

공학석사학위논문

# 터널 내 평면선형 추출기법 개발

지도교수 이 중 출

이 論文을 (석사學位論)으로 提出함



부경대학교 산업대학원

토목공학과

손익현

# 손익현의 공학석사 학위논문을 인준함

2002년 6월 22일

주 심 공 학 박 사 김 상 용



위 원 공 학 박 사 손 인 식



위 원 공 학 박 사 이 중 출



# 목 차

목차 .....	i
표목차 .....	iii
그림목차 .....	iv
사진목차 .....	v
<b>Abstract</b> .....	vi
<b>1. 서론</b> .....	1
1.1 연구목적 .....	1
1.2 연구범위 .....	2
1.3 연구방법 .....	2
1.4 연구연혁 .....	3
<b>2. 도로의 평면선형</b> .....	5
2.1 평면곡선반경 .....	5
2.2 원곡선 .....	10
2.3 완화곡선 .....	11
2.4 자동차의 완화주행궤적 .....	12
2.5 전국 도로별 터널 현황 .....	15
<b>3. 위성항법시스템</b> .....	16
3.1 GPS 이론 .....	16

3.2 GLONASS 이론 .....	17
3.3 GPS와 GLONASS 비교 .....	18
3.4 DGPS (Differential GPS) .....	20
<b>4. 현장관측 및 결과 .....</b>	<b>23</b>
4.1 관측대상지역 .....	23
4.2 관측장비제원 .....	24
4.3 관측시스템 구성 .....	25
4.4 관측결과 .....	27
4.4.1 위성의 가시성 .....	27
4.4.2 자료 취득률 .....	29
<b>5. 터널 내 평면선형 결정 .....</b>	<b>30</b>
5.1 터널 내 평면선형 IP 추출 .....	30
5.2 터널 내 평면선형 추출 .....	31
5.3 결과 및 분석 .....	34
<b>6. 결론 .....</b>	<b>37</b>
<b>참고문헌 .....</b>	<b>38</b>

# 표 목차

<표 2.1.1> 최소 평면곡선반경 .....	6
<표 2.1.2> 최소곡선반경 .....	6
<표 2.3.1> 설계속도에 따른 완화곡선의 길이 .....	11
<표 2.3.2> 설계속도에 따른 완화곡선의 길이 (60km/h 미만) .....	11
<표 2.5.1> 전국 도로 등급별 터널 현황 .....	15
<표 3.3.1> GPS와 GLONASS의 비교 .....	19
<표 4.2.1> 관측장비제원 .....	24
<표 4.4.1> 자료 취득률 .....	29
<표 5.1.1> 추출된 IP와 설계제원의 비교 .....	31
<표 5.1.2> 추출된 대상구간의 설계제원 .....	31
<표 5.1.3> 추출된 선형과 설계서 선형과의 비교 .....	35

# 그림 목차

<그림 2.1.1> 평면곡선부 주행시의 원심력 .....	7
<그림 2.4.1> 자동차의 완화주행 .....	12
<그림 3.1.1> GPS 위성과 위성배치 .....	17
<그림 3.2.1> GLONASS 위성과 위성배치 .....	18
<그림 3.4.1> DGPS 관측방법 .....	20
<그림 4.1.1> 관측대상지역 위치도 .....	23
<그림 4.3.1> 관측시스템 모식도 .....	25
<그림 4.4.1> 측점별 가시위성수 .....	27
<그림 4.4.2> 측점별 위치 정밀도 저하율 .....	28
<그림 4.4.3> 구간별 자료 취득률 .....	29
<그림 5.1.1> 관측대상구간 중 터널 설치 구간 .....	30
<그림 5.1.2> CL=100 일 경우 평면선형 .....	32
<그림 5.1.3> CL=200 일 경우 평면선형 .....	32
<그림 5.1.4> CL=300 일 경우 평면선형 .....	33
<그림 5.1.5> CL=400 일 경우 평면선형 .....	33
<그림 5.1.6> CL=500 일 경우 평면선형 .....	34
<그림 5.3.1> 설계제원에 의해 재현된 평면선형 .....	36
<그림 5.3.2> 추출된 설계제원에 의한 평면선형 .....	36

# 사진 목차

<사진 4.3.1> 관측시스템 중 기지국의 모습 .....	26
<사진 4.3.2> 관측시스템 중 이동국의 모습 .....	36

# **Development of Extracting Method of Horizontal Alignment In a Tunnel**

Ik-Hyoun Son

Department of Civil Engineering, Graduate School of Industry,  
Pukyong National University

## **ABSTRACT**

Roads have been developed throughout the history of mankind, and play a significant role among many traffic facilities for the economy, politics and cultures of our lives. However, the management of roads has not been fully scientific or systematic due to governmental policies focused on construction, resulting in damages, and the loss of drawings for existing roads.

In this case, it is difficult to rearrange roads using normal cadastre due to its time consuming work. And, when applying satellite surveying to rapidly extract the centerline of roads, it is impossible to obtain data about the status of internal tunnels.

In this research, an efficient and economic method was sought to recover drawing data, and to examine the alignment elements of roads where accidents happen frequently due to the deficient geometric structures of roads. For this purpose, the alignment elements of roads were extracted using RTK GPS, and then compared to existing drawings when they were available.

Therefore, this research can be used to extract optimum alignment data of tunnels using the data from satellite surveying, and is a practical paper which can contribute to efficient management and usage of alignment data and road facilities in establishing a HMS(Highway Management System) for the renewal and management of the alignment data of roads, by comparing the data from satellites with the alignment data in existing drawings.



# 1. 서론

## 1.1 연구목적

도로는 인류와 더불어 발전하여 근대화 되어왔고, 생산과 유통 등 경제적으로나 정치적 문화적으로도 중요한 기능을 하고 있으며, 교통체계 중에서 특히 우리의 생활에 중요한 교통시설이다.

그러나, 건설위주의 국가정책으로 인해 도로 시설물 관리가 과학적이고 체계적으로 수행되지 못하고, 기존 도로의 설계도가 훼손·분실되어 도로의 유지관리 차원에서 어려운 점이 많다. 이러한 경우, 기존의 측량방식으로 도로의 선형을 재현하기란 상당한 기간이 소요되며, 교통의 통제 등 많은 어려움이 따른다.

최근에는 위성측량 방법 중 실시간 동적측위방법으로 도로의 중심선 3차원 자료를 취득하여 이와 같은 문제점을 해결함과 동시에 도로선형 및 도로시설물의 위치를 효과적으로 관리하려는 연구가 진행 중에 있다. 위성측량방법을 사용하지 않고 실시간으로 도로 중심선의 3차원 위치자료를 취득하기란 무척 어려움이 많다. 그리고, 위성측량방법도 터널과 같은 지역에서는 가시위성의 확보가 어려워 관측이 되지 않는다.

따라서, 본 연구에서는 DGPS(Differential GPS)방법을 이용하여, 도로의 중심선 3차원 위치자료를 취득함과 동시에, 이러한 자료를 바탕으로 자료 취득이 불가능한 터널 내에서의 평면선형을 추출하고, 기존 설계도의 선형과 비교함으로써, 도로선형자료의 갱신과 유지관리 차원에서 앞으로 도로관리통합시스템(HMS; Highway Management System)을 구축하는데 있어서 도로선형 및 도로시설물의 위치를 효과적으로 관리·이용하는데 기여하고자 한다.

## 1.2 연구범위

오늘날 도로 유지 관리의 효율성과 신뢰성을 제고하기 위해, 고도 정보화 사회에 부응할 수 있는 종합적인 도로 유지관리정보 제공이 가능한 시스템이 절실히 필요한 실정이다. 그러나, 기존 도로의 설계도가 훼손·분실된 경우에는 도로의 유지관리차원에서 어려움이 많다.

이러한 경우, 도로의 선형을 재현하기 위해서는 먼저 도로 중심선의 3차원 자료를 취득해야 하는데, 이를 위한 여러 방법들이 있으나 오늘날에는 위성측량방법을 이용한 연구가 많이 이루어지고 있다.

본 연구에서는, GPS와 GLONASS위성의 자료를 모두 수신하는 방법으로 가시위성을 확보함으로써 도심을 통과하는 도로까지도 중심선의 3차원 자료 취득을 용이하게 하였다. 이렇게 터널 접속부에서 취득된 자료들을 이용하여 위성측량으로는 자료 취득이 불가능한 터널구간에서의 선형을 추출하고, 기존 설계도의 제원과 비교·분석하고자 한다.

## 1.3 연구방법

본 연구에서는, 도로의 중심선 위치자료를 취득하기 위하여 먼저 GPS와 GLONASS위성의 자료를 모두 수신할 수 있는 수신기를 차량에 일체식으로 탑재하여 주행 중인 도로의 3차원 위치자료를 취득하였다. 이렇게 취득된 자료는 후처리 단계를 거쳐 주행한 도로의 선형으로 나타내었다. 그리고, 가시위성의 미확보로 인해 자료가 취득되지 못한 터널 1개소를 대상으로 터널 내 도로의 평면선형을 추출하였으며, 추출된 평면선형을 기존 설계도의 제원과 비교하였다.

## 1.4 연구연혁

도로는 국가의 주요 간접자본시설이며, 한 국가의 경쟁력 향상에 막대한 영향을 미치는, 그 나라의 대동맥이라고 할 수 있다. 이러한 도로의 최적의 운행조건을 구비하기 위해서는 도로의 선형이 우선적인 문제가 될 것이다.

도로선형에 관한 연구는 국외에서는 1971년 Glennon, J.C는 고속도로의 곡선부 설계에 있어서 안전을 고려한 설계기법을 연구한바 있으며<sup>14)</sup>, 같은 해 Glennon, J.C은 고속도로의 곡선부 설계에 있어서 자동차의 운동궤적에 관하여 연구하였으며<sup>14)</sup>, 2001년 D. Stathas 등은 도로표면 검사나 이점표 구축을 위한 동적 차량 위치결정 및 방위기술에 관해 연구하였다<sup>3)</sup>.

국내에서는 1996년 김은 도로의 평면선형 계획기법에 관해 연구하였고<sup>28)</sup>, 또한 1997년 조도 도로의 평면선형 계획기법에 관해 연구하였다<sup>27)</sup>. 1999년 노는 GPS에 의한 도로변형량 측정에 대해 연구를 하였고<sup>20)</sup>, 2001년 허 등은 최소제곱법에 의한 평면선형설계제원 산정에 대해 연구하였다<sup>23)</sup>. 2001년 이는 동적 GPS 관측에 의한 도로의 평면선형 분석을 하였었다<sup>16)</sup>.

이 논문에서 선형추출을 하기 위해 사용한 기법인 GPS와 GRONASS 조합의 방법은 보다 나은 정확도를 가지게 하기 위해 도입되었다.

GPS와 GRONASS조합에 의한 위치결정에 대한 관심은 GPS에서의 SA(Selective Availability)로 인한 고의적인 위치정확도의 하락으로 인해 보다 나은 정확도를 가진 위치결정을 하고자 하는데서 연구가 시작되었다. GPS 단독과 GPS/GRONASS조합의 위치결정 정확도 비교에 대한 연구가 T. Hall, B. Burke, M. Pratt에 의해서 시작되었다. 특히 현재까지 독자적인 위성항법시스템을 갖고있지 않은 유럽국가를 중심으로 GPS와 GRONASS를 동시에 수신하여 차량의 동적위치를 결정하고자 하는 시도

가 활발하게 진행되었다.

정확한 위치를 알고있는 별도의 통신망을 통해 기지국에서 구한 오차 보정량을 사용자에게 전달하여 정확한 위치를 구하는 차분측위(DGPS ; Differential GPS)기법이 개발되었다. Klein과 Parkinson는 부가적인 통신망을 이용하지 않고 지상에서 GPS와 같은 방식의 신호를 송출하는 의사 위성(pseudolite) 개념을 제안하였다<sup>13)</sup>.

이어서 넓은 지역을 소수의 DGPS 송신국으로 그 역할을 담당하고자 하는 광역망 차분측위(WADGPS ; Wide Area DGPS) 개념이 발표되었다. F. van Diggelen은 Z12와 세계 최초의 GG RTK 수신기를 소개하면서<sup>11)</sup>, RTK GPS의 정확도는 높지만 5개 이하의 가시위성을 가진 도심지, 탄광 지대, 계곡 등에서는 무용지물임을 전제로, GG RTK 수신기는 이런 조건에서도 RTK가 가능함을 보여주었다.

본 연구에서는 이러한 GPS와 GRONASS조합의 DGG를 이용하여 좀더 향상된 터널 내 평면선형 추출기법을 개발하고자 한다.

## 2. 도로의 평면선형

도로의 선형이란 도로의 중심선이 입체적으로 그려진 선의 형태를 말하며, 평면적으로 보인 도로의 중심선 형태를 평면선형, 종단적으로 보인 도로의 중심선 형태를 종단선형이라고 한다. 선형설계란, 평면선형과 종단선형의 연계를 고려하고, 현지 지형지물에 적합하며 적절한 크기의 선형요소를 갖는 도로중심선을 결정하는 과정이다.

자동차가 평면곡선부를 주행할 때에는 원심력에 의하여 자동차는 곡선 바깥쪽으로 힘을 받게 되며 이때 원심력은 자동차의 속도 및 중량, 평면곡선반경, 타이어와 포장면의 횡방향마찰력 및 편경사와 관련하여 자동차에 작용하게 된다.

이와 같이 평면곡선부를 주행하는 자동차에 작용하는 힘의 요소들에 대하여 주행의 안전과 쾌적을 확보할 수 있도록 횡방향미끄럼마찰계수와 편경사의 값으로 설계속도에 따른 최소 평면곡선반경을 산정하게 된다. 이때 직선부에서와 같이 안전하고 쾌적한 주행이 가능하도록 횡방향미끄럼마찰계수와 편경사의 값을 결정하게 되므로 두 요소는 주행의 안전과 쾌적에 가장 큰 영향을 미치는 기본적인 요소라 할 수 있다.

### 2.1 평면곡선반경

차로의 곡선부의 곡선반경은 클수록 도로선형은 양호하나, 지형 여건상 크게만 하는 경우 도로선형의 전체적인 균형이 잡히지 않고, 경제성이 결여될 수도 있다. 따라서 자동차의 물리적 운동에 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 우리나라의 경우에는 <표 2.1.1>에서 나타낸 설계속도에 따

른 최소곡선반경을 적용하여 도로설계를 하고 있다.

<표 2.1.1> 최소 평면곡선반경

설계속도 (km/h)	최소 평면곡선반경(m)		
	적용 최대 편경사		
	6%	7%	8%
120	710	670	630
110	600	560	530
100	460	440	420
90	380	360	340
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

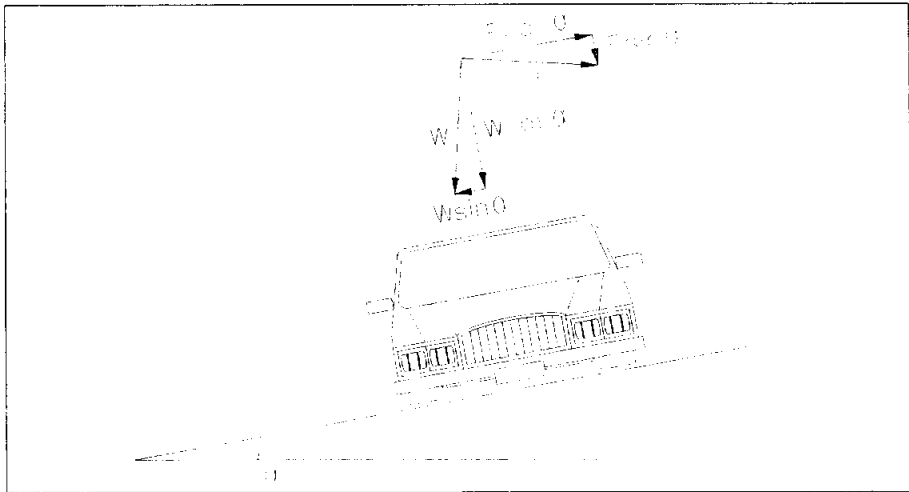
한편, 국외의 규정을 살펴보면 HDM에서는 시거 요인을 무시한 설계속도에 따른 최소곡선반경을 <표 2.1.2>과 같이 제시하고 있으며, 특히 고속도로(Express, Highway)에서의 최소곡선반경은 지방지역에서 1,500m, 도시지역에서 900m로 추천하고 있다.

<표 2.1.2> 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

설계에 적용되고 있는 최소곡선반경은 도로의 곡선부를 주행하는 자동차에 가해지는 원심력으로 인하여 곡선부의 바깥쪽으로 미끄러지거나 전도할 위험을 방지할 수 있도록 타이어와 포장면 사이의 횡방향마찰력이 원심력보다 크도록 하여야 하며, 동시에 주행의 쾌적을 확보할 수 있도록 하여 크기를 산정하여야 한다.

평면곡선부를 주행하는 자동차는 원운동을 하기 위하여 구심력이 필요하며, 그에 반하여 평면곡선반경과 속도에 따라 다음과 같은 크기의 원심력이 작용하게 된다.



<그림 2.1.1> 평면곡선부 주행시의 원심력

<그림 2.1.1>에서 보듯이 평면곡선부를 주행하는 자동차의 원심력은 식 (2.1.1)과 같다.

$$F = \frac{W}{g} \times \frac{v^2}{R} \dots \dots \dots \text{식 (2.1.1)}$$

여기서,  $F$  : 원심력(kg)

$W$  : 자동차의 총중량(kg)

$g$  : 중력가속도( $\approx 9.8\text{m/sec}^2$ )

$v$  : 자동차의 속도(m/sec)

$R$  : 곡선반경(m)

횡방향 마찰력에 의한 횡방향미끄럼계수를  $f$  라 하면 자동차의 안전을 위하여는 다음의 식을 만족하여야 한다.

$$(F \cos \alpha - W \sin \alpha) \leq f(F \sin \alpha + W \cos \alpha) \dots \dots \dots \text{식 (2.1.2)}$$

여기서,  $\alpha$  : 노면의 경사각

$f$  : 횡방향미끄럼에 대한 노면과 타이어간의 마찰계수  
(횡방향미끄럼마찰계수)

식 (2.1.2)를  $\cos \alpha$  로 나누어 정리하면 식 (2.1.3)과 같다.

$$(F - W \tan \alpha) \leq f(F \tan \alpha + W) \dots \dots \dots \text{식 (2.1.3)}$$

식 (2.1.3)에서  $\tan \alpha = i$  (편경사)를 대입하면 식 (2.1.4) 와 같이 된다.

$$(F - Wi) \leq f(Fi + W) \dots \dots \dots \text{식 (2.1.4)}$$

이 식에 식 (2.1.1)을 대입하고, 양변을  $W$  로 나누어 정리하면

$$R \geq \frac{v^2(1-fi)}{g(i+f)} \dots \dots \dots \text{식 (2.1.5)}$$

와 같이 정리되고  $fi$  는 미소하므로 생략하여 정리하면 다음과 같다.

$$R \geq \frac{v^2}{g(i+f)} \dots \dots \dots \text{식 (2.1.6)}$$

위의 식에서 속도( $v$  : m/sec)를 설계속도( $V$  : km/hr)로 정리하면 식 (2.1.7)과 같다.



$$R \geq \frac{V^2}{127(i+f)} \dots \dots \dots \text{식 (2.1.7)}$$

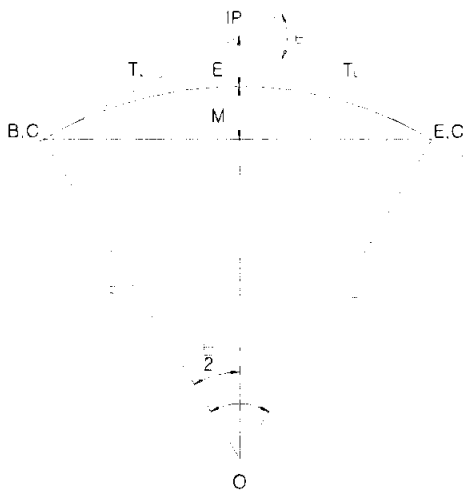
식 (2.1.7)은 평면곡선부를 주행하는 자동차가 횡방향으로 미끄러지지 않을 조건의 평면곡선반경, 설계속도, 횡방향미끄럼마찰계수 및 편경사의 관련식이다.

도로의 평면선형은 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 하며, 특히 평면곡선부인 원곡선과 완화곡선 구간에서는 설계속도와 평면곡선반경의 관계는 물론 횡방향미끄럼마찰계수, 편경사, 확폭 등의 설계요소들이 조화를 이루어야 한다.

## 2.2 원곡선

원곡선은 도로의 설계속도에 따라 최소곡선반경을 정하고 있으나, 되도록 최소곡선 반경값 보다는 바람직한 최소 원곡선 반경값을 취할 필요가 있으며, 직선구간과의 조화가 필요하고, 완화곡선과의 조화도 필요하다.

직선 사이 또는 완화곡선 사이에 설치되는 원곡선은 일반적으로 곡선반경으로 표시하는데 원곡선의 각 요소와 기호는 다음과 같다.



R : 원곡선반경(m)

O : 원곡선의 중심

$T_L$  : 접선길이(m)

$\theta$  : 교각( $^\circ$ )

M : 중앙종거(m)

E : 외선길이(m)

B.C : 곡선의 시점

E.C : 곡선의 종점

IP : 접선의 교점

원곡선의 각 요소값은 다음 식과 같다.

$$T_L = R \cdot \tan\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

$$C = 2R \cdot \sin\left(\frac{\theta}{2}\right)$$

$$E = R \cdot \sec\left(\frac{\theta}{2}\right) - R$$

$$CL = R \cdot \theta \cdot \pi / 180$$

## 2.3 완화곡선

자동차가 평면선형의 직선부에서 곡선부로, 곡선부에서 직선부로, 또는 다른 곡선부로 원활하게 주행하도록 하기 위하여 주행궤적의 변화에 따라 운전자가 쉽게 적응할 수 있도록 이러한 구간에서는 변이구간을 설치하여야 한다. 완화곡선은 이러한 변이구간에 적응하게 되며, 완화구간은 편경사의 변화 또는 확폭량을 설치하기 위하여 취하게 되는 변이구간이다.

완화곡선의 길이는 설계속도에 따라 <표 2.3.1>의 값 이상으로 하여야 한다.

<표 2.3.1> 설계속도에 따른 완화곡선의 길이

설계속도(km/h)	완화곡선의 최소 길이(m)
120	70
110	65
100	60
90	55
80	50
70	45
60	35

그리고, 설계속도가 시속 60킬로미터 미만인 도로의 평면곡선부에서는 다음 표의 길이 이상의 완화구간을 두고 편경사를 설치하거나 확폭을 하여야 한다.

<표 2.3.2> 설계속도에 따른 완화곡선의 길이 (시속 60km 미만)

설계속도(km/h)	완화구간의 최소 길이(m)
50	30
40	25
30	20
20	15

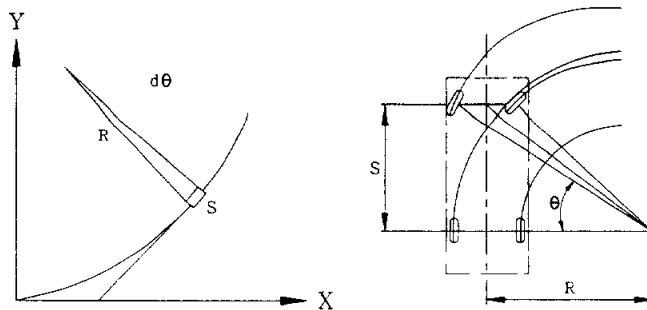
자동차의 원활한 주행을 위하여 평면곡선부에 완화곡선을 설치함으로써 평면곡선부를 주행하는 자동차에 대한 원심력을 점차적으로 변화시켜 일정한 주행속도 및 주행궤적을 유지시킬 수 있고, 직선구간의 표준 횡단경사구간에서 원곡선부분에 설치되는 최대 편경사까지의 변화를 주행속도와 평면곡선반경에 따라 적절하게 접속시킬 수 있도록 한다.

또한, 급한 평면곡선부에서 확폭이 필요한 경우 평면곡선부의 확폭된 폭과 표준횡단의 폭을 자연스럽게 접속시킬 수 있으며, 원곡선의 시작점과 끝점에서 꺾어진 형상을 시각적으로 원활하게 보이도록 한다.

이러한 완화곡선은 여러 종류가 있으나, 그 중 자동차의 완화주행궤적과 가장 비슷한 클로소이드 곡선(Clothoid Spiral)을 사용하도록 한다.

## 2.4 자동차의 완화주행궤적

자동차의 운전자는 직선부에선 평면곡선부로 주행할 때, 그 회전반경이 무한대(직선)에서 차츰 일정한 반경이 되도록 핸들을 조작하게 된다. 즉 직선 주행에서 일정한 반경의 평면의 원곡선구간으로 주행하기 위해서는 직선과 평면의 원곡선부 사이에서 어떠한 특별한 형태의 곡선 주행을 하게 되는데 이를 완화주행이라 하며 그 궤적의 형상은 <그림 2.4.1>과 같다.



<그림 2.4.1> 자동차의 완화주행

<그림 2.4.1>에서 자동차의 회전각속도는 식 (2.4.1)로 나타낼 수 있다.

$$w = \frac{d\theta}{dt} = \frac{d\theta}{ds} \cdot \frac{ds}{dt} = \frac{v}{R} \dots \dots \dots \text{식 (2.4.1)}$$

여기서, w : 자동차의 회전각속도

v : 자동차의 주행속도(m/sec)

R : 주행궤적상의 임의의 점에서의 평면곡선반경

$\theta$  : 회전각

지금 자동차의 주행속도가 v가 일정하다고 하면, 회전각 가속도 w'는 식 (2.4.2)로 나타낼수 있다.

$$w' = \frac{d}{dt} \left( \frac{d\theta}{dt} \right) = \frac{v}{s} \sec^2 \theta \frac{d\theta}{dt} \dots \dots \dots \text{식 (2.4.2)}$$

단,  $R = \frac{s}{\tan \theta}$

직선부에서 평면곡선부로 또는 평면곡선부에서 직선부로 주행하는 회전각 가속도 w'가 일정하게 될 때 운전자가 안전하고 쾌적하게 주행할 수 있으며, 그 궤적을 구해보면 식 (2.4.2)에서 회전각 가속도 w'가 일정하다고 가정할 때

$$\frac{v}{s} \sec^2 \theta \cdot \frac{d\theta}{dt} = k$$

따라서,

$$R = \frac{v}{k \cdot t}$$

완화곡선의 길이를 L이라 하면,  $t = \frac{L}{v}$  이므로

$$R = \frac{v^2}{k \cdot L}$$

그러므로,

$$R \cdot L = \frac{V^2}{k} = A^2 (A^2 = \frac{V^2}{k} = \text{일정}) \cdot \cdot \cdot \cdot \text{식 (2.4.3)}$$

식 (2.4.3)은 클로소이드(Clothoid)의 일반식이다. 즉, 자동차가 일정한 회전각 가속도로 주행하는 경우에는, 완화주행궤적은 클로소이드를 그린다는 것을 알 수가 있다.

자동차의 구조상은  $\theta$ 는  $0 \sim 30^\circ$  이므로  $\sec^2 \theta$ 는 거의 일정한 값이 되며, 따라서  $\frac{d\theta}{dt}$ 도 거의 일정하며  $\theta$ 가 핸들 회전각과 비례한다고 생각하면, 이 주행은 회전속도가 거의 일정한 주행이라 생각할 수 있다.

## 2.5 전국 도로 등급별 터널 현황

오늘날 터널은 자동차 주행에 적합한 종단경사 확보 또는 환경을 보전하기 위하여 건설되어지게 되었으며, 목적의 광범위화와 더불어 그 수요도 계속적으로 증가하고 있다. 그리고, 환경보전에 대한 예측과 대책이 가능하고 유지관리가 용이하도록 시공되고 있다.

현재, 전국 도로별 터널 현황은 <표 2.5.1>과 <표 2.5.2>에서 나타내어진 바와 같으며, 이러한 터널은 선형에 있어서 평면선형은 가능한 직선으로 계획하되 곡선으로 할 경우 터널 내 정지시거를 고려하여 큰 반경의 곡선으로 계획하여야 하며, 평면선형과 종단선형은 상호 연계하여 조화되도록 계획하여야 한다.

<표 2.5.1> 전국 도로 등급별 터널 현황

(단위 : m)

합 계	합 계		고속국도		일반국도	
	개 소	연 장	개 소	연 장	개 소	연 장
	397	239,904.7	170	100,643.0	101	55,423.2
서울특별시	47	30,515.5	2	1,265.0	4	1,386.0
부산광역시	33	28,972.7	-	-	2	802.0
대구광역시	11	7,914.0	9	7,174.0	-	-
대전광역시	18	10,912.0	16	9,992.0	-	-
경기도	81	44,891.7	38	24,972.0	28	11,943.7
강원도	54	38,355.5	27	22,411.0	18	9,966.0
충청북도	16	9,354.5	8	3,422.0	8	5,932.5
충청남도	10	5,261.0	2	1,380.0	6	3,290.0
전라북도	16	7,860.8	5	2,879.0	5	2,192.0
전라남도	40	19,179.0	24	10,239.0	10	7,231.0
경상북도	36	17,129.0	17	8,759.0	10	6,381.0
경상남도	35	19,595.0	22	8,150.0	10	6,299.0

<표 2.5.1> 전국 도로 등급별 터널 현황(계속)

(단위 : m)

합 계	특별.광역시도		지방도		시도	
	개 소	연 장	개 소	연 장	개 소	연 장
	76	57,695.2	29	18,264.8	19	7,627.5
서울특별시	41	27,864.5	-	-	-	-
부산광역시	31	28,170.7	-	-	-	-
대구광역시	2	740.0	-	-	-	-
대전광역시	2	920.0	-	-	-	-
경기도	-	-	6	3,027.0	9	4,949.0
강원도	-	-	5	5,152.0	2	539.5
충청북도	-	-	-	-	-	-
충청남도	-	-	2	591.0	-	-
전라북도	-	-	4	2,320.8	2	469.0
전라남도	-	-	1	500.0	5	1,209.0
경상북도	-	-	9	1,989.0	-	-
경상남도	-	-	2	4,685.0	1	461.0

### 3. 위성항법시스템

최근의 자동차와 화물의 폭발적인 증가로 도로의 효율적인 운용이 불가피하게 되었다. 차량의 위치와 시간정보의 빠른 획득과 갱신을 통해 이런 문제점을 해결하기 위해, 현재 GPS(Global Positioning System)와 INS(Inertial Navigation System), 그리고 추측항법 등의 보조항법시스템을 이용한 결합 항법시스템이 사용되고 있다. 특히, GPS가 육상 차량항법시스템에 널리 이용되고 있다. 하지만 도심지 등에서는 가시위성의 확보가 어려우므로 차량의 동적 위치를 정확하게 결정할 수 없다.

따라서 본 연구에서는 GPS의 이런 단점을 보완하기 위해 GLONASS(GLObal Navigation Satellite System) 결합에 의한 위성항법시스템을 적용하였다.

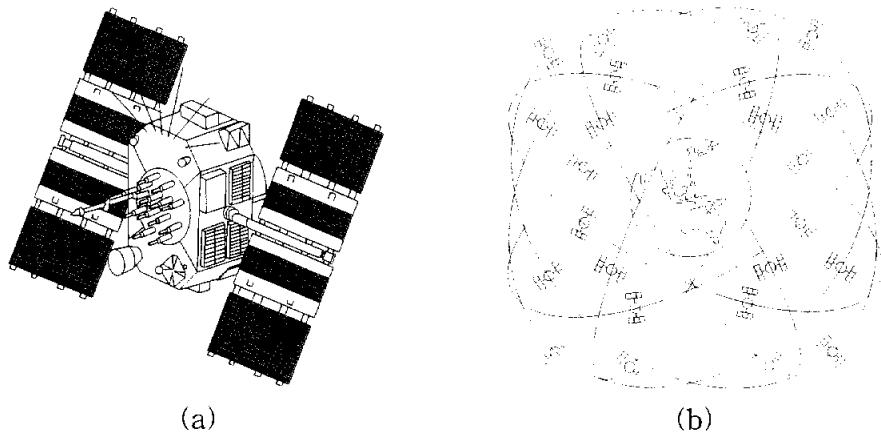
#### 3.1 GPS 이론

GPS 위성은 모두 24개의 위성(예비위성 6개 포함)으로 구성되는데 이 위성들의 고도 20,182km 상공에서 3.9km/sec의 속도로 회전한다. 그리고 각각의 위성은 두 개의 반송파를 통하여 독특한 전자 신호를 연속적으로 제공하고, 이 반송파는 PRN(Pseudo-Random Noise) 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. 이것은 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 측정 위치도 계산될 수가 있다. 의사거리가 PRN 코드 관측에 근거하기 때문에, 이 GPS 관측기법은 종종 코드 관측 과정으로 언급된다.



<그림 3.1.1> GPS 위성과 위성배치

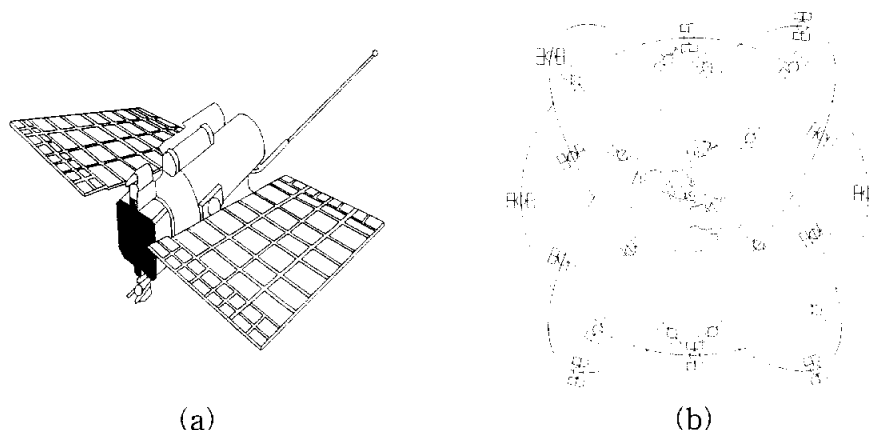
### 3.2 GLONASS 이론

GLONASS는 미국의 GPS와 비슷하며, 민간서비스와 군용서비스 두 가지로 제공하고 있으며 시스템은 위성부문, 지상부문, 사용자부문에 나뉜다. 위성부문은 1995년에 완성되었으며, 21개의 위성군과 3개의 예비위성으로 구성된다. 지상부문은 위성을 제어하고 추적하며 위성의 위치정보와 시간정보, 기타 데이터를 위성에 전송하기 위한 부분이다. 러시아 국방성이 GLONASS의 소유자이며 최대의 사용자이다. 국방성 내에서 GLONASS의 정책과 운용의 책임을 지고 있는 기관은 Russian Space Forces

(VKS)이다. 자세히 살펴보면 VKS 내에서의 GLONASS의 책임은 State Department of Space Means(GUKOS)에 있다. GUKOS는 GLONASS에 관계된 모든 정책을 승인하며 다음의 5개 부분에 대하여 운용책임을 지고 있다.

- (1) 시스템 관제소
- (2) 주 관제소의 시각시스템
- (3) 관제 및 관측소
- (4) 레이저 추적소
- (5) GLONASS Coordination Scientific Information Center (CSIC)

<그림 3.2.1>은 GLONASS 위성과 위성배치를 보여주고 있다.



<그림 3.2.1> GLONASS 위성과 위성배치

### 3.3 GPS와 GLONASS 비교

GLONASS 위성은 1982년 10월 12일 최초로 발사되었으며, 부가적인 위성은 그 다음해에 발사되었다. GLONASS는 러시아 연방정부 대통령에 의해 1993년 9월 24일 공식적인 운영을 발표하였고, 1996년 24개 위성이 처음으로 작동하였다. 발사되는 각 우주선은 3개의 위성궤도로 쏘아 올리게

된다. GLONASS는 GPS와 같이 우주부, 통제부, 그리고 사용자부로 이루어져 있다.

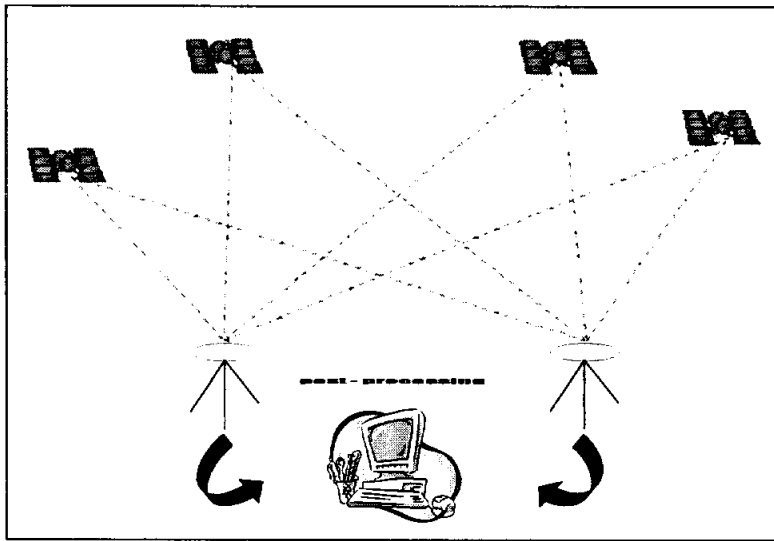
<표 3.3.1>은 GLONASS와 GPS의 우주부문에 대한 중요특성을 비교하였다.

<표3.3.1> GPS와 GLONASS의 비교

Positioning system Item	GLONASS	GPS
No. of satellites	24	24
No. of orbital planes	3	6
Orbital inclination	64.8°	55°
Orbit altitude	19,130km	20,180km
Period of revolution	11hr 15m 40s	11hr 58m 00s
Report ground tracks	every sidereal day	every 8 sidereal day
Ephemeris representaiton	9 parameters (position, velocity, acceleration) in the ECEF Caresian System	Keplerian elements and interpolation coefficients
Geodetic datum	SGS85	WGS84
Time base	GLONASS system time	GPS system time
Systemtime correction relative to	UTC_[SU]	UTC_[SUNO]
Almanac transmission	2.5min	12.5min
Satellite signal division	Frequency division	Code division
Frequency band L1	1.602 ~ 1.615MHz	1.575MHz
Frequency band L2	1.246 ~ 1.256MHz	1.228 MHz
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
Code type	PRN sequence	Gold code
Code frequency	C/A-code 0.511MHz P-code 5.11MHz	C/A-code 1.023MHz P-code 10.23MHz
Clock data	clock offset frequency offset	clock offset frequency offset and rate

### 3.4 DGPS (Differential GPS)

두 대의 수신기로 동시에 같은 위성으로부터 관측값을 읽을 때 차분(Differential) 계산을 통하여 오차요소를 제거 또는 줄일 수 있다. 이 위치결정 방법으로 한 수신기는 알고 있는 좌표점인 기지국에 설치한다. 다른 한 대는 결정하려는 좌표점인 이동국에 설치한다.



<그림 3.4.1> DGPS 관측방법

단중차 관측식은 다음 식으로부터 기지점 관측값을 계산하여 이동국 값에서 기지점 관측값을 뺀다.

$$\Delta P = \Delta \rho + c\Delta d_T + \Delta d_{ion} + \Delta d_{trop} + \Delta d_\rho + \epsilon_{\Delta P}$$

$$\Delta \Phi = \Delta \rho + \lambda \Delta N + c\Delta d_T + \Delta d_{ion} + \Delta d_{trop} + \Delta d_\rho + \epsilon_{\Delta \Phi}$$

$$\Delta Z = \Delta \sigma + c\Delta e_T + \Delta e_{ion} + \Delta e_{trop} + \Delta e_\rho + \epsilon_{\Delta Z}$$

여기서,

$\Delta = (0)_{reference} - (0)_{rover}$  : 위성정보에 대한 수신기간에 단중차

$P$ = 의사거리 관측치( $m$ )

$\Phi$  = 반송파 위상 관측치( $m$ )

$Z$ = 도플러 위상차 관측치( $ms^{-1}$ )

$\rho$  = 수신기와 위성간 측지 거리( $m$ )

$\sigma$  = 수신기와 위성간 거리비( $ms^{-1}$ )

$\lambda$  = 반송파 파장( $mcycle^{-1}$ )

$N$ = 반송파 위상 정수부 모호정수( $cycle$ )

$c$ = 광속( $ms^{-1}$ )

$d_i$ = 위성 시계 오차( $m$ )

$e_i$ = 위성 시계 오차 편차( $ms^{-1}$ )

$d_T$ = 수신기 시계 오차( $m$ )

$e_T$ = 수신기 시계 오차 편차( $ms^{-1}$ )

$d_{ion}$ = 전리층 지연( $m$ )

$e_{ion}$ = 전리층 지연 편차( $ms^{-1}$ )

$d_{trop}$ = 대류권 지연( $m$ )

$e_{trop}$ = 대류권 지연 편차( $ms^{-1}$ )

$d_\rho$ = 궤도 오차( $m$ )

$e_\rho$ = 궤도 오차 편차( $ms^{-1}$ )

$E$ = 수신기 잡음과 다중경로

단중 차동식에서는 위성시계오차(dt)와 편차(dt)를 가지고 있어야 성립된다. 만약 기지국과 이동국간의 거리가 200km보다 적다면 전리층과 대류권 지연오차 뿐만 아니라 궤도오차는 작게(궤도오차 0.1~1ppm, SA 1~2ppm, 전리층 지연오차 0.2~0.4ppm, 대류권 지연오차 0.3~3ppm) 나타날 것이다. 반송파 위상 정수부인 모호정수와 의사거리 관측에 대한 해석이 다르기 때문에 단중차 위치결정은 종종 사용된다. 따라서 1~수m DGPS 위치결정 정확도는 실행 가능할 것이다.

위치결정에 있어서 코드파 원 유사거리를 사용하는 대신에 반송파 smooth 유사거리를 사용하면 높은 정확도를 얻을 수 있다. 그러나 코드파 원 유사거리는 명확하지만 잡음이다. 반면에 반송파는 모호정수이지만 정확하다.

반송파 위상 정수부 모호정수는 신호차단까지도 전 시간 끊임없이 전송된다. 그리고 두 epoch간에 다른 상대적 반송파 위상은 고정밀도를 가지고 정밀하게 측정할 수 있다. 반송파 위상 smoothing 방법은 절대 의사거리와 상대적인 반송파 위상을 결합하여 회귀분석(recursive filter)하여 사용한다. 만약 반송파 위상 smoothing을 실행한다면 단중차 DGPS 위치결정의 정확도는 기지국과이동국 거리가 10km가 넘으면 수평오차는 0.3~3m, 수직오차는 0.5~4m이다.

단중차 관측은 기준 위성과 또 다른 위성간의 관측값을 뺀 거리라면 이중 차동식은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} \nabla \Delta P &= \nabla \Delta \rho && + \nabla \Delta d_{ion} + \nabla \Delta d_{trop} + \nabla \Delta d_{\rho} + \varepsilon_{\nabla \Delta P} \\ \nabla \Delta \Phi &= \nabla \Delta \rho + \nabla \lambda \Delta N && - \nabla \Delta d_{ion} + \nabla \Delta d_{trop} + \nabla \Delta d_{\rho} + \varepsilon_{\nabla \Delta \Phi} \\ \nabla \Delta Z &= \nabla \Delta \sigma && - \nabla \Delta e_{ion} + \nabla \Delta e_{trop} + \nabla \Delta e_{\rho} + \varepsilon_{\nabla \Delta Z} \end{aligned}$$

여기서,  $\nabla \Delta i = \{(\cdot)_{reference} - (\cdot)_{rover}\}_i - \{(\cdot)_{reference} - (\cdot)_{rover}\}_{base}$   
 $i$  : 위성수 ( $base$  : 기준위성)

이중차는 위성과 수신기 시계오차와 편차일치 추정 후에 설립된다. 전리층과 대류층 지연오차 뿐만 아니라 궤도오차는 단중차의 경우보다 급격히 줄어든다. 이 오차는 공간과 관계가 있다. 기지국과 이동국(10km 이내) 거리가 짧은 경우에 오차는 보통 무시해도 된다. 단지 남아있는 오차는 수신기 잡음과 다중경로 오차뿐이다.

기지국과 이동국의 거리가 10km 이상일 때, 전리층 지연오차(0.2~0.4ppm)와 대류권 지연오차(0.3~3ppm) 뿐만 아니라, 전체 궤도오차(1~2ppm)는 서로 불일치 하므로 성립하지 않는다. L1의 파장은 오직 19.02cm이므로 정확한 정수부 모호정수 고정과는 다르다.

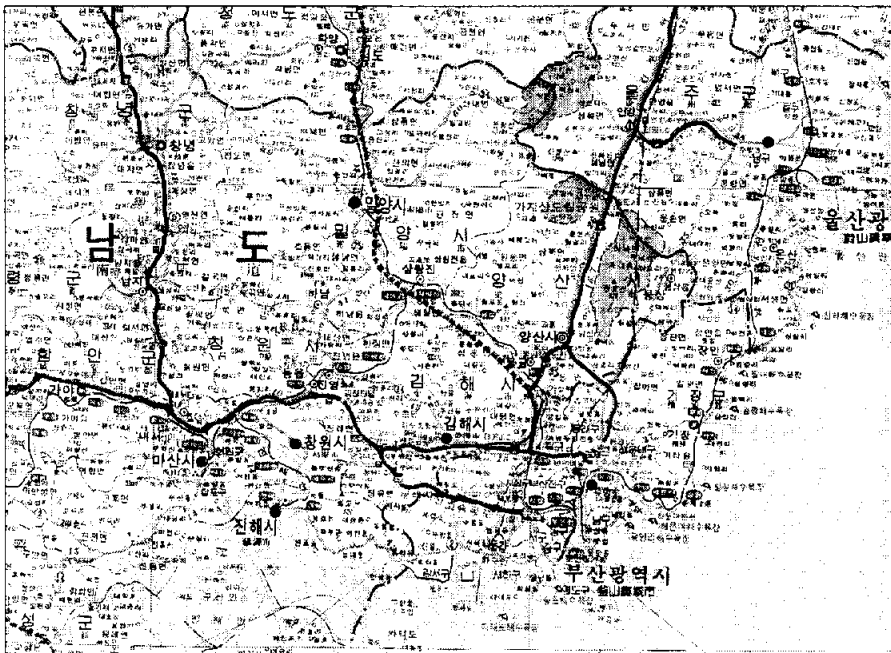
고정밀 GPS 위치결정은 이중차 반송파 위상 관측을 사용하여 획득할 수 있다.

## 4. 현장관측 및 결과

### 4.1 관측대상지역

본 연구에서는 도로의 선형을 추출하기 위해서 부산근교의 도로를 선정하여 위성측량방법 중 DGPS 방법으로 도로의 선형을 관측하고, 관측된 자료로부터 선형을 분석, 도로의 중심선 자료를 획득하였다.

본 연구는 2002년 2월에 실시되었으며, 관측대상지역은 1개소의 터널과 각종 도로시설물로 인해 가시위성의 확보가 어려운 지역을 포함하는 창원-부산간 남해고속도로 중 설계제원을 알고 있는 약 50km구간을 선정하여 관측하였으며, <그림 4.1.1>에서 보여지는 바와 같다.



<그림 4.1.1> 관측대상지역 위치도

## 4.2 관측장비제원

관측에 사용된 장비는 가시위성의 수를 최대한 증가시키기 위해, GPS 위성과 GLONASS 위성의 신호를 모두 수신할 수 있는 JAVAD 사에서 제조된 장비를 사용하였으며, 장비의 제원은 <표 4.2.1>과 같다,

<표 4.2.1> 관측장비제원

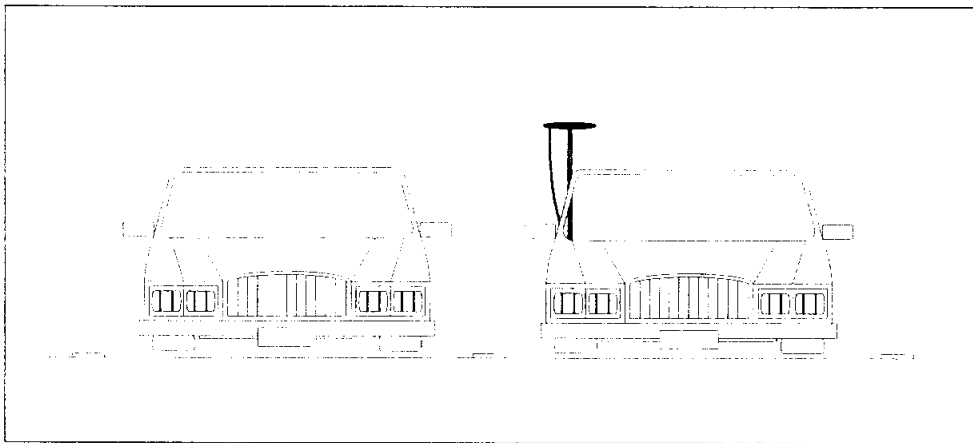
Characteristics	Receiver	Antenna
Type	Legacy(JAVAD)	LegAnt
Tracking Channel	40 L1 channels 20 L1/L2 channels GPS/GLONASS	
Signals Tracked	L1/L2 C/A and P-code and Carrier phase	
Accuracy	Horizontal Static 3mm+1ppm ( $\times D$ ) for dual frequency Rapid static 5mm+1ppm ( $\times D$ ) fo Single frequency kinematic 10mm+1.5ppm ( $\times D$ ) for dual frequency RTK (H) 10mm+1.5ppm ( $\times D$ ) for dual frequency (V) 20mm+1.5ppm ( $\times D$ ) for dual frequency	



### 4.3 관측시스템 구성

관측시스템은 부경대학교 내에 있는 기지점에 먼저 기지국을 설치하고, <그림 4.3.1>과 같이 이동국은 차량에 일체식으로 탑재하여 편도2차로 도로의 1차로를 주행하면서, 기존 도로의 3차원 자료를 1초 간격으로 취득하였다.

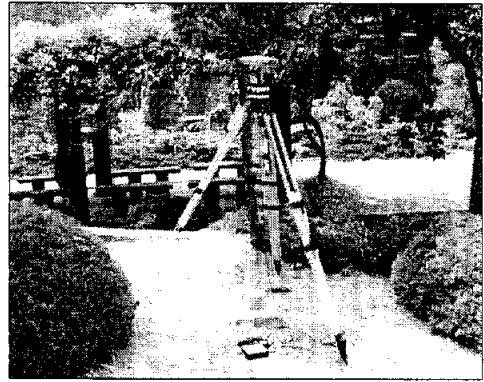
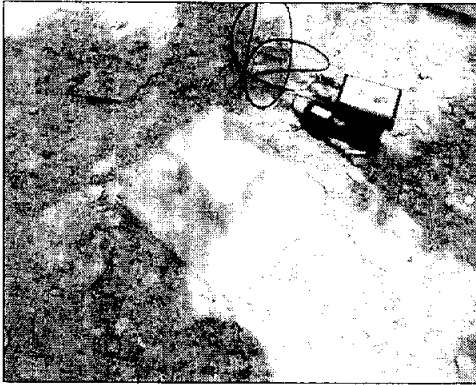
이동국을 도로의 중심선을 따라 이동하는 것이 후처리 과정에 있어서 효과적이거나, 본 연구의 대상지가 도로 중앙분리대가 설치되어있는 고속도로인 점을 감안할 때, 실제로 도로의 중심선 자료를 취득하기란 불가능한 일이다.



<그림 4.3.1> 관측시스템 모식도

이 경우 도로의 중심선의 측점위치는 중심선상에서 1.7m Offset되어 측정되어지나, 좌표계산시 X, Y방향으로 Offset량을 감하여 산출하였다.

약 50km 구간을 관측하는데 90분이 소요되었으며, 부경대학교에 설치된 기지국 및 수신기를 차량에 일체식으로 탑재한 모습의 그림은 <그림 4.3.2>와 <그림 4.3.3>와 같다.



<사진 4.3.1> 관측시스템 중 기지국의 모습



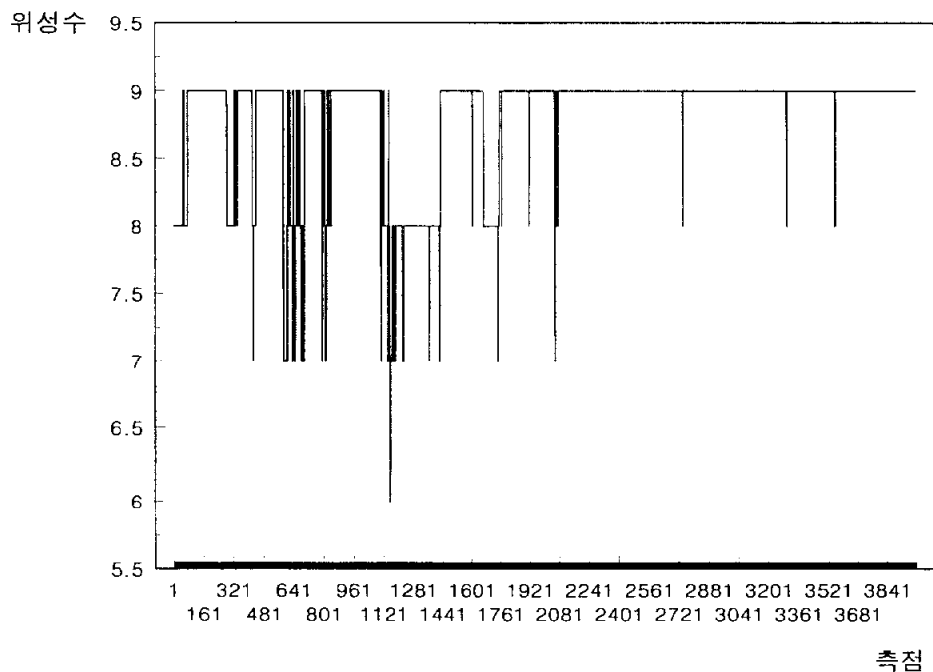
<사진 4.3.2> 관측시스템 중 이동국의 모습

## 4.4 관측결과

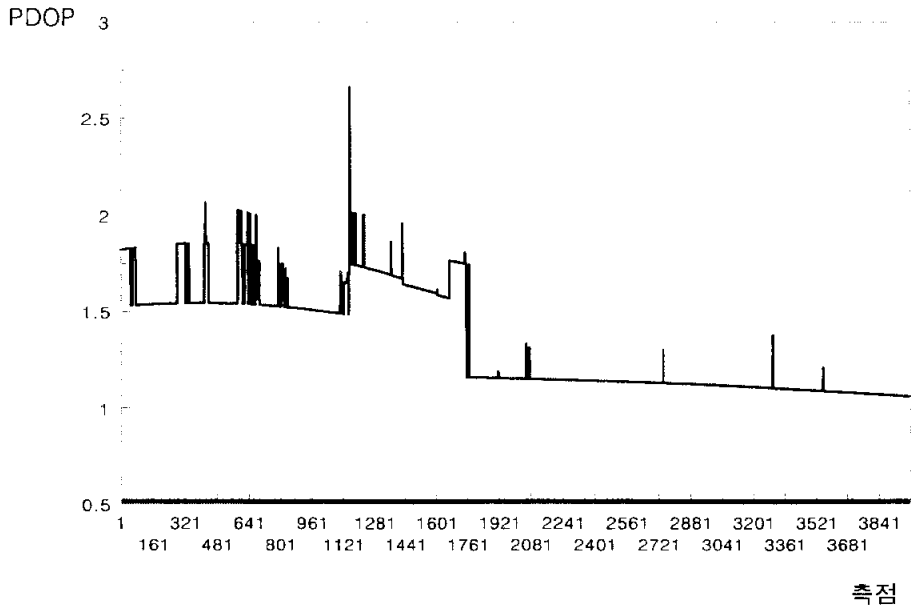
### 4.4.1 위성의 가시성

본 연구에서는 약 50km 구간의 도로 중심선 자료를 취득함에 있어서 최대한의 가시위성 확보를 위하여 GPS와 GLONASS의 신호를 모두 수신할 수 있는 수신기를 사용하였으며, 관측시의 측정별 GPS와 GLONASS 위성의 추적 분포와 위치 정밀도 저하율(PDOP)을 나타내면 <그림 4.4.1>, <그림 4.4.2>와 같다.

<그림 4.4.1>에 나타난 바와 같이, 전체구간에서 8개 이상의 위성신호를 수신할 수 있었으며, 대부분의 구간에서 9개 이상의 위성신호를 수신할 수 있었다.



<그림 4.4.1> 측정별 가시위성수



<그림 4.4.2> 측점별 위치 정밀도 저하율

또한, <그림 4.4.2>에 나타낸 바와 같이 모든 자료에서 정밀도 저하율이 3.0 이하로 나타났다.

이와 같이, 모든 자료에 있어서 정밀도 저하율이 3이하의 값을 보이는 것은 관측당시의 위성의 배치상태가 양호한 것을 보여주는 척도가 되며, 터널 및 가시위성의 확보를 저하시키는 도로 시설물이 설치된 구간에서는 위성의 신호를 수신할 수 없는 관계로 인해 위성수와 위성의 배치상태를 알아낼 수가 없었다.

#### 4.4.2 자료 취득률

본 연구에서 관측자료의 취득률은 전체 대상구역의 노선길이 대한 관측되지 않은 구간의 길이로 나타내었다. <표 4.4.1>은 대상구역내에서 취득된 자료수와 대상 도로의 길이를 나타낸 것이며, <그림 4.4.3>은 자료의 취득률을 나타낸 것이다.

<표 4.4.1> 자료 취득률

구분	취득된 자료수	길이(km)	자료 취득률(%)
자료취득구간	4,695	49.88	89.8
터널 구간	0	5.02	9.0
방음벽 구간	0	0.65	1.2



■ 관측구간 □ 터널구간 ▨ 방음벽구간

<그림 4.4.3> 구간별 자료 취득률

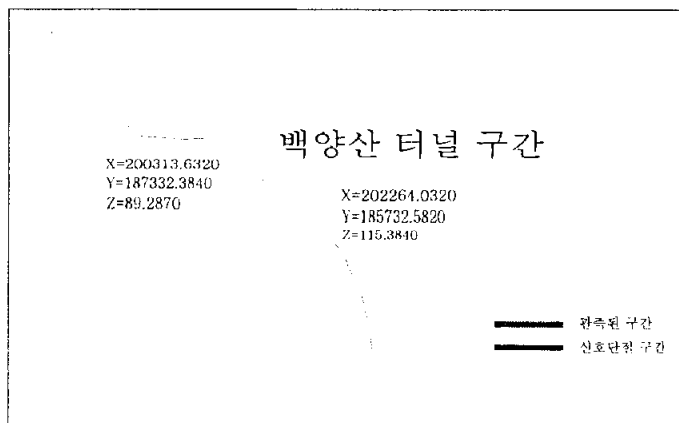
## 5. 터널 내 평면선형 결정

차량이 개할된 구간을 주행할 때에는 도로 3차원 자료의 취득이 가능함으로 필요로 하는 도로 선형 자료를 획득할 수 있지만, 터널 및 방음벽이 설치된 구간에서는 위성으로부터의 신호 수신에 불가능하다.

따라서, 본 연구에서는 위성으로부터의 자료 취득이 불가능한 터널 내의 선형을 추출하기 위하여 터널의 시점과 종점 주위의 도로 선형 자료를 이용하여 터널 내의 평면선형 IP를 결정하고, 계산된 교각을 이용하여 최적 원곡선을 설치하여 기존 설계제원과 비교·분석하였다.

### 5.1 터널 내 평면선형 IP 추출

터널 내의 선형은 일반 도로의 선형보다는 교통사고의 위험 등으로 인해 선형이 대체로 단조로운 특성을 지닌다. 이러한 특성을 고려해 볼 때, 대상 터널의 시점과 종점부에 각각 원곡선이 설치된 것을 감안하여 각각의 원곡선에 접하는 직선으로 터널 내의 IP를 결정하였다. 관측된 구간과 신호단절 구간은 <그림 5.1.1>와 같다.



<그림 5.1.1> 관측대상구간 중 터널 설치 구간

이렇게 결정된 I.P와 설계제원 I.P를 비교하면 <표 5.1.1>과 같다.

<표 5.1.1>에서 나타낸 바와 같이, 터널 시종점 부근의 원곡선을 이용하여 터널 내의 I.P점 위치를 추출한 결과, 설계제원 I.P점 위치와 약 4m 정도의 차이를 나타내었다.

<표 5.1.1> 추출된 I.P와 설계제원의 비교

구 분	추출된 제원		설계제원		비 고	
	X	Y	X	Y	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$
I.P 3	187423.19	200196.22	187,424.40	200,190.85	-1.21	5.37
I.P 4	187168.26	200679.78	187,171.52	200,674.58	-3.26	5.2
I.P 5	185672.43	202541.28	185,680.51	202,539.67	-8.08	1.61
평 균	-	-	-	-	-4.18	4.06

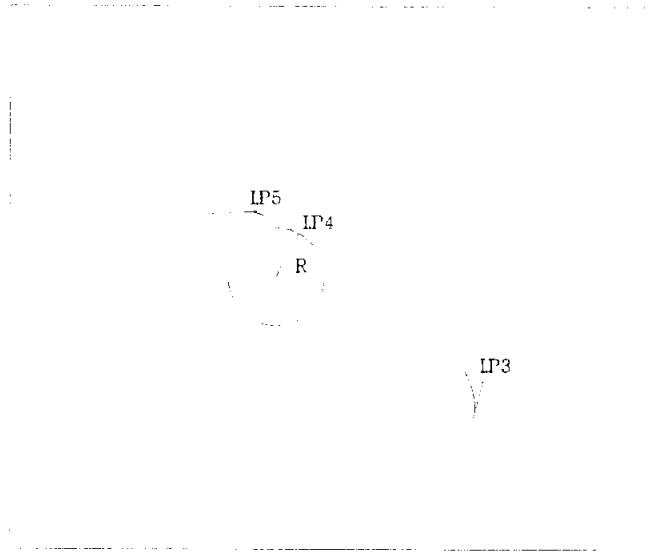
## 5.2 터널 내 평면선형 추출

이렇게 추출된 I.P를 바탕으로, 먼저 교각(I)를 계산하고 터널 내에 존재하는 곡선장(CL)을 100m, 200, 300, 400, 500m로 가정하여 접선장(TL)을 결정하였다. 그리고, 이렇게 결정된 접선장(TL)로 곡선반경(R)을 계산하였으며, 계산된 제원들은 <표 5.1.2>와 같다.

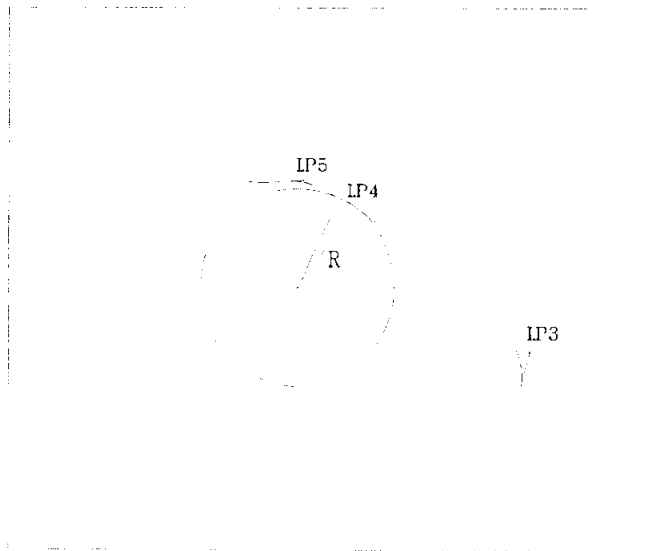
<표 5.1.2> 추출된 대상구간의 설계제원

CL(m)	교각(°)	R(m)	TL(m)	비 고
100	11.3985	502.6607	50.16556	
200	11.3985	1005.321	100.3311	
300	11.3985	1507.982	150.4967	
400	11.3985	2010.643	200.6622	
500	11.3985	2513.303	250.8278	

이와 같은 제원들을 바탕으로 곡선장에 따른 도로의 선형을 제시해 보면 <그림 5.1.2>~<그림 5.1.6>와 같다.

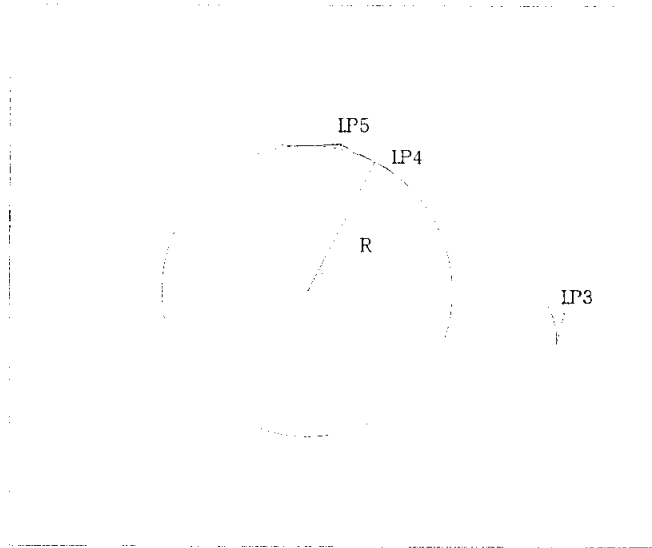


<그림 5.1.2> CL(곡선장)=100 일 경우 평면선형

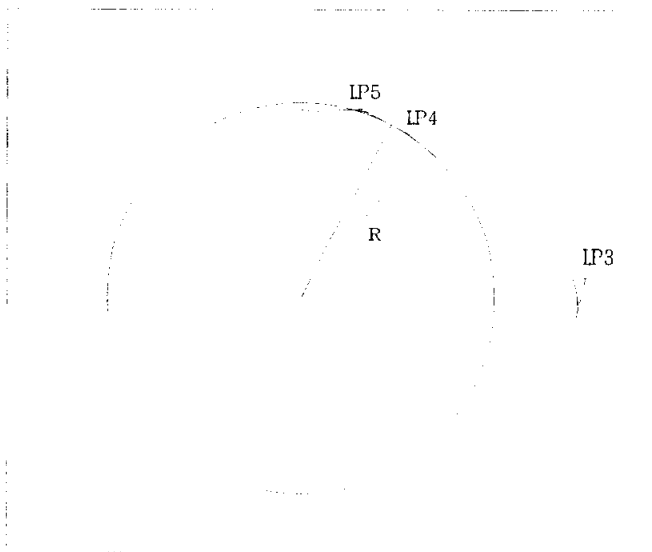




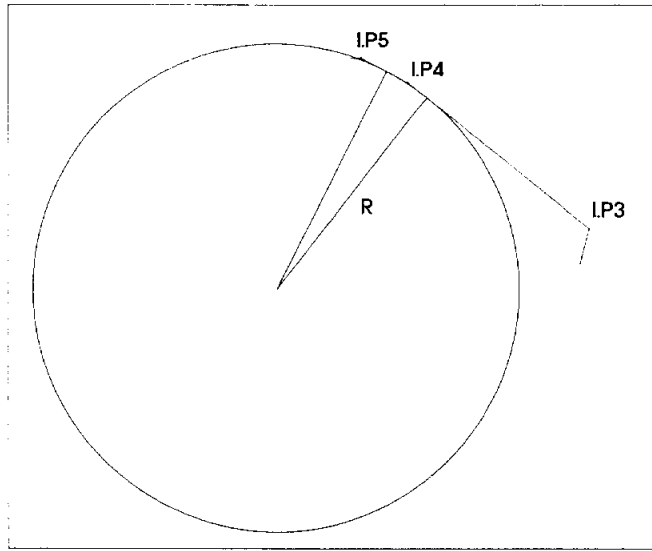
<그림 5.1.3> CL(곡선장)=200 일 경우 평면선형



<그림 5.1.4> CL(곡선장)=300 일 경우 평면선형



<그림 5.1.5> CL(곡선장)=400 일 경우 평면선형



<그림 5.1.6> CL(곡선장)=500 일 경우 평면선형

이 결과, 곡선장이 200m를 초과할 경우, 원곡선이 주위의 선형과 조화롭지 못함을 알 수 있었다. 그리고, 곡선장이 200m 경우 가장 양호한 선형을 추출할 수 있었으며, 이는 설계제원의 곡선장과 거의 흡사한 것으로 나타났다.

### 5.3 결과 및 분석

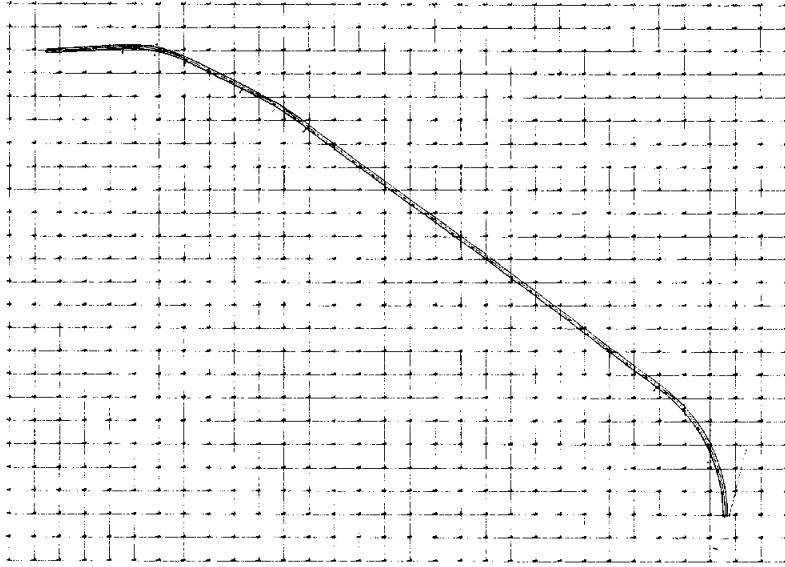
이렇게 결정된 평면선형을 설계제원의 선형자료와 100m 간격으로 36개의 측점에 대하여 비교해 보면 <표 5.3.1>과 같으며, <그림 5.3.1>은 설계제원에 의해 재현된 평면선형을 나타내며, <그림 5.3.2>는 추출된 제원에 의해 재현된 평면선형을 보여준다. 그 결과를 평균해 본 결과, X방향으로 1.371m, Y방향으로 0.973m 차이가 있는 것으로 나타났다.

본 연구는 터널 내 IP가 1개소 있는 경우에 적용할 수 있는 기법이며, IP가 2개소 이상 있을 경우에는 다른 기법을 적용해야 한다. 그런데 터널

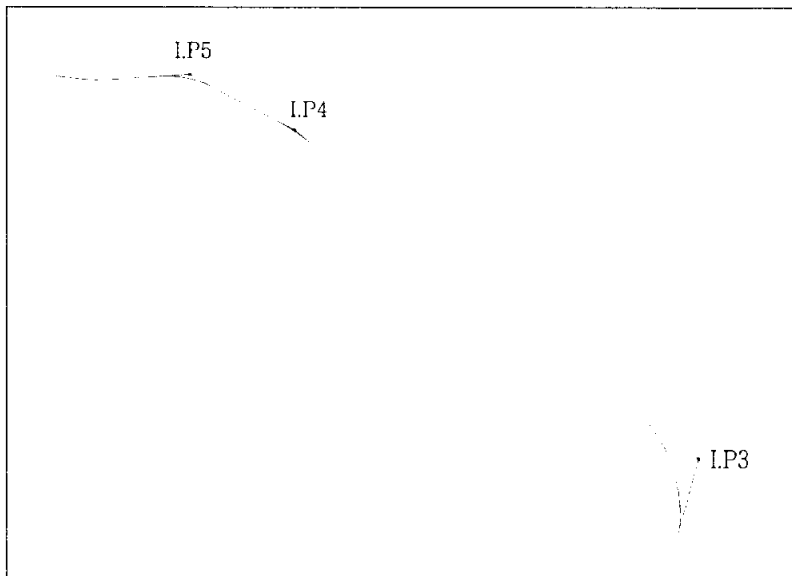
내 I.P가 2개소 이상 있는 경우는 극히 드문 사례이다.

<표 5.3.1> 추출된 선형과 설계서 선형과의 비교

구 분	추출된 중심선 좌표		설계서 중심선 좌표		비 고	
	X좌표	Y좌표	X좌표	Y좌표	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$
1	187397.6195	199778.9165	187398.3671	199778.8692	0.7476	0.0473
2	187402.1597	199878.8292	187404.6812	199878.6697	2.5215	0.1595
3	187409.1175	199978.5889	187410.9954	199978.4701	1.8779	0.1188
4	187415.5670	200078.3120	187416.5669	200078.3040	0.9999	0.0080
5	187406.3460	200177.5054	187407.4602	200177.7212	1.1142	0.2158
6	187378.0365	200273.0391	187378.7838	200273.3474	0.7473	0.3083
7	187332.8299	200362.0957	187334.3123	200362.8699	1.4824	0.7742
8	187286.8320	200450.8893	187288.0224	200451.5110	1.1904	0.6217
9	187240.8352	200539.6811	187241.7294	200540.1504	0.8942	0.4693
10	187190.3264	200625.8796	187192.5195	200627.1856	2.1931	1.3060
11	187135.5574	200709.3146	187137.9694	200710.9773	2.4120	1.6627
12	187078.5588	200791.4096	187078.2923	200791.1982	0.2665	0.2114
13	187015.9191	200869.3620	187015.8577	200869.3129	0.0614	0.0491
14	186953.2802	200947.3135	186953.4152	200947.4214	0.1350	0.1079
15	186890.6413	201025.2650	186890.9727	201025.5298	0.3314	0.2648
16	186828.0025	201103.2164	186828.5302	201103.6383	0.5277	0.4219
17	186765.3636	201181.1679	186766.0876	201181.7468	0.7240	0.5789
18	186702.7247	201259.1194	186703.6451	201259.8552	0.9204	0.7358
19	186640.0858	201337.0709	186641.2026	201337.9637	1.1168	0.8928
20	186577.4469	201415.0223	186578.7601	201416.0722	1.3132	1.0499
21	186514.8080	201492.9738	186516.3176	201494.1806	1.5096	1.2068
22	186452.1691	201570.9253	186453.8751	201572.2891	1.7060	1.3638
23	186389.5302	201648.8768	186391.4326	201650.3976	1.9024	1.5208
24	186326.8913	201726.8282	186328.9900	201728.5060	2.0987	1.6778
25	186264.2524	201804.7797	186266.5475	201806.6145	2.2951	1.8348
26	186201.6135	201882.7312	186204.1050	201884.7230	2.4915	1.9918
27	186138.9746	201960.6827	186141.6625	201962.8314	2.6879	2.1487
28	186076.3358	202038.6341	186079.2200	202040.9399	2.8842	2.3058
29	186013.6969	202116.5856	186016.7775	202119.0484	3.0806	2.4628
30	185951.0633	202194.5304	185954.3338	202197.1559	3.2705	2.6255
31	185886.6796	202270.7241	185886.3840	202270.4077	0.2956	0.3164
32	185808.5278	202332.9959	185808.6973	202333.2391	0.1695	0.2432
33	185722.1944	202383.0527	185722.8566	202384.3701	0.6622	1.3174
34	185630.3497	202421.9790	185630.6107	202422.7590	0.2610	0.7800
35	185533.3504	202444.9394	185533.8391	202447.6236	0.4887	2.6842
36	185434.4935	202457.9292	185434.5132	202458.4573	0.0197	0.5281



<그림 5.3.1> 설계제원에 의해 재현된 평면선형



<그림 5.3.2> 추출된 설계제원에 의한 평면선형

## 6. 결론

위성측량 방법 중 DGPS를 이용하여 도로의 중심선 3차원 자료를 취득하고, 이러한 자료를 근거로 하여 자료취득이 불가능한 터널구간 내의 평면선형을 추출해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 가시위성을 확보하기 위해 GPS와 GLONASS 위성신호를 수신한 결과, 대부분의 대상구간에서 9개 이상의 위성신호를 수신할 수 있었으며, PDOP도 2.5이하의 양호한 분포를 보였다.
2. 터널 시종점 부근의 원곡선을 이용하여 터널 내의 LP를 추출한 결과, 설계제원의 LP와 약 4m정도 차이를 보였다.
3. 결정된 LP에서의 교각을 계산하고, 곡선장(CL)을 100m간격으로 변화시켜서 그에 따른 곡선반경(R)을 계산한 결과, 곡선장이 200m일 때 가장 양호한 선형을 추출할 수 있었으며, 선형추출의 한 방법을 제시하였다.
4. 결정된 평면선형을 설계제원의 선형자료와 100m간격으로 비교해 본 결과, X방향으로 1.371m, Y방향으로 0.973m 차이가 있는 것으로 나타났다.
5. 본 연구에서 제시한 방법을 이용한다면, 도로 선형자료의 갱신과 유지관리 차원에서 앞으로 도로통합관리시스템을 구축하는데 있어서 도로 선형 및 도로시설물의 위치를 효과적으로 관리·이용할 수 있을 것으로 판단되며, 터널 내 LP가 2개소 이상 있을 경우에는 다른 기법을 적용해야 하나, 이 경우는 극히 드문 사례이다.

## 참고문헌

1. 건설교통부, “도로 구조·시설기준에 관한 규칙”, pp149-151, 1999.
2. 과학기술, “도로구조에 관한 국내·외 설계기준(한국·미국·독일·일본), 2001.
3. D.Stathas, J.Karabelas, C.Liapakis, Basil Psarianos and Marios Kontaratos, Dynamic Vehicle Positioning and Orientation Techniques for Inspecting Road Surface or Guiding Construction Machines, The Conference Proceedings of FIG Working Week 2001, Session 17, 2001.
4. R.Weber, T.A.Springer, The international GLONASS experiment : product, progress and prospects,, Journal of Geodesy, 75, pp.559-568, 2001.
5. D.Kuang, Y.E.BarSever, W.I.Bertiger, K.J.Hurst, J.F.Zumberge, GPS-assisted GLONASS orbit determination , Journal of Geodesy, 75, pp.569-574, 2001.
6. Gp Capt D.W.Broughton, Future Navigation-Safety or Savings?, Proceedings of the IAIN World Congress in association with the U.S.ION Annual Meeting, pp.650-652, 2000.
7. L.Z.Wang, K.T.Miura, E.Nakamae, T.Yamanoto, T.J.Wang, An approximation approach of the clothoid curve defined in the interval  $[0, \pi/2]$  and its offset by free-form curves, Computer-Aided Design, 33, pp.1049-1058, 2000.
8. Said MEasa, Yasser Hassan, Development of transitioned vertical curve, I Properties, Transportation Research Part A, 34, pp.481-496, 1999.

9. Mi Wang, Bingxuan GUO, Deren LI, Jianya Gong, "Research on Match of GPS Signal and Road Information for Mobile Navigation System", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol XXXIII, Part B2, pp.598-602, 2000.
10. L Tytgat European Commission DG TREN, "Galileo-The Evolution of a GNSS", Proceeding of the IAIN World Congress in association with the U.S.ION Annual Meeting, pp.100-108, 2000.
11. F.van Diggelen, "The Ashtech GG Family of Products", Proceedings of ION GPS-96, September 17-20, pp.131-140, 1996.
12. Christopher Deckert, Paul V.Bolstad, "Forest Canopy, Terrain, and Distance Effects on Global Positioning System Point Accuracy", American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Vol.62, No.3, pp.317-321, March, 1996.
13. Klein. D and B.W.Parkinson, "The Use of Pseudo-Satellites for Improving GPS Performance", Proceedings of the Fortieth Annual Meeting of the ION, pp.303-315, 1984.
14. Glenoon.J.C and Weaver.G.D, "The Relationship of Vehicle Paths to Highway Curve Design", Texas Highway Department, Report 13, pp.4-5, 1971.
15. 강준묵, 이용욱, 박정현, "GPS/GLONASS 조합에 의한 절대측위 정밀도 분석", 한국측량학회지, 제19권 제1호, pp.9-17, 2001.
16. 이종출, "동적 GPS 관측에 의한 도로의 평면선형분석", 한국측량학회지, 제19권 제1호, pp.39-45, 2001.
17. 강준묵, 박정현, 이은수, "DGPS/DGLONASS에 의한 3차원 위치결정", 한국측량학회지, 제19권 제4호, pp.317-325, 2001.

18. 이인수, “GPS/GLONASS 결합에 의한 차량의 동적위치결정”, 동아대학교, 박사학위논문, 2000.
19. 주현승, “차량항법을 위한 GPS 위치정확도 향상에 관한 연구”, 연세대학교, 박사학위논문, 2000.
20. 노태호, “GPS에 의한 도로변형량 측정에 관한 연구”, 부경대학교, 산업대학원, 석사학위논문, 1999.
21. 백기석, “GPS/GLONASS 결합에 의한 기선정확도 분석”, 동아대학교, 석사학위논문, 2001.
22. 강성원, “도로위치정보관리체계구축을 위한 도로선형설계요소 분석”, 부경대학교, 석사학위논문, 2001.
23. 허종호, “최소제공법에 의한 평면선형 설계제원 산정”, 부경대학교, 석사학위논문, 2000.
24. 이영식, “GPS 반송파 위상을 이용한 실시간 정밀 측위 알고리즘 개발”, 건국대학교, 석사학위논문, 2000.
25. 현미진, “비주얼화된 회귀진단 틀 개발”, 경남대학교, 석사학위논문, 1998.
26. 신승훈, “도로 편경사 측정기법의 효율성 향상”, 부경대학교, 산업대학원, 석사학위논문, 2000.
27. 조철호, “도로선형 설계에서 완화곡선의 효율적인 이용 모델”, 대구대학교, 석사학위논문, 1997.
28. 김주현, “도로의 평면선형 설계기법에 관한 연구”, 한양대학교, 산업대학원 석사학위논문, 1996.
29. 박도병, “국도24호선과 35호선 도로 선형에 관한 연구”, 울산대학교, 석사학위논문, 1995.



## 감사의 글

석사과정을 다시 시작하여 무사히 수료하고 본 논문이 완성되기까지 많은 분들의 지도와 협조를 받은 것에 대해 깊은 감사의 마음을 전하려 합니다.

먼저 바쁘신 중에도 부족한 논문을 세심한 배려로 보살펴 주신 김 상용 교수님과 손 인식 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

또한 여러 가지 부족한 저에게 자상하게 아낌없이 지도편달 해주신 이 중출 지도교수님께 진심으로 감사 드립니다.

그리고 석사과정 동안 많은 가르침을 주시고 학교 발전에 힘쓰시는 김 종수 교수님, 장 희석교수님, 이 종섭 교수님, 이 동욱 교수님, 이 영대 교수님, 김 명식 교수님, 정 진호 교수님, 이 환우 교수님, 정 두희 교수님, 국 승규 교수님, 이 상호 교수님께도 깊은 감사를 드립니다.

논문준비 과정에서 시종일관 많은 도움을 준 연구실 서 동주, 장 호식, 노 태호, 선생님과 김 진수, 강 상민, 남 신 후배에게도 진심으로 고마움을 전합니다.

아울러 석사과정동안 직장에서 도움주신 천진ENG 김 용도 사장님, 박 상주 이사님, 많은 직장동료들께도 감사의 마음을 전합니다.

오늘이 있기까지 온갖 고생을 감내하며 키워주시고 오직 자식 잘되기를 바라며 평생을 살아오신 부모님께 머리 숙여 이 논문을 바칩니다.

항상 어려운 살림에도 밝고 명랑한 가정을 꾸릴 수 있도록 내조를 아끼지 않은 사랑하는 당신과 큰딸 지애(꼭 원하는 대학교 합격하길 기원하마) 귀여운 막내딸 지민이 와도 함께 이 기쁨을 나누고자 합니다.

끝으로 저에게 사랑과 격려를 아끼지 않으시고 도움을 주신 모든 분들께 다시 한번 감사를 드립니다.

손 익현 드림