



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

가상기준점을 이용한 실시간동적관측에
의한 도로선형 추출



2010년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

토 목 공 학 과

오 현 우

공 학 석 사 학 위 논 문

가상기준점을 이용한 실시간동적관측에
의한 도로선형 추출

지도교수 이 종 출

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2010년 2월

부 경 대 학 교 대 학 원

토 목 공 학 과

오 현 우

오현우의 공학석사 학위논문을 인준함

2010년 2월 25일



주	심	농학박사	이	영	대	(인)
위	원	공학박사	정	진	호	(인)
위	원	공학박사	이	중	출	(인)

목 차

표 목차	ii
그림 목차	iii
Abstract	iv
I. 서 론	1
1.1 연구배경 및 목적	1
1.2 연구동향	3
1.3 연구방법 및 적용범위	5
II. Network RTK 시스템의 이론	7
2.1 Network RTK 시스템	7
2.1.1 Network RTK 시스템 원리	7
2.1.2 Network RTK 시스템 방식	8
2.2 GPS 상시관측소	9
III. 도로 선형 이론	13
3.1 평면선형 설계요소 이론	13
3.1.1 최소제공선 결정	13
3.1.2 원곡선의 반경 결정	15

3.1.3	완화곡선길이 및 파라미터 결정	18
3.2	중단선형 설계요소 이론	21
3.2.1	VPI 위치의 결정	22
3.2.2	중단곡선의 결정	23
3.2.3	최대 이정량 및 중단곡선길이 산정	24
IV.	VRS RTK 자료취득 및 결과분석	26
4.1	VRS RTK 자료의 처리	26
4.2	VRS RTK 좌표 처리	28
4.3	대상 도로의 VRS RTK 정확도 분석	30
4.4	도로 선형요소 추출	33
4.4.1	평면선형 설계요소 추출	33
4.4.2	중단선형 설계요소 추출	39
V.	결론	44
	참 고 문 헌	45

표 목 차

표 2.1 네트워크 RTK 시스템 방식	9
표 2.2 국내 GPS 상시관측소 현황	11
표 2.3 국토지리정보원의 관측소의 VRS 운용 상시관측소	12
표 3.1 최소곡선반경	15
표 3.2 곡선부의 완화곡선	18
표 3.3 종단곡선의 최소길이	24
표 4.1 T·S의 장비의 제원	27
표 4.2 VRS RTK의 장비의 제원	28
표 4.3 각 관측소의 좌표정보	29
표 4.4 T·S의 검사점	30
표 4.5 VRS RTK 정확도의 결과	31
표 4.6 VRS RTK 자료를 이용하여 추출된 도로중심선 자료	34
표 4.7 VRS RTK로 결정된 직선 구간의 최소제공선과 IP 위치	37
표 4.8 VRS RTK와 설계제원의 평면선형 설계요소와 비교	38
표 4.9 VRS RTK 자료를 이용하여 추출된 종단선형 데이터	40
표 4.10 VRS RTK로 결정된 경사구간의 최소제공선과 VIP 위치	42
표 4.11 VRS RTK로 결정된 다중회귀방정식	42
표 4.12 종단곡선길이와 종단곡선변화 비율	43

그림 목 차

그림 1.1 연구 흐름도	5
그림 2.1 네트워크 원리	8
그림 2.2 GPS 상시관측소 현황	10
그림 2.3 국토지리정보원 상시관측소 현황	11
그림 3.1 LSC 기법의 오차	17
그림 3.2 이정량	19
그림 3.3 종단선형의 구성요소	22
그림 4.1 대상지역	26
그림 4.2 토탈 스테이션	27
그림 4.3 VRS RTK	28
그림 4.4 연구대상지역의 GPS 상시관측소	29
그림 4.5 VRS RTK 검사점 분석결과	32
그림 4.6 VRS RTK로 대상지역 측량	33

Extraction of Alignment Elements in Highway Using Virtual Reference Station by Real-Time Kinematic

Hyun-Woo, Oh

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

Abstract

Recently, the exponential number increase in IT business has had a great effect on the civil engineering field. Among the civil engineering field, the road realm has been including the technology to research on such subjects as the SMART Highway projects.

Through the SMART Highway, the road traffic control system offers live road alignment information for the drivers.

In order to apply this kind of technology, this thesis has experimented by using the latest technology of VRS RTK the positioning techniques of the Network RTK on the roads within the Pusan Province.

First, the terms of survey operations of the reduced scale of 1:600 was met through the result of the comparison and analysis of the T · S and checkpoint. Then the alignment and end linear element were extracted in order to compare and analyzed. The results showed that the curve of the alignment was -3.339m [P is X: 0.122m Y: 0.755m difference and the VIP high of end linear element showed a difference

of 0.146m. This was an improvement compared to the past research and it was proven that the VRS RTK technology is efficient in the extraction of linear elements.

It is possible and expected to utilize SMART Highway to improve the safety of traveling on the road. This will be possible because the VRS RTK is able to find the exact body positioning and it is also able to provide live road information to the drivers.



1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

최근 IT 산업의 기하급수적인 수요의 증가는 토목분야에도 많은 영향을 미치고 있으며, 토목분야 중 특히 이 중 도로분야에서는 이러한 기술을 접목한 스마트하이웨이(SMART Highway)라는 연구가 활발히 진행되고 있다. 스마트 하이웨이는 첨단 토목기술, IT기술, 차세대 자동차기술을 상호 접목하여 빠르면서도 안전한 지능형 고속도로를 개발하는 사업이다. 스마트하이웨이는 최고속도가 160km/h이상인 초고속도로를 개발하여 주행 중인 운전자에게 도로선형정보를 실시간으로 제공한다. 그러므로 운전자가 운전 중에 주행로의 이탈을 예방함으로써 운전자에게 안전한 주행을 제공한다. 이 기술이 적용되기 위해서는 우선적으로 연구할 대상은 실시간으로 도로에 적합한 선형요소를 추출하는 기법들이 개발이 되어야 한다. 그래서 최근 도로의 선형요소를 추출하는 연구가 계속진행 되고 있다.

그러나 기존의 방법들은 기준점이나 실시간영상처리들의 복잡한 과정을 거쳐서 관측자에게 제공되므로, 자동적으로 인식하는데 문제점들이 발생하였다.

최근에 GPS의 최신기술인 Network RTK기술의 측위기법중에 하나인 가상기준점을 이용한 실시간 동적관측기법(Virtual reference system by Real-Time Kinematic ; VRS RTK)은 GPS상시관측소의 자료를 이용하여 실시간으로 위치를 결정할 수 있는 기법이다.

VRS RTK는 측정지점의 측정하는 시간을 단축시킬 수 있고 한 대의 수신기만으로 기존의 GPS측량과 같은 정밀한 위치 결정을 할 수 있다. 기존의 GPS측량은 두 대이상의 수신기를 사용하는데 VRS RTK는 한 대의

수신기를 사용할 수 있어서 비용을 절감할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 VRS RTK를 이용하여 도로중심선에 대한 자료를 처리하여 선형요소를 추출하고자 한다. 또한 VRS RTK 자료를 통한 추출된 선형요소와 설계제원과 비교분석하여 미래지향적인 첨단도로 계획과 설계에 적용성을 높이고자한다.



1.2 연구동향

본 연구에서 취득하고 처리한 자료는 Network RTK의 방식 중 하나인 VRS RTK 자료이다. Network RTK는 상시관측소를 받은 데이터를 제어국에서 보정하여 가상기준점을 생성하여 위치를 결정하는 방식이다. 이미 해외의 경우 미국, 일본 등에서는 이미 상시관측소를 이용하여 지각변동, 측지학 등 여러분야에서 이용되고 있다.(Dinesh K., 2005) GPS 관측의 편리성과 정밀도를 높이려는 목적으로 Network RTK의 측위기법에 대해 위치정보를 획득하는데 있어서 실시간으로 획득하는 연구가 진행되어 왔다 (Retsher, 2002; Fotopoulos, Cannon, 2001). N.Castleden(2004)는 Static 측량과 VRS의 기술을 비교·분석 하는 연구를 수행하였고, VRS 전송방식인 CDMA방식이 아닌 WCDMA방식을 적용한 연구가 수행된 바가 있다 (Dinesh K., 2005) VRS RTK의 원리와 VRS RTK의 알고리즘에 대해 연구 수행하여 중국에서 VRS RTK의 적용성에 대해 연구한바있고(Erhu Wei, 2006), Jia-Ruey와 Chang(2008)은 VRS 망에서 자동로봇을 개발하여 포장위험에 대해 조사하는 연구도 수행하였다. 또한, Network RTK 방식 중 VRS, FKP, PRS과 MAC방식을 120km, 90km, 60km의 각각 지역에서의 정확도의 연구가 진행되기도 하였다(Kamil Eren, 2009).

국내의 경우 국토지리정보원은 한반도 내부에 발생하고 있는 지각변동량을 정밀하게 산출하기위하여 관측의 정확도를 평가하였다(국토지리정보원, 2007). 또한, 측위 방식에 따른 비교를 위하여 18개의 지적도근점에 대해 GPS 정적측위, RTK, VRS RTK 방식으로 각각 측량을 실시하여 각 측정 대상점의 결과를 기준으로 RTK 방식과 VRS RTK 방식의 정확도를 비교한 연구가 수행되었으며(김정, 2007), 공사비 산정의 적정성에 중요한 토공량의 확인을 VRS RTK를 이용하여 3차원 좌표를 높은 밀도로 관측하여 토공량을 분석하는 연구도 수행되었다(김인섭, 2008). 그리고, VRS

RTK 기준망 내부에 위치한 3등 기준점 50개소를 대상으로 VRS RTK 측량과 동시에 단일 기준국을 이용한 RTK 측량을 실시한 뒤 RTK 측량 방식의 측위오차와 비교한 연구가 있었다.(김혜인, 2008) 이제중과 강준목(2009)은 VRS RTK로 측량을 실시하고 지적도근점 성과와 토털스테이션 측량 성과와 비교·분석을 통해 VRS 측량의 정확도를 평가하고 공공측량에 활용성을 제시하는 연구도 수행되었고, 서울특별시에서 설치·운영하고 있는 Network RTK 시스템을 활용하여 건축물의 변위량 데이터 X, Y, Z 값을 취득한 후 건축물의 실시간 안전관리 방안을 제시하고자 하는 연구도 있었다(박희영, 2009).

또한, 선형정보획득과 관련된 연구는 동적 GPS와 RTK GPS/GLONASS 조합을 하여 국도의 도로중심선을 측량하고 평면선형제원을 추출한 후 정확도를 분석하는 연구가 되었다(이종출, 2001;노태호 외2명, 2002). 그리고 수치사진측량의 기법을 통해 도로의 중심선의 영상을 획득한 후 도로의 평면선형정보체계를 개발한 연구가 있었고(서동주 외1인, 2003), 최신장비인 지상레이저 스캐닝기법을 이용하여 도로의 중앙분리대 상단을 점군 자료를 획득하여 도로의 평면선형을 추출한 연구가 있었다(김진수, 2007). 또한, 고해상력 위성영상을 이용하여 도로중심차선을 관측한 후 영상처리를 통해 도로선형을 추출한 연구도 있었다(정동훈, 2007). 그리고 운전자가 가상주행실험을 통해 분석·검토할 수 있는 도로주행 시뮬레이터를 이용하여 스마트하이웨이에 맞는 도로시설에 대한 설치기준 정립과 스마트하이웨이 설계에 대한 사전 검토에 활용한 연구가 이루어졌다(김종민, 2008).

그러나 VRS기법을 이용한 도로선형추출은 도로기술의 첨단화에 필수적으로 활용될수 있는 기술이지만 이에 대한 연구는 아직 미흡하여 본 연구에서 연구하고자 한다.

1.3 연구방법 및 적용범위

본 연구는 VRS RTK를 이용하여 실시간으로 좌표를 획득하고, 평면선형과 종단선형의 선형설계요소를 추출하였다. 그리고 대상도로의 설계제원과 비교·분석하여, VRS RTK가 실시간으로 선형요소를 획득하는데 적용성을 검토하는 것이 본 연구에서의 목적을 두고 있다. 그림 1.1은 연구 흐름도를 나타낸 것이다.



그림 1.1 연구 흐름도

본 연구에서는 부산광역시 연제구에 도로 4차로 확장공사 구간 내 평면 및 종단선형 요소를 모두 포함하고 있는 700m구간을 연구대상도로를

선정하였다.

또한 그 결과의 정확도를 분석하기 위하여 T·S(토탈스테이션)에 의한 검사점 측량을 동시에 수행하였다.

처리된 자료는 T·S으로 측정된 값과 비교하여 정확도를 분석하였다. 분석된 VRS RTK의 자료가 정확도에 만족하면 도로 중심선에 해당하는 3차원 위치자료를 추출하였다. 평면선형 요소와 종단선형 요소로 분리하여 각각의 선형요소를 추출하였다. 추출된 제원과 실제 연구대상도로의 설계 제원과 비교·분석하여 VRS RTK의 적용성을 판단하였다.



2. Network RTK 시스템 이론

1970년대 초에 개발된 GPS는 초창기에는 군사적인 목적으로 개발되었으나 점차적으로 민간부분에서 사용되어지고 있다. 이러한 GPS 발달은 러시아의 GLONASS, 유럽의 Galileo와 일본의 QZSS 등과 같이 항법위성시스템을 개발하게 되었는데 이를 통합적으로 GNSS(Global Navigation Satellite System)라고 한다. 현재 GNSS는 항공의 항법분야, 측량, 군사분야 등 여러 분야에서 사용되어지고 있다. GNSS는 측정정도와 관측시간 및 응용목적에 따라 측위기법을 선택하여 적용하여야 한다.

그 중에서도 GPS 최신기술인 Network RTK 측위법은 상시관측소를 이용하여 가상 기준국을 생성하기 때문에 거리에 상관없이 먼 거리에 대해서도 높은 정확도의 위치 측량을 실시간으로 가능하게 할 수 있다.

2.1 Network RTK 시스템

2.1.1 Network RTK 시스템 원리

Network RTK의 원리는 임의의 관측자에 가까운 지점에 가상의 기준국이 있다고 가정하고, 이 가상의 기준국에서 획득된 것과 같은 관측치를 상시기준점의 네트워크자료를 이용하여 이 가상의 기준점과 관측자의 RTK를 통하여 정확한 관측자의 위치를 결정하는 것이다.

제어국에서는 네트워크 내의 상시관측소 자료를 통합한 후 전송받은 보정 정보를 일정한 형식에 따라 오차를 분리해낸다. 오차를 제거한 후 가상기준국의 가상 관측치를 생성한다.

이러한 가상으로 생성된 가상기준국은 관측자에게 전송 되어야하는데,

Network RTK시스템에서 전송하는 자료는 RTCM(Radio Technical Commission for Maritime Services)이나 CMR(Compact Measurement Record) 형식을 통하여 전송된다.

Network RTK 시스템의 진행과정으로 상시관측소에서 받은 GPS 데이터를 제어국으로 수신하면 제어국은 수집된 기준국 데이터를 통해 보정값을 생성한다. 상시관측소 망안에 있는 사용자가 제어국으로 현재 위치 정보를 전송하면 제어국은 사용자가 요청한 위치에 해당하는 보정치를 사용자에게 RTCM 형식으로 전송하면, 전송 받은 보정치를 통해 정밀 좌표를 획득할 수 있다. 그림 2.1로 Network RTK 시스템 원리를 나타낸 것이다.

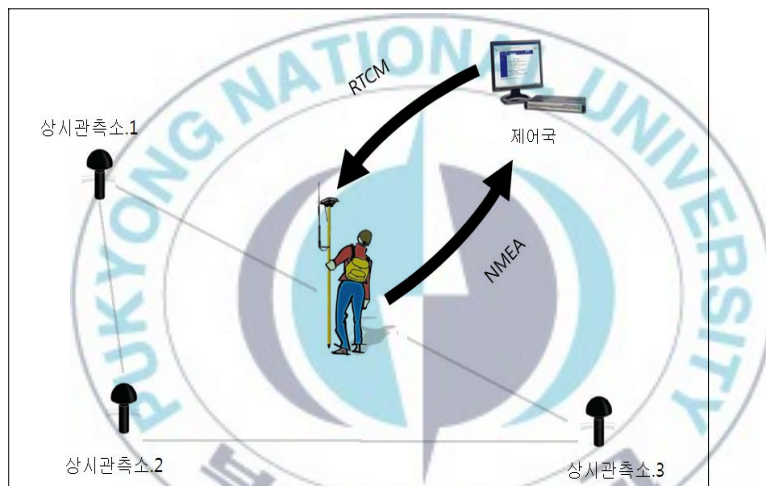


그림 2.1 Network RTK 시스템 원리

2.1.2 Network RTK 시스템 방식

현재까지 개발된 Network RTK에서 가상기준점 방식은 Multi reference, FKP(flachen-korrektur-parameter), VRS의 3가지 방식이 있다. 이들의 방식은 관측공간에서의 오차 모델링과 공간 상태에서의 오차모델

링의 차이에 의한 데이터 정리 알고리즘의 차이, 그리고 추정된 오차를 전송하는 형태와 방식에 의한 것이다. 세가지 방식의 Network RTK 시스템을 비교하여 표 2.1과 같다.

본 논문에서 활용한 네트워크 RTK는 3가지 방식중에 국토지리정보원에서 사용하고 있는 VRS의 방식을 채택하여 대상지역에서 측량을 실시하였다.

표 2.1 네트워크 RTK 시스템 방식

네트워크 RTK 방식	MultiRef	FKP	VRS
전송데이터	격자보정계수	FKP	가상 의사거리
이동국 통신	단·양방향 통신	단·양방향 통신	양방향통신
전송기기	단방향통신 수신기	단방향통신 수신기	·휴대전화 ·라디오 모델
특징	·오차모델링의 격자방식	·고정밀 상태 추정 상태 변수를 전송	·관측공간 내 상태 변수의 개별처리가 아닌 조합형 모델

2.2 GPS 상시관측소

GPS 상시관측소에서 수행하는 가장 기본적인 업무는 GPS 위성을 연속적으로 24시간 관측하고 그 자료를 저장하고 관리하는 작업이다.

GPS 상시관측소 시스템은 크게 무인상시관측소와 중앙국 그리고, 이들을 연결하는 통신장치의 세 가지로 구성된다. 무인상시관측소는 전국의 곳곳에 설치되어 GPS 위성으로부터 무인으로 자료를 수신 받는 역할을 담당하며, 중앙국은 무인상시관측소로부터 원거리에서 자료를 다운받고 처리하며, 또한 무인상시관측소에 명령을 내려 관측을 제어하는 역할을 수행한다. 통신장치는 관측소와 중앙국의 자료전송을 가능하게 한다. GPS 무인

상시관측소는 안테나와 안테나 필라, GPS 수신기, 통신장비, 비상용 배터리 그리고 온도와 습도조절 장치 등으로 이루어진다.

일반적으로 GPS 상시관측소는 GPS 위성으로부터 전송되는 신호를 수신할 수 있는 안테나 등의 수신 장치와 중앙제어국이나 사용자에게 자료를 전송할 수 있는 통신장치 및 데이터의 정밀해석을 통해 GPS 상시관측소 위치와 성과 정확도 등의 정보 제공을 담당하는 자료처리 시스템으로 구분할 수 있다. 각 기관별로 국내 GPS 상시관측소의 위치는 그림 2.2와 같고, 국내 GPS 상시관측소의 설립 및 운용 기관 및 관측소 수는 표 2.2와 같다.

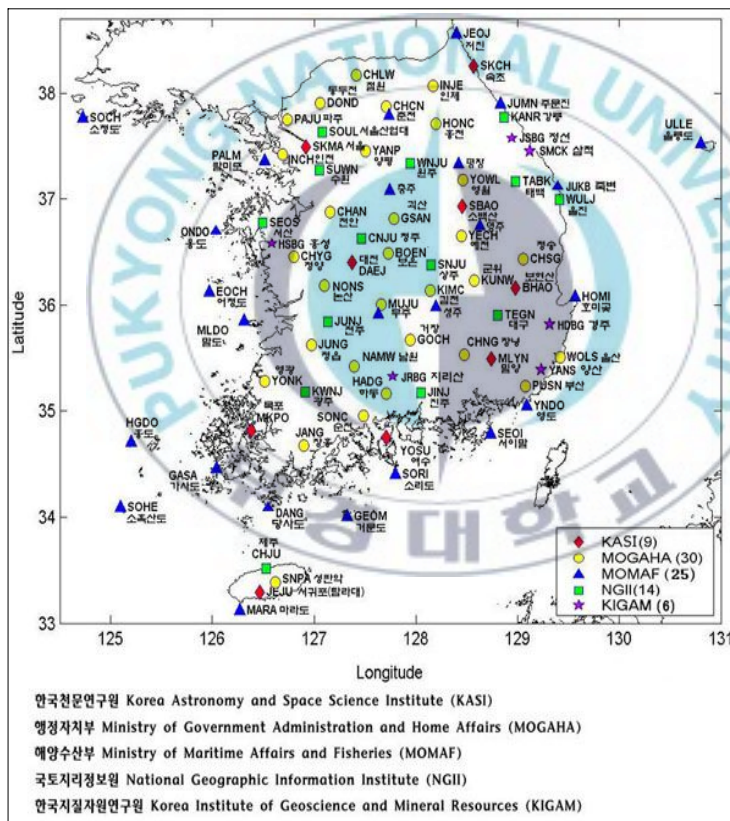


그림 2.2 상시관측소 현황 (http://gps.kasi.re.kr/new_gps/5/5_2.asp)

표 2.2 국내 GPS 상시관측소 현황(2009. 12월 현재)

기 관	GPS상시관측소 수
국토지리정보원	44개소
한국천문연구원	7개소
국토해양부(구 해양수산부)	11개소
한국지질자원연구원	4개소
한국전력공사	5개소

국토지리정보원에서는 1995년부터 GPS 상시관측소를 시작하여 현재 총 44개소의 GPS 상시관측소에 VRS 시스템을 운용하였다. 이 상시관측소는 GPS 신호를 수신 및 저장하고 무인으로 24시간 관측하고 있다. .

현재 국토지리정보원에서 운영하는 GPS 상시관측소의 위치는 그림 2.3과 같다. 그리고 각 관측소의 VRS 운용 상시관측소 표 2.3와 같다.

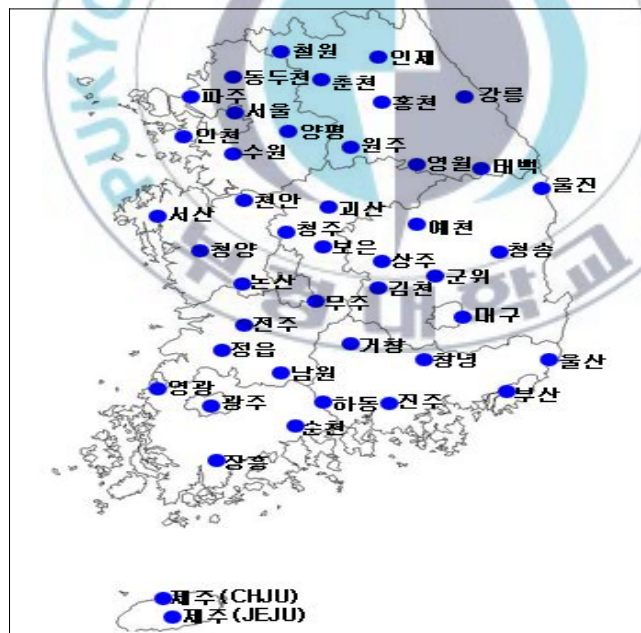


그림 2.3 국토지리정보원 상시관측소의 현황(<http://gps.ngii.go.kr/>)

표 2.3 국토지리정보원의 관측소의 VRS 운용 상시관측소 (<http://gps.ngii.go.kr/>)

(2009. 12월 현재)

NO	관측소	수신기명칭	NO	관측소	수신기명칭
1	강릉(KANR)	Trimble NetRS	23	울산(WOLS)	Trimble NetR5
2	거창(GOCH)	Trimble NetR5	24	울진(WULJ)	Trimble NetRS
3	광주(KWNJ)	Trimble NetRS	25	원주(WNJU)	Trimble NetRS
4	괴산(GSAN)	Trimble NetR5	26	인제(INJE)	Trimble NetR5
5	군위(KUNW)	Trimble NetR5	27	인천(INCH)	Trimble NetR5
6	김천(KIMC)	Trimble NetR5	28	장흥(JAHG)	Trimble NetR5
7	남원(NAMW)	Trimble NetR8	29	전주(JUNJ)	Trimble NetRS
8	논산(NONS)	Trimble NetR5	30	정읍(JUNG)	Trimble NetR8
9	대구(TEGN)	Trimble NetRS	31	제주(JEJU)	Trimble NetR8
10	동두천(DOND)	Trimble NetR5	32	제주(CHJU)	Trimble NetRS
11	무주(MUJU)	Trimble NetR8	33	진주(JINJ)	Trimble NetRS
12	보은(BOEN)	Trimble NetR5	34	창녕(CHNG)	Trimble NetR8
13	부산(PUSN)	Trimble NetR5	35	천안(CHEN)	Trimble NetR5
14	상주(SNJU)	Trimble NetRS	36	철원(CHLW)	Trimble NetR5
15	서산(SEOS)	Trimble NetRS	37	청송(CHSG)	Trimble NetR5
16	서울(SOUL)	Trimble NetRS	38	청양(CHYG)	Trimble NetR5
17	수원(SUWN)	Trimble NetRS	39	청주(CNJU)	Trimble NetRS
18	순천(SONC)	Trimble NetR5	40	춘천(CHCN)	Trimble NetR5
19	양평(YANP)	Trimble NetR5	41	태백(TABK)	Trimble NetRS
20	영광(YONK)	Trimble NetR5	42	파주(PAJU)	Trimble NetR5
21	영월(YOWL)	Trimble NetR5	43	하동(HADG)	Trimble NetR8
22	예천(YECH)	Trimble NetR5	44	홍천(HONC)	Trimble NetR5

3. 도로 선형 이론

도로에서 선형이라 함은 도로의 중심선이 입체적으로 그리는 연속된 형상으로서 평면적으로 본 도로중심선의 형상을 평면선형, 종단적으로 본 도로중심선의 형상을 종단선형이라 한다.

본 장에서는 도로 선형에 있어서 평면선형 및 종단선형에 관련한 설계 요소에 대해 설명하고, VRS RTK에 의해 획득된 자료를 이용하여 도로의 선형을 추출하였다.

3.1 평면선형 설계요소 이론

도로의 평면선형은 도로의 사용성 측면에서 직접적으로 영향을 미치며, 특히 평면선형의 양부는 주행의 안전성과 직접 관련된다. 평면선형 설계요소에는 직선, 원곡선, 완화곡선의 3종류가 있으며, 완화곡선에서도 여러 종류가 있으나 도로 설계에서는 자동차의 주행궤적과 형상이 비슷한 Clothoid 곡선을 주로 사용하고 있다.

자동차가 도로의 곡선부에서 안정되고 쾌적하게 주행하기 위하여는 곡선부의 최소곡선반경을 제한해야한다.

평면선형 설계요소를 추출하기 위해서는 1) IP 위치 결정, 2) 원곡선의 반경(R) 결정, 3) 완화곡선의 길이(L) 및 파라미터(A)의 결정이 순차적으로 이루어져야만 한다.

3.1.1 최소제공선 결정

도로 중심선에 관련한 자료를 이용하여 평면선형의 구성요소를 추출하

기 위해서는 IP(Intersection Point) 위치가 결정되어야 하며, 이를 위해서는 표본관측치 (x_i, y_i) 를 이용한 2개의 표본회귀선의 결정이 우선시 된다.

본 연구에서는 최소제곱법을 이용하여 IP 결정을 위한 두 개의 표본회귀선을 결정하였다. 최소제곱법을 행렬로 표시할 때의 정규방정식은 식 (3.1)과 같다.

$$X^T \cdot Y = X^T \cdot X \cdot B \quad (3.1)$$

여기서,

$$X = \begin{bmatrix} 1 & x_1 \\ 1 & x_2 \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ 1 & x_n \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ y_n \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix}$$

여기서, X^T : X 의 전치행렬

x_1, x_2, \dots, x_n : 관측된 x 값

y_1, y_2, \dots, y_n : 관측된 y 값

b_1, b_2 : 미지수

미지수 행렬 B 는 식 (3.2)에 의하여 구할 수 있다.

$$B = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot Y \quad (3.2)$$

취득된 두 개의 직선구간 자료를 식 (3.2)에 대입하면 식 (3.3)과 식 (3.4)와 같이 두 개의 최소제곱선이 결정되어진다.

$$Y = b_{21} \cdot X + b_{11} \quad (3.3)$$

$$Y = b_{22} \cdot X + b_{12} \quad (3.4)$$

식 (3.3)과 식 (3.4)를 연립하면 식 (3.5)와 같이 교점의 좌표 (X_{IP} , Y_{IP})를 계산할 수 있다.

$$X_{IP} = -\frac{b_{11} - b_{12}}{b_{21} - b_{22}}, \quad Y_{IP} = -\frac{b_{11} - b_{21}}{b_{21} - b_{22}} \cdot b_{21} + b_{11} \quad (3.5)$$

$$\text{or } Y_{IP} = -\frac{b_{11} - b_{21}}{b_{21} - b_{22}} \cdot b_{22} + b_{12}$$

3.1.2 원곡선의 반경 결정

도로의 원곡선 구간에서는 설계속도와 편경사에 따라 표 3.1과 같이 최소곡선반경을 정하고 있으며, 이는 직선 및 완화곡선 구간과 조화를 이루어야만 한다.

표 3.1 최소곡선반경

설 계 속 도 (km/hr)	최소곡선반경 (m)		
	최대편경사		
	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

원곡선의 반경(R)은 도로 선형의 설계에 있어서 가장 중요한 요소로써, 완화곡선의 제원을 결정하기 위해서는 직선구간의 표본회귀선과 함께 원곡선의 반경이 결정되어야만 한다. 본 연구에서는 최소제곱원리를 이용한 LSC(Least Square Circle) 기법을 이용하여 원곡선에 관련한 다중회귀 방정식을 결정하였다.

원곡선 구간의 중심선 좌표를 (x_i, y_i) 로 하고, 원곡선의 중심 좌표 및 반경을 (a, b) 와 r 로 하는 원곡선의 방정식은 식 (3.6)과 같다.

$$(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2 = r^2 \quad (3.6)$$

식 (3.6)을 원곡선에 관련한 최소제곱법에 적용하면 식 (3.7)과 같이 잔차의 제곱합(I)으로 나타낼 수 있으며, 이를 전개하면 식 (3.8)과 같다.

$$I = \sum_{i=1}^n [(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2 - r^2]^2 \quad (3.7)$$

$$I = \sum_{i=1}^n [x_i^2 + y_i^2 - 2ax_i - 2by_i + a^2 + b^2 - r^2]^2 \quad (3.8)$$

식 (3.8)에 $A = -2a$, $B = -2b$, $C = a^2 + b^2 - r^2$ 을 적용하면

$$I = \sum_{i=1}^n [x_i^2 + y_i^2 + Ax_i + By_i + C]^2 \quad (3.9)$$

이고, 식 (3.9)를 각 항에 대해 편미분하면 식 (3.10)과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial I}{\partial A} &= 2 \sum_{i=1}^n [x_i^2 + y_i^2 + Ax_i + By_i + C][x_i] \\ \frac{\partial I}{\partial A} &= 2 \sum_{i=1}^n [x_i^2 + y_i^2 + Ax_i + By_i + C][y_i] \\ \frac{\partial I}{\partial A} &= 2 \sum_{i=1}^n [x_i^2 + y_i^2 + Ax_i + By_i + C][1] \end{aligned} \quad (3.10)$$

또한 식 (3.10)은 식 (3.11)과 같은 행렬식으로 나타낼 수 있으며,

$$\begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n (x_i^2) & \sum_{i=1}^n (x_i * y_i) & \sum_{i=1}^n x_i \\ \sum_{i=1}^n (x_i * y_i) & \sum_{i=1}^n (y_i^2) & \sum_{i=1}^n y_i \\ \sum_{i=1}^n x_i & \sum_{i=1}^n y_i & n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A \\ B \\ C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\sum_{i=1}^n (x_i^3) - \sum_{i=1}^n (x_i * y_i^2) \\ -\sum_{i=1}^n (y_i^3) - \sum_{i=1}^n (x_i^2 * y_i) \\ -\sum_{i=1}^n (x_i^2) - \sum_{i=1}^n (y_i^2) \end{pmatrix} \quad (3.11)$$

최종적으로 결정된 미지수 A, B, C를 이용하여 원곡선의 중심 좌표 (a, b) 및 반경 (r)을 결정할 수 있다.

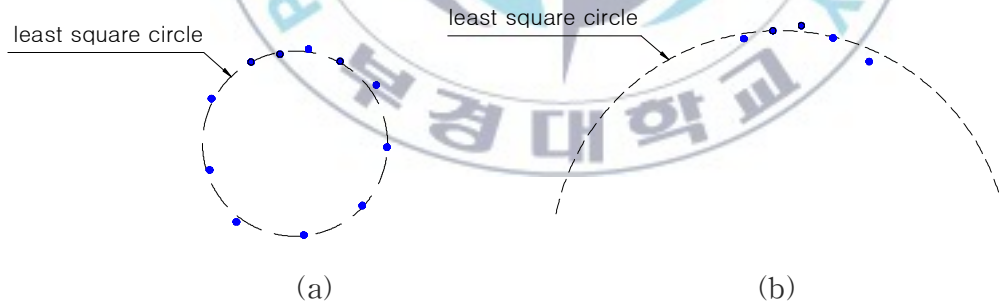


그림 3.1 LSC 기법의 오차

그러나 그림 3.1(a)와 같이 원곡선 구간의 중심선 자료의 분포가 양호한 경우에는 LSC 기법의 결과가 비교적 정확하게 결정되지만, 그 분포가

그림 3.4(b)와 같이 편중된 경우에는 원곡선의 반경(r)의 크기가 매우 크게 결정되므로 신뢰할 수가 없다. 따라서 본 연구에서는 식 (3.12)과 같이 LCS 기법에 의해 결정된 원곡선의 중심 좌표(a, b)와 원곡선 구간의 중심 선 좌표(x_i, y_i)간의 길이를 평균하여 원곡선의 반경을 최종적으로 결정하였다.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (\sqrt{(x_i - a)^2 + (y_i - b)^2})}{n} \quad (3.12)$$

3.1.3 완화곡선길이 및 파라미터 결정

평면곡선부에는 곡률이 서서히 변화하고 직선과 원곡선을 매끄럽게 연결할 수 있는 완화곡선이 필요하며, 설계속도가 60km/hr 이상인 도로의 곡선부에는 표 3.2에 나타낸 것과 같이 완화곡선을 설치해야만 한다.

표 3.2 곡선부의 완화곡선

설 계 속 도 (km/hr)	곡선부의 완화곡선 (m)
120	70
110	65
100	60
90	55
80	50
70	40
60	35

완화곡선에서도 여러 종류가 있으나 도로 설계에서는 자동차의 주행궤적과 형상이 비슷한 Clothoid 곡선을 주로 사용하고 있다. Clothoid 완화곡

선의 파라미터(A)의 크기는 접속하는 원곡선의 반경(R)의 크기와 균형이 필요하며, 그 크기의 상한은 실용성을 고려하여 1,000m이하로 하는 것이 바람직하다. 또한 직선과 원곡선 사이에 완화곡선을 설치할 경우에는 직선과 원곡선을 직접 접속하는 경우에 비하여 그림 3.2에서와 같이 이정량(ΔR)을 고려해야만 한다.

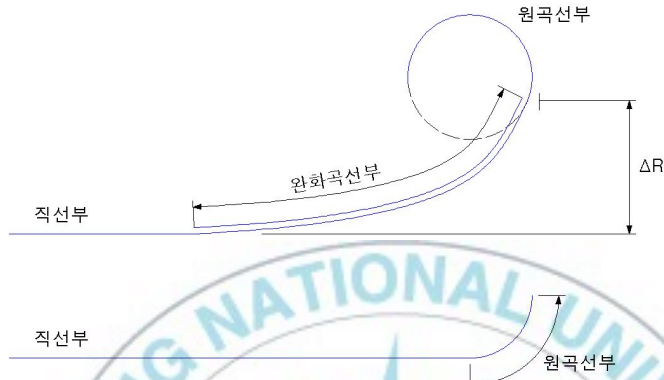


그림 3.2 이정량

본 연구에서는 이미 결정된 원곡선의 반경(R)과 이정량(ΔR)을 이용하여 평면선형의 중요 설계요소인 완화곡선의 파라미터(A)와 완화곡선의 길이(L)를 결정하였다.

이정량(ΔR)은 이미 결정된 원곡선의 중심 좌표(a, b)에서 식(3.3)과 식(3.4)에 나타낸 두 개의 최소제곱선을 이용하여 수선의 길이(l)와 원곡선의 반경(R)의 차이로 설명될 수 있다.

$$\Delta R_1 = \sqrt{\left(\frac{b_{21} \cdot b - b_{21} \cdot b_{11} + a}{b_{21}^2 + 1} - a\right)^2 + \left(\frac{b_{21}^2 \cdot b + b_{21} \cdot a + b_{11}}{b_{21}^2 + 1} - b\right)^2} - R \quad (3.13)$$

$$\Delta R_2 = \sqrt{\left(\frac{b_{22} \cdot b - b_{22} \cdot b_{12} + a}{b_{22}^2 + 1} - a\right)^2 + \left(\frac{b_{22}^2 \cdot b + b_{22} \cdot a + b_{12}}{b_{22}^2 + 1} - b\right)^2} - R \quad (3.14)$$

여기서, ΔR_1 과 ΔR_2 는 원곡선의 시점부와 종점부에서의 이점량이다. 또한 각각의 이점량은 식 (3.15)와 식 (3.16)과 같이 원곡선의 반경(R)과 시·종점부의 완화곡선의 길이(L)의 관계식으로 산정할 수 있다.

$$\Delta R_1 = \frac{1}{24} \cdot \frac{L_1^2}{R} \quad (3.15)$$

$$\Delta R_2 = \frac{1}{24} \cdot \frac{L_2^2}{R} \quad (3.16)$$

위의 두 식을 단위 clothoid 곡선의 요소로 전개하면 식 (3.17)과 식 (3.18)과 같다.

$$l_1 = \left(24 \times \frac{\Delta r_1}{r}\right)^{\frac{1}{4}} \quad (3.17)$$

$$l_2 = \left(24 \times \frac{\Delta r_2}{r}\right)^{\frac{1}{4}} \quad (3.18)$$

여기서, l_1, l_2 : 시·종점부에서의 단위 Clothoid 곡선의 길이

$\Delta r_1, \Delta r_2$: 시·종점부에서의 단위 이점량

r : 단위 Clothoid 곡선에서의 곡선반경

이렇게 결정된 시·종점부에서의 단위 Clothoid 곡선의 길이를 이용하여 식 (3.19)과 식 (3.20)에 의해 완화곡선의 파라미터(A)가 결정된다.

$$R \cdot l_1 = A_1 \quad (3.19)$$

$$R \cdot l_2 = A_2 \quad (3.20)$$

최종적으로 식(3.21)와 식(3.22)에 의해 완화곡선의 길이(L)가 결정되어진다.

$$L_1 = \frac{A_1^2}{R} \quad (3.21)$$

$$L_2 = \frac{A_2^2}{R} \quad (3.22)$$

3.2 종단선형 설계요소 이론

도로의 형상을 설계하는 요소인 종단선형은 직선과 곡선으로 구성되며, 설계요소로는 종단경사와 종단곡선이 있다. 종단경사는 상향경사와 하향경사로 분류되고, 최대 종단경사의 값은 경제적인 측면에서 허용하는 범위 내에서 가능한 자동차의 주행 속도저하가 작아지도록 그 값이 규정되어 있다. 또한 2개의 종단경사가 접속될 때는 접속점을 통과하는 자동차의 운동량의 변화에 따른 충격완화와 정지시거를 확보하기 위하여 종단곡선을 삽입해야 하며, 일반적으로 2차 포물선이 이용된다. 그림 3.3은 종단선형의 구성요소를 나타낸다.

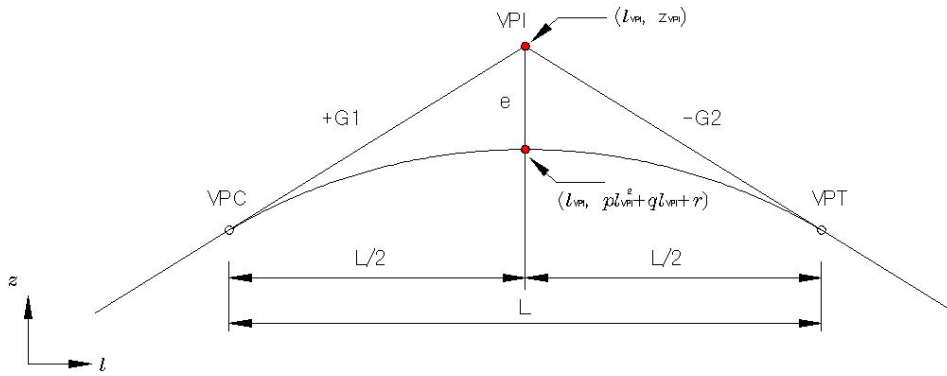


그림 3.3 종단선형의 구성요소

3.2.1 VPI 위치의 결정

종단선형의 결정에 있어서 가장 중요한 요소는 교차점(VPI)과 종단곡선의 길이(L)이다. 교차점은 누가거리(l)에 따른 중심선의 높이(z)의 분포에 있어서 상향 및 하향 직선의 교차점이고, 이는 상향직선과 하향직선에 관계한 단순회귀방정식을 결정함으로써 구할 수 있다.

상향직선은 $z_i = G_1 l_i + a$, 하향곡선은 $z_i = -G_2 l_i + b$ 로 가정했을 때, 각각의 단순회귀방정식은 최소제곱법을 이용하여 식 (3.23)와 식 (3.24)에 의해 결정된다.

$$\begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n (l_i^2) & \sum_{i=1}^n l_i \\ \sum_{i=1}^n l_i & n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} G_1 \\ a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n (l_i * z_i) \\ \sum_{i=1}^n z_i \end{pmatrix} \quad (3.23)$$

$$\begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n (l_i^2) & \sum_{i=1}^n l_i \\ \sum_{i=1}^n l_i & n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} -G_2 \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n (l_i * z_i) \\ \sum_{i=1}^n z_i \end{pmatrix} \quad (3.24)$$

3.2.2 종단곡선의 결정

종단곡선은 일반적으로 포물선으로 설치하며, 충분한 범위 내에서 주행의 안전성과 쾌적성을 확보하고, 도로의 배수를 원활히 할 수 있도록 설치하여야 한다. 이러한 경우 종단곡선의 길이(L)는 종단곡선의 변화비율에 의하여 산정한 길이와 표 3.3에 나타낸 종단곡선의 최소길이 중 큰 값의 길이 이상으로 설치한다.

종단선형의 설계에 있어서 중요한 요소인 종단곡선의 길이(L)를 산정하기 위해서는 우선 종단곡선이 결정되어야 한다. 2차 포물선 형태의 종단곡선을 결정하기 위해서는 $z_i = p \cdot l_i^2 + q \cdot l_i + r$ 과 같이 다중회귀방정식을 적용해야 하며, 이는 식 (3.25)에 의해서 최종적으로 결정될 수 있다.

$$\begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n (l_i^4) & \sum_{i=1}^n (l_i^3) & \sum_{i=1}^n (l_i^2) \\ \sum_{i=1}^n (l_i^3) & \sum_{i=1}^n (l_i^2) & \sum_{i=1}^n l_i \\ \sum_{i=1}^n (l_i^2) & \sum_{i=1}^n l_i & n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p \\ q \\ r \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^n (z_i * l_i^2) \\ \sum_{i=1}^n (z_i * l_i) \\ \sum_{i=1}^n z_i \end{pmatrix} \quad (3.25)$$

표 3.3 종단곡선의 최소길이

설 계 속 도 (km/hr)	종단곡선의 최소길이 (m)
120	100
110	90
100	85
90	75
80	70
70	60
60	50
50	40
40	35
30	25
20	20

3.2.3 최대 이정량 및 종단곡선길이 산정

본 연구에서는 결정된 VPI 위치와 종단곡선에 관련한 다중회귀방정식을 이용하여 최대 이정량(e)을 산정하였다. 이는 그림 3.3에 나타난 것과 같이 VIP의 누가거리 l_{VPI} 에 대한 VPI 위치에서의 높이 z_{VPI} 와 다중회귀방정식에서의 높이의 차이로 결정될 수 있다.

이렇게 산정된 최대 이정량(e)을 이용하여 식 (3.26)에 의해 최종적으로 종단곡선의 길이(L)를 산정할 수 있다.

$$L = \frac{800 * e}{|G_1 + G_2|} \quad (3.26)$$

또한 종단곡선 변화비율은 접속되는 두 종단곡선의 대수차 1% 변화하는데 확보하여야 하는 수평거리이므로 식 (3.27)으로 나타낼 수 있다.

$$K = \frac{L}{(G_1 + G_2)} = \frac{L}{S} \quad (3.27)$$

여기서, K : 종단곡선변화 비율(%)

L : 종단곡선 길이(m)

S : 종단경사의 대수차(%)



4. VRS RTK 자료취득 및 결과분석

4.1 VRS RTK 자료의 취득

VRS RTK 자료를 이용하여 도로선형요소를 추출하기 위해서는 우선 도로선형이 양호한 대상도로의 선정이 필요하다. 본 연구에서는 부산광역시 소재 도로 4차로 개설공사 구간 내 일부구간을 연구대상지역으로 선정하였고, 본 구간 내 직선, 완화곡선, 원곡선 및 종단곡선 요소를 모두 포함한 700m의 구간이다.

그림 4.1은 인공위성사진에서의 연구대상지역 위치(a)와 대상도로의 전경(b)을 나타낸 것이다



(a) 대상지역의 위치

(b) 대상도로전경

그림 4.1 대상지역

지상 기준점 및 검사점을 측정하기 위하여 사용된 T·S는 Topcon사에서 제작된 GPT-7001i를 사용하였다. 무 프리즘 모드에서 최대 250m의 거리 측정이 가능하며 프리즘 모드시 최대 6500m의 거리 측정이 가능하다. 그 형상은 그림 4.2에서 볼 수 있으며, 장비의 제원은 표 4.1과 같다.



그림 4.2 토탈 스테이션

표 4.1 T·S의 장비의 제원

GPT-7001i	
길이	150mm
렌즈의 지름	45mm (EDM:50mm)
시야	1 degree 30
최소 초점 거리	1.3m (4.9 ft)
프리즘	3,000m
비 프리즘	1.5 to 250m (5 to 820 ft)
정확도	$\pm(2\text{mm} + 2\text{ppm}\times\text{D})$, m.s.e.
액 정	Dot Matrix Graphic LCD (160×64 Dot) Backlight

본 연구에서 대상도로구간의 선형정보를 추출하기 위해 사용된 장비로는 Sokkia사에서 제조한 GSR2700 ISX이며, GSR2700 ISX의 형상 및 제원은 그림 4.3과 표 4.2에 나타내었다.



그림 4.3 VRS RTK

표 4.2 VRS RTK의 장비의 제원

GSR2700 ISX	
정지측량	H:3mm+0.5ppm , V:10mm+1ppm
이동측량	H:10mm+1ppm , V:20mm+1ppm
RTK	H:10mm+1ppm , V:20mm+1ppm
DGPS	0.8m
채널	72채널; 14 L1, 14 L2, 6 L5 GPS 12 L1, 12 L2 GLONASS 2SBAS
신호	0.5 sec L1, 1.0sec L2
배터리 사용시간	RTK Base : 9 hours RTK Rover : 10 hours Static/DGPS : 16 hours
크기	22.5cm* 10.5cm
표준 Input/Output	RTCM, RTCM V3.0, RTCA, CMR, CMR+, NTRIP, NMEA-0183 out, PPS out, Mark in

4.2 VRS RTK 좌표 처리

본 연구에서 실험지역은 부산 연제구에 위치한 도로로써 국토지리정보원에서 운영중인 울산, 창녕, 부산에서 운영되는 세 개의 상시관측소에 망이

구축되는 장소이다. 이 세 개의 상시관측소에서 보낸 데이터를 VRS서비스 센터에서 오차를 제거한 위치보정자료를 처리하였다. 처리한 자료 중에 T·S과 비교·분석하기 위해 검사점 40점을 취득하였고, 평면과 종단선형의 도로선형요소를 추출하기 위해 대상도로에 도로중심선 387개의 자료를 취득하였다.

그림 4.4는 부산, 울산, 창녕지역의 상시관측소를 나타낸 것이고, 표 4.3에서는 각 관측소의 좌표정보를 나타낸 것이다.

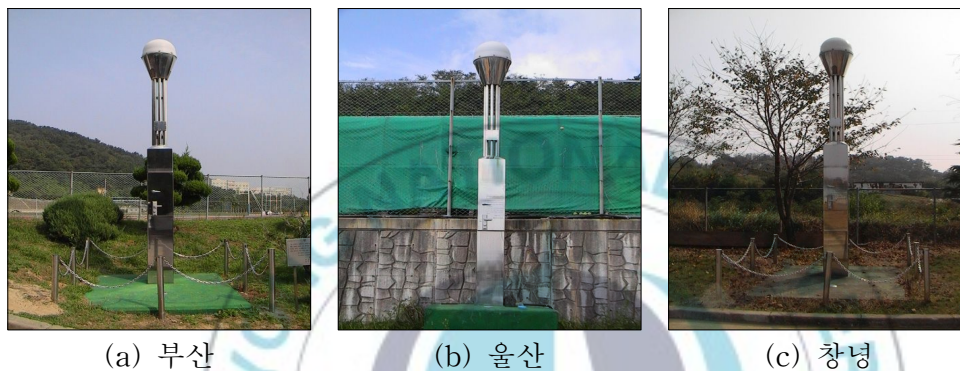


그림 4.4 연구대상지역의 GPS 상시관측소(<http://gps.ngii.go.kr/>)

표 4.3 각 관측소의 좌표정보(<http://gps.ngii.go.kr/>)

관측소	GRS80 타원체			ITRF2000(m)
	평면직각 좌표(m)	위도·경도 · 타원체고	투영 원점	
부산	X= -306,948.885 Y= 6,812.910	위도=35-14-02.171 경도=129-04-29.440 타원체고=158.652	동부	X = -3,287,592.165 Y = 4,049,012.122 Z = 3,659,187.987
울산	X= -276,915.070 Y= 37,743.007	위도=35-30-14.208 경도=129-24-57.652 타원체고=95.948	동부	X = -3,300,600.987 Y = 4,015,928.341 Z = 3,683,580.184
창녕	X= -273,611.363 Y= -47,335.954	위도=35-31-59.920 경도=128-28-41.016 타원체고=61.758	동부	X = -3,233,224.293 Y = 4,067,916.397 Z = 3,686,212.119

4.3 VRS RTK 자료의 정확도 분석

연구대상지역에서 VRS RTK 데이터의 정확도를 분석하기 위해서는 비교대상으로는 일반적으로 가장 많이 사용하는 T·S를 사용하여 비교하였다. 연구대상지역 도로의 연장은 700m이며 검사점 배치는 비교적 골고루 하였으며, 이 검사점은 40개로 선택하였다. 그리고 40개의 검사점을 VRS RTK와 T·S를 관측 후 비교·분석하였다. 표 4.4는 T·S를 이용하여 검사점을 측량한 결과이다.

표 4.4 T·S의 검사점

검 사 점							
No	X(m)	Y(m)	Z(m)	No	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	187263.613	210286.884	8.64	21	187351.963	210239.263	12.611
2	187270.561	210282.336	8.815	22	187355.101	210224.085	13.516
3	187285.132	210272.609	9.283	23	187357.577	210222.982	13.684
4	187286.593	210282.772	8.983	24	187358.031	210235.288	13.072
5	187290.175	210268.959	9.484	25	187360.225	210222.327	13.834
6	187314.991	210252.555	10.683	26	187364.98	210216.993	14.284
7	187315.313	210263.821	10.229	27	187367.389	210228.875	13.796
8	187322.307	210247.729	11.112	28	187370.811	210215.1	14.661
9	187334.736	210239.817	11.903	29	187370.956	210227.765	14.205
10	187336.628	210237.537	12.076	30	187372.547	210212.061	14.842
11	187336.664	210235.61	12.137	31	187374.738	210212.369	14.958
12	187339.077	210236.34	12.218	32	187375.075	210211.221	15.008
13	187339.959	210234.328	12.375	33	187376.443	210227.59	14.583
14	187341.554	210234.94	12.391	34	187377.149	210209.061	15.187
15	187342.046	210247.422	12.027	35	187378.137	210210.059	15.198
16	187343.9	210244.933	11.949	36	187379.653	210207.85	15.378
17	187343.945	210233.172	12.589	37	187381.366	210219.515	14.847
18	187346.003	210228.996	12.837	38	187389.679	210214.032	15.475
19	187346.286	210231.429	12.77	39	187390.911	210216.474	15.72
20	187347.325	210245.368	12.385	40	187394.388	210210.89	15.842

VRS RTK의 정확도 분석을 위하여 검사점 40개를 중심으로 T·S와 비교·분석한 결과는 표 4.5과 같다.

표 4.5 VRS RTK 정확도의 결과

No	T·S			VRS RTK 자료			잔 차		
	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	187263.613	210286.884	8.64	187263.624	210286.893	8.665	0.011	0.009	0.025
2	187270.561	210282.336	8.815	187270.559	210282.315	8.832	-0.002	-0.021	0.017
3	187285.132	210272.609	9.283	187285.152	210272.626	9.299	0.02	0.017	0.016
4	187286.593	210282.772	8.983	187286.583	210282.760	9.005	-0.01	-0.012	0.022
5	187290.175	210268.959	9.484	187290.186	210268.940	9.507	0.011	-0.019	0.023
6	187314.991	210252.555	10.683	187314.982	210252.574	10.711	-0.009	0.019	0.028
7	187315.313	210263.821	10.229	187315.307	210263.816	10.236	-0.006	-0.005	0.007
8	187322.307	210247.729	11.112	187322.306	210247.73	11.144	-0.001	0.001	0.032
9	187334.736	210239.817	11.903	187334.709	210239.839	11.925	-0.027	0.022	0.022
10	187336.628	210237.537	12.076	187336.621	210237.546	12.112	-0.007	0.009	0.036
11	187336.664	210235.61	12.137	187336.666	210235.629	12.152	0.002	0.019	0.015
12	187339.077	210236.34	12.218	187339.062	210236.352	12.241	-0.015	0.012	0.023
13	187339.959	210234.328	12.375	187339.957	210234.343	12.36	-0.002	0.015	-0.015
14	187341.554	210234.94	12.391	187341.561	210234.952	12.425	0.007	0.012	0.034
15	187342.046	210247.422	12.027	187342.037	210247.437	12.059	-0.009	0.015	0.032
16	187343.9	210244.933	11.949	187343.832	210244.886	11.932	-0.068	-0.047	-0.017
17	187343.945	210233.172	12.589	187343.937	210233.178	12.599	-0.008	0.006	0.01
18	187346.003	210228.996	12.837	187346.002	210229.017	12.86	-0.001	0.021	0.023
19	187346.286	210231.429	12.77	187346.304	210231.415	12.785	0.018	-0.014	0.015
20	187347.325	210245.368	12.385	187347.314	210245.391	12.414	-0.011	0.023	0.029
21	187351.963	210239.263	12.611	187351.946	210239.261	12.619	-0.017	-0.002	0.008
22	187355.101	210224.085	13.516	187355.118	210224.102	13.537	0.017	0.017	0.021
23	187357.577	210222.982	13.684	187357.548	210223.01	13.688	-0.029	0.028	0.004
24	187358.031	210235.288	13.072	187358.019	210235.274	13.11	-0.012	-0.014	0.038
25	187360.225	210222.327	13.834	187360.248	210222.352	13.848	0.023	0.025	0.014
26	187364.98	210216.993	14.284	187364.977	210217.001	14.298	-0.003	0.008	0.014
27	187367.389	210228.875	13.796	187367.373	210228.884	13.79	-0.016	0.009	-0.006
28	187370.811	210215.1	14.661	187370.829	210215.119	14.67	0.018	0.019	0.009
29	187370.956	210227.765	14.205	187370.943	210227.759	14.241	-0.013	-0.006	0.036
30	187372.547	210212.061	14.842	187372.541	210212.091	14.866	-0.006	0.03	0.024
31	187374.738	210212.369	14.958	187374.759	210212.374	14.943	0.021	0.005	-0.015
32	187375.075	210211.221	15.008	187375.063	210211.24	15.02	-0.012	0.019	0.012
33	187376.443	210227.59	14.583	187376.45	210227.605	14.612	0.007	0.015	0.029
34	187377.149	210209.061	15.187	187377.151	210209.099	15.192	0.002	0.038	0.005
35	187378.137	210210.059	15.198	187378.145	210210.072	15.2	0.008	0.013	0.002
36	187379.653	210207.85	15.378	187379.636	210207.848	15.364	-0.017	-0.002	-0.014
37	187381.366	210219.515	14.847	187381.337	210219.517	14.868	-0.029	0.002	0.021
38	187389.679	210214.032	15.475	187389.677	210214.049	15.492	-0.002	0.017	0.017
39	187390.911	210216.474	15.72	187390.906	210216.485	15.748	-0.005	0.011	0.028
40	187394.388	210210.89	15.842	187394.373	210210.88	15.854	-0.015	-0.01	0.012

X방향으로 $-0.068 \sim 0.023\text{m}$, Y방향으로 $-0.047 \sim 0.038\text{m}$, Z방향으로 $-0.017 \sim 0.038$ 로 나타났으며, RMSE은 방향별로 그림 4.5에 나타내었다. 그 결과 X방향의 RMSE는 $\pm 0.017\text{m}$ 이고, Y방향은 $\pm 0.016\text{m}$ 이며, Z방향의 $\pm 0.015\text{m}$ 가 분석하였으며 비교적 3축의 값은 같게 나타났다. 따라서 T·S와 VRS RTK의 정확성은 동일하다고 판단되어지므로, 본 연구에서 VRS RTK를 이용하여 연구대상도로에 대해 관측을 하였다.

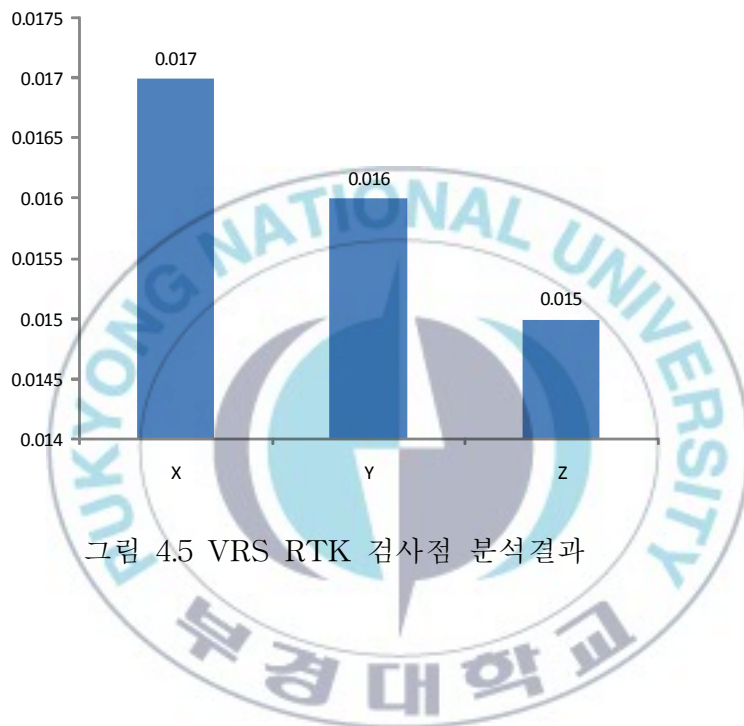


그림 4.5 VRS RTK 검사점 분석결과

4.4 도로 선형요소 추출

본 연구에서는 VRS RTK를 이용하여 실험대상지역의 도로중심선을 측량하여, 도로의 중심선의 3차원 좌표값을 취득하였다. 취득된 좌표값을 이용하여 실험대상지역 도로의 평면선형요소와 종단선형요소를 산정하였다. 산정된 VRS RTK의 자료는 T·S와 설계제원을 사용하여 비교·분석하였다. 그림 4.6와 같이 VRS RTK를 대상도로지역에 측량하였다.



그림 4.6 VRS RTK로 대상지역 측량

4.4.1 평면선형 설계요소 추출

평면선형 설계요소를 추출하기 위해서는 도로 중심선을 측량하여 총 387개의 데이터를 취득할 수 있었다. 표 4.6은 VRS RTK로 추출된 데이터이다.

표 4.6 VRS RTK 자료를 이용하여 추출된 도로중심선 자료

No	X(m)	Y(m)	No	X(m)	Y(m)	No	X(m)	Y(m)
1	209780.014	187638.974	39	209905.753	187643.455	77	209949.772	187645.386
2	209784.398	187639.140	40	209906.582	187643.493	78	209950.793	187645.429
3	209787.658	187639.271	41	209905.436	187643.567	79	209951.916	187645.457
4	209791.242	187639.377	42	209908.818	187643.607	80	209952.911	187645.462
5	209794.450	187639.548	43	209909.811	187643.672	81	209954.001	187645.441
6	209797.796	187639.667	44	209910.818	187643.718	82	209955.095	187645.420
7	209801.027	187639.749	45	209911.763	187643.804	83	209956.152	187645.413
8	209804.557	187639.890	46	209912.687	187643.837	84	209957.226	187645.411
9	209807.760	187640.002	47	209913.533	187643.887	85	209957.991	187645.427
10	209812.002	187640.171	48	209914.489	187643.950	86	209958.787	187645.462
11	209816.315	187640.327	49	209915.288	187643.971	87	209959.323	187645.368
12	209820.359	187640.460	50	209915.855	187644.001	88	209959.906	187645.371
13	209823.911	187640.590	51	209916.421	187644.061	89	209960.854	187645.378
14	209827.666	187640.753	52	209916.956	187644.075	90	209961.827	187645.329
15	209830.953	187640.838	53	209917.583	187644.149	91	209962.738	187645.305
16	209834.161	187640.917	54	209918.803	187644.252	92	209963.691	187645.212
17	209837.620	187641.031	55	209919.889	187644.329	93	209964.775	187645.167
18	209841.034	187641.109	56	209921.307	187644.444	94	209965.845	187645.089
19	209844.551	187641.255	57	209922.400	187644.508	95	209966.911	187644.986
20	209847.973	187641.365	58	209924.176	187644.598	96	209968.189	187644.924
21	209851.878	187641.552	59	209925.505	187644.660	97	209969.257	187644.820
22	209855.842	187641.660	60	209927.197	187644.701	98	209970.210	187644.781
23	209858.694	187641.793	61	209928.759	187644.771	99	209971.562	187644.624
24	209861.932	187641.881	62	209930.524	187644.812	100	209972.839	187644.496
25	209865.072	187641.999	63	209932.342	187644.878	101	209973.868	187644.314
26	209867.471	187642.055	64	209934.251	187644.912	102	209974.758	187644.220
27	209869.440	187642.167	65	209935.707	187645.014	103	209975.976	187644.089
28	209886.961	187642.660	66	209936.991	187645.028	104	209976.813	187643.974
29	209885.715	187642.791	67	209938.213	187645.135	105	209977.932	187643.807
30	209887.775	187642.835	68	209939.609	187645.148	106	209979.022	187643.664
31	209890.198	187642.925	69	209940.900	187645.162	107	209980.008	187643.442
32	209892.409	187642.996	70	209942.099	187645.226	108	209981.158	187643.266
33	209894.576	187643.061	71	209943.225	187645.312	109	209982.399	187643.016
34	209897.759	187643.194	72	209944.387	187645.280	110	209983.752	187642.703
35	209899.265	187643.256	73	209945.496	187645.297	111	209984.914	187642.510
36	209901.193	187643.297	74	209946.550	187645.301	112	209985.953	187642.273
37	209903.448	187643.404	75	209947.651	187645.338	113	209986.852	187642.074
38	209904.730	187643.426	76	209948.648	187645.368	114	209987.660	187641.885

표 4.6 VRS RTK 자료를 이용하여 추출된 도로중심선 자료(계속)

No	X(m)	Y(m)	No	X(m)	Y(m)	No	X(m)	Y(m)
115	209988.946	187641.608	153	210026.654	187626.639	191	210056.833	187603.209
116	209990.237	187641.308	154	210027.657	187626.082	192	210057.378	187602.709
117	209991.264	187641.022	155	210028.496	187625.592	193	210058.009	187602.008
118	209992.355	187640.837	156	210029.294	187625.102	194	210058.611	187601.398
119	209993.541	187640.464	157	210030.174	187624.604	195	210059.241	187600.704
120	209994.537	187640.160	158	210031.211	187623.948	196	210059.952	187599.930
121	209995.534	187639.908	159	210032.196	187623.308	197	210060.574	187599.250
122	209996.311	187639.660	160	210033.173	187622.677	198	210061.244	187598.508
123	209997.036	187639.429	161	210033.883	187622.214	199	210061.930	187597.710
124	209997.703	187639.207	162	210034.758	187621.672	200	210062.777	187596.740
125	209998.541	187639.005	163	210035.536	187621.098	201	210063.430	187596.012
126	209999.063	187638.866	164	210036.389	187620.559	202	210064.093	187595.178
127	210000.318	187638.461	165	210037.050	187620.106	203	210064.653	187594.426
128	210001.431	187638.086	166	210037.994	187619.427	204	210065.377	187593.627
129	210002.393	187637.772	167	210038.718	187618.914	205	210066.003	187592.810
130	210003.233	187637.468	168	210039.528	187618.332	206	210066.722	187591.964
131	210004.292	187637.091	169	210040.216	187617.847	207	210067.300	187591.179
132	210005.236	187636.743	170	210040.776	187617.381	208	210068.064	187590.237
133	210006.136	187636.387	171	210041.553	187616.795	209	210068.667	187589.413
134	210007.172	187635.978	172	210042.255	187616.256	210	210069.335	187588.563
135	210008.290	187635.551	173	210042.988	187615.682	211	210069.703	187588.060
136	210009.753	187634.964	174	210043.836	187614.936	212	210070.258	187587.346
137	210010.790	187634.536	175	210044.806	187614.156	213	210070.782	187586.578
138	210011.807	187634.081	176	210045.485	187613.505	214	210071.306	187585.965
139	210012.636	187633.725	177	210046.051	187613.090	215	210071.981	187585.112
140	210013.701	187633.270	178	210046.818	187612.484	216	210072.541	187584.349
141	210014.717	187632.814	179	210047.532	187611.855	217	210073.100	187583.504
142	210015.865	187632.223	180	210048.349	187611.152	218	210073.633	187582.776
143	210016.961	187631.735	181	210049.386	187610.275	219	210074.119	187582.078
144	210018.140	187631.161	182	210050.241	187609.536	220	210074.590	187581.425
145	210019.193	187630.685	183	210051.120	187608.703	221	210075.065	187580.734
146	210020.181	187630.186	184	210051.901	187607.972	222	210075.554	187579.989
147	210021.116	187629.668	185	210052.615	187607.342	223	210076.002	187579.377
148	210022.232	187629.103	186	210053.496	187606.504	224	210076.355	187578.824
149	210023.174	187628.558	187	210054.173	187605.845	225	210076.834	187578.207
150	210024.073	187628.098	188	210054.918	187605.116	226	210077.238	187577.519
151	210024.913	187627.626	189	210055.683	187604.374	227	210078.119	187576.186
152	210025.664	187627.228	190	210056.210	187603.800	228	210078.877	187575.072

표 4.6 VRS RTK 자료를 이용하여 추출된 도로중심선 자료(계속)

No	X(m)	Y(m)	No	X(m)	Y(m)	No	X(m)	Y(m)
229	210079.451	187574.193	267	210102.297	187539.756	305	210149.469	187468.403
230	210080.351	187572.987	268	210102.940	187538.787	306	210150.699	187466.481
231	210081.086	187571.860	269	210103.585	187537.827	307	210151.915	187464.705
232	210081.781	187570.776	270	210104.058	187537.088	308	210153.341	187462.518
233	210082.544	187569.632	271	210105.245	187535.294	309	210154.731	187460.376
234	210083.445	187568.240	272	210106.189	187533.939	310	210156.122	187458.315
235	210084.132	187567.217	273	210107.368	187532.092	311	210157.622	187456.047
236	210084.863	187566.165	274	210108.445	187530.394	312	210158.889	187454.077
237	210085.344	187565.433	275	210109.615	187528.603	313	210160.204	187452.092
238	210085.758	187564.769	276	210110.240	187527.748	314	210161.413	187450.231
239	210085.919	187564.569	277	210111.072	187526.451	315	210162.664	187448.376
240	210086.383	187563.797	278	210112.308	187524.575	316	210163.813	187446.695
241	210086.914	187563.021	279	210113.501	187522.810	317	210164.919	187445.040
242	210087.528	187562.082	280	210114.639	187521.062	318	210166.328	187442.805
243	210088.103	187561.220	281	210115.880	187519.132	319	210167.960	187440.425
244	210088.694	187560.307	282	210117.202	187517.187	320	210169.673	187437.834
245	210089.241	187559.479	283	210118.389	187515.413	321	210171.143	187435.613
246	210089.798	187558.662	284	210119.728	187513.329	322	210172.706	187433.320
247	210090.339	187557.881	285	210121.192	187511.099	323	210174.207	187430.974
248	210090.970	187556.903	286	210122.767	187508.812	324	210175.893	187428.376
249	210091.448	187556.175	287	210124.213	187506.540	325	210177.508	187425.975
250	210092.021	187555.309	288	210125.701	187504.374	326	210179.157	187423.515
251	210092.585	187554.421	289	210127.050	187502.223	327	210180.708	187421.180
252	210093.225	187553.386	290	210128.629	187499.898	328	210181.770	187419.478
253	210093.969	187552.283	291	210130.115	187497.596	329	210183.212	187417.418
254	210094.628	187551.361	292	210131.617	187495.364	330	210184.580	187415.261
255	210095.203	187550.513	293	210132.618	187493.830	331	210186.049	187413.073
256	210095.870	187549.501	294	210134.012	187491.737	332	210187.488	187410.923
257	210096.485	187548.612	295	210135.474	187489.496	333	210188.980	187408.667
258	210097.112	187547.619	296	210136.915	187487.421	334	210190.352	187406.516
259	210097.705	187546.663	297	210138.294	187485.233	335	210191.723	187404.481
260	210098.347	187545.753	298	210139.676	187483.167	336	210193.410	187401.975
261	210098.949	187544.868	299	210141.048	187481.153	337	210195.149	187399.305
262	210099.510	187544.084	300	210142.390	187479.051	338	210196.797	187396.848
263	210099.986	187543.207	301	210143.758	187476.984	339	210198.185	187394.812
264	210100.502	187542.419	302	210145.251	187474.808	340	210199.528	187392.796
265	210101.139	187541.541	303	210146.517	187472.850	341	210201.080	187390.348
266	210101.667	187540.756	304	210147.974	187470.636	342	210202.231	187388.706

표 4.6 VRS RTK 자료를 이용하여 추출된 도로중심선 자료

No	X(m)	Y(m)	No	X(m)	Y(m)	No	X(m)	Y(m)
343	210203.839	187386.153	358	210227.181	187351.548	373	210251.067	187317.532
344	210206.096	187382.918	359	210228.446	187349.630	374	210253.033	187314.542
345	210207.437	187380.895	360	210229.857	187347.469	375	210254.596	187312.172
346	210208.858	187378.809	361	210231.535	187344.818	376	210256.332	187309.569
347	210210.479	187376.329	362	210233.070	187342.731	377	210258.013	187307.040
348	210211.829	187374.337	363	210234.627	187340.427	378	210259.729	187304.470
349	210213.341	187372.057	364	210236.384	187337.966	379	210261.134	187302.328
350	210215.066	187369.499	365	210238.196	187335.418	380	210263.015	187299.497
351	210216.602	187367.195	366	210240.317	187333.047	381	210264.253	187297.605
352	210218.001	187365.102	367	210241.995	187331.086	382	210266.362	187294.422
353	210219.674	187362.632	368	210243.112	187329.605	383	210267.603	187292.509
354	210221.193	187360.366	369	210244.751	187327.096	384	210267.618	187292.515
355	210222.737	187358.215	370	210246.408	187324.565	385	210269.692	187289.373
356	210224.103	187356.100	371	210248.031	187322.155	386	210269.690	187289.370
357	210225.679	187353.841	372	210249.742	187319.596	387	210269.682	187289.377

VRS RTK로 추출된 자료를 387개의 자료를 이용하여 직선, 완화곡선과 곡선구간으로 분류하였다.

그 결과 결정된 직선 구간의 최소제곱선과 IP 위치는 표 4.7에 나타난 것과 같다.

표 4.7 VRS RTK로 결정된 직선 구간의 최소제곱선과 IP 위치

최소제곱선 1		$Y = 179732.2544 + 0.03769014X$
최소제곱선 2		$Y = 502728.5459 - 1.500169614X$
IP	X (m)	210029.745
	Y (m)	187648.305

따라서 본 연구에서는 LSC기법에 의해 결정된 원곡선의 중심 좌표와 원곡선 구간의 중심선 좌표간의 길이를 평균하여 원곡선의 반경을 최종적으로 결정하였다.

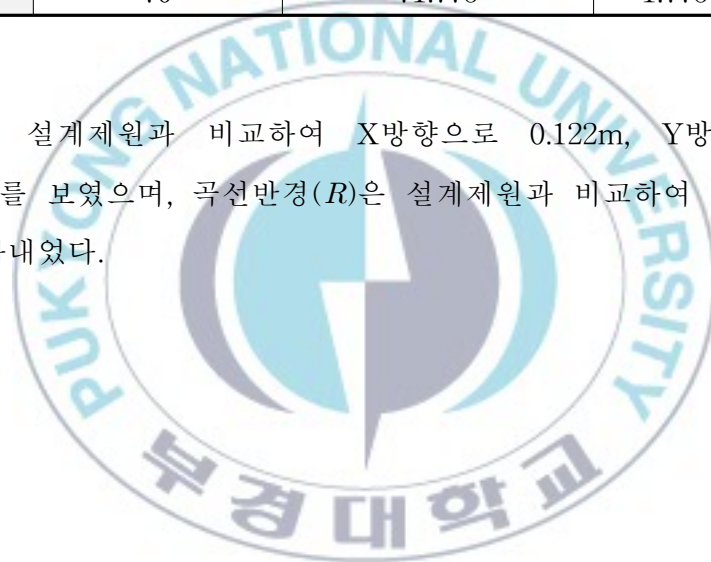
이렇게 결정된 최소제곱선과 곡선반경을 이용하여 이정량(ΔR)을 산정

한 후, 완화곡선의 곡선장(L) 및 파라미터(A)를 산정하였다. 최종적으로 산정된 평면선형 설계요소와 실시설계 당시의 설계요소를 비교하면 표 4.8과 같다.

표 4.8 VRS RTK와 설계제원의 평면선형 설계요소와 비교

		설계제원	VRS RTK	설계제원-VRS RTK
IP	X(m)	210029.867	210029.745	0.122
	Y(m)	187649.060	187648.305	0.755
R		140	143.339	3.339
L_1		35	35.925	0.925
L_2		35	35.942	0.942
A_1		70	71.759	1.759
A_2		70	71.776	1.776

IP 위치는 설계제원과 비교하여 X방향으로 0.122m, Y방향으로 0.755m의 차이를 보였으며, 곡선반경(R)은 설계제원과 비교하여 1.068m의 차이를 나타내었다.



4.4.2 종단선형 설계요소 추출

결정된 평면선형설계요소를 이용하여 평면선형을 재현하고, 표 4.9와 같이 재현된 도로 중심선상의 지반고를 VRS RTK의 데이터를 추출하였다. 누가거리에 대한 지반고 자료 387개를 추출하였고, 설계요소를 산정하여 종단선형을 재구성 하였다.

표 4.9 VRS RTK 자료를 이용하여 추출된 종단선형 데이터

No	l (m)	z(m)	No	l (m)	z(m)	No	l (m)	z(m)	No	l (m)	z(m)
1	0.000	4.200	29	108.267	4.920	57	147.293	5.781	85	182.909	7.384
2	4.387	4.254	30	110.327	4.909	58	149.071	5.850	86	183.705	7.442
3	7.650	4.301	31	112.752	4.959	59	150.402	5.900	87	184.250	7.419
4	11.235	4.352	32	114.964	5.010	60	152.094	5.953	88	184.833	7.483
5	14.448	4.389	33	117.132	5.040	61	153.658	6.022	89	185.781	7.540
6	17.796	4.400	34	120.318	5.115	62	155.423	6.098	90	186.755	7.592
7	21.028	4.425	35	121.825	5.136	63	157.242	6.153	91	187.666	7.658
8	24.561	4.451	36	123.754	5.179	64	159.152	6.221	92	188.624	7.716
9	27.766	4.478	37	126.011	5.243	65	160.611	6.293	93	189.709	7.772
10	32.011	4.492	38	127.293	5.278	66	161.895	6.351	94	190.782	7.810
11	36.327	4.562	39	128.317	5.311	67	163.122	6.399	95	191.852	7.894
12	40.373	4.615	40	129.147	5.307	68	164.518	6.462	96	193.132	7.966
13	43.928	4.665	41	130.295	5.300	69	165.809	6.519	97	194.205	8.042
14	47.686	4.680	42	133.677	5.390	70	167.010	6.596	98	195.159	8.093
15	50.974	4.727	43	134.672	5.415	71	168.139	6.633	99	196.520	8.181
16	54.183	4.747	44	135.680	5.441	72	169.301	6.686	100	197.803	8.259
17	57.644	4.766	45	136.629	5.468	73	170.411	6.718	101	198.848	8.310
18	61.059	4.753	46	137.554	5.470	74	171.465	6.784	102	199.743	8.385
19	64.579	4.757	47	138.401	5.510	75	172.566	6.832	103	200.968	8.448
20	68.003	4.763	48	139.359	5.530	76	173.564	6.878	104	201.813	8.500
21	71.912	4.727	49	140.159	5.563	77	174.688	6.930	105	202.945	8.574
22	75.878	4.735	50	140.727	5.557	78	175.710	6.986	106	204.044	8.639
23	78.733	4.771	51	141.296	5.594	79	176.833	7.036	107	205.055	8.706
24	81.972	4.759	52	141.831	5.606	80	177.828	7.093	108	206.218	8.788
25	85.114	4.763	53	142.462	5.618	81	178.918	7.144	109	207.484	8.892
26	87.514	4.768	54	143.687	5.653	82	180.012	7.204	110	208.873	8.968
27	89.486	4.778	55	144.775	5.711	83	181.070	7.259	111	210.051	9.045
28	107.014	4.894	56	146.198	5.738	84	182.144	7.334	112	211.116	9.131

표 4.9 VRS RTK 자료를 이용하여 추출된 종단선형 데이터(계속)

No	l (m)	z(m)	No	l (m)	z(m)	No	l (m)	z(m)	No	l (m)	z(m)
113	212.037	9.199	151	252.915	12.288	189	291.622	15.393	227	327.728	18.191
114	212.867	9.247	152	253.765	12.351	190	292.402	15.466	228	329.076	18.272
115	214.182	9.334	153	254.916	12.45	191	293.260	15.541	229	330.126	18.36
116	215.508	9.431	154	256.064	12.537	192	294.000	15.602	230	331.630	18.466
117	216.574	9.507	155	257.035	12.617	193	294.943	15.675	231	332.976	18.552
118	217.680	9.645	156	257.972	12.689	194	295.800	15.742	232	334.264	18.628
119	218.924	9.675	157	258.983	12.756	195	296.737	15.83	233	335.639	18.707
120	219.965	9.762	158	260.210	12.859	196	297.788	15.9	234	337.297	18.816
121	220.993	9.847	159	261.385	12.945	197	298.710	15.961	235	338.529	18.912
122	221.809	9.908	160	262.548	13.046	198	299.710	16.048	236	339.810	18.982
123	222.570	9.962	161	263.395	13.119	199	300.762	16.148	237	340.686	19.025
124	223.273	10.011	162	264.425	13.213	200	302.050	16.246	238	341.469	19.073
125	224.135	10.074	163	265.391	13.304	201	303.028	16.293	239	341.725	19.092
126	224.675	10.113	164	266.400	13.377	202	304.093	16.389	240	342.626	19.141
127	225.994	10.199	165	267.202	13.431	203	305.031	16.474	241	343.566	19.194
128	227.168	10.288	166	268.365	13.521	204	306.109	16.559	242	344.688	19.247
129	228.180	10.353	167	269.252	13.609	205	307.138	16.636	243	345.724	19.3
130	229.073	10.427	168	270.249	13.691	206	308.249	16.724	244	346.812	19.373
131	230.198	10.495	169	271.091	13.777	207	309.223	16.781	245	347.804	19.417
132	231.204	10.576	170	271.820	13.827	208	310.436	16.901	246	348.793	19.468
133	232.172	10.640	171	272.793	13.914	209	311.457	16.983	247	349.743	19.529
134	233.285	10.741	172	273.678	13.981	210	312.538	17.065	248	350.907	19.589
135	234.482	10.830	173	274.609	14.051	211	313.162	17.096	249	351.778	19.63
136	236.058	10.954	174	275.738	14.142	212	314.066	17.167	250	352.816	19.683
137	237.180	11.053	175	276.983	14.244	213	314.996	17.251	251	353.868	19.717
138	238.294	11.131	176	277.924	14.288	214	315.802	17.31	252	355.085	19.791
139	239.197	11.200	177	278.626	14.358	215	316.890	17.387	253	356.416	19.852
140	240.355	11.304	178	279.603	14.449	216	317.836	17.465	254	357.549	19.896
141	241.468	11.380	179	280.555	14.529	217	318.850	17.545	255	358.574	19.945
142	242.760	11.483	180	281.632	14.622	218	319.752	17.62	256	359.786	20.01
143	243.959	11.577	181	282.991	14.718	219	320.602	17.69	257	360.867	20.037
144	245.271	11.684	182	284.121	14.807	220	321.407	17.737	258	362.041	20.111
145	246.426	11.78	183	285.332	14.913	221	322.246	17.803	259	363.166	20.156
146	247.533	11.865	184	286.401	14.982	222	323.137	17.861	260	364.280	20.201
147	248.602	11.941	185	287.354	15.072	223	323.896	17.927	261	365.350	20.25
148	249.853	12.044	186	288.570	15.16	224	324.552	17.961	262	366.314	20.295
149	250.941	12.127	187	289.514	15.246	225	325.333	18.02	263	367.312	20.331
150	251.951	12.212	188	290.557	15.314	226	326.131	18.084	264	368.254	20.364

표 4.9 VRS RTK 자료를 이용하여 추출된 종단선형 데이터

No	l (m)	z(m)	No	l (m)	z(m)	No	l (m)	z(m)	No	l (m)	z(m)
265	369.339	20.396	296	434.222	21.441	327	513.635	18.557	358	597.360	13.216
266	370.285	20.447	297	436.808	21.417	328	515.641	18.432	359	599.658	13.061
267	371.467	20.509	298	439.294	21.393	329	518.156	18.295	360	602.239	12.892
268	372.629	20.539	299	441.730	21.358	330	520.710	18.131	361	605.376	12.691
269	373.786	20.577	300	444.224	21.323	331	523.345	17.977	362	607.967	12.546
270	374.663	20.604	301	446.703	21.284	332	525.933	17.795	363	610.748	12.394
271	376.815	20.685	302	449.342	21.236	333	528.637	17.603	364	613.772	12.204
272	378.466	20.726	303	451.674	21.188	334	531.189	17.455	365	616.898	12.016
273	380.657	20.803	304	454.324	21.142	335	533.642	17.308	366	620.079	11.825
274	382.668	20.869	305	457.011	21.078	336	536.663	17.107	367	622.660	11.686
275	384.807	20.944	306	459.293	21.015	337	539.850	16.902	368	624.515	11.591
276	385.866	20.977	307	461.446	20.969	338	542.808	16.721	369	627.512	11.421
277	387.407	21.017	308	464.056	20.9	339	545.272	16.561	370	630.537	11.251
278	389.654	21.079	309	466.610	20.82	340	547.695	16.426	371	633.443	11.126
279	391.784	21.125	310	469.096	20.745	341	550.593	16.221	372	636.521	10.979
280	393.870	21.189	311	471.815	20.651	342	552.598	16.109	373	638.974	10.85
281	396.165	21.218	312	474.158	20.563	343	555.616	15.916	374	642.552	10.681
282	398.516	21.254	313	476.539	20.486	344	559.560	15.631	375	645.391	10.563
283	400.651	21.29	314	478.758	20.39	345	561.987	15.473	376	648.520	10.411
284	403.128	21.329	315	480.995	20.313	346	564.511	15.315	377	651.557	10.277
285	405.796	21.372	316	483.032	20.216	347	567.474	15.124	378	654.647	10.132
286	408.572	21.408	317	485.022	20.138	348	569.880	14.979	379	657.209	10.035
287	411.265	21.424	318	487.664	20.013	349	572.616	14.816	380	660.608	9.901
288	413.893	21.458	319	490.550	19.887	350	575.701	14.626	381	662.869	9.816
289	416.432	21.448	320	493.656	19.717	351	578.470	14.456	382	666.687	9.671
290	419.243	21.466	321	496.319	19.596	352	580.988	14.281	383	668.967	9.593
291	421.983	21.485	322	499.095	19.448	353	583.971	14.08	384	668.984	9.58
292	424.673	21.488	323	501.880	19.288	354	586.699	13.915	385	672.748	9.446
293	426.505	21.473	324	504.977	19.099	355	589.347	13.734	386	672.752	9.443
294	429.020	21.467	325	507.870	18.92	356	591.865	13.562	387	672.763	9.448
295	431.695	21.458	326	510.832	18.731	357	594.619	13.397			

먼저 추출된 387개의 자료를 경사 및 종단곡선 구간은 설계도면을 참조하여 설계된 부분과 비교하여 분류하였다. 경사구간의 직선식을 결정하기 위한 자료로 추출되었으며, 결정된 경사 구간의 최소제곱선과 VPI 위치는 표 4.10에서 나타 낸 것과 같다.

표 4.10 VRS RTK로 결정된 경사구간의 최소제공선과 VIP 위치

		경사구간
최소제공선 1		$z = -7.84542 + 0.07967 \times l$
최소 제공선 2		$z = 48.74902 - 0.05738 \times l$
VPI	z (m)	25.054

경사 구간에 해당하지 않는 종단곡선은 2곳이 추출되었고, 종단 곡선 구간을 이용하여 식 (3.25)에 의해 다중 회귀방정식의 p , q , r 값을 표 4.11에서 결정하였다.

표 4.11 VRS RTK로 결정된 다중회귀방정식

	경사구간
p	-0.000355482
q	0.301278783
r	-41.78500282

또한 최대 이정량(e)는 결정된 다중 회귀방정식에 l_{VPI} 값을 적용하여 구한 값과 z_{VPI} 값의 차이로 결정하였으며, 식 (3.26)과 식 (3.27)에 의해 최종적으로 종단곡선의 길이(L)와 종단곡선변화 비율(K)를 표 4.12에서 산정하였다.

표 4.12 종단곡선길이와 종단곡선변화 비율

		설 계 제 원	VRS RTK	설계제원- VRS RTK
경 사 구 간	z (m)	25.200	25.054	0.146
	L (m)	200	198.500	1.500
	K(m/%)	13.870	13.600	0.270

경사구간 에서의 종단곡선길이(L)는 설계 제원과 비교하여 1.500m, 종단곡선 변화비율(K)은 0.270m/%의 차이를 나타내었다.



5. 결 론

본 연구에서 VRS RTK 의해 취득된 자료를 이용하여 도로의 평면선형 및 종단선형요소를 추출하여 설계제원과 비교·분석 한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, VRS RTK를 자료의 정확도를 분석하기 위해서는 비교대상으로 일반적으로 가장 많이 사용하는 T·S를 사용하여 비교하였다. 검사점 40개를 선택하여 비교분석한 결과, X방향 $\pm 1.7\text{cm}$, Y방향 $\pm 1.6\text{cm}$, Z방향 $\pm 1.5\text{cm}$ 의 RMSE를 나타내었다. 이는 공공측량 작업규정에 명시되어있는 축척 1:600에서의 지상기준점 정확도를 만족하였다.

둘째, VRS RTK를 이용하여 실험대상지역의 도로중심선의 위치정보를 이용하여 도로선형요소를 추출하고 이를 설계요소와 비교·분석한 결과 평면선형은 원곡선(R)은 -3.339m , IP는 X: 0.122m , Y: 0.755m 차이를 보였으며, 종단선형은 VPI고는 0.146m 이고, 종단곡선길이는 1.5m 차이를 보였다. 이는 VRS RTK 기법의 정확도를 고려할 때 도로를 시공할 시에 일어나는 시공오차가 포함된 차이로 볼수있으며, 도로주행의 안전성에는 영향이 없을것으로 판단된다.

셋째, 본 연구를 통해 VRS RTK에 의한 보다 정확한 동체의 위치결정이 가능하며 이는 실시간으로 추출된 선형정보와 결합하여 향후 『스마트하이웨이』에 있어서 도로 주행의 안전성을 극대화 시킬 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

이종환, 2000, “선형 GPS 데이터의 감축방안 및 도로 평면선형 설계제원 추정”, 공학석사학위논문, 경기대학교 일반대학원, pp.54-55.

이종출, 2000, “최소제곱법에 의한 평면선형 설계제원 산정”, 대한토목학회 논문집, 4권, pp. 139-142.

이종출, 2001, “동적 GPS 관측에 의한 도로의 평면선형 분석”, 한국측량학회지, 제19권 제1호, pp.39-45.

노태호, 장호식, 이종출, 2002, “RTK GPS/GLONASS 조합에 의한 도로의 평면선형 정확도 분석”, 한국지형공간정보학회논문집, 제10권 제2권, pp.29-37.

국토지리정보원, 2003, “가상기준점 도입에 관한 연구”.

박운용, 이용희, 곽두호, 배경호, 2003, “VRS 개념에 기반한 GPS 상시관측소 활용 연구”, 한국측량학회 추계학술발표회 논문집, pp.119-122.

서동주, 2003, “수치사진측량에 의한 도로정보체계 개발”, 공학박사학위논문, 부경대학교 일반대학원.

김종민, 노관섭, 이석기, 김용석, 2004, “도로주행 시뮬레이터 개발과 도로

선형 안전성 분석” 한국도로학회지논문집, pp.377-382.

최윤수, 이용창, 권재현, 이재원, 2004, “GPS 가상기준점 도입에 관한 연구”, 한국측량학회 논문집, 제22권 제2호 pp.105-116.

한국건설기술연구원, 2004, “도로 선형 및 노면 안전성 분석 모형 개발(2차년도)-중단선형 조건에 따른 안전성 분석 기술 개발”.

배경호, 2005, “네트워크 기반의 GPS 반송파 상대측위 정확도 향상”, 공학박사학위논문, 동아대학교 대학원.

서기훈, 박태권, 김홍래, 지동한, 2006, “지능형 도로최적선형설계 프로그램 개발”, 한국도로학회 학술발표회 논문집, Vol.8 pp.407-420

김진수, 2007, “레이저 스캐닝 기법에 의한 도로기하정보시스템 개발” 공학박사학위논문, 부경대학교 일반대학원.

서재수, 2007, “3차원 레이저 스캐닝 자료를 이용한 도로 선형의 구성요소 추출” 공학석사학위논문, 부경대학교 일반대학원.

김세근, 이현용, 주영은, 2007, “모바일 레이저 스캐닝 데이터를 이용한 도로선형 및 횡단면 추출에 관한 연구”, 한국지리정보학회지, 제9권 3호 pp.207-218.

이영진, 이흥규, 배경호, 정광호, 2007, “다중기준국을 이용한 RTK GPS측위의 좌표변동 시험”, 한국지리학회, 제23권 제1호 pp.133-142.

김정, 2007, “Network RTK-GPS 측량의 정확도 비교분석”, 공학석사학위 논문, 성균관대학교 대학원.

최석근, 안원태, 이선규, 문용현, 2008, “VRS측량에 의한 실시간 위치 정확도 향상 방안”, 한국측량학회 논문집, 제9권 pp.123-126.

이재원, 2008, “다중기준국 방식을 이용한 GPS 반송파 상대측위 정확도 향상” 한국측량학회지, 제26권 제6호 pp.617-624.

김인섭, 주현승, 2008, “건설현장에서의 VRS RTK측량 적용성 검토”, 한국측량학회지, 제26권 제6호 pp.625-631.

김종민, 정성학, 유완석, 2008, “스마트하이웨이를 위한 도로주행 시뮬레이터 개발”, 한국도로학회 학술발표회 논문집, pp.293-297

장상규, 김진수, 정공운, 2009, “VRS GPS을 이용한 필계점의 정확도 평가”, 한국지형공간정보학회지, 제17권 제1호 pp.37-42.

박희영, 2009, “Network RTK를 이용한 건축물 변위 연구”, 공학석사학위 논문, 서울시립대학교 대학원.

이제중, 강준목, 2009, “지형현황측량을 위한 Network RTK의 활용성 평가”, 공학석사학위논문, 충남대학교 대학원 대학원.

김진환, 2009, “VRS-T/S를 이용한 구소삼각지역의 지적경계점 분석” 공학석사학위논문, 서울시립대학교 대학원.

이제중, 2009, “지형현황측량을 위한 Network RTK의 활용성 평가” 공학 석사학위논문, 충남대학교 대학원

Lachapella G., Raquet J., 2001, “RTK Positioning with Multiple Reference Station”, GPS World, Vol. 12, No. 4, pp.48-53.

Castleden. N., 2004, “First results from Virtual Reference Station (VRS) and Precise Point Positioning (PPP) GPS research at the Western Australian Centre for Geodesy”, Journal of Global Positioning Systems, Vol. 3, No.1-2: 79-84.

Dinesh K., John H., 2005, “Efficient RTK Positioning by Inegrating Virtual Reference Stations with WCDMA Network” Journal of Global Positioning Systems, Vol 4, No.1-2:48-55

Kamil. Eren., 2009, “Results from a Comprehensive Global Navigation Satellite System Test in the CORS-TR Network: Case Study”, ASCE November.

Erhu Wei., 2006, “VRS Virtual Observations Generation Algorithm”, Journal of Global Positioning Systems, Vol. 5, NO. 1-2: 76-81.

Trimble, 2001, “Revolutionary Network RTK Positioning Using Virtual Reference Sations”.

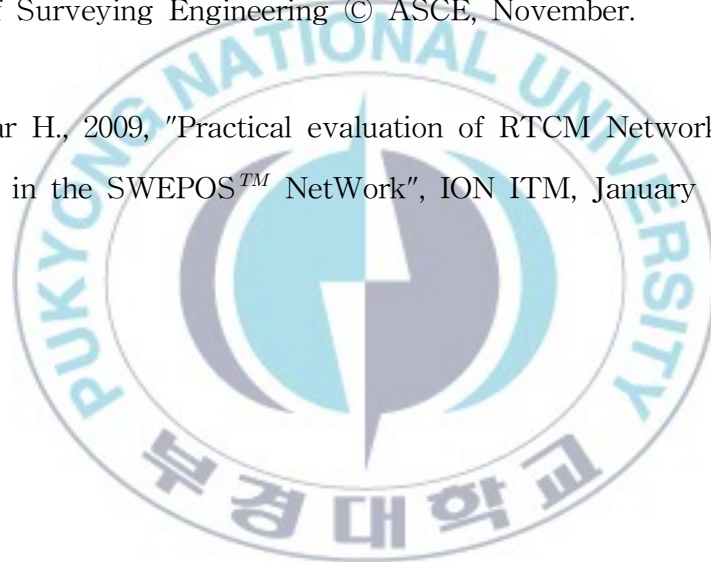
J. Leyssens, M. Markgraf, 2005, “Evaluation of a Commercial-Off-Shelf

dual-frequency GPS receiver for use on LEO satellites”, ION GNSS, September 12-16.

J. van Cranenbroek, Vincent Lui, 2006, "Making Profitable GNSS RTK Network Infrastructure" Journal of Global Positioning Systems, Vol.5, No.1-2: 58-61.

David A. Rolbiecki, Stacey D. Lyle, 2008, "Hybrid State Plane Coordinate System for Transforming a Citywide Survey Control Network to Surface Values : Case Study for Frisco, Texas" Journal of Surveying Engineering © ASCE, November.

Dan N., Gunnar H., 2009, "Practical evaluation of RTCM Network RTK Messages in the SWEPOSTM NetWork", ION ITM, January



감사의 글

입학한지가 엇그제 같은데 벌써 2년이라는 석사과정을 마무리 짓고 있습니다. 너무나도 부족한 저를 석사논문이 완성되기까지 지도와 격려를 아끼지 않고 여기까지 이끌어 주신 지도교수 이종철 교수님의 은혜에 고개 숙여 깊이 감사드립니다. 바쁘신 가운데 저의 논문을 맡아서 심사해 주신 이영대 교수님, 정진호 교수님께 진심으로 감사를 드립니다. 또한 항상 곁에서 많은 지도와 격려를 아끼지 않으신 손인식 교수님, 장희석 교수님, 이종섭 교수님, 이동욱 교수님, 김명식 교수님, 김수용 교수님, 이환우 교수님, 정두희 교수님, 극승규 교수님, 이상호 교수님께 진심으로 감사드립니다.

편입하여 다른 학생들에 비해 부족한 저에게 많은 것을 가르쳐주었던 서동주 박사님, 노태호 박사님, 장호식 박사님, 김진수 박사님, 지난 대학원 생활동안 늘 같이 지내온 동기 영화, 그리고 논문 쓰는 동안 연구실 일을 거의 혼자서 맡아서 하느라 고생한 명근, 항상 웃음을 잃지 않는 회원, 그리고 측량·지적 기사 시험 감독 시 고생 많이 했던 측량동아리 회원, 그리고 장비를 대여해주신 동아상사 이용수 과장님께 진심으로 감사드립니다.

그리고 대학원에서 2년 동안 같이 시간을 보낸 소중한 동기들, 형우, 현영, 호준, 태훈, 창우, 민정, 상희, 부진, 1년 선배 창수, 수호 그리고 언제나 나의 곁에서 힘이 되어 준 친구 민경, 덕성, 은영, 우철, 윤기, 선규, 해영, 상학, 병진, 강, 주홍에게도 감사의 마음을 전합니다.

마지막으로 그동안 공부할 수 있도록 물심양면으로 아낌없이 지원해 주

신 부모님, 누나, 매형 그리고 제가 논문을 쓸 수 있도록 도와주신 주위
모든 사람들에게 감사의 마음을 전합니다.

오 현 우 올림

