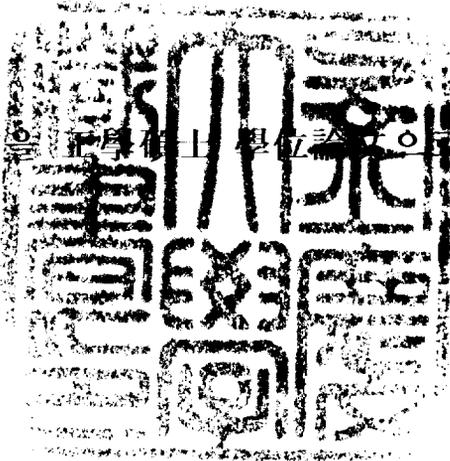


공학석사학위논문

도로위치정보관리체계구축을 위한
도로선형설계요소 분석

지도교수 이 종 출

이 論文을 正學在學 學位論文으로 提出함



2002년 2월

부경대학교 대학원

토목공학과

강성원

강성원의 공학석사 학위논문을 인준함

2001년 12월 26일

주	심	공 학 박 사	김 명 식
위	원	공 학 박 사	정 두 회
위	원	공 학 박 사	이 종 출



목 차

목차	i
표목차	iii
그림목차	iv
사진목차	vi
Abstract	vii
1. 서론	1
1.1 연구목적	1
1.2 연구범위	2
1.3 연구방법	2
1.4 연구연혁	2
2. 최소제곱법을 이용한 도로선형추출	5
2.1 도로의 선형	5
2.1.1 평면선형	5
2.1.2 종단선형	8
2.2 최소제곱법	13
2.2.1 최소제곱선	14
2.2.2 GPS에 의한 좌표 취득	17

3. 도로위치정보관리체계구축	19
3.1 도로위치정보관리체계의 개요	19
3.2 시스템 개념 설계	21
3.2.1 속성자료	21
3.2.2 도형자료	22
3.3.3 도형·속성자료의 연결	24
4. 관측 및 결과분석	25
4.1 대상노선 및 관측장비	25
4.2 관측자료의 수집	26
4.3 결과 및 분석	29
5. 도로선형정보체계의 자료구축	38
5.1 시스템 구축	38
5.2 공간분석	39
6. 결론	43
참고문헌	44

표 목차

<표 2.1.1> 설계속도와 종단경사와의 관계	9
<표 3.2.1> Layer별 구분	22
<표 4.1.1> 관측장비의 제원	25
<표 4.3.1> X방향 오차 및 Y방향 오차	29
<표 4.3.2> IP3 설계제원 비교	32
<표 4.3.3> IP4 설계제원 비교	32
<표 4.3.4> X방향 오차 및 Y방향 오차	33
<표 4.3.5> IP3 설계제원 비교	36
<표 4.3.6> Z방향 오차	36
<표 4.3.7> VIP3 설계제원 비교	37

그림 목차

<그림 2.1.1> 원곡선의 각 요소 및 기호	6
<그림 2.1.2> Clothoid 곡선 개념도	8
<그림 2.1.3> 종단곡선의 크기표시	10
<그림 2.1.4> 종단곡선의 접속	12
<그림 2.1.5> 종단곡선의 방정식	12
<그림 2.2.1> 최소제공선	15
<그림 3.1.1> 도로위치정보관리방법의 분류	20
<그림 3.1.2> 도로선형정보구축 과정	20
<그림 3.2.1> 속성자료	21
<그림 3.2.2> ArcInfo를 이용한 Coverage형성	24
<그림 4.2.1> 도로중심선 관측시스템 구성	26
<그림 4.2.2> 관측시스템 중 대차의 모습	28
<그림 4.3.1> X방향 오차분석 및 Y방향 오차분석	30
<그림 4.3.2> 관측된 좌표와 설계도 좌표의 중첩한 선형도	31
<그림 4.3.3> 관측된 좌표와 설계도 좌표의 중첩한 선형도(일부구간 확대)	31
<그림 4.3.4> X방향 오차분석 및 Y방향 오차분석	34
<그림 4.3.5> 관측된 좌표와 설계도 좌표의 중첩한 선형도	35
<그림 4.3.6> 관측된 좌표와 설계도 좌표의 중첩한 선형도(일부구간 확대)	35
<그림 4.3.7> Z방향 오차분석	37
<그림 5.1.1> 초기화면	40

<그림 5.1.2> Main화면	40
<그림 5.1.3> 평면선형 검색	41
<그림 5.1.4> 현장전경 검색	41
<그림 5.1.5> 종단선형 검색	42

사진 목차

<사진 4.2.1> 초기화하는 모습	28
<사진 4.2.2> 실시간 동적측위방법에 의한 도로선형 관측모습	28

Analysis on Design Element of Alignment for Building of Positioning Information Management System in Highway

Seong-Won Kang

Department of Civil Engineering, Graduate School,
Pukyong National University

Abstract

The object of this study is to build a highway alignment information system based on the design elements of highway alignment extracted from a positional information by the kinematic GPS for the efficient and scientific management of positional information in a highway.

To achieve the object, highway alignments were extracted by the kinematic GPS observation at locations where the highway design drawings existed. The extracted highway alignments were compared to the existing design drawings and the accuracy was verified. For locations where the highway design drawings did not exist or where design elements were modified to improve the highway alignment, highway alignments were extracted by the kinematic GPS and a database was built.

Based on the results reported herein, highway alignment drawing can be updated by the kinematic GPS and the location of highway and highway facilities can be effectively managed by building a positioning information management system using the kinematic GPS in highway management system(HMS).

Keyword : *Design Elements of Highway Alignment, Highway Management System(HMS)*

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

도로는 일상생활 및 생산활동에 있어 없어서는 안 될 가장 필요한 시설이면서 사람의 이동, 수송에 없어서는 안 되는 가장 기본적인 교통시설이며, 상하수도, 가스관, 지하철, 통신시설 등을 수용하는 공간으로 이용되는 매우 다양한 기능을 갖는 시설이기도 하다.

근래에는 도로의 확장 공사가 많이 진행되고 있으나, 시공된 지 오래된 도로, 또는 관리부서로 이관되어 가는 과정에서 설계도 등 중요한 기초 자료들이 훼손되거나 분실되어질 수 있다. 이러한 경우 도로골격을 구성하는 기초자료인 중심선 좌표를 기존의 측량방식으로 취득하여 복구한다는 것은 상당한 시간이 소요된다.

따라서 본 연구에서는 설계자료가 없는 도로에서 설계자료를 복구할 필요가 있을 경우, 또는 도로의 기하구조가 불합리하여 교통사고가 빈발하는 구간에서 실제 현장의 선형요소를 검사할 필요가 있을 경우에, 이를 신속하고 경제적으로 수행하기 위한 방법을 학술적으로 연구하였다. 연구를 위하여 기존 도로의 설계도가 있는 곳에 동적 GPS관측에 의해 도로의 선형을 추출하고, 기존 설계도의 선형과 비교하여 정확도를 분석하였다.

앞으로는 도로를 신설하는 것도 중요하지만 유지관리도 중요하므로 연구결과는 도로선형자료의 갱신과 유지관리 차원에서 앞으로 도로관리체계(Highway Management System ; HMS) 중 도로위치정보관리체계를 구축함으로써 도로선형 및 도로시설물의 위치를 효과적으로 관리·이용하는데 본 연구결과가 이용될 수 있다.

이런 구축으로 인해 도로선형 및 도로시설물의 위치를 효과적으로 관리·이용하는 것이 가능하고, 관리대상 도로시설물의 위치를 쉽게 파악할 수 있으며 도로선형의 연장이 변경되었을 경우 자료갱신이 유리하다.

1.2 연구범위

본 연구에서는 도로선형설계에 필요한 설계요소를 이론적으로 분석하고, 설계요소의 제원을 자료에 의해 알 수 없을 때, 현장에서 신속하고 경제적으로 취득할 수 있는 방법을 연구하였다. 이를 위하여 관측대상도로를 선정하여 동적 GPS에 의한 도로의 위치자료(X, Y, Z)로써 도로의 평면선형 및 종단선형의 설계요소(IP, R, I, A, ΔR , V.I.P, i_1 , i_2 , L.....)를 추출하고 이에 대한 정확도를 분석·검증하였다. 이를 MapObject 및 Visual Basic 6.0에 의해 도로선형정보체계 구축하는 것을 연구범위로 정하여 연구를 수행하였다.

1.3 연구방법

본 연구에서는 동적 GPS방법(RTK Mode ; Real-Time Kinematic Mode)에 의해 관측대상도로의 위치자료(X, Y, Z)를 신속하게 추출하였고, 이 자료에 대해 최소제곱법에 의한 최소제곱선들을 구한 후 이를 이용하여 도로의 선형설계요소(IP, R, I, A, ΔR , V.I.P, i_1 , i_2 , L.....)를 추출하였다. 이에 대한 정확도 분석·검증을 하기 위해 기존 설계도의 선형설계요소들을 최확치로 보고 관측된 결과로써 추출한 선형설계요소들을 관측치로 보아 비교하였다.

이와 같은 방법으로 설계도가 없는 곳이나 일반국도 및 지방도와 같이 도로선형의 개량으로 설계요소가 변경될 때 도로선형과 설계요소들을 추출하면 보다 넓은 도로의 위치정보관리가 가능하리라 예상되어 그 일환으로 본 연구에서는 일부대상구간을 대상으로 도로선형정보시스템을 선형자료의 갱신과 유지관리 차원에서 구축하였다.

구축방법으로는 검증된 선형설계요소들을 이용하여 규정속도에 따라 도로설계 프로그램인 RP(Road Project 2.1)를 평면선형도 및 종단선형도를

추출하여 dxf파일로 변환하여 저장하였고, 이를 GIS Tool인 ArcInfo를 사용하여 Coverage를 형성하였으며, 또한 속성자료를 구성하여 MapObject에서 Visual Basic 6.0을 이용하여 작업을 진행시켰다.

1.4 연구연혁

우리나라의 도로가 근대적인 모습을 보인 시기는 1960년대부터이고, 도로의 선형은 자동차 교통이 본격화되면서부터 연구되기 시작하였다.

어느 나라에서나 도로는 국가의 주요한 시설이고 그 나라의 대동맥이라 해도 과언이 아니라고 할 수 있다.

이에 우리나라에서는 1965년 7월 19일 대통령령 제2177호 도로구조령을 제정한 것이 시초이며, 이는 본격적인 자동차 시대를 대비하여 1979년 대통령령 제9664호로 개정하였다.

그러나, 끝없는 산업사회의 발달과 시간의 가치성 증대로 인해 주행차량의 고속화, 대형화가 계속 이루어져 1999년 8월 9일 건설교통부령 제206호로 도로구조·시설기준에 관한규칙¹⁾으로 개정되어 현재까지 적용되고 있다.

1971년 Glennon, J.C.²⁾는 고속도로의 곡선부 설계에 있어서 안전을 고려한 설계기법을 연구한 바 있고, 같은 해 Glennon, J.C.³⁾는 고속도로의 곡선부 설계에 있어서 자동차의 운동궤적에 관하여 연구한바 있다.

1981년 河島 등⁴⁾은 고속도로 설계에 있어서 시거와 선형과의 관계를 연구했다.

1992년 황⁵⁾은 도로의 기하구조 설계의 일관성에 대한 연구를 하였으며, 1995년 박⁶⁾은 국도 24호선과 35호선을 대상으로 도로선형을 연구하였다.

1996년 박⁷⁾은 GIS를 이용한 도로의 기본 설계 기법에 관해 연구하였으며, 같은 해 김⁸⁾은 도로의 평면선형 계획기법에 관해 연구하였다.

1997년 V. Ashkenazi 등⁹⁾은 GPS에 의한 교량의 Monitoring에 관해 연

구하였으며, 1997년 조¹⁰⁾는 도로의 평면선형 계획기법에 관해 연구하였다. 같은 해 이¹¹⁾는 주행안전을 고려한 도로의 선형설계에 관하여 연구하여 안전주행시 필요한 시거 확보 및 개선방안을 제시한 바 있고, 1998년 蒔菴 耕司 등¹²⁾은 항공사진과 CG(Computer Graphic)를 이용한 3차원 노선계획 시스템에 관해 연구하였고, 1998년 황¹³⁾은 주행안전을 고려한 도로의 입체 설계에 대해 연구했으며, 1998년 박¹⁴⁾은 평면선형 설계요소에 대한 도로의 안정성에 대해 연구하였다.

1999년 노¹⁵⁾는 GPS에 의한 도로변형량 측정에 대해 연구를 하였고, 임 외 1인¹⁶⁾은 GPS측량성과를 이용한 NAHMIS(도로대장전산화시스템)도면의 좌표부여에 관해 연구하였으며, 2000년 문¹⁷⁾은 GPS에 의한 도로의 평면선형분석에 대해 연구하였다.

2001년 D. Stathas 등¹⁸⁾은 도로표면 검사나 이정표 구축을 위한 동적 차량 위치결정 및 방위기술에 관해 연구했으며, 2001년 Jongho HEO 등¹⁹⁾은 최소제곱법에 의한 평면선형설계제원 산정에 대해 연구하였다. 2001년 이²⁰⁾는 동적 GPS 관측에 의한 도로의 평면선형 분석을 하였으며, 같은 해 서²¹⁾는 GIS를 이용한 대학시설물관리시스템 구축에 관해 연구하였다.

이러한 연구활동이 진행되면서 선형분석의 기초자료라 할 수 있는 3차원적 좌표를 취득하는 방법에서 실시간 동적측위방법으로 평면선형 및 종단선형분석을 한 연구는 진행되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 실시간 동적측위방법으로 취득한 도로의 중심선 궤적을 이용하여 도로의 선형을 추출하고, 도로의 횡단구성요소의 3차원 좌표를 취득함으로써 평면선형 및 종단선형설계요소들을 도출하여 이에 대한 정확도를 기존 설계제원과 비교·분석하고자 한다. 또한 추출한 요소들을 바탕으로 도로관리체계 중 도로위치정보관리체계(도로선형정보시스템)를 구축함으로써 도로 및 도로시설물의 위치를 효과적으로 관리·이용하는데 기여코자 한다.

2. 최소제곱법을 이용한 도로선형추출

2.1 도로의 선형

도로의 선형은 평면선형과 종단선형으로 나눌 수 있는데, 먼저 도로의 평면선형의 설계요소는 직선, 원곡선, 완화곡선의 3종류가 있으며, 완화곡선으로는 여러 종류가 있으나, 도로설계에서는 자동차의 주행궤적과 형상이 비슷한 Clothoid곡선을 주로 사용하고 있다. 또한 종단선형은 직선과 곡선으로 구성되며, 설계요소로는 종단경사와 종단곡선이 있다. 종단곡선의 형상은 2차포물선을 도로에서 주로 사용하고 있다.

2.1.1 평면선형

가. 직선

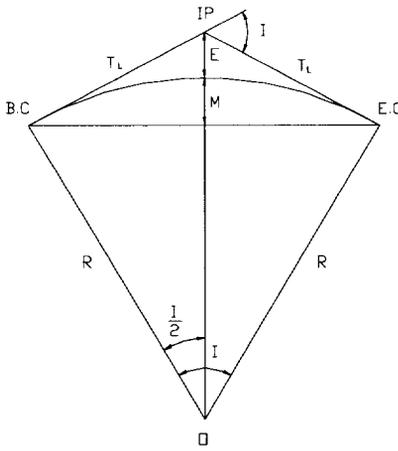
직선은 그 연장이 적당한 길이를 넘지 않는 범위 내에서 적용하며, 가로망 등이 직선적인 구성을 이루고 있는 지역, 장대교량구간, 터널구간 등에 적용한다. 직선은 두 점간의 최단거리로서 설정하기 쉬운 특징이 있고, 운전자가 나아갈 방향이 명료하다. 그러나 운전자 쪽에서 본 경관은 정적이고 단조로우며, 속도를 내기 쉬워 대형사고의 원인이 될 수 있다.

따라서 직선구간의 제한길이는 최대길이는 설계속도(km/hr)를 약20배 한 정도, 최소길이는 반대방향으로 굴곡하는 곡선사이에 삽입하는 직선은 설계속도(km/hr)의 2배 이상, 같은 방향으로 굴곡하는 곡선사이에 삽입하는 직선은 설계속도(km/hr)의 6배 이상으로 해야한다.²⁰⁾

나. 원곡선

원곡선은 도로의 설계속도에 따라 최소곡선반경을 정하고 있으나, 되도록 최소곡선 반경값보다는 바람직한 최소원곡선반경값을 취할 필요가 있으며, 직선구간과의 조화가 필요하고, 완화곡선과의 조화도 필요하다.

직선 사이 또는 완화곡선 사이에 설치되는 원곡선은 일반적으로 곡선반경으로 표시하는데 원곡선의 각 요소와 기호는 <그림 2.1.1>과 같다.



R : 원곡선반경(m)

O : 원곡선의 중심

T_L : 접선길이(m)

I : 교각($^{\circ}$)

M : 중앙종거(m)

E : 외선길이(m)

BC : 곡선의 시점

EC : 곡선의 종점

IP : 접선의 교점

<그림 2.1.1> 원곡선의 각 요소 및 기호⁶⁾

원곡선의 각 요소값은 식(2.1.1)~식(2.1.4)와 같다.

$$T_L = R \cdot \tan\left(\frac{I}{2}\right) \dots\dots\dots (2.1.1)$$

$$C = 2R \cdot \sin\left(\frac{I}{2}\right) \dots\dots\dots (2.1.2)$$

$$E = R \cdot \sec\left(\frac{I}{2}\right) - R \dots\dots\dots (2.1.3)$$

$$CL = R \cdot I \cdot \pi / 180 \dots\dots\dots (2.1.4)$$

다. 완화곡선

완화곡선은 직선과 원곡선을 접속하면 곡율이 무한대에서 해당원곡선의 곡선반경에 따른 유한한 곡율로 돌변하게 되고, 급격한 원심가속도의 변화 때문에 운전자가 불쾌하게 느낄 뿐 아니라 시각적으로도 선형이 구부러져 보여서 매끄럽지 못하다. 따라서 곡율이 서서히 변화하고 직선과 원곡선을 매끄럽게 연결할 수 있는 완화곡선이 필요하다.

Clothoid 완화곡선의 Parameter 값 A 의 크기는 접속하는 원곡선 반경 (R)의 크기와 밸런스가 필요하므로, $R < 1500\text{m}$ 인 경우에는 $1/2R \leq A \leq R$ 범위내로 하는 것이 좋고, $R \geq 1500\text{m}$ 인 경우에는 $1/3R \leq A \leq R$ 인 범위가 바람직하며, A 의 크기의 상한은 실용성을 고려하여 $1,000\text{m}$ 이하로 하는 것이 바람직하다.¹⁾

Clothoid곡선은 “등속도로 주행하고 있는 자동차의 핸들을 등각속도로 회전시켰을 때의 주행궤적”이 되는 것이고 일종의 Spiral형(나선형)이 된다. 따라서 Clothoid곡선의 반경은 무한대로부터 연속적으로 변화하여 서서히 작아져가고 Clothoid 시점에서의 곡선길이 L 과 그 점에 있어서의 반경 R 과는 반비례하고, 그 관계는 식(2.1.5)와 같다.

$$L \times R = C \text{ (일정)} \dots\dots\dots (2.1.5)$$

클로소이드 곡선상의 임의점 P_1, P_2 에 대한 곡선반경을 R_1, R_2 또 클로소이드 시점에서의 곡선길이를 L_1, L_2 로 하면, 식(2.1.5)는 식(2.1.6)으로 표시할 수 있다.

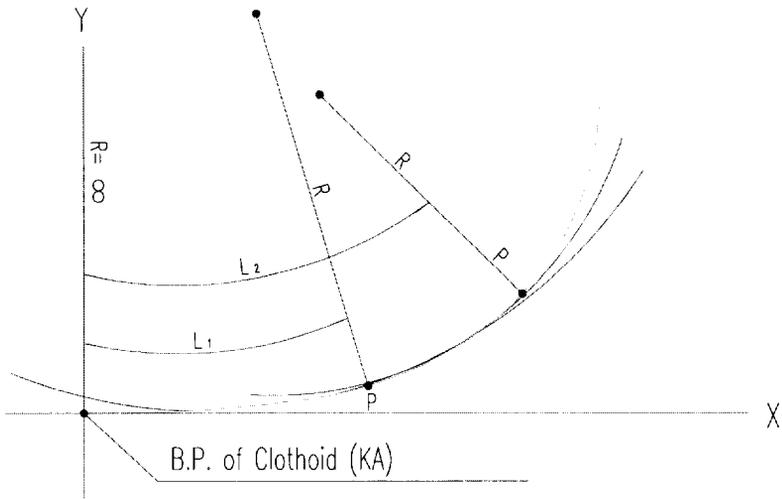
$$L_1 \times R_1 = L_2 \times R_2 = C \dots\dots\dots (2.1.6)$$

식(2.1.6)의 양변의 차원을 맞추기 위하여 $C = A^2$ 로 하면, 식(2.1.7)과 같다.

$$L \times R = A^2 \dots\dots\dots (2.1.7)$$

이것이 Clothoid 곡선의 기본식이다. 여기서 “ A ”를 Clothoid의 패러미터라 한다.

일정 속도로 주행하고 있는 자동차의 핸들을 천천히 돌리면 자동차의 주행궤적은 크고 패러미터가 큰 Clothoid 곡선이 되며, 핸들을 빠르게 회전시키면 패러미터가 작은 Clothoid 곡선이 된다. 또 일정각속도로 핸들을 회전시킬 경우는 주행속도가 빠를수록 패러미터는 커지고 속도가 낮을수록 작아진다. <그림 2.1.2>는 Clothoid 곡선 개념도이다.



<그림 2.1.2> Clothoid 곡선 개념도²²⁾

2.1.2 종단선형

가. 종단경사

차도의 종단경사는 도로의 구분, 지형상황과 설계속도에 따라 다음 표의 비율 이하로 하여야 한다. 다만, 지형상황, 주변지장물 및 경제성을 고려하여 필요하다고 인정되는 경우에는 다음표의 비율에 1%를 더한 값 이하로 할 수 있다. <표 2.1.1>는 설계속도와 종단경사와의 관계를 보여준다.

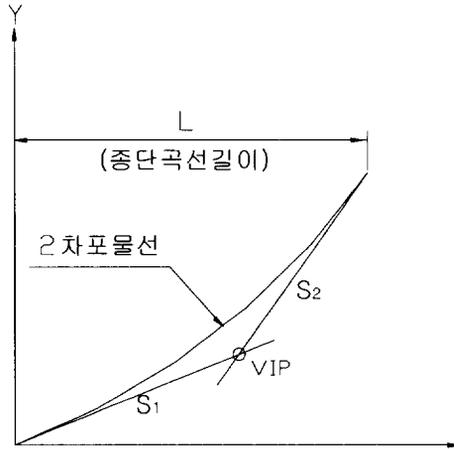
<표 2.1.1> 설계속도와 종단경사와의 관계²³⁾

설계 속도 (km/hr)	최대 종단경사(%)							
	고속도로		간선도로		집산도로 및 연결로		국지도로	
	평지	산지	평지	산지	평지	산지	평지	산지
120	3	4						
110	3	5						
100	3	5	3	6				
90	4	6	4	6				
80	4	6	4	7	6	9		
70			5	7	7	10		
60			5	8	7	10	7	13
50			5	8	7	10	7	14
40			6	9	7	11	7	15
30					7	12	8	16
20							8	16

도로를 설계하기 위하여 결정된 설계속도는 도로를 구성하는 다양한 기하구조를 상호연관시킨다. 이는 도로를 설계함에 있어, 같은 설계속도 구간에서는 도로의 형상을 일정하게 하여야 하며, 동일한 주행상태를 유지될 수 있도록 하여야 하는 도로설계의 근본적 개념을 만족하기 위함이다. 그러나, 설계속도에 따라 일정하게 정하여 지는 도로의 기하구조요소 중 종단경사는 경사구간의 오르막 특성이 자동차에 따라 크게 다르므로, 모든 자동차가 설계속도를 확보할 수 있도록 하는 것은 경제적인 측면에서 타당하지 못하다. 그러므로 종단경사의 값은 경제적인 측면에서 허용할 수 있는 범위내에서 가능한 한 속도저하가 작아지도록 하여 교통용량의 감소 및 안전성 저하를 방지하도록 결정하게 되므로, 본 규칙에서는 도로의 구분과 지형조건에 따라 종단경사의 적용값을 구분하였으며 평지부에서도 지하차도, 고가도로 등과 주변상황 등으로 부득이한 경우에는 산지부의 값을 적용할 수 있다.

나. 종단곡선

종단곡선 크기의 표시방법에는 종단곡선의 반경으로 나타내는 방법과 종단곡선변화비율로 나타내는 방법이 있다. <그림 2.1.3>은 종단곡선의 크기이다.



<그림 2.1.3> 종단곡선의 크기표시¹⁾

<그림 2.1.3>에서 S_1 , S_2 를 종단경사라 하면 S_1 , S_2 는 2차 포물선인 종단곡선의 접선이 된다. 이 2차 포물선의 방정식은 식(2.1.8)으로 나타낼 수 있다.

$$Y = \frac{1}{2K_r} x^2 + S_1 x \quad (K_r \text{은 정수}) \dots\dots\dots (2.1.8)$$

또한 경사 S_2 는 식(2.1.9)과 같이 나타낼 수 있다..

$$S_2 = \frac{x}{K_r} + S_1 \dots\dots\dots (2.1.9)$$

그리고 임의점의 곡선반경을 R_v 라 하면, 식(2.1.10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_v = \frac{[1 + (\frac{dy}{dx})^2]^{\frac{3}{2}}}{\frac{d^2y}{dx^2}} = K_r(1 + S_1)^{\frac{3}{2}} \dots\dots\dots (2.1.10)$$

식(2.1.10)에서 S_1 은 종단경사로서 매우 작으므로, 식(2.1.11)과 같이 된다.

$$R_v \cong K_r \dots\dots\dots (2.1.11)$$

또, 식(2.1.9)와 식(2.1.11)을 정리하면 식(2.1.12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{x}{S_2 - S_1} = K_r \cong R_v \dots\dots\dots (2.1.12)$$

식(2.1.12)로부터 종단곡선상의 2점에서의 접속경사의 대수차로 2점간의 거리를 나눈 값은 일정하며 이 값은 또 근사적으로 곡선반경이 된다는 것을 알 수 있다.

실제의 종단곡선에 있어서는 x 의 값으로서 종단곡선의 곡선길이 L 을 취하면 S_1 및 S_2 는 종단경사가 되므로 종단곡선반경 R_v 은 식(2.1.13)과 같이 표시된다.

$$R_v = \frac{L}{S_2 - S_1} \dots\dots\dots (2.1.13)$$

여기서, 종단곡선 변화비율은 접속되는 두 종단경사의 대수차가 1% 변화하는 데 확보하여야 하는 수평거리이므로 식(2.1.14)과 같이 나타낼 수 있다.

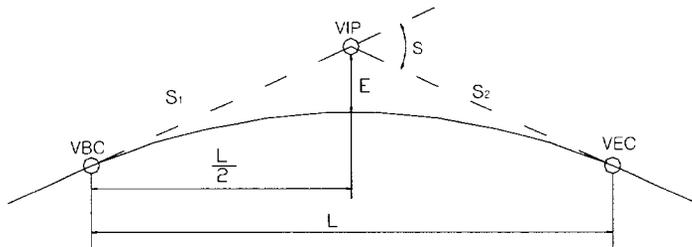
$$K = \frac{K_r(=R_v)}{100} = \frac{L}{(S_2 - S_1) \times 100} = \frac{L}{S} \dots\dots\dots (2.1.14)$$

여기서, K : 종단곡선변화 비율(m/%)

L : 종단곡선길이(m)

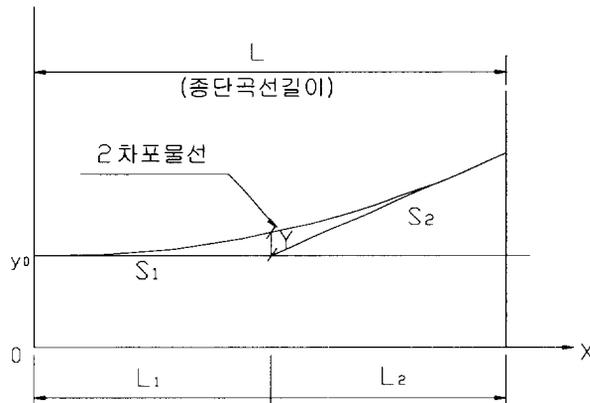
S : 종단경사의 대수차($|S_1 - S_2|$) (%)

이와 같은 종단곡선의 크기 표시방법 중 본 규정에서는 식(2.1.14)와 같은 종단곡선 변화비율로 규정하여 표시하기로 하였다.



<그림 2.1.4> 두 종단곡선의 접속¹⁾

<그림 2.1.5>에서 종단곡선의 2차포물선방정식은 식(2.1.15)과 같이 나타낼 수 있다.



<그림 2.1.5> 종단곡선의 방정식¹⁾

$$\begin{aligned}
Y &= \frac{1}{K_r} X^2 + S_1 X + y_0 \quad \dots\dots\dots (2.1.15) \\
&= \frac{S_2 - S_1}{2L} X^2 + S_1 X + y_0
\end{aligned}$$

여기서, K : 정수

S_1, S_2 : 종단경사

L_1, L_2 : S_1, S_2 에 해당하는 종단곡선길이

L : 전체 종단곡선길이

2.2 최소제곱법

표본관측치 (x_i, y_i)를 이용한 도로선형추출방법에 대하여 다음과 같이 접근하고자 한다. 표본관측치가 직선상에 정확히 있지 않기 때문에 표시된 자료를 통해 서로 다른 여러 가지 직선을 그릴 수 있다. 여기서의 관심사는 자료를 가장 잘 설명하는 직선을 선택하는 것이다.

표본회귀선을 구하는데 있어서 개인적인 판단을 피하기 위해 무엇이 가장 적합한 직선인지에 대한 정의를 필요로 한다. 평균적으로 가장 작은 잔차를 제공하는 직선을 가장 좋은 직선으로 정의하는 것이 합리적이다. 이 방법에 따른 문제는 어떤 잔차는 양이 되고 어떤 잔차는 음이 되어, 비록 어떤 잔차도 0에 가깝지는 않지만, 잔차의 합은 항상 0이란 점이다. 이 문제를 피하기 위해 잔차의 제곱합이 가장 작은 직선을 가장 좋은 직선으로 정의한다. 이 절차를 최소제곱법이라 부르며, 최소제곱법은 관찰된 자료에서 직선까지의 거리를 제곱한 합을 최소화하는 직선을 도출하는 방법이다.

2.2.1 최소제곱선

자료점들에 대하여 함수 $f(x) = ax + b$ 를 대응시키려고 하면, 연립방정식은 식(2.2.1) 또는 식(2.2.2)와 같다.

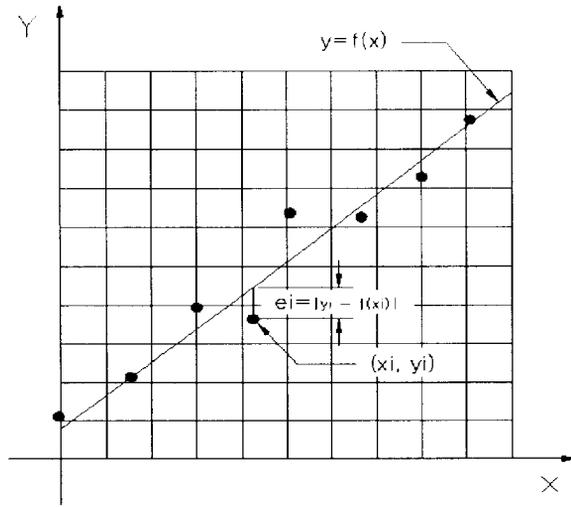
$$\begin{aligned} y_1 &= ax_1 + b \\ y_2 &= ax_2 + b \quad \dots\dots\dots (2.2.1) \\ &\vdots \\ y_n &= ax_n + b \end{aligned}$$

또는 $Y = AX \dots\dots\dots (2.2.2)$

여기서, $Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} x_1 & 1 \\ x_2 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ x_n & 1 \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}$

식(2.2.1)은 과잉 결정된 연립방정식이고, <그림 2.2.1>과 같이 자료점들이 직선 위에 있지 않으면, 해를 갖지 않는다. 따라서, 우변 AX 가 좌변 Y 에 근접토록 벡터 $X = \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}$ 를 구하는 것으로 만족하고, 자료 점들을 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ 라 하면, 1차함수 $f(x) = ax + b$ 가 직선에 일치하는지의 여부를 결정하는 한 방법은 점들이 f 의 그래프 사이의 수직 거리, $e_i = |y_i - f(x)|, i = 1, 2, \dots, n$ 를 측정하는 것이다. 각 e_i 는 자료값 y_i 를 함수값 $f(x_i)$ 으로 근접시키는 오차로 생각할 수 있다. <그림 2.2.1>을 보면 직관적으로, 모든 e_i 의 값들의 합이 최소이면, 함수 f 와 자료가 잘 일치할 것이라는 것을 알 수 있다. 실제로 그 문제에 더욱 손쉽게 접근하는 방법은 모든 e_i 값들의 제곱의 합을 최소가 되게 하는 1차함수를 구하는 것이다. 연립방정식(2.2.1)의 해는 식(2.2.3) 또는 식(2.2.4)로

표현할 수 있고, 이 식을 최소화하는 계수 a, b 를 찾는 것이다.



<그림 2.2.1> 최소제곱선¹⁹⁾

$$\begin{aligned}
 E &= e_1^2 + e_2^2 + \dots + e_n^2 \\
 &= [y_1 - f(x_1)]^2 + [y_2 - f(x_2)]^2 + \dots + [y_n - f(x_n)]^2 \\
 &= [y_1 - (ax_1 + b)]^2 + [y_2 - (ax_2 + b)]^2 + \dots \\
 &\quad + [y_n - (ax_n + b)]^2 \dots\dots\dots (2.2.3)
 \end{aligned}$$

또는

$$E = \sum_{i=1}^n [y_i - ax_i - b]^2 \dots\dots\dots (2.2.4)$$

상기 식에서 E 를 제곱오차의 합이라 한다. 제곱오차의 합을 최소화하는 직선 $f(x) = ax + b$ 는 표본관측치에 대한 최적선이라 정의되고, 자료 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ 에 대한 최소제곱선이라고 불린다.

식(2.2.4)이 최소가 되도록 a 와 b 는 미분하여 구한다. 식(2.2.1)을 두 변수 a 와 b 의 함수로 생각하면, E 의 최소값을 구한다는 것은 1계 편도함

수가 0과 같게 놓는 것으로 식(2.2.5)와 같다.

$$\frac{\partial E}{\partial a} = 0 \quad \text{및} \quad \frac{\partial E}{\partial b} = 0 \quad \dots\dots\dots (2.2.5)$$

식(2.2.4)와 식(2.2.5)을 정리하면 식(2.2.6)와 같이 된다.

$$\begin{aligned} -2 \sum_{i=1}^n x_i [y_i - ax_i - b] &= 0 \\ -2 \sum_{i=1}^n [y_i - ax_i - b] &= 0 \quad \dots\dots\dots (2.2.6) \end{aligned}$$

$\sum_{i=1}^n b = nb$ 을 이용하여, 식(2.2.6)을 정리하면 식(2.2.7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 \right) a + \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) b &= \sum_{i=1}^n x_i y_i \\ \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) a + \quad \quad \quad b &= \sum_{i=1}^n y_i \quad \dots\dots\dots (2.2.7) \end{aligned}$$

식(2.2.7)은 다음과 같이 동치의 꼴로 나타내면, 식(2.2.8)과 같다.

$$A^T A X = A^T Y \quad \dots\dots\dots (2.2.8)$$

A 는 $n \times 2$ 행렬이고 A^T 는 $2 \times n$ 행렬이므로, 행렬 $A^T A$ 는 2×2 행렬이다. 더욱이, 자료점이 모두 같은 수직선 위에 있지 않으면, 행렬 $A^T A$ 는 정치이다. 따라서, 식(2.2.8)은 유일해는 식(2.2.9)로 구할 수 있다.

$$X = (A^T A)^{-1} A^T Y \quad \dots\dots\dots (2.2.9)$$

식(2.2.9)에서 X 는 과잉 결정된 연립방정식(2.2.1)의 최소제곱해라 하고, $Y = aX + b$ 를 최소제곱선이라 한다.

2.2.2 GPS에 의한 좌표취득

도로의 중심선을 일정한 함수식에 의하여 구성된다. 중심선에 설치되는 중심말뚝점의 좌표를 이으면, 직선, 원곡선, 완화곡선의 모습을 가지는 선형이 된다. 도로에 대한 설계도서가 없는 경우에는 도로의 중심선에 해당하는 위치를 좌표값(x_i, y_i)로 관측하여 최소제곱선을 이용하여 선형을 추출하는 방법이다.

도로중심선에 대한 좌표값(x_i, y_i)은 GPS를 이용하며, 좌표값(x_i, y_i)의 자료는 많을수록 좋다. 도로중심점은 차선표시가 없는 경우에는 도로의 폭원을 측정하여 도로중심선을 구하여 좌표값(x_i, y_i)을 취득한다.

따라서, 본 연구에서 짧은 시간내에 많은 Data를 취득하며 정확도도 양호한 RTK방법으로 대상도로의 중심선과 도로폭원을 측정하였다.

실시간 동적측위방법에서 얻어진 3차원 자료는 지심타원체인 WGS84 타원체상에서의 좌표값이며, 현재 우리나라의 기준타원체인 Bessel타원체 좌표로 변환되어야만 기존설계도와 비교 검증할 수 있다.

일반적으로 3차원 좌표변환방법은 2개의 서로 다른 기준좌표계에 의한 각 측정점의 3차원 성과로부터 2개의 기준좌표계간의 이동, 회전, 축척요소를 구하고 이를 다른 점에 적용시키는 것으로 사용공식에 따라 Bursa-Wolf식과 Molodensky-Badekas식이 사용된다.

Bursa-Wolf의 변환모델은 식(2.2.10)과 같다.

$$\begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + (1 + \Delta) \begin{bmatrix} 1 & x & \phi \\ x & 1 & -\omega \\ -\phi & \omega & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_k \\ Y_k \\ Z_k \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.2.10)$$

여기서,

X_w, Y_w, Z_w : 위성 좌표계상의 좌표 (WGS84)

X_k, Y_k, Z_k : 국지 좌표계상의 좌표

$\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$: 두 좌표계 중심간의 이동거리

ω, ϕ, χ : 좌표계 축들간의 회전량

$1 + \Delta$: 축척치

Bursa-Wolf의 변환모델은 지구전체로 볼 때 극히 부분적인 지역에만 국한되므로 변환요소간의 상관계수가 커지게 된다. 이러한 문제점을 개선하여 축점들의 무게 중심 또는 측지원점에서 회전토록하는 Molodensky-Badekas 모델이 고안되었다.

Molodensky-Badekas 변환모델은 식(2.2.11)와 같다.

$$\begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_k \\ Y_k \\ Z_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta & -\chi & \phi \\ \chi & \Delta & -\omega \\ -\phi & \omega & \Delta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_k - X_m \\ Y_k - Y_m \\ Z_k - Z_m \end{bmatrix} \dots\dots (2.2.11)$$

식(2.2.11)에서 X_m, Y_m, Z_m 은 변환하고자 하는 두 좌표계에 공통적으로 존재하는 지점들의 좌표에 대한 평균값이다.

이 변환 모델은 이동량 매개변수를 기준원점에 대해 적용하므로써 매개변수들간에 높은 상관관계를 가지는 Bursa-Wolf 방법의 문제를 해결할 수 있다.²⁰⁾

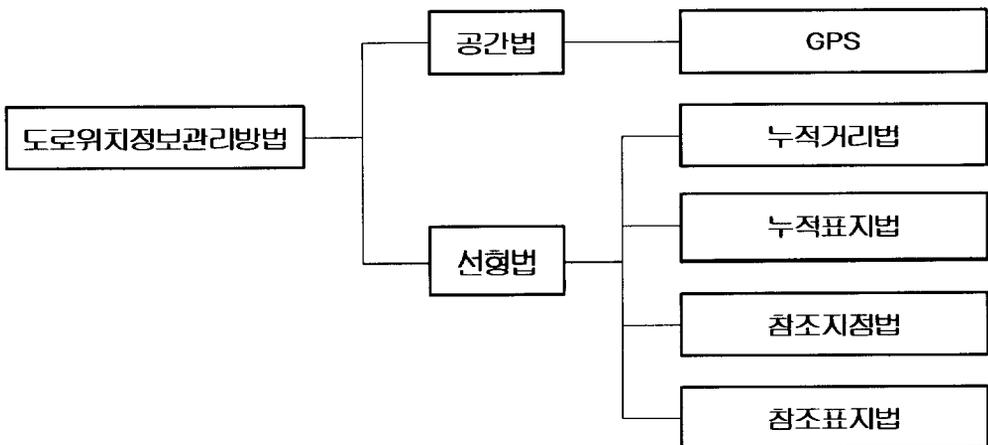
본 연구에서는 측지원점에서 회전하도록하는 Molodensky-Badekas 방법으로 좌표변환하였다.

3. 도로위치정보관리체계

3.1 도로위치정보관리체계의 개요

도로위치정보관리의 기본적인 목적은 도로 및 도로시설물의 위치를 효과적으로 관리하고 이용하는 것이다. 도로 관리자 관점에서는 관리대상 도로시설물의 위치를 쉽게 파악할 수 있고, 관리자 상호간의 정보 전달을 용이하게 하는 것이 주목적이다. 도로를 이용하는 운전자 입장에서는 주행 중이거나 도로 상에서 자신의 위치를 쉽게 알 수 있고, 타인에게 자신의 위치를 알릴 때 서로 간에 위치정보전달이 용이하고 정확하게 이루어지도록 하는 것이다. 또한 도로 관련시스템을 운영하는 시스템 관리자 측면에서는 도로의 선형이 변형되거나 연장이 변했을 경우, 또는 관리대상 도로시설물의 위치가 변경되었을 때 자료의 갱신이 쉽고 정확하게 이루어지도록 하는 것이다.²⁴⁾

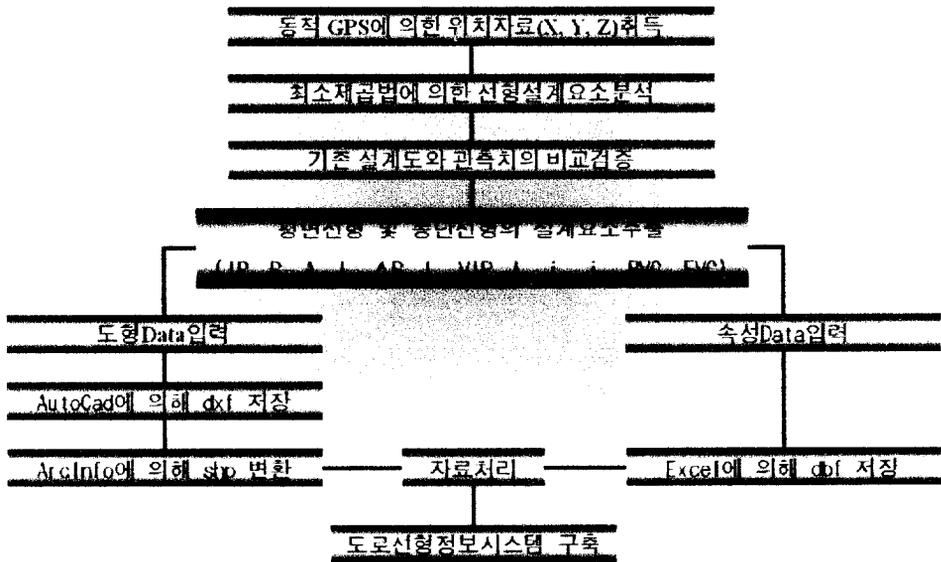
도로위치정보관리방법을 분류하면 <그림 3.1.1>에 보는 바와 같이 크게 공간법과 선형법으로 나누어 볼 수 있으며, 선형법은 다시 누적거리법, 누적표지법, 참조지점법, 참조표지법으로 나눌 수 있다.



<그림 3.1.1> 도로위치정보관리방법의 분류²⁴⁾

본 연구에서는 도로의 선형이나 기하구조가 거의 변하지 않는 고속국도가 아닌 설계자료가 없는 곳이나 도로개량으로 선형이나 구조가 변경되는 일반국도 및 지방도를 대상으로 하므로 GPS를 이용하여 파악한 경위도와 고도를 이용하여 3차원의 좌표계로 표시하는 방법인 공간법을 사용하였다.

GPS에 의한 공간법은 좌표값을 사용하므로 지리정보시스템과 연계하는 것이 용이하고, 수집된 좌표값을 지도 형태로 바로 표시할 수 있는 장점이 있다. 도로위치정보관리체계의 일환으로 도로선형정보를 구축하였으며, 구축과정은 <그림 3.1.2>과 같다.



<그림 3.1.2> 도로선형정보구축 과정

본 연구에서는 동적 GPS로부터 취득한 데이터로 최소제곱법에 의해 도로선형설계요소들을 구한 후 도로선형 프로그램인 RP를 이용하여 평면·종단선형을 추출하고, 이를 dxf파일로 변환하여 GIS Tool인 ArcInfo를 사용하여 Coverage를 형성하였으며 MapObject에서 Visual Basic 6.0을 이용하여 작업을 진행하였다.

3.2 시스템 개념 설계

3.2.1 속성자료

속성자료는 공간자료와 연결되어 분석되는 기본 자료로서, 도로 및 도로 시설물에 관하여 항목별로 그 데이터를 dbf file로 작성하여 설계된 공간 자료와 연계가 가능하게 하였다. 기존에 작성되어 있는 데이터는 데이터베이스로 연결하여 그대로 사용할 수 있으며, 변경 또는 신규 항목들은 tool 자체에서 쉽게 수정·입력이 가능하다.

속성으로 입력된 항목은 <그림 3.2.1>와 같다.

평면선형	
항목	비고
IP	
I	
R	
B.C	
E.C	

종단선형	
항목	비고
VIP	
BVC	
EVC	
i ₁	
i ₂	

횡단구성	
항목	비고
도로폭원	
차도폭	
중앙분리대	
길어깨	
연장	

도로 대상구간	
항목	비고
도로의 구분	
설계속도	
연장	
시점	
종점	

사진 정보	
항목	비고
현장전경	

<그림 3.2.1> 속성자료

3.2.2 도형자료

도형자료 항목은 AutoCAD 프로그램을 이용하여 Layer를 달리하여 입력을 하였다. 도로선형을 평면선형과 종단선형을 나누어 입력하였으며 입력범위는 지방도 1045호선 ○○구간의 약 4km구간을 선정하였다. Layer별 구분은 <표 3.2.1> 와 같은 형태로 정하여 적용하였다.

<표 3.2.1> Layer별 구분

Layer 이름	내 용	비 고
L001	도로중심선	
L055	IP선	
L056	도곽선	
A055	Text	
L002	차선끝	
L053	길어깨	

여기서 연계되는 ArcInfo 자료의 구조와 틀 자료는 공간 자료를 Arc nfo에서 읽을 수 있도록 Dxfarc명령을 사용하여 커버리지(Coverage)를 생성하고, 생성된 커버리지를 Build명령을 사용하여 위상관계(Topology)를 만들어 준다. 그리고 Arcedit 모듈을 이용하여 polygon에서 겹쳐지는 부분에서 오류된 부분을 수정해 준다. <그림 3.2.2>는 ArcInfo를 이용하여 Coverage형성하는 과정의 한 예를 보여준다.

```
도스 - arc
C:\coverage>arc
Copyright (C) 1982-1997 Environmental Systems Research Institute, Inc.
All rights reserved.
ARC Version 7.1.2 (Wed Aug 13 07:45:00 PDT 1997)

This software is provided with RESTRICTED AND LIMITED RIGHTS. Use,
duplication, and disclosure by the U.S. Government are subject to
restrictions as set forth in FAR Section 52.227-14 Alternate III (g)(3)
(JUN 1987), FAR Section 52.227-19 (JUN 1987), and/or FAR Section
12.211/12.212 [Commercial Technical Data/Computer Software] and DFARS
Section 252.227-7015 (NOV 1995) [Technical Data and/or DFARS Section
227.7202 [Computer Software], as applicable. Contractor/Manufacturer is
Environmental Systems Research Institute, Inc., 380 New York Street,
Redlands, CA 92373-8100, USA.

Arc: dxfar center.dxf center

Enter layer names and options (type END or $REST when done)
=====
Enter the 1st layer and options : L001
Enter the 2nd layer and options : end
Do you wish to use the above layers and options (Y/N)? y

Processing C:\COVERAGE\CENTER.DXF ...
No labels, killing XCODE...
Externalling BND and TIC...

    1 Arcs written.
    0 Labels written.
    0 Annotations written.
    0 Annotation levels.

Arc: build center line
Building lines...

Arc: arcshape center line center
INFO item name FNODE# modified to dBASE field FNODE_
INFO item name TNODE# modified to dBASE field TNODE_
INFO item name LPOLY# modified to dBASE field LPOLY_
INFO item name RPOLY# modified to dBASE field RPOLY_
INFO item name CENTER# modified to dBASE field CENTER_
INFO item name CENTER-ID modified to dBASE field CENTER_ID
INFO table CENTER.aat copied to dBASE database .\center.DBF
Fields: 7, Records: 1
```

<그림 3.2.2> ArcInfo를 이용한 Coverage형성

3.2.3 도형 · 속성자료의 연결

도로선형정보시스템은 AutoCad에 의해 입력된 도형자료와 데이터베이스화한 속성자료를 연결하여 사용자가 원하는 정보를 정확하고 신속하게 표현하는 것이다.

도형자료와 속성자료의 연결방법은 화면에 도형 table과 속성 table을 동시에 표시하고 대상도형을 직접 선택하여 해당 속성 값을 입력하는 대화식 방법과 속성자료 입력 시 설계된 code값을 도형자료에 부여하여 연결이 가능하도록 하는 일괄처리 방법이 있다. 대화식 방법은 자료의 수정 및 오류발견에 용이하며, 일괄처리 방법은 기존에 구축된 데이터베이스를 속성정보로 활용할 수 있다.

4. 관측 및 결과분석

4.1 대상노선 및 관측장비

본 연구의 대상노선은 선형이 비교적 좋은 국도 2호선 ○○구간, 지방도 1045호선 ○○구간의 일부분을 연구대상 도로로 선정하여 관측하였다. 관측장비는 Trimble사에서 제조된 장비를 사용하였으며, 모델명은 4600LS이고, 관측정도는 RTK Survey Mode 사용시 수평 $\pm 1\text{cm} + 1\text{ppm}$, 수직 $\pm 2\text{cm} + 1\text{ppm}$ 의 정확도를 나타내며, 관측장비의 제원은 <표 4.1.1>과 같다.

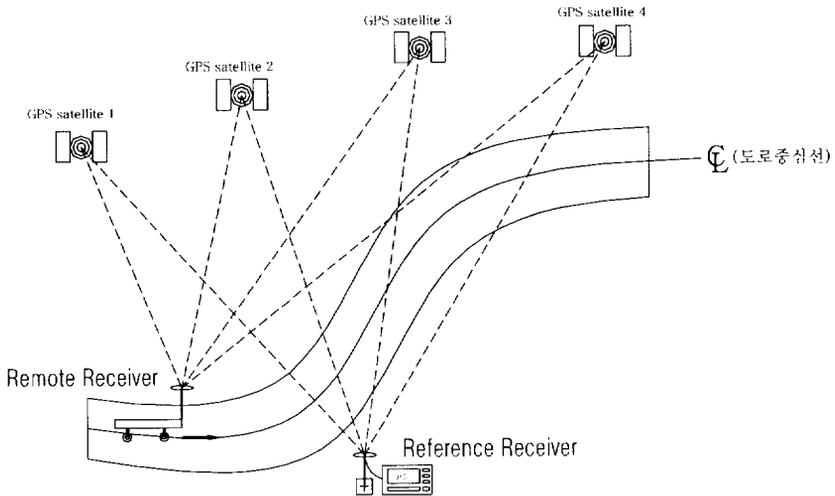
<표 4.1.1> 관측장비의 제원

제 품 명		Trimble
모델명		4600LS
정 확 도	Static Survey	수평 : $\pm 5\text{mm} + 1\text{ppm}$ ($\leq 10\text{km}$) 수직 : $\pm 10\text{mm} + 2\text{ppm}$ ($\leq 10\text{km}$)
	Kinematic Survey	수평 : $\pm 1\text{cm} + 1\text{ppm}$ 수직 : $\pm 2\text{cm} + 1\text{ppm}$
	RTK Survey	수평 : $\pm 1\text{cm} + 1\text{ppm}$ 수직 : $\pm 2\text{cm} + 1\text{ppm}$

4.2 관측자료의 수집

관측시스템은 <그림 4.2.1>과 같이 현장에 기지국을 설치하고, 이동국은 도로의 중앙선을 따라 이동하면서 기존도로 중심선 선형의 각 측점에서의 3차원 좌표를 취득하였다. 도로의 중심선 선형을 GPS로 관측하는 방법에는 차량에 GPS수신기를 탑재하여 관측하는 방법이 효과적이나, 도로건설 후 공용중인 도로의 중심선을 따라서 GPS 탑재차량을 운행하는 것은 위험하고, 운전기능에 따라서는 관측 값이 크게 달라질 수도 있다.

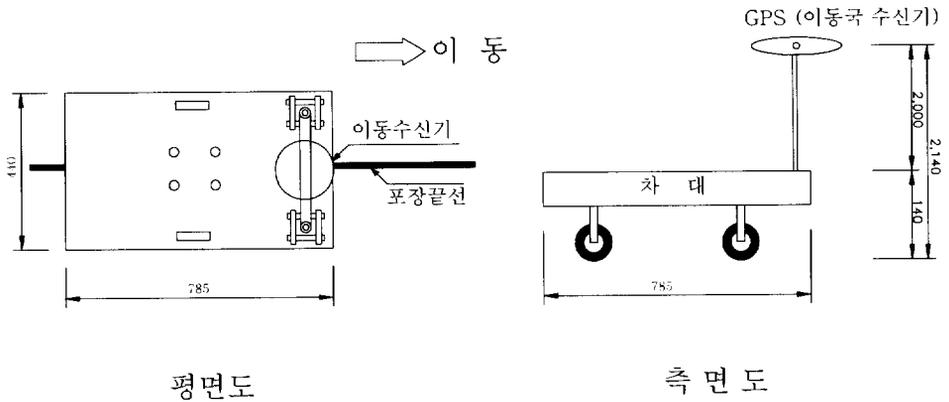
따라서 본 연구에서는 <그림 4.2.1>와 같이 대차의 중심에 GPS수신기를 고정시키고, 대차를 도로중앙선의 차선표시의 중심을 취하여 대차를 인력으로 끌면서 측량하였다.



<그림 4.2.1> 도로 중심선 관측시스템 구성

관측시스템은 <그림 4.2.1>과 같이 현장에 기지국을 설치하고, 이동국은 도로의 중앙선을 따라 이동하면서 기존도로 중심선 선형의 각 측점에서의 3차원 좌표를 취득하였다. 도로의 중심선 선형을 GPS로 관측하는 방법에는, 차량에 GPS수신기를 탑재하여 관측하는 방법이 효과적이나, 도로건설 후 공용중인 도로의 중심선을 따라서 GPS 탑재차량을 운행하는 것은 위험하고, 운전기능에 따라서는 관측값이 크게 달라질 수도 있다.

따라서 본 연구에서는 <그림 4.2.2>와 같이 대차의 중심에 GPS 수신기를 고정시키고, 이 대차를 도로중심선과 포장의 끝선이 차선표시에 접하도록 하고, 대차를 인력으로 끌면서 관측하였다.



<그림 4.2.2> 관측시스템 중 대차의 모습

이동속도는 1km당 약 30분이 소요되었으며, 2km를 관측하는데 1시간이 소요되었고, 초기화하는 모습 및 관측모습을 사진으로 나타내면 <사진 4.2.1>와 <사진 4.2.2>와 같다.



<사진 4.2.1> 초기화하는 모습



<사진 4.2.2> 실시간 동적측위방법에 의한 도로선형 관측모습

4.3 결과 및 분석

가. 국도 2호선 ○○구간(평면선형 분석·검증)

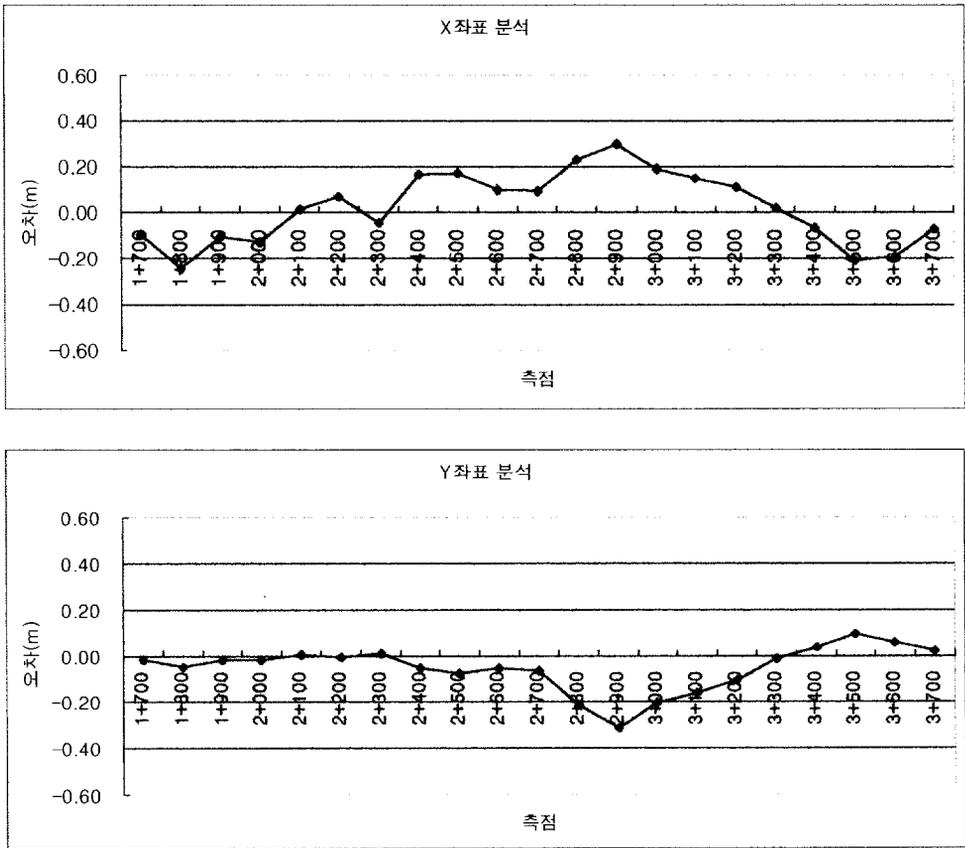
먼저 국도 2호선 ○○구간에서 기존 도로의 평면선형추출을 하기위하여 동적 GPS측량방법으로 관측한 결과가 어느 정도의 오차를 가지고 있는지 분석해보았다. 분석방법은 설계도에 의한 측점좌표를 최확치로 보고, 동적 GPS측량방법으로 취득한 측점좌표를 관측값으로하여 X방향오차 및 Y방향오차를 계산하였으며 21개 측점에 대하여 분석한 결과는 <표 4.3.1>과 같다.

<표 4.3.1> X방향 오차 및 Y방향 오차

국도 2호선 ○○구간						
측 점	X방향 오차			Y방향 오차		
	관측된 좌표	설계도 좌표	오차	관측된 좌표	설계도 좌표	오차
1+700	178781.8035	178781.9008	-0.0973	176501.9221	176501.9424	-0.0203
1+800	178761.2545	178761.4977	-0.2432	176599.7881	176599.8388	-0.0507
1+900	178741.3335	178741.4421	-0.1086	176697.7851	176697.8062	-0.0210
2+000	178724.9378	178725.0681	-0.1303	176796.4232	176796.4401	-0.0169
2+100	178717.2036	178717.1912	+0.0124	176896.0821	176896.0818	+0.0003
2+200	178720.3830	178720.3118	+0.0712	176995.9755	176995.9817	-0.0062
2+300	178734.4436	178734.4903	-0.0467	177094.9288	177094.9195	+0.0093
2+400	178759.7185	178759.5519	+0.1666	177191.6218	177191.6750	-0.0532
2+500	178795.3565	178795.1874	+0.1691	177284.9795	177285.0550	-0.0755
2+600	178841.0526	178840.9574	+0.0952	177373.8519	177373.9078	-0.0559
2+700	178896.3882	178896.2974	+0.0908	177457.0697	177457.1377	-0.0679
2+800	178960.7019	178960.4726	+0.2293	177533.5526	177533.7657	-0.2131
2+900	179031.4451	179031.1476	+0.2975	177604.1726	177604.4872	-0.3146
3+000	179104.7922	179104.6058	+0.1864	177672.1339	177672.3375	-0.2036
3+100	179178.5090	179178.3595	+0.1495	177739.7049	177739.8682	-0.1633
3+200	179251.7434	179251.6369	+0.1065	177807.8002	177807.9100	-0.1098
3+300	179319.3626	179319.3456	+0.0170	177881.3990	177881.4128	-0.0138
3+400	179376.7750	179376.8411	-0.0661	177963.1749	177963.1407	+0.0342
3+500	179422.7512	179422.9616	-0.2104	178051.8788	178051.7866	+0.0922
3+600	179456.7067	179456.9013	-0.1946	178145.8294	178145.7731	+0.0563
3+700	179481.0297	179481.1031	-0.0734	178242.8027	178242.7858	+0.0169
평균 오차	$t = \frac{[\sum x]}{n} = \frac{2.7623}{21} = 0.1315$			$t = \frac{[\sum y]}{n} = \frac{1.5950}{21} = 0.0759$		

<표 4.3.1>에서 21개 측점에 대한 X방향의 평균오차는 13.2cm로 나타났으며, 21개 측점에 대한 Y방향오차의 평균오차는 7.6cm로 나타났다.

이 오차의 크기는 TS관측에서 규정하고 있는 노선 좌표차 편차 30cm이내로서 충분히 실용성이 있다고 판단된다. <그림 4.3.1>는 X방향 오차분석 및 Y방향 오차분석이다.

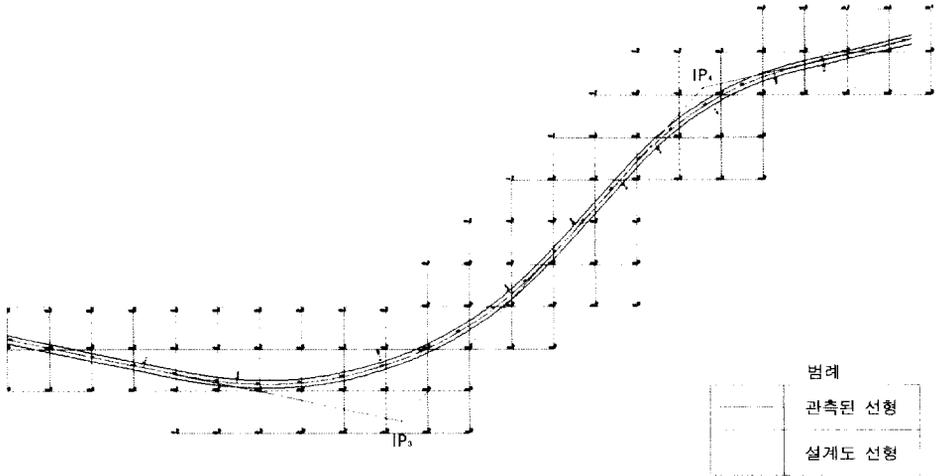


<그림 4.3.1> X방향 오차분석 및 Y방향 오차분석

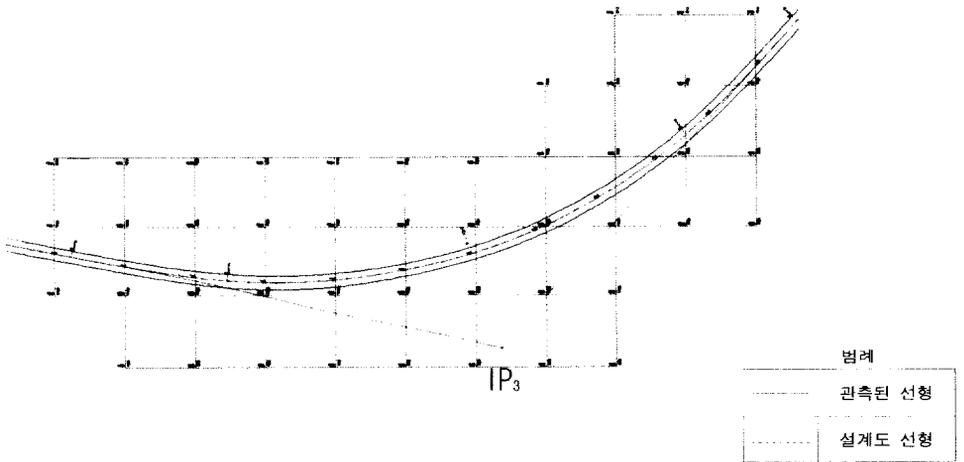
이 오차의 원인은 시공시 도로중심선의 시공오차, 차도표시에 의한 오차, GPS이동국이 이동할 때 도로중심선과 일치하지 않으므로써 발생하는 오차 등이라고 판단된다.

그리고, 이 노선의 일부곡선구간을 관측된 좌표와 설계도 좌표를 중첩하

여 나타낸 선형도는 <그림 4.3.2> 및 <그림 4.3.3> 와 같다. <그림 4.3.2> 및 <그림 4.3.3>에서는 거의 오차를 구분할 수 없을 정도이다.



<그림 4.3.2> 관측된 좌표와 설계도 좌표의 중첩한 선형도



<그림 4.3.3> 관측된 좌표와 설계도 좌표의 중첩한 선형도
(일부구간확대)

본 연구에서 동적 GPS에 의해 관측한 위치자료(X, Y, Z)를 최소제곱법에 의해 추출한 값과 설계도서제원을 비교해보면 <표 4.3.2> 및 <표 4.3.3>와 같다. 비교는 관측값과 설계도서 제원과의 차이를 나타낸다.

<표 4.3.2> IP3의 설계제원 비교

	관측값	설계도서 제원	비 고
IP좌표	X=178630.6649 Y=177234.7424	X=178628.7757 Y=177236.6555	X=1.8892 Y=1.9131
R	902.9946	900	2.9946
A	449.2949	450	-0.7051
I	58° 49′ 16.32″	59° 17′ 41.15″	-0° 28′ 24.83″
ΔR	2.306	2.342	-0.036
L	223.5516	225	-1.4484

<표 4.3.3> IP4의 설계제원 비교

	관측값	설계도서 제원	비 고
IP좌표	X=179413.3271 Y=177956.1379	X=179415.5000 Y=177957.0000	X=-2.1729 Y=-0.8621
R	752.5014	750	2.5014
A	298.0833	300	-1.9167
I	34° 31′ 42.47″	34° 35′ 36.71″	-0° 3′ 54.24″
ΔR	0.772	0.800	-0.028
L	118.0777	120	-1.9223

나. 지방도 1045호선 일부구간(평면 및 종단선형 분석·검증)

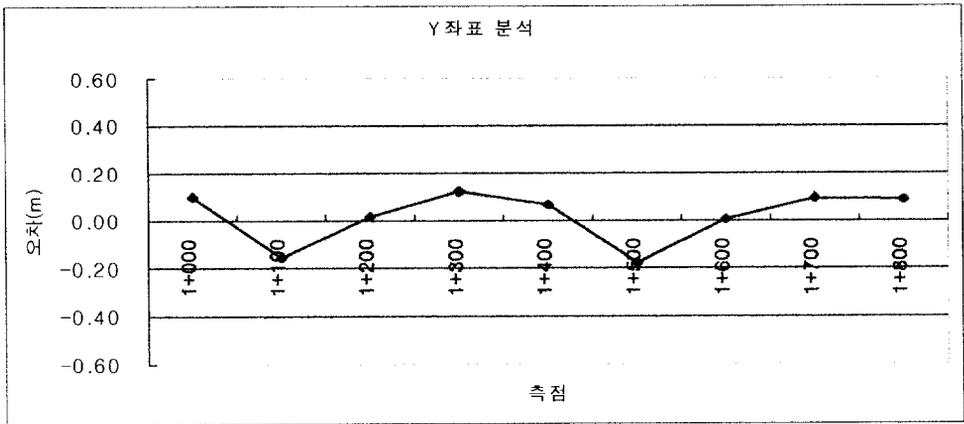
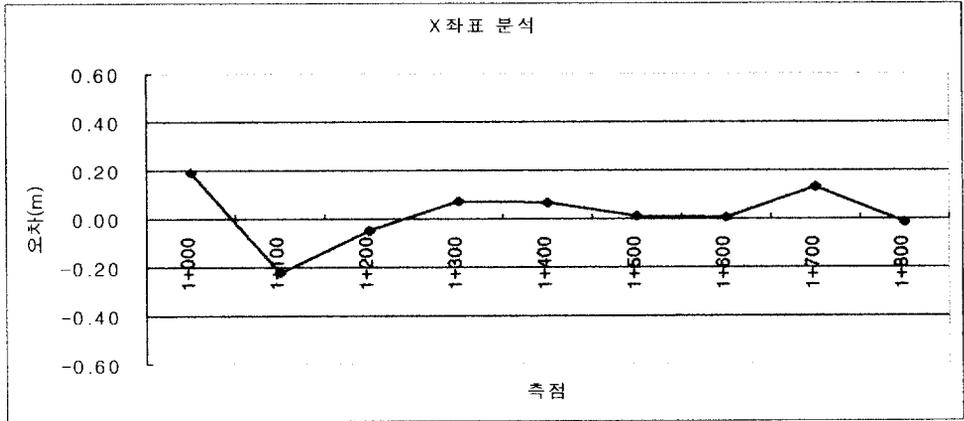
앞의 국도 2호선 ○○구간의 일부구간을 대상으로 평면선형에 대해 분석한 결과 설계도와 오차가 TS(Total Station)규정 허용범위 내에 있는 것이 검증되었으므로 지방도 1045호선 일부구간을 대상으로 평면선형 및 종단선형에 대하여 같은 방법으로 분석·검증한 후 이 설계제원을 토대로 도로설계 프로그램인 RP에 의해 선형을 추출하였다.

<표 4.3.4>는 X방향 오차 및 Y방향 오차를 계산하였고, 9개의 측점에 대한 X방향의 평균오차는 8.41cm로 나타났으며, 9개 측점에 대한 Y방향오차의 평균오차는 9.2cm로 나타났다.

이 오차의 크기는 TS관측에서 규정하고 있는 노선 좌표차 편차 30cm이 내로서 충분히 실용성이 있다고 판단된다. <그림 4.3.4>는 X방향 오차분석 및 Y방향 오차분석이다.

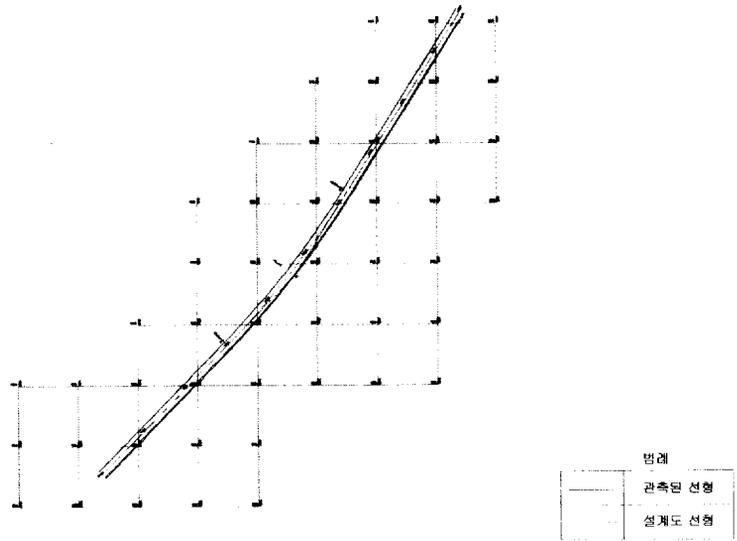
<표 4.3.4> X방향 오차 및 Y방향 오차

지방도 1045호선 ○○구간						
측 점	X방향 오차			Y방향 오차		
	관측된 좌표	설계도 좌표	오차	관측된 좌표	설계도 좌표	오차
1+000	195754.1020	195753.9147	0.1873	164039.6750	164039.5760	0.0990
1+100	195824.7228	195824.9471	-0.2243	164109.8096	164109.9635	-0.1539
1+200	195895.9333	195895.9795	-0.0462	164180.3966	164180.3810	0.0156
1+300	195967.0852	195967.0130	0.0722	164250.8594	164250.7373	0.1221
1+400	196040.5003	196040.4381	0.0622	164318.6673	164318.5979	0.0694
1+500	196118.2331	196118.2208	0.0123	164381.2364	164381.4163	-0.1799
1+600	196200.0203	196200.0155	0.0048	164438.9188	164438.9135	0.0053
1+700	196284.9225	196284.7913	0.1312	164492.6809	164492.5847	0.0962
1+800	196368.8339	196368.8507	-0.0168	164546.2117	164546.1254	0.0863
평균 오차	$t = \frac{[\sum x]}{n} = \frac{0.7573}{9} = 0.0842$			$t = \frac{[\sum y]}{n} = \frac{0.8277}{9} = 0.0920$		

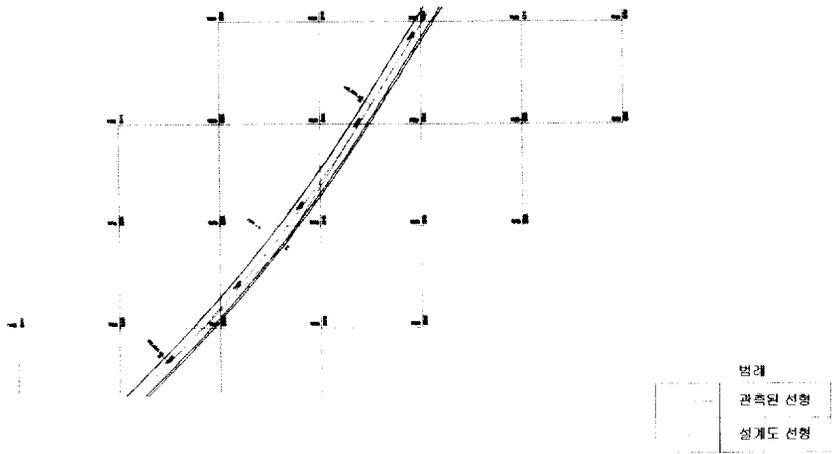


<그림 4.3.4> X방향 오차분석 및 Y방향 오차분석

국도 2호선 ○○구간의 일부구간과 마찬가지로 이 노선의 일부곡선구간을 관측된 좌표와 설계도 좌표를 중첩하여 나타낸 선형도는 <그림 4.3.5> 및 <그림 4.3.6> 와 같다. <그림 4.3.5> 및 <그림 4.3.6>에서는 거의 오차를 구분할 수 없을 정도이다.



<그림 4.3.5> 관측된 좌표와 설계도 좌표의 중첩한 선형도



<그림 4.3.6> 관측된 좌표와 설계도 좌표의 중첩한 선형도
(일부구간확대)

본 연구에서 동적 GPS에 의해 관측한 위치자료(X, Y, Z)를 최소제곱법에 의해 추출한 값과 설계도서제원을 비교해보면 <표 4.3.5>와 같다. 비교는 관측값과 설계도서 제원과의 차이를 나타낸다.

<표 4.3.5> IP3의 설계제원 비교

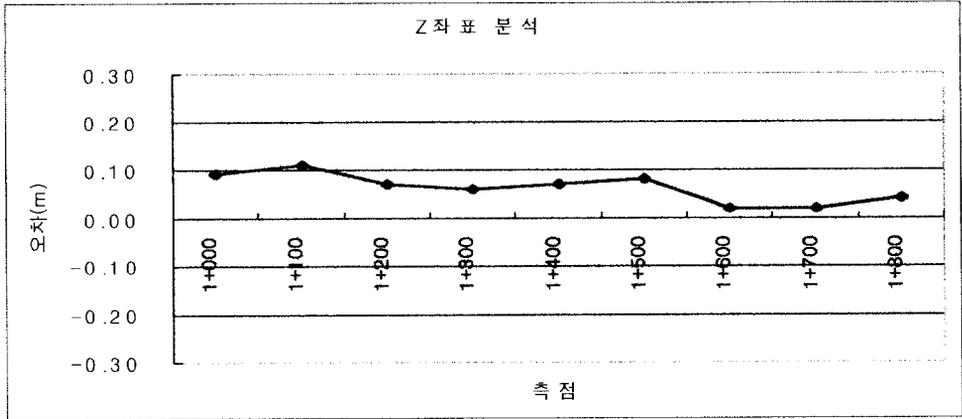
	관측값	설계도서 제원	비 고
IP좌표	X=196080.9005	X=196080.8848	X=0.0157
	Y=164363.5771	Y=164363.5775	Y=-0.0004
R	1499.4892	1500	-0.5108
I	12° 21′ 56.88″	12° 22′ 1.93″	-0° 0′ 5.05″

다음은 종단선형의 대한 분석이다. 측점은 동적 GPS 위치자료(X, Y, Z)을 이용하여 구하였고, <표 4.3.6>는 Z방향 오차를 계산하였으며, <표 4.3.6>에서 9개의 측점에 9개의 측점에 대한 Z방향의 평균오차는 6.2cm로 나타났다.

이 오차의 크기는 수치지도 제작시 항공사진 자료를 많이 이용하므로 항공사진의 도화축척 1/1000일 때 표고기준점 오차의 한계는 10cm이내로서 충분히 실용성이 있다고 판단된다. <그림 4.3.7>는 Z방향에 대한 종단선형의 오차분석이다.

<표 4.3.6> Z방향 오차

지방도 1045호선 ○○구간				
측 점	관측된 좌표	설계도 좌표	오차	평균오차
1+000	66.39	66.30	0.09	$t = \frac{[\sum x]}{n} = \frac{0.56}{9} = 0.062$
1+100	71.91	71.80	0.11	
1+200	77.12	77.05	0.07	
1+300	81.57	81.51	0.06	
1+400	85.51	85.44	0.07	
1+500	89.43	89.35	0.08	
1+600	93.28	93.26	0.02	
1+700	97.20	97.18	0.02	
1+800	101.13	101.09	0.04	



<그림 4.3.7> Z방향 오차분석

이 오차의 원인은 시공시 도로중심선의 시공오차, 차선표시에 의한 오차, GPS 후처리 과정에서 좌표변환 할 때 지오이드모델에 의한 표고오차 등이라고 판단된다.

본 연구에서 동적 GPS에 의해 관측한 위치자료(X, Y, Z)를 최소제곱법에 의해 추출한 값과 설계도서제원을 비교해보면 <표 4.3.7>과 같다. 비교는 관측값과 설계도서 제원과의 차이를 나타낸다.

<표 4.3.7> VIP3의 설계제원 비교

	관측값	설계도서 제원	비 고
VIP좌표	STA=1219.339	STA=1220.000	STA=-0.661
	Z=78.437	Z=78.400	Z=0.037
i ₁	5.51%	5.50%	0.01%
i ₂	3.91%	3.91%	0%
BVC	STA=1119.996	STA=1120.000	STA=-0.004
	Z=72.963	Z=72.900	Z=0.063
EVC	STA=1319.892	STA=1320.000	STA=-0.108
	Z=82.360	Z=82.310	Z=0.037
L	199.896	200	-0.104

5. 도로선형정보체계 자료구축

본 연구에서 동적 GPS에 의한 위치정보(X, Y, Z)를 취득한 후 이를 최소제곱법에 의해 평면선형설계요소와 종단선형설계요소를 추출하여 본 결과, 신뢰성 있는 값으로 두 연구대상지역에서 분석·검증되었다. 이는 다른 대상지역에서도 이와 같은 방법으로 선형설계요소를 기존의 측량방법보다 신속하게 추출할 수 있다는 것을 뜻한다.

따라서 본 연구에서는 지방도 1045호 ○○구간에서 선형이 비교적 좋은 약 4km구간에 대하여 같은 방법으로 선형설계요소들을 추출하여 도로선형설계 프로그램인 RP를 이용하여 위치정보와 속성정보를 추출한 것을 토대로 도로위치정보관리시스템의 일환으로서 도로선형정보시스템을 구축하여 보았다.

5.1 시스템 구축

먼저 대상도로에 RTK모드로 GPS데이터를 취득한 X, Y, Z의 위치정보를 이용하였고, 이 자료를 토대로 도로의 선형설계요소들을 추출한 후 기존 설계도의 선형설계요소들과 비교·검증하여 허용치 내에 들 때, 추출한 요소들로 도로설계 전용 프로그램인 RP를 이용해 도로선형설계를 하였으며, 이를 MapObject에 의해 도로선형정보를 구축하였다.

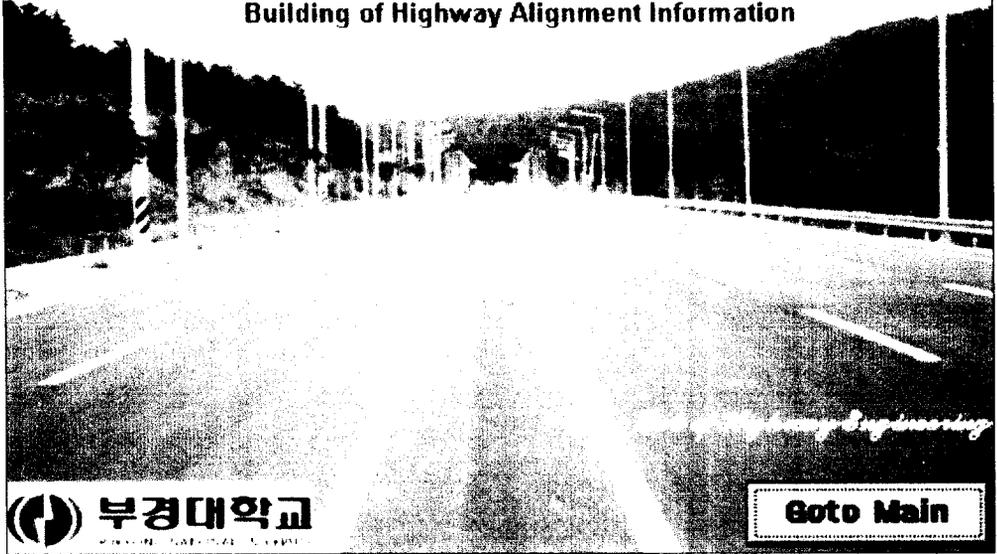
5.2 시스템 검색

도로선형정보시스템의 초기화면은 <그림 5.1.1>와 같고, <그림 5.1.2>는 Main화면이다. <그림 5.1.2>~<그림 5.1.4>에서 보는 바와 같이 도로선형의 선택이 용이할 뿐 아니라 검색하고자하는 속성정보는 메뉴상에서 해당 IP번호를 입력하면 요청된 속성데이터를 화면상에 나타내며 검색된 선형도면과 속성데이터는 직접 프린터로 출력할 수도 있다. 또한 도로대상구간의 현장전경 및 도로의 제원들을 알 수 있고, 선형도면 뿐 아니라 평면선형계산서의 출력도 가능하다. Main화면에서 중단선형검색화면으로 넘어갈 때에는 메뉴바에서 중단선형-중단선형도를 클릭하면 중단선형검색화면이 뜬다.

<그림 5.1.5>에서는 중단선형검색화면을 보여준다. 여기서 VIP번호를 입력하면 요청된 중단선형의 속성데이터를 화면상에 볼 수 있으며 검색된 선형도면과 속성데이터를 출력할 수도 있다. 또한 중단선형계산서의 출력도 가능하다.

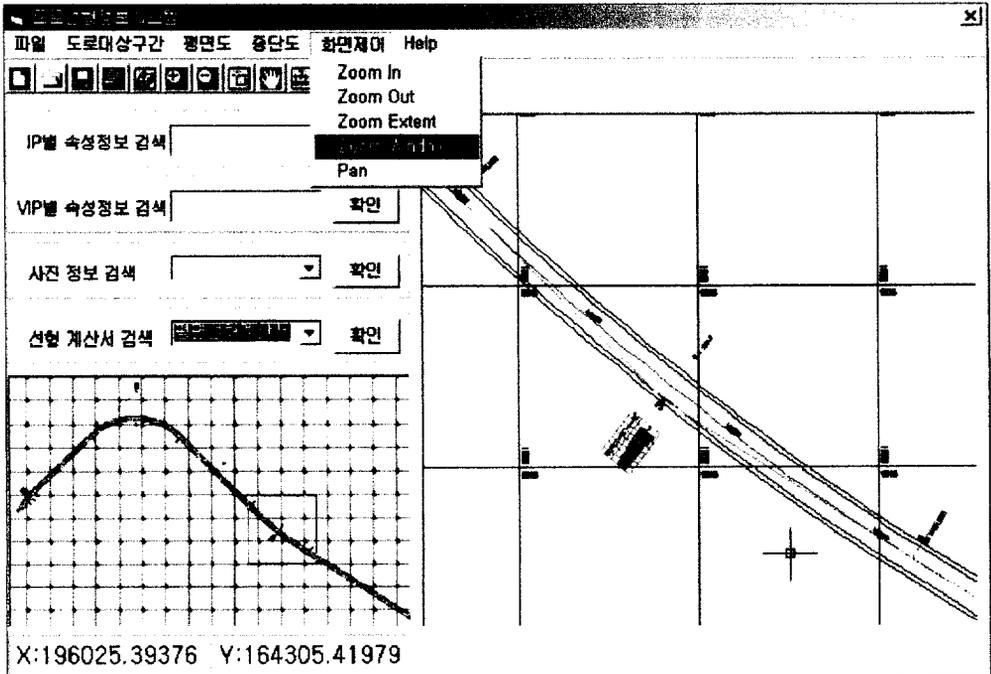
도로선형정보시스템

Building of Highway Alignment Information

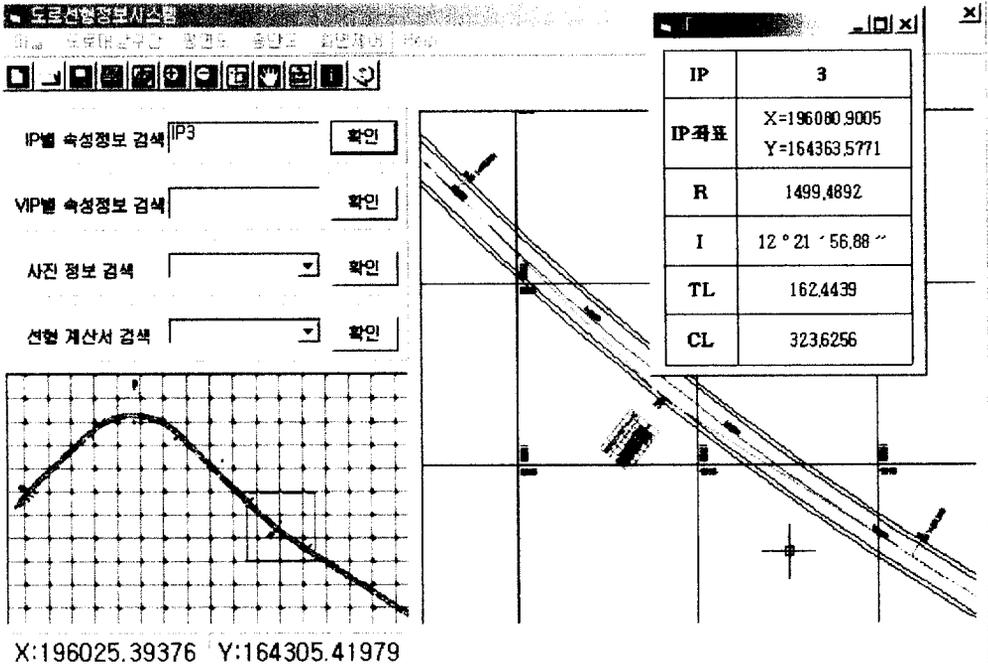


Goto Main

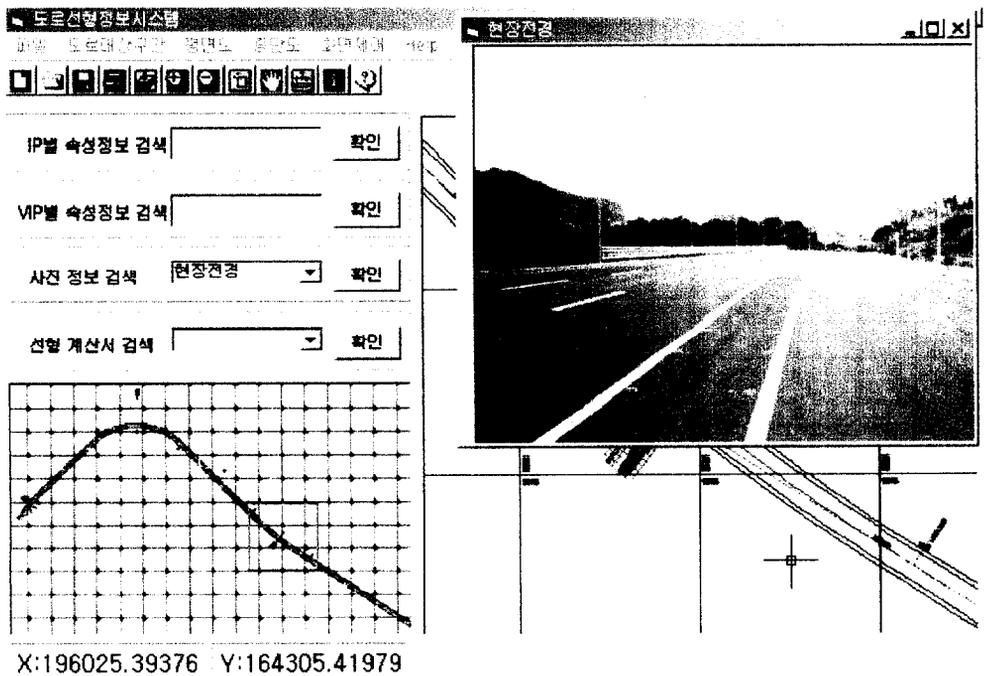
<그림 5.1.1> 초기 화면



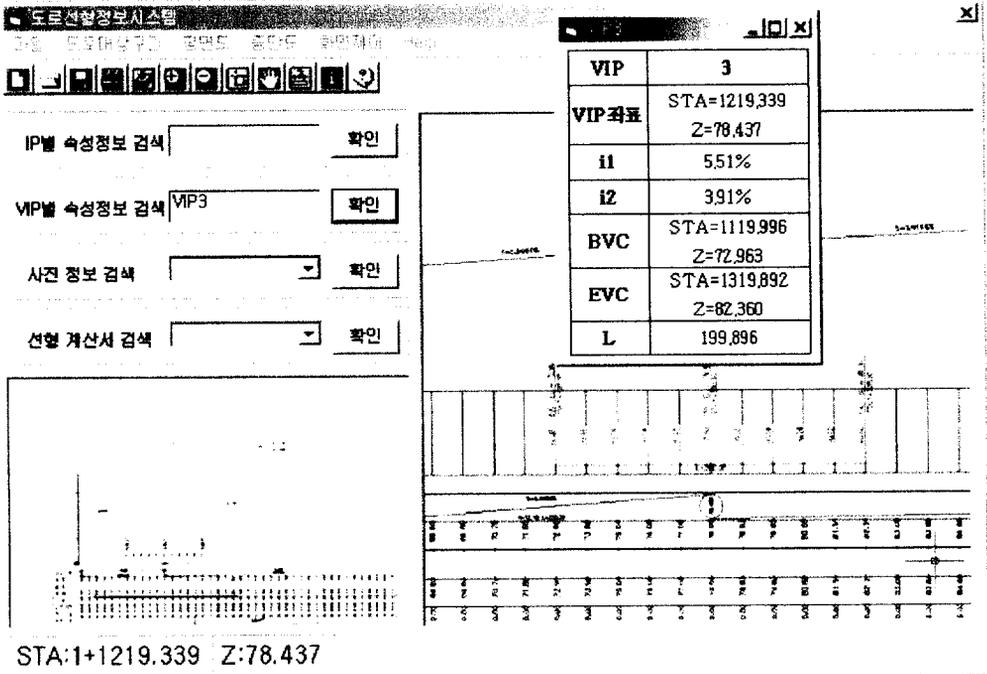
<그림 5.1.2> Main 화면



<그림 5.1.3> 평면선형 검색



<그림 5.1.4> 현장전경 검색



<그림 5.1.5> 종단선형 검색

이런 구축으로 인해 도로 및 도로시설물의 위치를 효과적으로 관리하고 이용이 가능하고, 도로 관리자 관점에서는 관리대상 도로시설물의 위치를 쉽게 파악할 수 있으며, 관리자 상호간의 정보 전달을 용이하게 된다. 도로 관련시스템을 운영하는 시스템 관리자 측면에서는 도로의 선형이 변형되거나 연장이 변했을 경우, 또는 관리대상 도로시설물의 위치가 변경되었을 때 자료의 갱신이 쉽고 정확하게 이루어지도록 하는 것이다.

6. 결론

본 연구에서는 도로위치정보의 효율적이고 과학적인 관리를 위하여 동적 GPS에 의해 위치정보(X, Y, Z)를 취득하여 도로선형설계요소를 추출하였고, 이를 토대로 도로선형정보시스템을 구축해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 동적 GPS관측에 의해 도로중심선 선형좌표를 취득한 결과 평면선형에 대해 국도 2호선 ○○구간에서 X방향 및 Y방향에서 7.6~13.2cm정도의 오차를 나타내었고 지방도 1045호선 ○○구간에서는 8.4~9.2cm정도의 오차를 나타내었다. 이는 같은 목적의 TS측량의 오차범위 내에 해당되어 실용성이 충분히 있다고 판단된다. 또한 종단선형에 대해 지방도 1045호선 ○○구간에서 Z방향에 대해 6.2cm정도의 오차를 나타내었으며, 이는 수치지도 제작시 항공사진 자료를 많이 이용하므로 항공사진의 도화축척 1/1000일 때 표고기준점 오차의 한계는 10cm이내로서 충분히 실용성이 있다고 판단된다.
2. 동적 GPS관측에 의해 도로의 설계도가 없는 부분에 기존의 Data복구 및 국도나 지방도와 같이 도로선형의 개량으로 인한 자료의 갱신이 가능함을 알 수 있었다.
3. 실무자들이 직접 현장에 가보지 않더라도 도로 및 도로시설물의 위치를 효과적으로 관리·이용하는 것이 가능하고, 도로 관리자 관점에서는 관리대상 도로시설물의 위치를 쉽게 파악할 수 있으며, 관리자 상호간의 정보 전달을 용이하게 된다.
4. 이러한 방법으로 보다 넓은 지역의 도로선형 추출하여 이러한 자료를 구축함으로써 도로대장자료의 갱신과 유지관리 차원에서 앞으로 도로관리체계 구축의 일환으로 많이 이용될 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 건설교통부, “도로 구조·시설기준에 관한 규칙”, pp109~226, 1999.
2. Glennon, J.C., “State of the Art Related to Safety Criteria for Highway Curve Design”, Texas Highway Department. Report 134-4, 1971.
3. Glennon, J.C. and Weaver, G.D., “The Relationship of Vehicle Paths to Highway Curve Design”, Texas Highway Department., Report 134-4~5, 1971.
4. 河島, 恒 市川義博, 倉澤眞也, 井口 浩, 江頭泰生, “高速道路の 計劃と設計”, 山海堂, pp313~317, 1981.
5. 황영도, “도로의 기하구조 설계의 일관성에 대한 연구”, 서울시립대학교 도시행정대학원 석사학위논문, p8, 1992.
6. 박도병, “국도 24호선과 35호선 도로 선형에 관한 연구”, 울산대학교 대학원 석사학위논문, pp8~22, 1995.
7. 박인철 외 3인, GIS를 이용한 도로의 기본 설계 기법, The 5th 95 GIS WORKSHOP, pp371~381, 1995.
8. 김주현, “도로의 평면선형 설계기법에 관한 연구”, 한양대학교 산업대학원 석사학위논문, pp5~6, 1996.
9. V. Ashkenazi, A H Dodson, T Moore and G W Roberts, Monitoring the Movements of Bridges by GPS, ION(the Institute of Navigation) GPS-97 Part 2 of 2, University of Nottingham, 1997.
10. 조철호, “도로선형 설계에서 완화곡선의 효율적인 이용 모델”, 대구대학교 대학원 석사학위논문, pp10~11, 1997.
11. 이성우, “주행안전을 고려한 도로의 선형설계에 관한 연구”, 부경대학교 산업대학원 석사학위논문, pp14~19, 1997.
12. 蒔苗 耕司, 福田 正, 航空寫眞とCGを用いた3次元路線計劃システム, 土木學會論文集, No.590/IV-39, pp23~30, 1998.

13. 황주연, “안전주행을 고려한 도로의 입체 선형설계에 관한 연구”, 부경대학교 산업대학원 석사학위논문, pp15~20, 1998.
14. 박 준, “평면선형 설계요소에 대한 도로의 안전성 연구”, 대구대학교 대학원 석사학위논문, pp15~20, 1998.
15. 노태호, “GPS에 의한 도로변형량 측정에 관한 연구”, 부경대학교 산업대학원 석사학위논문, pp21~22, 1999.
16. 임상성, 노현호, GPS측량성과를 이용한 NAHMIS도면의 좌표부여, 한국측지학회지, 제17권 제35호, pp205~211, 1999.
17. 문정환, “GPS에 의한 도로의 평면선형분석”, 부경대학교 산업대학원 석사학위논문, p31, 2000.
18. D. Stathas, J. Karabelas, C. Liapakis, Basil Psarianos and Marios Kontaratos(2001), Dynamic Vehicle Positioning and Orientation Techniques for Inspecting Road Surface or Guiding Construction Machines, FIG Working Week 2001 Conference Proceedings, 6~11 May 2001, Seoul Koera
19. Jongchool LEE, Junghoon SEO and Jongho HEO(2001), Estimation of the Design Elements of Horizontal Alignment by the Method of Least Squares, FIG Working Week 2001 Conference Proceedings, 6~11 May 2001, Seoul Koera
20. 이종출, 동적 GPS 관측에 의한 도로의 평면선형 분석, 한국측량학회, 제 19권 제 1호, pp39~45, 2001.
21. 서유미, “GIS를 이용한 대학시설물관리시스템 구축”, 부경대학교 대학원 석사학위논문, pp27~32, 2001
22. 강재수, 도로계획과 설계, 엔지니어즈, pp234~260, 1998
23. 과학기술, “도로구조에 관한 국내외 설계기준(한국미국독일일본)”, pp 211~302, 2000.
24. 김남호 등, 도로관리시스템통합-기본설계. 연구보고서, 한국건설기술연구원, pp95~116, 1998.

감사의 글

학부를 마치고 보다 깊은 배움의 길로 들고자 대학원에 들어와 어느새 2여년의 세월을 한 권의 논문으로 정리하려니 만감이 교차합니다. 논문이 완성되기까지는 많은 분들의 도움이 있었습니다.

우선 지도교수 이종출 교수님께 진심으로 감사드립니다. 공학적 개념과 함께 사람을 대하는 인격적 깊이는 교수님께 배운 가장 소중한 가치들입니다. 여러 가지로 바쁘신 가운데서도 본 논문을 심사하시며 세밀하게 지도하여 주신 김명식 교수님, 점두회 교수님께도 머리숙여 감사를 드립니다.

그 동안 가르침을 아낌없이 베풀어 주신 김상용 교수님, 김종수 교수님, 손인식 교수님, 장희석 교수님, 이종섭 교수님, 이동욱 교수님, 이영대 교수님, 정진호 교수님, 이환우 교수님, 국승규 교수님, 이상호 교수님께도 가슴깊이 감사를 드립니다.

논문이 완성되기까지는 많은 선배 동료들의 도움이 있었는데 무엇보다도 서동주 선배님의 탁월한 지적이 없었더라면 논문이라는 블랙홀에서 빠져 나오지 못했을 것입니다. 또한 논문완성을 위해 여러모로 신경써주신 도로 및 측량연구실의 노태호 선배님, 장호식 선배님, 김진수 후배님, 왕정환 후배님, 남 신 후배님, 강상민 후배님에게도 감사의 마음을 전합니다.

그리고 바쁜 와중에도 자기의 시간을 아끼지 않고 논문작업에 도움을 주신 환경수리연구실의 정인주 선배님, 조용재 후배님께도 진실로 감사를 드리며, 연구실을 졸업해서도 선배의 의리로 끝까지 도움을 주신 서유미 선배님께도 깊은 감사를 드립니다.

어떠한 상황에서도 저의 버팀목이자 마지막 보루가 되어주시는 부모님과 가족모두에게 감사드립니다. 기쁠 때보다는 지치고 어려울 때 힘이 되어준 가족들입니다. 특히 28년간의 삶의 모든 부분을 가능하게 해주시고 저 자신보다도 저를 더 믿어주시는 어머니께 절절한 감사의 마음을 전합니다.

끝으로 부족한 저에게 많은 사랑과 관심을 아끼지 않고 도움을 주신 모든 분들께 깊은 감사의 마음을 전합니다.