을 써야 하나, 우리 나라와 같이 산악이 많고 험준한 지역에서는 곡선부의 반경을 충분히 취하지 못하는 경우가 많다.

도로 위를 주행하는 차량이 물리적으로 안전을 유지하기 위해서는 원곡선의 곡선반경 및 완화곡선의 매개변수 값이 클수록 좋다고 할 수 있으나, 지형에 맞도록 적절히 조화시키고, 경제성을 고려하여 필요 이상의 큰 값을 적용할 수는 없는 실정이다.

1) 곡선의 적용

곡선은 지형조건에 따라 가능하면 크게 취하는 것이 좋겠지만 운전자가 직선과 구별조차 할 수 없을 정도로 큰 곡선반경을 쓴다는 것은 아무런 의미가 없다. 따라서, 최대곡선 반경은 대략 10,000~15,000m정도 이하로 하며, 독일의 규정은 9,000m 이다.

2) 평면곡선반경

차도의 곡선부의 곡선반경은 클수록 도로선형은 양호하나, 지형 여건상

크게만 하는 경우 도로선형의 전체적인 균형이 잡히지 않고, 경제성이 결여될 수도 있다. 따라서 자동차의 물리적 운동이 안전을 유지할 수 있는 범위 내에서 최소값을 정해두고, 최소값 이상 적용할 수 있는 경우에는 지형 여건에 적합하게 전체적인 균형이 유지되도록 설계함이 이상적이라 할 수 있다. 현재 우리 나라의 경우에서는 표. 2에서 나타낸 설계속도에 따른 최소곡선반경을 적용하여 도로설계를 하고 있다.

표. 2 최소 평면곡선반경

설계속도(km/h)	최소곡선반경(m)		
	적용 최대 편경사		
	6%	7%	8%
120	710	670	630
100	460	440	420
80	280	265	250
70	200	190	180
60	140	135	130
50	90	85	80
40	60	55	50
30	30	30	30
20	15	15	15

표. 3 최소곡선반경

설계속도	130	120	110	100	90	80	70	60	50	40	30
최소곡선반경	1,200	900	600	400	320	260	200	150	100	70	40

한편, 국외의 규정을 살펴보면 HDM에서는 시거 요인을 무시한 설계속도에 따른 최소곡선반경을 표. 3과 같이 제시하고 있으며, 특히 고속도로(Express, Highway)에서의 최소곡선반경은 지방지역에서 1,500m, 도시지역에서 900m로 추천하고 있다.

설계에 적용되고 있는 최소곡선반경은, 도로의 곡선부를 주행하는 자동차에 가해지는 원심력 등의 횡방향력이 타이어와 노면간의 마찰에 의해서 주어진 횡방향 저항력의 한도를 초과하지 않도록 한다는 취지의 주행 쾌적도의 양부를 고려해서 산정하고 있다. 곡선부 주행시에 작용하는 힘은 그림. 1과 같다.

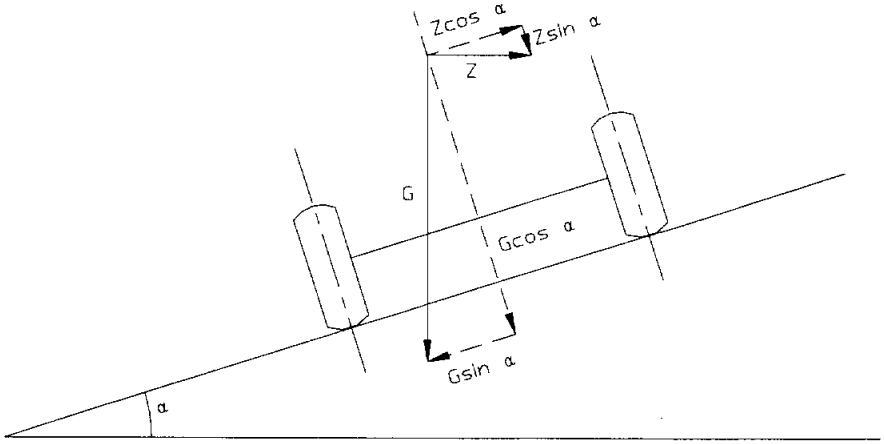


그림. 1 평면곡선부 주행시의 원심력

그림. 1에서 원심력은 식(2.3.1)과 같다.

$$Z=\frac{G}{g}\times\frac{v^2}{R} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.3.1)$$

여기서, Z : 원심력(kg), G : 자동차의 총중량(kg)

g : 중력가속도(≒9.8m/sec^2), v : 자동차의 속도(m/sec)

R : 곡선반경(m)

여기서, 자동차가 미끄러져 나가지 않기 위한 조건식은 식(2.3.2)와 같다.

$$Z\cos\alpha - G\sin\alpha \leq f(Z\sin\alpha + G\cos\alpha) \cdots (2.3.2)$$

여기서, α : 노면의 경사각

f : 횡방향미끄럼에 대한 노면과 타이어간의 마찰계수
(횡방향 미끄럼 마찰계수)

식(2.3.2)를 정리하면 식(2.3.3)과 같다.

$$Z - G\tan\alpha \leq f(Z\tan\alpha + G) \cdots (2.3.3)$$

식(2.3.3)에서 노면의 횡단구배(편구배) $\tan\alpha = i$를 대입하면 식(2.3.4)와 같이 된다.

$$Z - Gi \leq f(Zi + G) \cdots (2.3.4)$$

3) 평면곡선부의 편경사

자동차가 도로를 주행하는 경우 원심력에 대하여 충분히 안정된 주행을 위해서는 편경사를 크게 취해야 하지만, 주행속도가 설계속도보다 작은 경우 편경사로 인하여 핸들을 강제로 조작하게 되고, 횡방향 활동에 대응하기 위하여 너무 큰 값의 편경사를 둘 필요가 없고, 시공성 및 유지관리 측면에서 편경사는 8%를 넘지 않는 것이 적당하다.

우리 나라와 같이 하절기에는 다우다습한 기상조건하에서 우수에 의하여 횡방향 미끄러짐이 사고의 원인이 되는 사고도 예상되고, 도로가 한냉지대에 위치하는 경우에는 노면 동결의 영향도 고려할 필요가 있으므로, 지방지역도로에 대하여서는 적설, 한냉의 정도가 격심한 지역은 최대 편경사값을 낮출 필요가 있다. 지역에 따른 편경사는 표. 4와 같다.

표. 4 곡선부 최대편경사

구 분		최대편구배(%)
지 방 지 역	적설 한냉지역	6
	기 타 지 역	8
도 시 지 역		6

여기서, 곡선반경과 편경사와의 관계는 기상조건 등을 고려한 최대편경사값과 설계속도에 따른 최소곡선반경이 정해지면, 당해 최소곡선반경에 대해 어느 정도의 편경사를 붙일 것인가를 정해야 한다.

식(2.3.4)에 식(2.3.1)의 Z값을 대입하면

$$\frac{Gv^2}{gR} - Gi \leq f(\frac{Gv^2}{gR} i + G) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.3.5)$$

각항을 G로 나누면,

$$\frac{v^2}{gR} - i \leq f(\frac{v^2}{gR} i + 1) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.3.6)$$

(2.3.6)식을 정리하면,

$$v^2 \leq gR(\frac{f + i}{1 - fi}) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.3.7)$$

여기서, f_i는 미소하므로 무시하고 정리하면

$$v^2 \leq gR(f + i) \quad \text{or} \quad R \geq \frac{v^2}{g(f + i)} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.3.8)$$

설계속도 V(km/hr)로 나타내고, g=9.8m/sec^{2}을 대입하면,

$$V^2 \leq 127R(f + i) \quad \text{or} \quad R \geq \frac{V^2}{127(f + i)} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (2.3.9)$$

윗 식에서 속도가 일정할 경우 (i+f)의 값과 곡률(1/R)은 정비례하고 있다. 따라서, 곡률에 대응하는 (i+f)의 값에서 곡률반경과 편경사의 관계를 결정하는 것이 용이하게 되고, 곡률에 대응하는 (i+f)의 값을 어떻게 배분할 것인가에 대해서는 안전성과 쾌적성을 고려하여 결정하게 되는데 이에는 몇 가지 방법이 있다. 이러한 방법에 의해 표준치를 계산식으로 구하면 그림. 2와 같다.

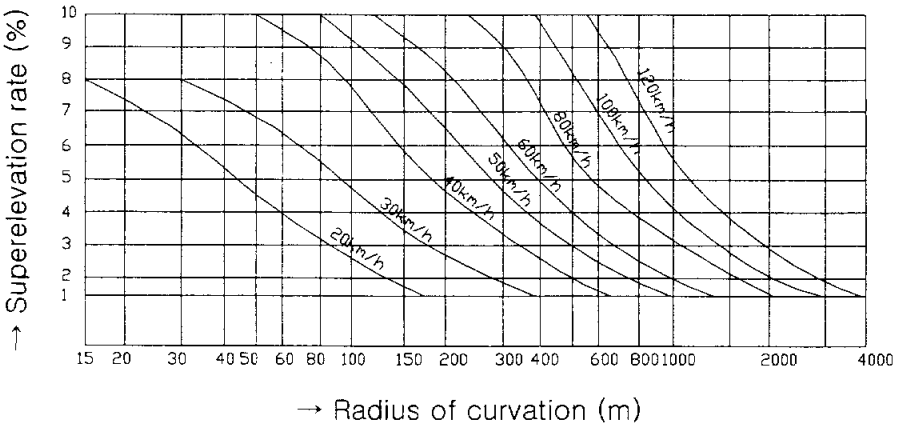


그림. 2 편경사와 곡률반지름사이의 관계

4) 평면곡선의 길이

자동차가 곡선부를 주행할 경우 곡선부의 길이가 짧으면 차내의 사람은 횡방향의 충격을 받게되어 고속일 경우 위험을 초래한다. 따라서 다음 조

건을 감안하여 최소곡선길이를 정한다.

① 운전자가 핸들조작에 곤란을 느끼지 않을 것.

② 곡선의 변화에 의한 원심가속도의 변화율을 어떤 값 이하로 할것.

③ 교각이 작은 경우 곡선반경이 실제보다 작게 보이는 착각을 막을 정도의 길이로 할 것.

평면곡선최소길이에 대한 국내외 설계기준과 비교해 보면 표. 5와 같다.

표. 5 평면곡선의 최소곡선길이

설계속도(km/hr)	도로의 구조시설 기준(m)		AASHTO
	도로교각 5° 이상	도로교각 5° 이하	
한계도로교각(θ)	5°		5°
120km/hr	140m	700/θ	360m
100km/hr	110m	550/θ	300m
80km/hr	90m	450/θ	240m
설계속도주행시간(초)	4초		설계속도의 3배
설계속도	일본 도로구조령의 해설과 운용		R A S
	도로교각 7° 이상	도로교각 7° 이하	도로교각
한계도로교각(θ)	7°		6° - 20°
120km/hr	200m	1400/θ	원곡선 길이 65m
100km/hr	170m	1200/θ	원곡선 길이 55m
80km/hr	140m	1000/θ	원곡선 길이 45m
설계속도주행시간(초)	6초		2초

주) 1. θ는 도로교각의 값(°)으로 2° 미만인 경우에는 2° 로 한다.

2. 도로교각이 5° 이상인 경우는 최소완화구간길이의 2배가 되며 5° 미만인 경우에는 최소완화구간길이의 10배를 그 교각으로 나눈 값이다.

2.4 완화곡선의 설계이론

자동차가 직선부에서 곡선부로 들어가게되면 도로의 곡률이 0에서 어떤 값으로 급격히 변화하기 때문에 원심력에 의해서 횡방향의 힘을 급격히 받는다. 이 힘의 크기는 차량의 속도와 곡선의 곡률에 의해 생기며, 이 영향은 차량의 운행을 불안정하게 하는 동시에 승객에게는 불쾌감을 준다. 이처럼 급격히 가해진 힘을 없애기 위하여, 곡률을 0에서 조금씩 증가시켜 일정한 값에 이르게 하기 위하여 직선부와 곡선부의 사이에 차량 운행이 불안정하거나 승객에게 불쾌감을 주지 않는 곡선을 넣는데, 이것을 완화곡선이라 한다.

이러한 완화구간의 설치목적은 곡률의 변이, 횡단경사의 변이, 폭원의 변이 등을 완화하기 위한 것이라 할 수 있다.

1) 완화곡선 및 완화구간의 길이

① 설계속도 80km/hr이상의 도로에서는, 핸들조작시 발생되는 매우 근소한 착오라도 될 수 있는 한 빨리 원상복귀 시킬 수 있는 주행시간의 길이만큼 완화곡선을 설치하여 운전자의 주행을 자연스럽게 유도할 수 있어야 한다. 80km/hr미만의 도로에서는 완화곡선을 설치하지 않을 경우, 곡선부의 편경사 및 확폭을 접속 설치할 수 있도록 직선구간과 원곡선구간을 직접 연결하는 완화구간을 두어야 한다.

② 핸들 조작에 곤란을 느끼지 않고 주행할 수 있는 곡선부의 주행시간을 「도로의 구조·시설기준에 관한 규칙 해설 및 지침」에서는 4초로 규정하고 있으며, 이는 최소 완화곡선 길이의 두 배이다. 주행시간을 2초로하고 식 (2.4.1)을 이용하여 최소완화곡선 길이를 계산하면 표. 6과 같다.

표. 6 완화곡선의 최소길이

설계속도(km/hr)	120	100	80	70	60	50	40	30	20
최소길이(m)	70	60	50	40	35	30	25	20	15

$$L = vt = \frac{V}{3.6} t = \frac{V}{1.8} (m) \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.4.1)$$

여기서, L : 완화곡선길이(m)

t : 주행시간(2초)

v : 주행속도(m/sec)

V : 주행속도(km/hr)

2) 자동차의 완화주행 궤적

자동차가 직선상을 주행하다 곡선주행으로 전환할 때에는 핸들조작상 회전반경이 무한대에서 일정한 값으로 될 때까지에 어떤 특별한 형태의 곡선주행을 하게 된다. 이를 완화주행이라고 부르며 그때 주행궤적은 그림. 3과 같다. 그림. 3에서 자동차의 회전각속도 w는 식(2.4.2)와 같다.

$$\text{자동차의 회전각속도 } w = \frac{d\theta}{dt} = \frac{d\theta}{ds} \cdot \frac{ds}{dt} = \frac{v}{R} \cdots\cdots (2.4.2)$$

여기서, v : 주행속도

R : 주행궤적상 임의점에서의 곡선반경

θ : 회전각속도

식 (2.4.2)에서 주행속도 v가 일정하다고 하면 w'는 식(2.4.3)으로 나타낼

수 있다.

$$w' = \frac{dw}{dt} = \frac{d}{dt}(\frac{\theta}{dt}) = \frac{d}{dt}[\frac{v}{R}] \cdots\cdots\cdots\cdots (2.4.3)$$

$$= \frac{d}{dt}[\frac{v}{S/\tan\Phi}] = \frac{v}{S}\sec^2\Phi\frac{d\Phi}{dt}$$

단, $R = \frac{S}{\tan\Phi}$ 이다.

직선주행에서 곡선주행으로 전환하는 자동차가 쾌적성을 유지하려면 회전각가속도가 일정해야 한다는 가정 하에 그 궤적을 구해보면 다음과 같다.

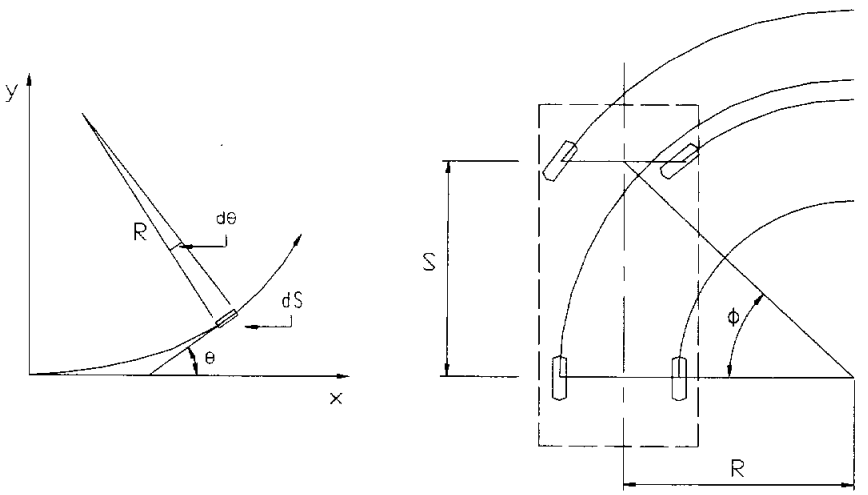


그림. 3 자동차의 완화주행 , 곡선반경과 주행궤적

$$w' = \frac{S}{b}\sec^2\Phi \cdot \frac{d\Phi}{dt} = k(\text{일정}) \cdots\cdots\cdots\cdots (2.4.4)$$

이를 풀면,

$$\tan\Phi = \frac{k \cdot S}{v} t + C \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.4.5)$$

$t=0$ 에서 $\tan\Phi = 0$ 이므로 $C = 0$

$$\therefore \tan\Phi = \frac{k \cdot S}{v} t \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.4.6)$$

따라서,

$$\frac{1}{R} = \frac{k}{v} t \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.4.7)$$

곡선의 시점에서 주행길이를 L이라 하면

$$t = \frac{L}{v}, \text{ 이므로 } \frac{1}{R} = \frac{kL}{v^2} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.4.8)$$

여기서, $\frac{v^2}{k} = C$ 라 놓으면

$$R \cdot L = C \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.4.9)$$

3) 클로소이드 곡선

등속도로 주행하고있는 자동차의 핸들을 등각속도로 회전시켰을 때의 주행궤적을 클로소이드곡선이라고 한다. 일종의 스파이럴(나선형)이다.

따라서 클로소이드곡선의 반경은 무한대로부터 연속적으로 변화하여 서

서히 작아져가고 클로소이드에서의 곡선길이L과 그 점에 있어서의 반경 R과는 반비례한다.

즉,

$$R \cdot L = C \text{ (일정)} \cdots\cdots\cdots\cdots (2.4.10)$$

클로소이드 곡선상의 임의점 P_1, P_2에 대한 곡선반경을 R_1, R_2 또 클로소이드 시점에서의 곡선길이를 L_1, L_2로 하면

$$L_1 \times R_1 = L_2 \times R_2 = C \cdots\cdots\cdots\cdots (2.4.11)$$

윗 식의 양변에 단위의 차원을 맞추기 위해

$$C = A^2 \text{ 로 하면, } L \times R = A^2 \cdots\cdots\cdots\cdots (2.4.12)$$

이것이 클로소이드 기본식이다. 이 "A"를 클로소이드의 파라미터라 하며, 길이의 차원을 갖고 원의 반경의 개념을 갖는다. 원의 반경이 커지고 원활한 곡선이 되도록 파라미터가 커지면 클로소이드 곡선 전체가 커다란 곡선이 된다. 일정속도로 주행하고 있는 자동차의 핸들을 천천히 돌리면 자동차의 주행궤적은 크고 파라미터가 큰 클로소이드 곡선이 되고, 핸들을 빠르게 회전시키면 파라미터가 작은 클로소이드 곡선이 된다. 또, 일정 각 속도로 핸들을 회전시킬 경우는 주행속도가 빠를 수록 파라미터가 커지고 늦을수록 작아진다. 다시 말해서 설계속도가 큰 도로평면선형에는 커다란 파라미터가 사용하여야 한다.

(4) 완화곡선의 적용

완화곡선의 "A" 의 크기는 접속하는 반경에 대하여 다음과 같은 관계에 있을 때 조화가 이루어지고 시각적으로 원활한 선형이 된다.

$$R/2 \leq A \leq R \quad (R \leq 1{,}500M\text{의 경우})$$
$$R/3 \leq A \leq R \quad (R > 1{,}500M\text{의 경우})$$

위 식에서 좌반부는 시각상 클로소이드를 인식할 수 있는 최소값이며, 우반부는 안전상의 한계라고 말할 수 있다.

도로의 등급에 따라 최소허용 파라미터(A)는 표. 7과 같다.

표. 7 도로의 등급에 따른 최소허용 파라미터(A)값

구 분(m) / 설계속도(km/hr)	고속도로	고속도로 국 도	국 도 지방도	기 타
120	325	280		
100	250	210		
80	180	150	140	
60	120	100	90	80
50	90	75	70	60
40	70	55	50	40
30			35	35
20			20	15

독일의 도로 선형설계지침인 「RAS-L-1」에서는 설계속도에 따라 표. 8과 같이 클로소이드 "A" 의 최소값을 규정하고 있다.

표. 8 설계속도에 따른 클로소이드 파라미터(A)의 최소값

설 계 속 도(km/hr)	min A (m)
40	30
50	50
60	70
70	90
80	110
90	140
100	170
120	270

5) 완화곡선의 생략

완화곡선을 생략해도 자동차의 운행에 지장을 주지 않는 이정량을 한계 이정량이라 한다.

한계 이정량은 최소 완화곡선 길이를 적용할 경우 0.2m정도 이내이며 주행역학상 문제가 없는 것으로 알려져 있다.

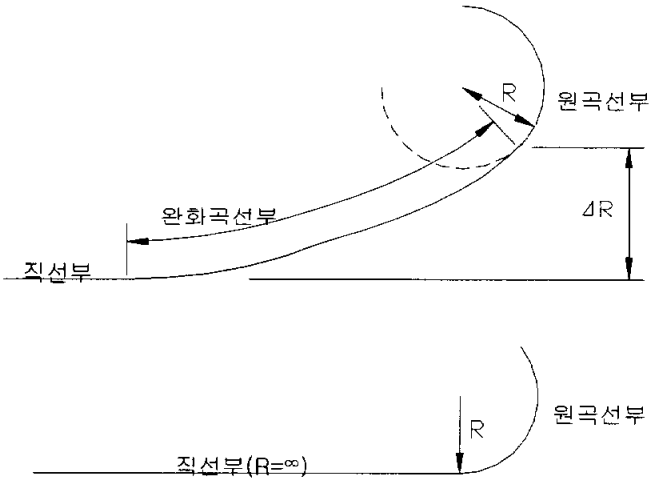


그림. 4 완화곡선의 이정량

$$S=\frac{1}{24}\cdot\frac{L^2}{R} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.4.13)$$

여기서, S : 이정량(m)

L : 완화구간의 길이(m)

R : 곡선반경(m)

따라서, S=0.2m인 평면곡선반경을 완화곡선 설치의 한계 평면곡선반경으로 할 수 있다. 식 (2.4.1)와 식 (2.4.13)의 관계에서 완화곡선의 길이 L을 소거하면,

$4.8R = (V^2/1.8)$

$\therefore R = 0.064V^2 \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2.4.14)$

표. 9 완화곡선을 생략할 수 있는 원곡선 반경

원곡선반경 (m) / 설계속도 (km/hr)	도로의 구조 시설 기준	AASHTO	일본 도로 구조령의 해설과 운용	RAS	
120	3,000	-	4,000	>80	3,000(2,000)
100	2,000	-	3,000		
80	1,500	-	2,000	≤80	1,500(1,000)
60	1,000	-	1,000		

3. GPS 및 GLONASS 기본이론

3.1 GPS 이론

GPS가 어떤 원리로 작동되는가를 이해하는 것은 개념적으로 매우 단순하다. 근본적으로 GPS는 삼각측량의 원리를 사용하는데 전형적인 삼각측량에서는 알려지지 않은 지점의 위치가 그 점을 제외한 두 각의 크기와 그 사이 변의 길이를 측정함으로 결정되는데 반해 GPS에서는 알고 싶은 점을 사이에 두고 있는 두 변의 길이를 측정함으로 미지의 점의 위치를 결정한다는 것이 고전적인 삼각측량과의 차이점이라고 할 수 있다.

근본적으로 GPS는 미지의 위치에 가지고 있는 지상측점에서 위치한 수신기로부터 정확하게 알고 있는 궤도를 선회하는 GPS 위성까지의 거리를 측정함으로써 작동한다. 그러므로 GPS 측량은 미지 측점에서부터 여러 기준점까지 EDM(Electronic Distance Measurement)기계를 사용하여 거리를 측정하는 재래적인 후방교회법과 비슷하다. 그림 5는 GPS의 궤도 및 위성을 나타낸다.

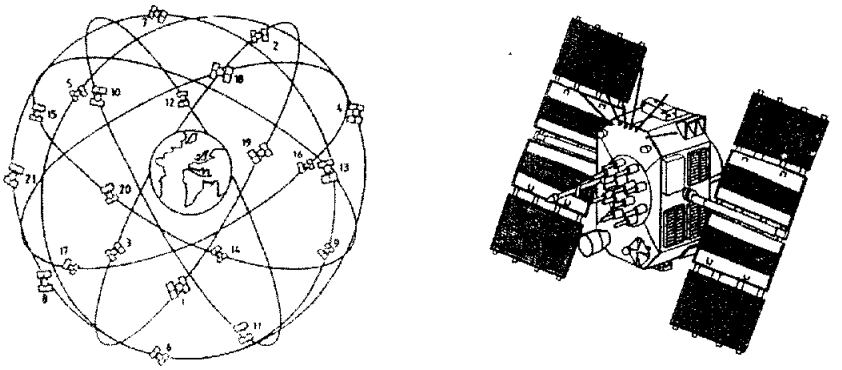


그림. 5 GPS의 궤도 및 위성

3.1.1 GPS 관측원리

GPS 위성은 모두 24개의 위성(예비위성 6개 포함)으로 구성되는데 이 위성들은 고도 20,183km 상공에서 3.9km/sec의 속도로 회전한다. 그리고 각각의 위성은 두 개의 반송파를 통하여 독특한 전자 신호를 연속적으로 제공하고, 이 반송파는 PRN(Pseudo-random noise codes : 무작위추출 소음 부호)코드로 변조되어 있다. PRN 코드는 반송파 위에 포개어져 독특한 연속적인 이진값(0, 1)으로 구성되어 있다. 반송파와 PRN 코드의 주파수들은 기지값에서 매우 정확하게 제어된다.

관측거리는 전송된 위성신호 관측에 의한 GPS 측량에서의 의사거리에 의한 위치결정과 반송파 측정에 의한 위치결정에 의하여 이루어지고, 의사거리 위치결정은 정확한 시간측정에 의한 위성과 수신기 사이의 측정 거리이다. 그것은 위성에서 지상 수신기까지의 이동에 대한 전송된 신호를 획득하는 것이고, 시간은 위성 전송기에서 수신기 안테나까지 이동되는 신호를 획득하는 동안에 발생하는 PRN 코드에서의 변화를 측정하여 행하여졌다. 그때 PRN 코드의 기지 주파수까지 매우 정확한 이동시간이 측정되고, 신호의 속도와 이동시간을 알고 있다면, 거리는 계산될 수 있으며, 거리에 근거한 지상 측점위치도 계산될 수가 있다. 의사거리가 PRN 코드 관측에 근거하기 때문에, 이 GPS 관측기법은 종종 코드 관측 과정으로 언급된다.

반송파 진행과정에서, 관측된 위상 변화량은 위성에서 수신기까지 이동되는 반송파의 결과로서 발생하는 위상 변화이다. 그 원리는 EDM위상 전환과 비슷하다. 그러나 중요한 차이는 위성이 이동한다는 것이다. 그래서 신호가 실제 위상전환측정으로 전달되어 전이되지 못한다는 것이다. 대신에, 위상전환은 수신기에서 측정되어진다. 그러나 실제 위상전환측정을 하기 위해서는 위성과 수신기에서의 시간이 완전하게 일치될 것이 요구되나, 이것은 어렵다. 그리고 이러한 시간문제를 해결하고 시스템에서의 다른 오

차를 소거하기 위해서는 차분법(위상측정 사이의 차이를 획득)이 사용된다. 여러 차분 과정이 적용될 수도 있지만, 한 수신기로 동시에 두 위성을 측정하는 단차분은 수신기 시간 오차를 소거할 뿐만 아니라 두 개의 지상 수신기에서 동시에 한 위성까지 측정하는 단차분은 위성시간오차를 제거한다.

이중차분(두 수신기에서 두 위성까지 동시 측정의 결과로 추출되는)은 수신기와 위성 시간 오차 및 다른 시스템 오차를 소거하는 것이다. 반송파 측정에서의 다른 문제는 반송파의 마지막 주기의 위상전환으로 측정되고, 이동 거리에서는 전체 주기의 수가 미지값이라는 것이다. 다시, 위성이 이동하기 때문에, 이것은 GPS 작업에서 행해질 수는 없다. 그러나 삼중차분법이라 불리는 차분법을 적용하면 주기수를 제거하는 애매함이 해결된다. 삼중차분법은 이중차분법 결과의 차이로 구성되어 있으므로 두 위성에서 두 측점까지 또는 두 개의 다른 시간에서의 측정이 포함된다.

실제로, 측량이 반송파를 측정하여 행하여 졌을 때, 4개 또는 그 이상의 위성이 정상적으로 지상 측점에 위치한 2개 또는 그 이상의 수신기를 사용하여 연속적으로 측정된다. 또한 측정은 많은 시간에 반복되었고, 이것은 계산될 수 있는 많은 조합으로 잉여 측정의 매우 큰 수를 산출한다.

두 개의 GPS 측정 과정 중, 의사거리측정은 약간 낮은 등급의 정확도를 산출하지만, 그것은 만족스러운 정확도의 연속점의 위치를 나타내기 때문에 항법이용에 오히려 좋다. 반송파 기법은 더 높은 정확도를 산출하고, 고정밀도 측량 적용에 선택한다.

위에서 간단하게 설명된 반송파 측정에 사용된 차분법은 수신기에 사용된 점에 대해 정확하게 위치를 산출하지 못하고 반대로 기선(측점 사이의 벡터 거리)이 측정된다. 이들 기선은 실제로 그들의 좌표차인 요소 ΔX, ΔY, ΔZ에 대해 계산되는데 이들 좌표차들은 기준 3D 직각 좌표계에서 측정되었다.

GPS에 의한 3차원 관측법은 그림. 6과 같이 단독측위법과 상대측위법으

로 구분할 수 있으며, 단독측위법은 위성으로부터 수신기까지의 거리를 결정하는 방법에 따라 의사거리관측법(Pseudo-range positioning), 위상관측법(Phase-range positioning), 도플러관측법(Dopler positioning) 등으로 구분하며 주로 실시간 관측에서 사용된다.

그리고 상대측위법은 크게 정적관측방법 및 동적관측방법으로 나누어지고, 정적관측방법에는 정지관측법(Static) 및 급속정지관측법(Rapid static)으로 되어있다. 또, 동적관측방법에는 의사동적관측법(Pseudo kinematic)과 실시간동적관측법(Realtime kinematic)으로 되어 있다. 이들 관측 방법은 반송파의 위상차 측정과 상대측위방법에 근거한 것이다. 이때, 수신기 사이의 거리는 기선이 되며 관측한 결과로는 3차원 직각 좌표의 좌표차인 ΔX, ΔY, ΔZ가 계산된다.

본 연구에서는 실시간 동적관측법으로 관측하였다.

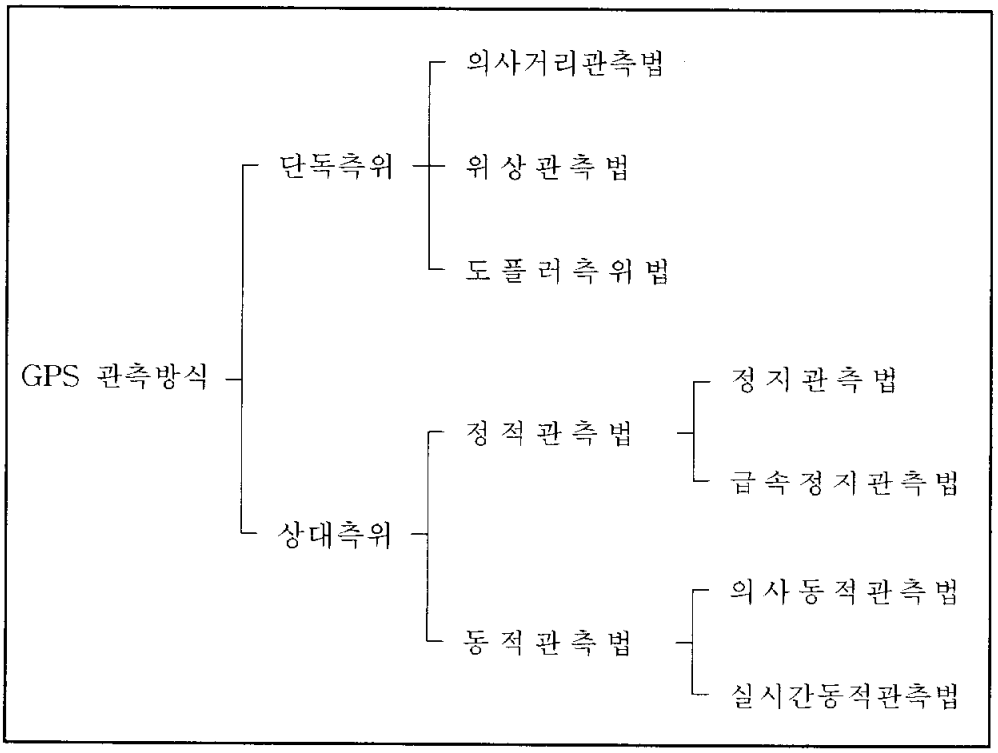


그림. 6 GPS 관측방법 종류

3.1.2 정지관측법

정지관측 방법은 운반파의 위성을 이용하여 기선해석을 실시할때 시간 경과에 따라 변화하는 위성의 위치정보를 이용하여 불확실정수(Integer ambiguity)가 결정되며, 2개 또는 그 이상의 수신기가 사용되며, 1대의 수신기는 기지점에, 다른 수신기들은 미지점에 설치하여 측량을 시행한다.

양 측점에서 동시에 4대 이상의 위성신호를 1시간이상 수신해야 하는데, 기선길이가 클수록 관측시간을 증가시킨다. 관측중에 수신이 중단 되어도 기선해석에서 사이클슬립(Cycle slip)을 소거할 수 있으며, 관측 후 자료처리는 수신기의 내장메모리에 저장된 자료를 컴퓨터에 옮겨서 후 처리과정을 거치게 된다. 이때 일반적으로 사용하는 궤도력은 방송궤도력이며 좀 더 높은 정확도를 요구할 때는 GPS 관련기관에서 제공하는 정밀궤도력을 사용해야 한다. 측점간의 기선벡터가 얻어지면 기지점의 좌표값에 더하여 미지점의 좌표를 산출한다. 정지관측방법의 상대정확도는 일반적으로 ±(5mm+1ppm)정도이며, 이 방법은 측지기준점측량과 같은 높은 정확도를 요하는 측량에 주로 사용된다.

3.1.3 급속정지관측법

이 방법은 정지관측방법과 거의 동일 하지만 1대의 수신기를 하나의 기준점에 계속 고정하고 다른 수신기는 미지점에 옮겨가면서 관측을 수행하는 방식이며, 관측시간은 정지측량에 비하여 매우 적게 요구된다.

측점간 일정한 위성의 추적을 하지 않아도 되고, 각 측점을 1회 측정하며, 짧은 기선에 효과적이며, 낮은 정도의 기준점 측량, 지도제작용, 경계측량 등에 적용이 가능하다. 급속정지관측방법의 정확도는 약 ±(10mm+1ppm) 수준 이상이다

3.1.4 동적관측법

이 방법은 정적관측법에서와 같이 두 개 또는 그 이상의 수신기가 필요하며 사용하고자 하는 모든 수신기는 관측을 시작하기 전에 반드시 초기화를 하여야 한다. GPS 수신기의 초기화 과정은 각각 다른 방법으로 수행될 수 있다. 첫 번째 방법은 두 개의 기지점을 사용하는 방법이다. 이것은 두 개의 기지점에서 두 개의 수신기를 사용하여 동시에 짧은 관측시기(보통 2분-15분)동안 정적관측을 시행하는 것이다. 기선에 대한 좌표 차가 알려졌기 때문에 차동관측법에서는 미지의 불확정 정수치가 발생할 것이다. 이들 차동관측법에 의한 차동 계산은 두 개의 수신기에 의하여 관측된 자료를 사용하여 계산된다. 만일 하나의 수신기로부터 얻어진 자료만 사용할 수 있을 경우에는 정적관측법에 의하여 처리된다. 그런 다음 차동계산에 의하여 초기화 작업이 가능하다.

초기화 작업의 또 다른 방법은 안테나 교환법이라는 방법으로서 오직 하나의 기지점만 이용이 가능한 경우에 사용된다. 먼저 수신기 하나를 기지점에 설치하고 다른 하나는 기지점에 가까운 위치에 하나의 미지점을 정하고 그 위에 설치한다. 이때 미지점은 기지점으로부터 약 10m 정도 떨어지면 적당하다.

두 개의 수신기로부터 수분 동안의 자료를 수신한 후, 수신기가 작동되는 상태에서 그들의 위치를 서로 바꾼다. 이때 수신기를 교환 설치하는 과정에서 주의해야 할 점은 어떤 연속적인 추적이 이루어지거나 최소한 4개의 위성신호를 연속적으로 받아야 한다. 그런 후 수분 동안의 추가 관측이 이루어진 다음에 수신기를 서로 교환하고 그들의 원래의 위치로 돌아간다.

초기화 작업이 완료되면 고정국이라고 불리는 수신기는 기지점에 계속 유지되고 반면에 이동국이라 불리는 다른 수신기는 한 점으로부터 다른 점으로, 또는 일정한 선을 따라서 이동한다. 이동국의 위성신호 취득간격은 1초 정도로 짧게 정한다. 중간점에 대한 정밀도는 cm 단위이다.

동적 관측법에서는 두 개의 수신기는 전 관측시기 동안 최소한 4개의 위성에서 신호수신 상태를 반드시 유지하여야 한다. 만약 신호수신 상태가 해제되면 초기화 작업을 다시 거쳐야 한다. 따라서 안테나의 위치가 건물, 나무, 교량 등에 의하여 방해가 되지 않도록 주의하여야 한다. 관측 작업이 완료되면 이동국은 맨 처음의 기지점 또는 다른 기지점에 설치하여 그 결과를 검사하여야 한다. 동적관측법은 지형측량, 해양측량, 현장공사측량 등에 사용된다.

① 의사 동적관측법

이 방법은 다른 방법에서와 같이 두 개의 수신기를 사용하고, 다른 방법에서 문제점이 되었던 수신기의 신호수신 상태를 계속하여 유지할 필요가 있다. 이 방법은 상대적으로 짧은 두 번의 관측시기(약 5분 정도)를 약 1시간 간격으로 각 측점에서 실시하고, 관측 결과의 처리과정은 정적관측법에서와 같으며 정밀도도 이 방법과 비슷하다.

② 실시간 동적관측법

앞에서 설명한 관측법에서는 관측된 자료는 관측이 완료될 때까지 수신기의 내장된 기억 장치에 일시적으로 저장되고 후속 계산 처리과정을 거쳐 기준점의 좌표가 구해진다. 그러나 실시간 동적관측법은 그 이름이 암시하는 것과 같이 이동국이 다른 측점으로 이동하여 관측하는 실시간 동안에 순간적으로 측점의 위치가 결정된다. 다른 동적관측법에서와 같이 실시간 동적관측에서도 두 개 또는 그 이상의 수신기가 필요하다. 하나의 수신기가 기지점에 설치되고 관측된 GPS 기초 자료를 이동국에 송신한다. 이동국에서는 두 개의 수신기로부터 얻은 GPS 관측자료를 각 수신기에 장치된 자체 컴퓨터에 의하여 실시간 동안에 처리되어 그들의 위치가 즉

시 계산된다.

이 방법에서 얻을 수 있는 정밀도는 일반적인 동적관측법에 의한 결과와 같다. 이 방법은 관측하고 싶은 순간에 그 측점의 위치를 높은 정밀도로 알 수 있기 때문에 현장 말뚝박기, 지형 측량에서의 위치결정 등에 많이 이용된다.

3.2 GLONASS 이론

GLONASS는 미국의 GPS와 비슷하며, 민간서비스와 군사용서비스 두 가지로 제공하고 있으며, 3차원 위치와 도 결정은 GLONASS 위성에 의해 송신된 통과시간 측정과 RF 신호의 도플러 효과에 기초를 두고 있다.

GLONASS 시스템은 위성부문, 지상부문, 사용자부문으로 나뉜다. 위성부문은 1995년에 완성되었으며, GLONASS가 완전히 운영될 때 위성부문은 21개의 위성군과, 3개의 예비위성으로 구성된 다. GLONASS 위성은 19,100Km의 고도에서 11시간15분의 공전주기 궤도를 가진다. 세 개의 궤도면에 8개의 위성들이 균등간격으로 위치해 있으며 64.8도의 경사를 이루며 120도로 간격으로 떨어져 있다. 그림 7는 GLONASS의 궤도 및 위성을 나타낸다.

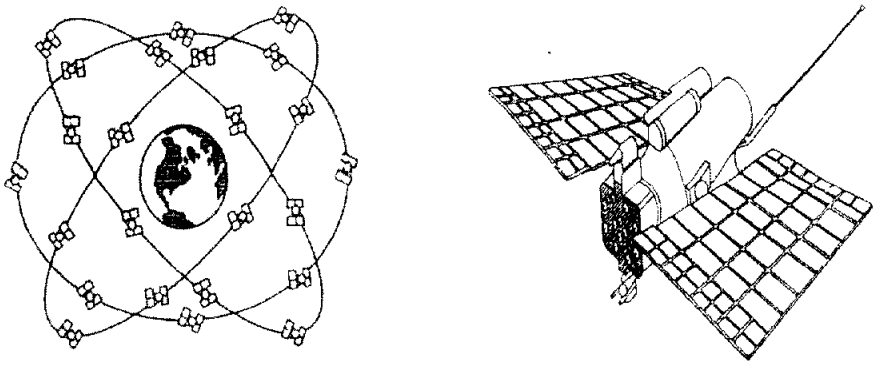


그림. 7 GLONASS의 궤도 및 위성

GLONASS 지상부문은 위성 감시와 제어 기능을 수행하며 코드화된 위성항법 신호에 변조되어진 항법 데이터를 결정한다. 그리고 지상 부문은 추적및 감시국, 주제어국으로 이루어진다.

각 감시국으로부터 나온 측정 데이터는 주제어국에서 처리되어지고 업로드국을 거쳐 위성에 적재되어진 항법데이타를 계산하기 위해 사용되어진다. 시스템 운영은 GLONASS 시스템 시간과 정밀한 위성시계 동기가 요구된다. 필요한 동기를 수행하기 위해 시계정정 파라미터들이 주제어국에 의해 제공되어 진다.

각 위성들로부터 나온 항법 메시지는 위성좌표, 속도벡터 성분, GLONASS시스템 시간 정정 및 위성상태 정보로 이루어진다. 시스템 위치를 얻기 위하여 사용자 수신기는 동시에 또는 순차적으로 적어도 4개의 위성 신호를 추적하여 위치의 3가지 성분과 시간에 대한 4차 동시 방정식을 푼다.

GLONASS 위성들은 RF스펙트럼의 두 개의 L-band 부분(L1 :1602.5~1615.5MHz, L2 :1246.4 ~ 1256.5Mhz)에서 방송하며 두 개의 이진 코드, C/A 코드 및 P 코드 및 데이터 메시지를 가지고 있다. GLONASS는 주파수 분할 다중방식(FDMA) 개념을 기초로 하며 GLONASS 위성들은 별개의 L-band 채널 즉, 별개의 주파수에서 반송파 신호를 송신한다. GLONASS 수신기는 자체 추적 채널에 별개의 주파수를 할당시킴으로써 모든 보이는 위성들로부터 나온 전체 유입신호를 분리한다. FDMA의 사용은 각 GLONASS 위성이 동일한 P 코드 및 C/A 코드를 송신하게 한다. GLONASS에서 C/A 코드는 단지 L1 반송파에서만 변조되고 P 코드는 L1, L2 상에 송신되어진다. 단지 C/A 코드로 동작되도록 설계되어진 수신기들은 거리에 대해 L1 신호만 사용할 수 있고 P 코드 수신기들은 두 주파수에서 거리를 측정하는데 사용할 수 있다. 두 주파수의 사용으로 전리층 반사에 대한 정정 수단을 제공하며 민간용으로는 단지 C/A 코드만이 사용될 것이다.

GLONASS P 코드의 주파수는 5.11MHz이고 C/A 코드의 주파수(0.511MHz)보다 열 배가 높다. 높은 코드 주파수들은 일반적으로 낮은 주파수보다 더 나은 거리 측정 정확도를 제공하기 때문에 정확도(95%)에 대한 GLONASS 성능은 수평 위치에서 100m, 수직 위치에서 150m, 속도에서는 초당 15cm 그리고 시간에서는 1×10-6 초이다.

각 GLONASS 위성은 항법 데이터를 초당 50비트율로 송신하며 항법 데이터 메시지는 위성군의 나머지 위성에 대한 정보와 함께 각 송신 위성의 상태에 대한 정보를 제공한다. 사용자 견지로부터 GLONASS 위성 송신에 있어서 정보의 1차 요소는 시계정정 파라미터와 위성 위치(궤적)이다. GLONASS 시계 정정은 UTC(SC)와 관련이 있는 각 위성 시간과 GLONASS 시스템 시간간의 차이를 자세한 데이터로 제공한다. GLONASS 위성은 3차원 위치, 속도 및 PE-90라고 불리우는 ECEF(지구중심, 지구 고정) 좌표계에서 매 30분에 대한 가속을 방송한다.

4. 현장관측

4.1 관측대상위치

본 연구를 위한 관측은 2002년 2월 5일에 실시하였으며, 관측대상지역은 경상남도 인근의 국도 ○○호선 중, 설계도가 입수되어 있는 약 2km의 구간을 선정하여 관측하였다. 관측현장의 평면도는 그림 8과 같이 나타낼 수 있으며, 관측현장의 전경은 그림 9와 같다.

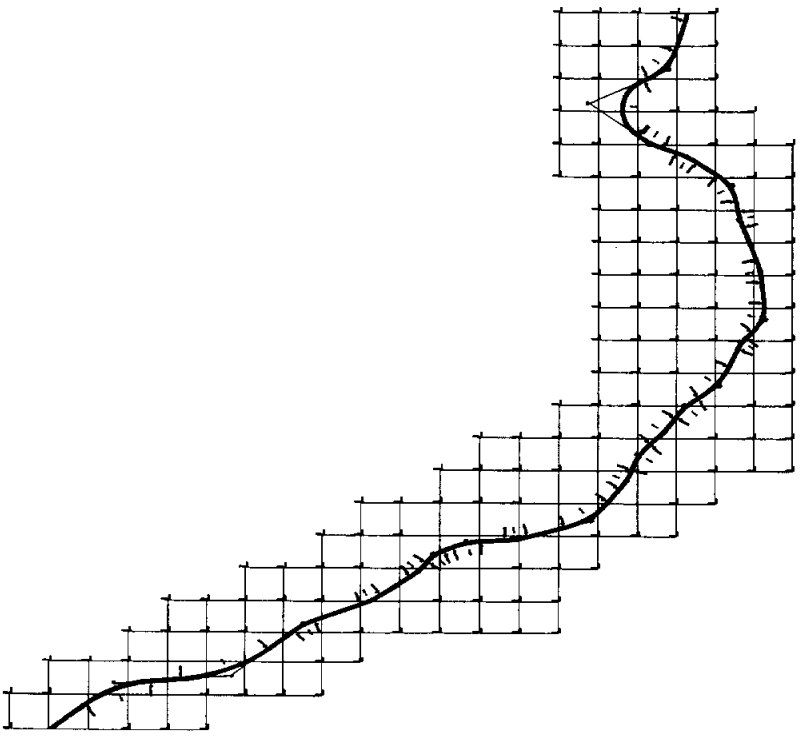


그림. 8 관측현장의 평면도

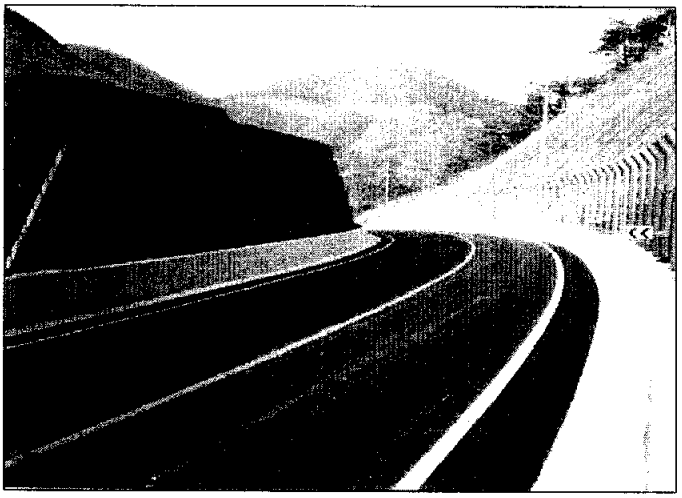


그림. 9 관측현장의 전경

4.2 관측장비

관측에 사용된 장비의 수신기는 L1/L2, C/A-code와 P-code 및 반송파를 수신할 수 있는 20개 채널의 JAVAD 제품이며, 안테나는 외부형타입 Legant 제품을 사용하였다. 구체적인 관측장비의 제원은 다음 표 10과 같다.

표. 10 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 10과 같이 관측 대상 도로의 인근에 기지국을 설치하고, 이동국은 그림 11과 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 뿐더러 운전특성에 따라 관측값이 달라질 수 있으므로, 본 연구에서는 그림 12와 같이 인력으로 끌면서 기존 도로의 중심선의 선형을 측정하였다.

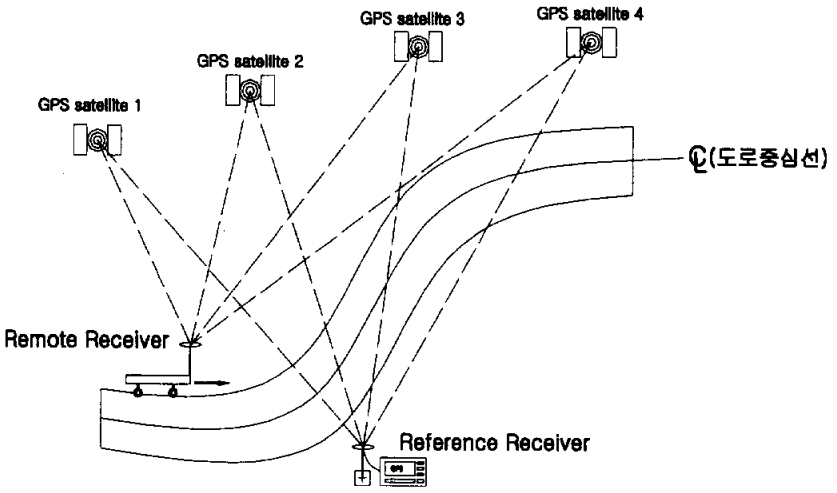


그림. 10 관측시스템의 구성

근본적으로 어느 한 대상의 정확도를 비교함에 있어서 관측의 조건을 동일한 조건하에서 하여야 하지만, GPS와 GLONASS의 궤도주기가 서로 다르므로 동일한 조건을 만든다는 것은 거의 불가능하였다.

따라서, 본 연구에서는 GPS의 관측조건과 GPS/GLONASS의 관측조건을 최대한 동일시하기 위하여 각각의 관측시간을 1시간이내의 차이를 벗어나지 않는 범위내에서 각각 실행하였다.

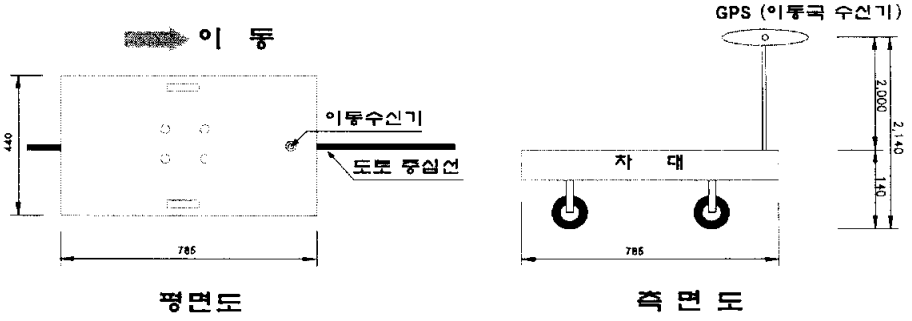


그림. 11 수신기와 일체화된 차대모식도

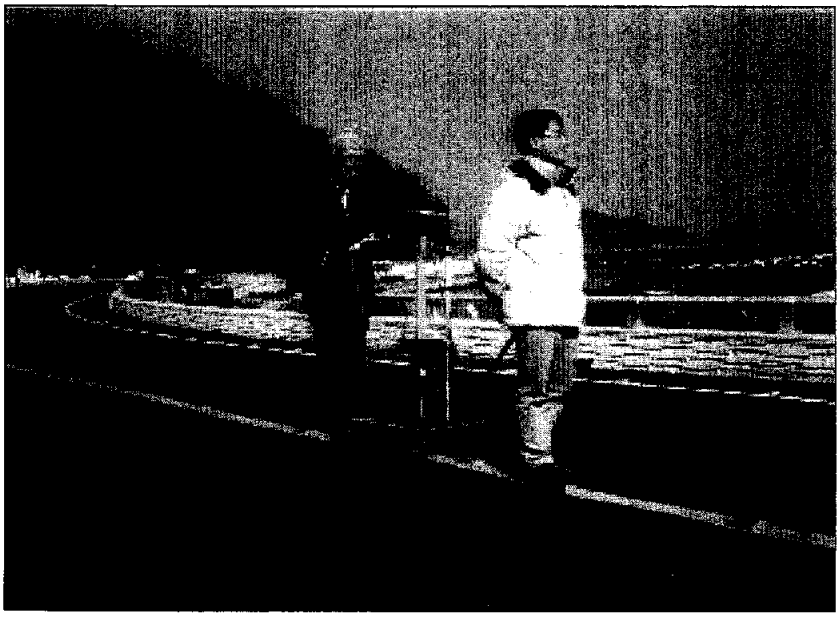


그림. 12 도로선형의 관측모습

5. 관측결과 및 분석

5.1 관측결과

관측시스템으로 RTK GPS에 의한 방법과 RTK GPS/GLONASS 조합에 의한 방법으로 도로중심선을 관측한 결과는 표 11과 같이 나타났다.

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

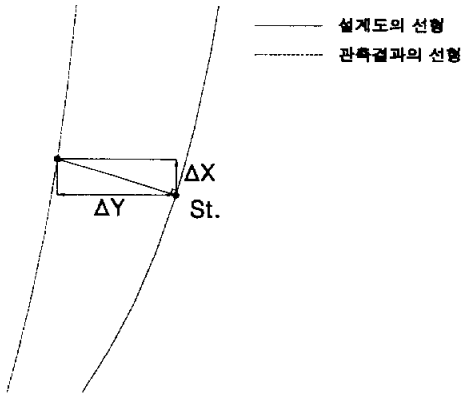


그림. 13 비교 방법

관측결과를 보면 RTK GPS의 경우 St. 0+580~St. 1+100의 구간과 RTK GPS/GLONASS의 경우 St, 2+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 데이터가 상실된 것으로 판단된다.

표. 11 관측결과

St.	RTK GPS		RTK GPS/GLONASS	
	⊿X(cm)	⊿Y(cm)	⊿X(cm)	⊿Y(cm)
0+580	-	-	0.37	-6.73
0+600	-	-	0.72	-7.28
0+620	-	-	1.31	-7.11
0+640	-	-	0.18	-0.66
0+660	-	-	3.44	-11.06
0+680	-	-	4.60	-14.79
0+700	-	-	1.20	-3.85
0+720	-	-	1.34	-4.31
0+740	-	-	1.94	-6.25
0+760	-	-	3.64	-9.52
0+780	-	-	-1.28	2.62
0+800	-	-	-3.87	6.37
0+820	-	-	-6.93	9.36
0+840	-	-	-4.67	5.24
0+860	-	-	-12.09	11.30
0+880	-	-	8.24	-6.40
0+900	-	-	-5.11	3.81
0+920	-	-	-2.71	2.02
0+940	-	-	-6.96	4.81
0+960	-	-	-8.38	4.68
0+980	-	-	-10.09	4.44
1+000	-	-	-6.00	1.98
1+020	-	-	-5.62	2.36
1+040	-	-	5.16	-2.84
1+060	-	-	2.53	-1.76
1+080	-	-	2.46	-2.13
1+100	-	-	-0.41	0.41
1+120	-0.97	0.88	-0.58	0.53
1+140	-0.67	0.55	-1.20	0.99
1+160	-0.13	0.10	5.25	-3.97
1+180	-1.01	0.70	-1.54	1.06
1+200	3.90	-2.49	4.05	-2.59
1+220	7.81	-6.15	5.59	-4.40
1+240	12.51	-12.05	9.98	-9.61
1+260	7.38	-8.69	5.61	-6.60
1+280	3.83	-5.54	2.37	-3.44
1+300	-0.48	0.61	2.79	-3.53
1+320	-1.10	1.16	-0.18	0.19
1+340	-6.71	5.87	-3.10	2.71
1+360	1.41	-1.03	-2.45	1.78
1+380	-4.53	2.70	-4.50	2.68
1+400	-2.50	1.20	-5.89	2.82
1+420	6.80	-2.84	-0.14	0.06
1+440	10.68	-4.45	4.72	-1.97
1+460	8.08	-3.37	2.40	-1.00
1+480	15.70	-8.18	12.82	-6.68
1+500	10.84	-8.19	7.41	-5.60
1+520	7.30	-6.68	5.27	-4.82
1+540	-3.52	2.82	-3.99	3.20
1+560	-6.93	3.87	-5.01	2.79

표. 11 관측결과(계속)

St.	RTK GPS		RTK GPS/GLONASS	
	⊿X(cm)	⊿Y(cm)	⊿X(cm)	⊿Y(cm)
1+580	-3.81	1.36	-9.55	3.40
1+600	-8.59	1.52	-10.03	1.78
1+620	-9.17	0.08	-10.42	0.09
1+640	-6.25	-0.58	-4.91	-0.45
1+660	-9.67	-0.90	1.09	0.10
1+680	-	-	1.99	0.18
1+700	-	-	-12.24	-1.37
1+720	-	-	-9.18	-1.65
1+740	-	-	-6.06	-1.51
1+760	-	-	-15.57	-5.01
1+780	11.95	4.14	-6.72	-2.33
1+800	9.61	3.33	-5.43	-1.88
1+820	11.46	3.97	-7.19	-2.49
1+840	8.82	3.05	-3.12	-1.08
1+860	12.80	4.43	-2.50	-0.86
1+880	16.56	5.16	3.00	0.94
1+900	12.31	2.95	4.36	1.05
1+920	9.99	1.70	1.97	0.33
1+940	3.85	0.65	0.32	0.05
1+960	-10.97	-2.43	-12.50	-2.77
1+980	-10.19	-4.13	-10.46	-4.24
2+000	16.13	-9.92	-8.63	-5.31
2+020	-8.77	-7.66	-8.80	-7.69
2+040	-10.44	-12.75	-5.10	-6.23
2+060	-5.44	-7.46	-4.57	-6.27
2+080	-2.88	-3.95	-0.07	-0.09
2+100	-0.79	-1.08	-1.04	-1.42
2+120	-4.11	-5.96	-3.02	-4.38
2+140	-3.80	-6.64	-5.97	-10.41
2+160	-5.23	-11.19	-2.10	-4.50
2+180	-1.44	-3.67	0.06	0.16
2+200	-0.67	-1.72	-0.18	-0.47
2+220	4.42	10.21	3.78	8.73
2+240	2.22	4.14	3.50	6.54
2+260	4.52	6.98	5.66	8.74
2+280	6.60	8.53	8.39	10.85
2+300	9.21	9.19	9.87	9.86
2+320	10.28	6.81	12.66	8.38
2+340	4.43	1.79	10.85	4.39
2+360	7.88	1.47	7.02	1.31
2+380	15.00	-0.23	-	-
2+400	13.03	-2.85	-	-
2+420	12.81	-5.65	-	-
2+440	4.34	-3.07	-	-
2+460	8.23	-8.74	-	-
2+480	1.87	-3.01	-	-
2+500	2.43	-4.71	-	-
평균 오차	[|X|]/n = 6.89	[|Y|]/n = 4.31	[|X|]/n = 4.98	[|Y|]/n = 3.96

5.2 분석

관측 결과를 보면, RTK GPS에 의한 방법으로 관측한 결과 X방향의 평균오차는 6.89cm, Y방향의 평균오차는 4.31cm, 수평위치 정확도는 8.54cm로 나타났으며, RTK GPS/GLONASS 조합에 의한 방법으로 관측한 결과 X방향의 평균오차는 4.98cm, Y방향의 평균오차는 3.96cm, 수평위치 정확도는 6.80cm와 같이 나타났다.

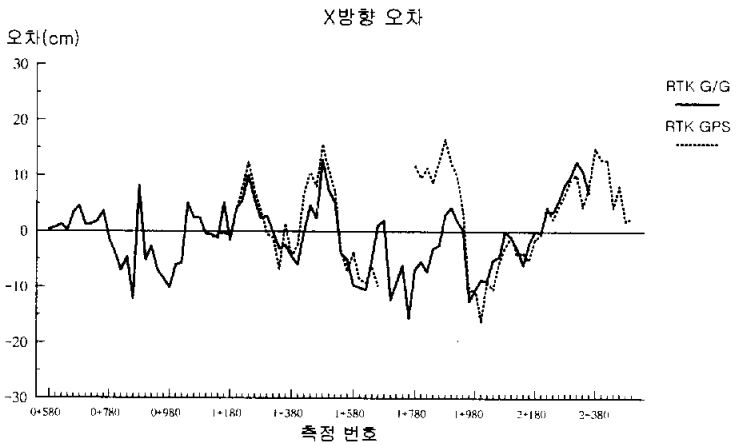


그림. 14 X방향 오차

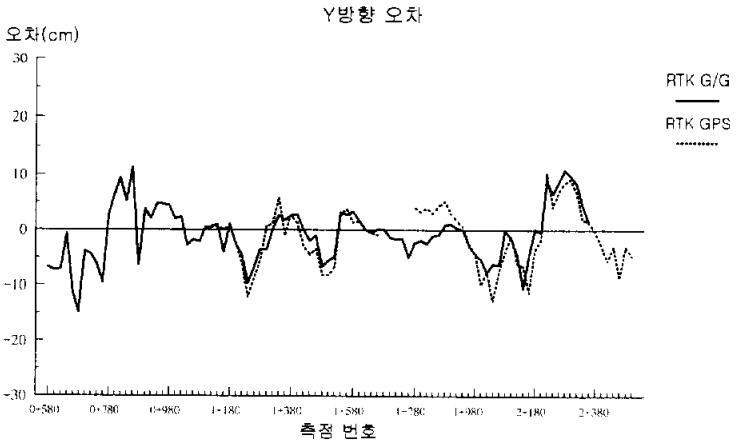


그림. 15 Y방향 오차

각각의 관측결과 수평위치정밀도를 비교하여 나타내면 다음 그림 13과 같으며, RTK GPS/GLONASS 조합에 의한 관측 정밀도가 RTK GPS관측 정밀도보다 정도가 향상됨을 볼 수 있다.

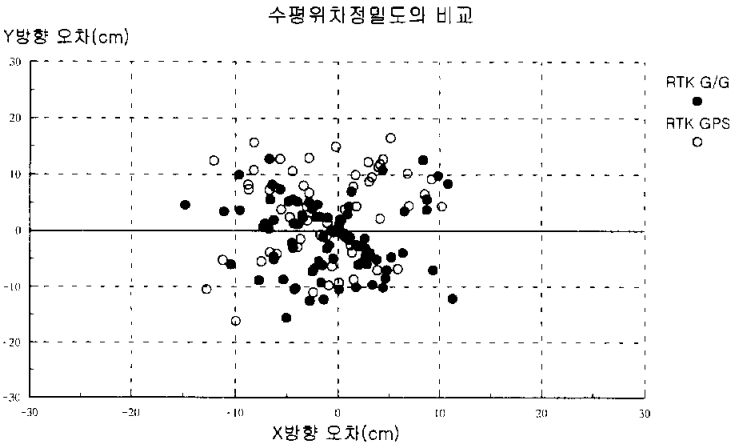


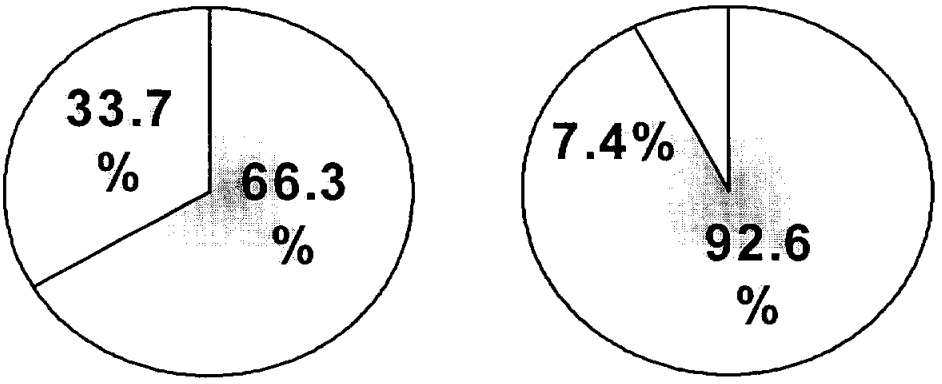
그림. 16 수평위치정밀도의 비교

각각의 X방향, Y방향 그리고 수평위치의 평균오차, 표준편차, 확률오차는 아래의 표 12와 같이 나타났다.

표 12에서 나타낸 바와 같이 RTK G/G 방법으로 도로의 평면선형을 관측분석한 결과 X방향으로 1.91cm, Y방향으로 0.35cm 평균오차를 줄일수 있었고, 이것을 수평위치오차로 환산하면 1.74cm 로 줄일수 있었다.

표. 12 관측결과의 비교

구 분	평균오차(cm)		표준편차(cm)	확률오차(cm)
RTK GPS	X	6.89	1.12	0.75
	Y	4.31	0.95	0.64
RTK G/G	X	4.98	0.90	0.61
	Y	3.96	0.73	0.49



(1) RTK GPS　　(2) RTK GLONASS

그림. 17 데이터 취득률의 비교

데이터 취득률을 보면, 전구간에서 RTK GPS의 경우 66.3%, RTK GPS/GLONASS조합의 경우 92.6%의 데이터 취득률을 보였고, 이 두 경우를 비교해 보면 RTK GPS/GLONASS에 의한 관측이 RTK GPS의 관측의 경우보다 약 26.3%의 데이터 취득률이 향상됨을 볼 수 있었다.

6. 결론

본 논문은 GPS/GLONASS를 이용하여 도로 평면선형추출 정확도 향상에 관하여 GPS와 GLONASS 조합에 의해 측위한 결과로 획득된 3차원 자료를 기존 설계도의 제원을 근거로 하여 위치정확도를 비교하였으며, 이 방법으로 재현된 도로의 선형을 평가함으로서 인공위성을 이용한 자동차 항법시스템(CNS)을 보다 효율적이고 실용적으로 사용하기 위한 접근으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 실시간으로 GPS/GLONASS의 조합에 의한 측위방법으로 도로의 평면선형을 분석한 결과 기존의 RTK GPS에 의한 측위방법보다 X방향으로 1.91cm, Y방향으로 0.35cm의 평균오차를 줄일수가 있었고, 수평위치 오차는 1.74cm로 줄일수가 있었다.

(2) 전 노선구간에 대하여 자료 취득율을 분석한 결과로는 기존의 RTK GPS의 경우 66.3%, RTK GPS/GLONASS의 조합에 의한 자료 취득율은 92.6%로 약 26.3%의 보다 많은 자료를 취득할 수가 있었다.

(3) 앞으로 RTK GPS/GLONASS 조합에 의해 도로선형 관측 및 평가에 이용함에 있어서 충분한 활용성과 선형설계의 기본자료제공에 보다 더 정확한 자료를 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. Savvaidis, I. M. Ifadis, K. Lakskis 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. 강준묵, 이용욱, 박정현, "GPS/GLONASS 조합에 의한 절대측위 정밀도 분석", 한국측량학회지, 제19권 제1호.
5. 박운용, 이인수, 신상철, 곽재하, "Real-time DGPS/DGLONASS에 의한 차량의 동적위치결정에 관한 연구", 한국측량학회지, 제19권 제3호.
6. 강재수, "도로의 계획과 설계", 도서출판 도우엔지니어즈, 1998. 8. pp. 207-230.
7. Günter Seeber, Satellite Geodesy, Walter de Gruyter Berlin · New York 1993. pp. 333, 350-353.
8. 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.

감사의 글

측량및지형공간 연구실과 인연을 맺은지 2년이라는 시간속에 땀과 눈물과 웃음속에서 본 논문의 결실을 이루게 되어 한없는 기쁨을 느끼며, 지금까지 저에게 아낌없는 사랑과 도움을 주신 분들에게 미약하나마 감사의 마음을 전하고자 합니다.

먼저, 논문이 완성에 이르기까지 부족한 제자를 하늘만큼이나 넉넉한 마음으로 이해와 관용을 베풀어주시고 지도편달과 격려를 아끼지 않으신 이종출 교수님께 진심으로 감사를 드립니다. 그리고 바쁜 일정속에서도 부족한 제자의 논문을 세심하게 조언해 주시고 심사해 주신 김명식 교수님, 정두회 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 아울러 재학기간동안 무언의 끄지람과 너그러운 마음으로 토목인의 긍지를 가르쳐 주신 김상용 교수님, 김종수 교수님, 손인식 교수님, 장희석 교수님, 이종섭 교수님, 이영대 교수님, 이동욱 교수님, 정진호 교수님, 이환우 교수님, 국승규 교수님, 이상호 교수님께도 깊은 감사를 드립니다. 그리고 항상 저희 연구실에 아낌없는 관심과 사랑을 베풀어주신 선배님들에게도 깊은 감사를 드립니다.

논문이 완성되기까지 측량및지형공간 연구실에서 가족처럼 걱정해 주고 격려와 도움을 아끼지 않으신 서동주 선배님, 노태호 선배님, 장호식 선배님 그리고 지금은 취업을하여 서울에 있는 종호선배, 유미씨,성원이, 실험실에서 궂은 일도 마다하지 않고 열심히 생활하는 진수, 신이, 상민이에게도 감사의 마음을 전합니다. 또한, 어려고 힘든 때에 항상 곁에서 힘이 되어준 창민이, 대성이, 준봉이, 주동이, 도희, 영철이 그리고 2년동안 힘든 일도 함께 겪어온 동기들에게도 고마움을 전하며, 어려운 형편 속에서도 부족한 형을 믿고 따르며 열심히 공부하는 나의 동생 성민이에게도 깊은 고마움을 전합니다.

마지막으로 홀로 당신의 건강보다는 부족한 자식에 건강을 더 챙기시고 믿음과 사랑으로 보살펴주신 어머니와 그렇게 원하시던 장남의 졸업식도 보지 못한 채 하늘나라로 떠나신 아버지의 은혜에 보답하고자 이 논문을 바칩니다.