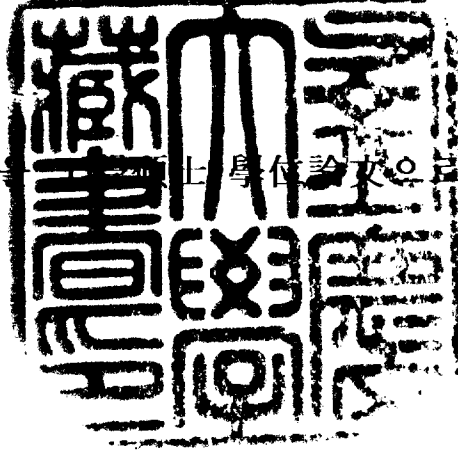


공 학 석 사 학 위 논 문

RTK기법을 이용한 도로선형 위험요소 분석

지도교수 이 종 출

이 論文을 碩士學位論文으로 提出함



2002年 2月

부 경 대 학 교 산 업 대 학 원

토 목 공 학 과

류 승 필

류승필의 공학석사 학위논문을 인준함

2001년 12월 15일

주 심 공 학 박 사 김 명 식 (인)

위 원 공 학 박 사 이 종 섭

위 원 공 학 박 사 이 종 출

목 차

목차.....	i
표 목차.....	iii
그림 목차.....	iv
Abstract.....	v
제1장 서론.....	1
1.1 연구목적.....	1
1.2 연구범위.....	2
1.3 연구방법.....	2
1.4 연구연혁.....	2
제2장 도로선형의 설계이론.....	5
2.1 노선계획의 일반.....	5
2.2 선형과 선형설계 기본방침.....	6
제3장 도로선형 이론.....	8
3.1 평면선형.....	8
3.2 종단선형.....	18
3.3 평면선형과 종단선형의 조합.....	25

제4장 관측 및 자료수집.....	26
4.1 관측방법.....	26
4.2 실측.....	26
4.3 자료산출방법.....	29
 제5장 연구대상도로에 대한 위험요소 분석.....	35
5.1 대상도로에 대한 평면선형 위험요소 분석.....	35
5.2 대상도로에 대한 종단선형 위험요소 분석.....	36
5.3 대상도로에 대한 입체선형 위험요소 분석.....	36
 제6장 결론.....	38
 참고문헌.....	39

표 목차

<표 2.1> 도로의 구조, 시설기준에 관한 규정상의 도로 구분.....	7
<표 2.2> 설계속도.....	7
<표 3.1> 직선구간의 제한길이.....	9
<표 3.2> 최소곡선반경.....	11
<표 3.3> 설계속도와 f 값.....	13
<표 3.4> 최소 곡선의 길이.....	14
<표 3.5> 최대 편구배(도로 구조 시설기준).....	15
<표 3.6> 도시지역 도로의 편구배.....	16
<표 3.7> 곡선부 확폭량(도로구조시설기준, 단위 : m).....	17
<표 3.8> 완화 곡선(완화구간)의 최소길이.....	18
<표 3.9> 종단구배의 제한치.....	21
<표 3.10> 종단구배 제한길이.....	21
<표 3.11> 종단곡선의 최소길이.....	24
<표 3.12> 최소 종단곡선 변화 비율.....	24
<표 4.1> 관측장비 제원.....	27
<표 4.2> GPS에 관측된 도로 중심궤적 3차원 좌표.....	30
<표 4.3> 설계도에 의한 IP값과 최소제곱법에 의한 IP값 비교.....	33
<표 5.1> 평면선형 위험요소 분석결과.....	35
<표 5.2> 종단선형 위험요소 분석결과.....	36
<표 5.3> 입체선형 위험요소 분석결과.....	37

그림 목차

<그림 3.1> 횡방향 미끄럼각과 횡방향 미끄럼 마찰계수와의 관계.....	13
<그림 3.2> 종단구배가 1% 변하는데 확보하여야 할 수평거리.....	23
<그림 4.1> RTK GPS에 의한 도로선형관측모습.....	27
<그림 4.2> 도로 중심선 관측시스템 구성.....	28
<그림 4.3> 관측시스템 중 대차의 모습.....	28
<그림 4.4> 측정구간 모습.....	29
<그림 4.5> X방향에서의 편차.....	31
<그림 4.6> Y방향에서의 편차.....	31
<그림 4.7> Z방향에서의 편차.....	31
<그림 4.8> RTK에 의한 평면선형 궤적 추출.....	32
<그림 4.9> 최소제곱선을 이용한 IP 및 IA값 추출.....	32
<그림 4.10> RTK에 의한 종단선형 궤적 추출.....	33

Analysis of Dangerous Element on Highway Alignment
Using RTK Method

Seung-Pil Ryu

*Department of civil engineering, Graduate School of Industry
Pukyong National University*

Abstract

At a recent, with an increase of traffic demand and a spread of automobile culture, the safety, convenience and speed of highway is required. On this study, using the real time kinematic GPS, observation value at a center line of ready-built road is obtained and then design specification of highway, IP, IA and A are obtained by least square method.

Using those IP, IA and A, we analysed the dangerous element of highway alignment by the standard for structure and facility of the road. With using RTK GPS, we could analyse dangerous element of highway alignment rapidly and cope with dangerous area of the existing road.

Keyword : dangerous element, highway alignment, least square method,
real time kinematic GPS

제1장 서론

1.1 연구목적

오늘날 현재 자동차 등록대수가 1,100만대를 돌파하고 운전면허인구가 1,760만명을 이르는 등 급격하게 변화 성장하는 교통수요와 나날이 발전하는 자동차의 성능향상은 가까운 시일 내 도입될 주 5일제 근무와 함께 레저인구의 폭발적인 증가추세의 원인을 제공하고 있다.

더불어, 1990년 이후로 국민생활수준이 크게 향상됨에 따라 도로의 안전성, 편리성, 신속성을 요구하는 국민적 욕구가 한층 증대되고 있다.

또한, 우리나라의 도로는 여객, 화물수송의 90 ~ 93%를 담당하면서 국가 경제발전의 선도적 역할을 수행하는, 국가 중추 교통시설로서 7×9의 격자형 국가간선도로망의 완성과 지역간 및 지역내 도로망도 지속적으로 확충하고 있다.

이와 같이 도로를 확충하면서, 신설되는 도로뿐만 아니라 기존의 도로망을 확장, 개량하거나 기존의 도로에 오르막 차로 등을 신설하는 경우가 많아지게 되었다.

이처럼, 도로설계과정에서 기존도로의 선형을 분석하고, 사전에 위험요소를 제거할 수 있다면 도로이용자의 보다 안전하고 쾌적한 도로시설 욕구에 부응할 수 있을 것이다.

그리고, 도로설계과정에서 기존의 방법보다 정확하고 신속하게 기존 도로의 선형과 위험요소를 분석할 수가 있다면, 경제성과 안전성을 동시에 만족시킬 수 있을 것이다.

따라서, 본 연구에서는 도로의 중심선계획을 기시공된 노선을 중심으로 RTK GPS를 이용하여 관측하고 안전주행을 위한 도로의 선형설계요소를 분석, 기존 도로의 문제점을 도출하여, 안전한 도로설계 및 유지관리에 기여하고자 한다.

1.2 연구범위

도로의 안전주행은 평면선형과 종단선형, 입체선형 및 시거에 의해 좌우되며, 본 연구에서는 선형에 대해서만 연구범위로 두었다.

이에 따라 선형에서는 평면선형, 종단선형, 평면선형과 종단선형의 조합인 입체선형에서 원곡선의 길이, 배향 곡선사이의 직선길이, 종단경사, 최소 종단곡선변화 비율 등을 분석하였다.

1.3 연구방법

도로설계에 있어서 먼저 선형설계과정을 분석하고, 선형 설계시 적용되는 여러 요소 중 자동차의 주행안전에 관련되는 설계요소에 대하여 그 특성을 분석한다.

그리고, 분석된 설계요소의 특성을 남해안 ○○도로 중 평면곡선반경과 종단곡선반경이 큰 약 2km에 대하여 실측을 통하여 적용값을 산출하고, 이 적용값이 자동차의 주행안전에 실제 어떻게 영향을 주는가를 연구하고자 한다.

1.4 연구연혁

도로의 선형은 자동차의 운동궤적과 조화가 되어야 하며 도로중심선의 기하학적 구조와 자동차의 물리학적 운동이 도로선형의 양부를 지배하는 요소가 되었고 도로의 선형은 자동차 교통이 본격화되면서부터 연구되기 시작하였다. 세계 여러 나라에서 도로는 국가의 주요한 시설물이고 국민의 안전에 관련되므로 시설에 대한 기준을 정하여 두고 있으며, 우리나라에서

도 도로시설기준령¹⁾을 제정하여 도로설계에 관한 기준으로 적용하고 있다.

도로가 근대적인 모습을 보이기 시작한 시기는 1960년대부터이며, 도로의 기하학적 설계에 대한 기준을 제정한 것은 1965. 7. 19일자로 대통령령 제9664호로 개정하였다. 그러나 산업성장으로 경제적인 규모가 커짐에 따라 차량의 증가 및 대형화, 차량의 성능증대, 시간가치의 상승 및 교통의 고속화 등으로 교통상황이 크게 변화되었다. 따라서 차량의 원활한 소통과 안전주행을 고려할 수 있는 도로시설의 제공이 시대적 요구로 등장하게 되어 이에 부응하고자 1990. 5. 4 일자로 대통령령 제13001호로 도로구조·시설기준에 관한 규정²⁾으로 개정되어 현재까지 적용되고 있다.

외국에서의 도로선형에 관한 연구는 1971년 Glennon, J.C³⁾는 고속도로의 곡선부 설계에 있어서 안전을 고려한 설계기법을 연구한 바 있고, 같은 해 Glennon, J.C⁴⁾은 고속도로의 곡선부 설계에 있어서 자동차의 운동궤적에 관하여 연구한 바 있다.

또, 1975년 Oglesby C. H.⁵⁾는 시거와 곡선부의 관계에 대하여 연구한 바 있으며, 1981년 하도 외 4인⁶⁾은 고속도로 설계에 있어서 시거와 선형과의 관계를 연구하였고, AASHTO⁷⁾에서는 도로와 가로에 있어서 시거와 설계속도와의 관계를 연구하여 설계의 기준을 제시하였다.

우리나라에서의 도로선형에 관한 연구는 1985년 강⁸⁾은 고속도로의 기하구조가 교통사고 발생에 미치는 영향에 관하여 연구하여 2차선 도로에서 교통량과 사고율과의 관계를 제시하였고, 1989년 원 외 2인⁹⁾은 교통사고와 도로의 기하학적 조건과의 관계를 연구하였다.

그리고, 1992년 한국도로공사¹⁰⁾에서는 곡선과 시거의 관계 및 시거확보방안에 대하여 비교적 우리나라 실정에 맞는 설계법을 제시한 바 있으며, 김 외 10인¹¹⁾은 우리나라의 현재 시공된 도로에 대하여 교통운영의 실무적 내용을 연구한 바 있다. 남¹²⁾은 도로운전자의 차간거리 인지실험 및 특성에 관하여 상세한 연구를 수행하였고, 1995년 박¹³⁾은 국도24호선과 35호

선을 대상으로 도로선형을 연구하였고, 1996년 심¹⁴⁾은 도로설계에 있어서 노면의 횡방향 마찰계수 적용에 대하여 연구한 바 있고, 1996년 김 외 1인¹⁵⁾은 도로의 기하구조와 안전성의 상호관계를 상세히 분석하여 제시하였다.

그리고, 1997년 이¹⁶⁾는 주행안전을 고려한 도로의 선형설계에 관하여 연구하여 안전주행시 필요한 시거확보 및 개선방안을 제시한 바 있었다.

따라서 본 연구에서는 이를 연구의 토대로 도로선형을 추출하기 위해 첨단장비인 GPS를 이용하여 실시간 측정(Real Time Kinematic)기법을 적용하여 도로의 선형을 추출하고 도로선형설계의 위험요소를 분석하고자 한다.

제2장 도로선형의 설계이론

2.1 노선계획의 일반

도로사업은 노선선정, 설계를 거쳐 건설함으로써 완료하게 된다. 이 중에서 노선선정은 도로계획의 기초를 이루는 중요한 단계이며, 그 도로의 사회적 환경에 미치는 영향, 경제효과, 교통 및 구조기술적인 특성, 건설비 등을 고려하여 신중히 답사 연구하여 가장 적합한 노선을 선정해야 한다.

노선선정은 도로망계획과 같은 관련계획을 토대로 한 정책적인 결정단계와 세부평가과정을 거쳐 해당노선이 어떤 지점을 어떤 상황으로 통과할 것인가를 결정하는 타당성 조사 및 기본설계단계로 구분된다. 노선을 결정하고 그에 대한 평가를 할 때 사회적, 경제적, 기술적 요인의 세가지 측면을 평가하고, 평가결과에 따라 최적노선을 선정한다.

새로운 노선을 계획할 때 노선의 위치와 이에 관련되는 여러 가지 설계요소는 조건에 따라 영향을 받으므로 충분히 검토한 후 종합적인 판단을 내려야 한다. 노선선정에 종사하는 사람은 계획, 설계, 시공, 경제성 등 전반에 걸쳐 경험이 많은 숙련자가 아니면 안 된다.

노선 위치에 영향을 주는 것은 지형, 지물, 토질, 토지의 개발 상황 등이다. 도로의 선형, 구배, 시거, 횡단형상, 기타 설계요소는 계곡, 급경사, 언덕, 하천 등의 지형에 따라 좌우된다. 그리고, 평탄지에서는 지형의 선형에 직접 영향을 주지 않지만 배수계획이나 입체 교차계획 등에 있어서는 지형이 노선위치에 결정적으로 지배된다.

도로계획상 가장 중요한 요소는 지형, 지질, 토질, 토지의 이용상황이므로 이에 관한 자료를 입수하여 지형도, 지질도, 토성도 등을 이용 도상 연구하고 계획이 진행함에 따라 현지답사, 지형측량, 토질시험 등을 실시 비교노선을 선정한 후 최종 노선을 결정한다.

노선측량의 순서는 노선선정, 계획조사측량, 실시선형측량, 세부측량, 용

지측량, 공사측량으로 실시한다.

2.2 선형과 선형설계 기본방침

일반적으로 도로의 선형이란 도로의 평면적, 종단적으로 그리는 형상 또는 양자를 합친 입체적인 선의 형상인데 운전자의 눈에 비치는 입체적 또는 3차원적 공간선형인 것으로 이들을 각각 평면선형, 종단선형, 입체선형이라고 한다. 일반적으로 선형이라 하는 경우는 평면선형을 가리키는 일이 많다. 도로의 선형은 도로의 골격을 형성하는 것이므로 도로의 계획, 설계, 시공의 절반을 지배하는 기본이 된다. 따라서 선형이 확정된 후 실시하는 도로설계(구조물, 배수시설, 포장설계)나 토공, 포장, 구조물 등의 시공의 난이 및 공사에 소요되는 비용 등을 충분히 고려해서 종합적인 판단을 바탕으로 하여 선형을 설계한다. 도로를 완성한 후에도 도로선형을 바꾼다는 것은 거의 불가능하므로 반영구적으로 자동차 주행을 규제한다. 따라서 선형설계의 양부는 그대로 도로의 교통용량에 지배적인 영향을 미치게 된다.

선형설계시 고려해야 할 기본적인 사항으로서 자동차의 주행역학적인 측면에서 안전하고 쾌적하며 또 운전경비면 등에서 경제성을 보증할 것이고, 운전자의 시각과 심리적인 측면에서 보아 양호할 것과 도로 환경 및 주위의 경관과 조화 융합이 취해져 있을 것, 지형지물 토지 이용계획 등의 자연조건과 사회조건에 적합하고 공사비와 편익비의 균형이 잡히고 경제적인 타당성을 갖는 것 등을 들 수 있다.

2.2.1 설계속도

설계속도란 차량의 주행에 영향을 미치는 도로의 물리적 형상을 상호

관련시키기 위하여 정해진 속도이다. 도로요소의 기능이 충분히 발휘될 수 있는 조건하에서 운전자가 도로의 어느 구간에서 쾌적성을 잃지 않고 안전하게 주행할 수 있는 속도이다. 설계속도는 도로의 기하구조를 결정하는데 기본이 되는 속도이다. 곡선반경, 편구배, 시거와 같은 선형요소는 설계속도가 직접적인 관계를 갖는다.

도로의 구조, 시설기준에 관한 규정상의 구분은 <표 2.1>과 같이 나눌 수 있으며, 설계속도는 도로의 구분에 따라 지방지역(평지, 산지)과 도시지역에서는 <표 2.2>의 속도 이상으로 한다. 다만, 지형상황 등을 참작하여 부득이하다고 인정하는 경우에는 표에 나타난 속도에서 20km/h를 뺀 속도로 할 수 있다.

<표 2.1> 도로의 구조, 시설기준에 관한 규정상의 도로 구분

구 분	도 시 지 역	지방지역	도로법의 분류와 비교
자동차 전용도로	도시고속도로	고속도로	고속국도
일 반 도 로	주간선도로 보조간선도로 집산도로 국지도로		일반국도 일반국도 및 지방도 지방도 및 군도 군도

<표 2.2> 설계속도

단위(km/h)

도 로 구 분		지 방 지 역		도 시 지 역
		평 지	산 지	
자 동 차 전 용 도 로		120	100	100
일 반 도 로	주간선도로	80	60	80
	보조간선도로	70	50	60
	집산도로	60	50	50
	국지도로	50	40	40

제3장 도로선형 이론

3.1 평면선형

3.3.1 평면선형설계의 일반방침

평면선형의 설계시에는 일반적인 방침에 따라 연속적으로 원활한 선형이 얻어질 수 있도록 힘쓸 것이며, 동시에 경관과의 조화에 대해서도 검토하여야 한다. 평면선형설계에서 선형은 지형에 적합하고, 연속적이어야 하며, 충분한 곡선길이를 확보하여야 한다. 그리고 높은 흠쌓기가 연속되는 구간에는 곡선반경을 될 수 있는 대로 크게 하여야 한다. 배향곡선 사이에 짧은 직선을 넣은 선형은 피하여야 하며 입체선형이 양호하여야 한다.

3.3.2 직선의 적용

직선은 현지에 설치하는 일이 가장 쉽고 또 최단거리로 점간을 연결할 수 있기 때문에 과거에는 도로의 직선이 최선의 것으로 생각하고 곡선은 부득이 장애물을 피하려는 경우에만 적용시키는 것이라 생각되어 왔다. 직선은 일반적으로 융통성이 없는 기하학적 형태로 인하여 딱딱한 부조화의 선형이 되기 쉬운 결점을 갖고 있고 더욱이 지형의 변화에 대해서 순응하기 어렵기 때문에 그 적용에는 자연적으로 제약이 있게 된다.

직선이 길게 연속되면 운전자는 그 단조로운 노면의 연속성에 권태를 느끼고 주위를 집중시키기가 어려워져서 결국에는 운전자의 지각 반응의 저하를 일으켜 사고발생요인이 된다. 직선을 적용할 때에는 특히 지형과의 관계에 유의하고 그 제한길이를 설계속도 별로 나타낸 것이 <표 3.1>과 같다.

<표 3.1> 직선구간의 제한길이

설계속도(km/h)	120	100	80	60	50
직선의 최대길이(m)	2400	2000	1600	1200	1000
반대 방향으로 굴곡하는 곡선사이에 삽입되는 직선의 최소길이(m)	240	200	160	120	100
같은 방향으로 굴곡하는 곡선사이에 삽입되는 직선의 최소길이(m)	720	600	480	360	300

3.3.3 곡선의 적용

곡선을 적용 할 때에는 지형에 맞도록 하되 될 수 있는 대로 큰 곡선반경을 쓰도록 하고, 전후의 선형요소의 상대관계를 검토하여 전체적 균형을 고려해야 한다. 특히 종단구배와의 관계를 고려하여 작은 반경의 원곡선과 급구배가 겹치지 않도록 한다.

곡선은 직선에 비해서 융통성이 있어 기하학적 형태가 유연하기 때문에 다양한 지형변화에 대하여 순응시킬 수가 있고 또 원활한 선형이 얻어질 수 있기 때문에 그 적용범위는 광범위하다.

원곡선의 반경을 크게 취함과 동시에 지형, 지역의 조건에 적합한 크기의 것을 선정하는 것이 보다 중요하다. 그러나 우리나라와 같이 산악지대가 많은 지역에서는 곡선부의 반경을 충분히 크게 취하기가 곤란하므로 때때로 절대 최소치에 가까운 값을 취해야 하는 경우가 생긴다. 이와 같은 경우에 일련의 선형요소를 검토하여 전체적으로 보아 특별구간이 짧고 산발적으로 존재하는 일이 없도록 하는 것이 중요하다.

평면선형요소는 곡선반경, 곡선의 길이, 곡선부의 편구배, 곡선부의 확폭, 완화구간, 시거 등이 있다.

1) 곡선의 종류

노선에 사용되는 곡선은 노선방향이 평면적인 변화를 하는 경우에 설치하는 수평(평면)곡선과 노선면이 수직방향으로 변화하는 경우에 만드는 종(수직)곡선인데, 곡선설치라 할 때는 보통 수평곡선을 말할 때도 많다. 수평곡선에는 단곡선, 복심곡선, 반향곡선, 배향곡선, 완화곡선이 있고, 종곡선에는 포물선곡선, 원곡선이 있다.

(가) 단곡선

1개의 원호로 되는 곡선으로서 곡률반경이 일정하여 노선의 방향변환할 때에 사용하는 기본적인 곡선이다. 그리고 도로, 철도 등의 노선규정에 널리 이용된다.

단곡선설치 방법에는 편각법에 의한 단곡선설치로 편각현장법, 현거현장법, 전방교회법이 있고, 진출법에 의한 단곡선설치로 중앙종거를 사용하는 방법이 있으며, 지거법에 의한 단곡선설치로 접선지거법, 중앙 종거법, 장현지거법 등이 있다.

(나) 복심곡선

반경이 다른 2개의 단곡선이 그 접속점에서 공통접선을 갖고 그것들의 중심이 공통접선과 같은 방향에 있을 때 이것을 복심곡선이라 하고 접속점을 복심곡선 접속점이라 한다.

(다) 반향곡선

반경이 똑같지 않은 2개의 원곡선이 그 접속점에서 공통접선을 갖고 그것들의 중심이 공통접선의 반대쪽에 있을 때 이것을 반향곡선이라 하며 접속점을 반향곡선 접속점이라 한다. 반향곡선은 복심곡선보다도 곡률의 변화가 심하므로 적당한 길이의 완화곡선을 넣을 필요가 있고, 지형관계로 어쩔수 없이 완화곡선을 넣어 사용하는 경우에서도 접속점의 장소에 적당한 길이의 직선부를 넣어 자동차행들의 급격한 회전을 피하도록 해야 한다.

(라) 배향곡선

2개의 원곡선이 한줄의 공통접선의 양쪽에 서로 반향하여 연속되는 곡선을 말하며, 양곡선의 접속점을 배향점(Point of Reverse Curve : P.R.C)이라고 한다.

교통안전상의 관점으로 보면 복심곡선과 마찬가지로 가능하면 반향곡선의 사용은 피하는 것이 좋다. 그러나 불가피하게 반향곡선을 설치하는 경우에는 지형조건이 허용하는 범위에서 양곡점간에는 충분한 길이의 완화곡선을 두는 것이 좋다.

(마) 완화곡선

고속도로 주행하는 차량을 곡선부에서 원활하게 통과시키기 위해서는 직선부와 원곡선과의 구간, 또는 대원과 소원의 구간에 곡률반경을 점차로 변환하는 곡선부를 설치한다. 이 곡선을 완화곡선이라 한다.

2) 곡선의 반경

(가) 최소곡선반경의 산정

선형설계에 있어서 개개의 선형요소는 먼저 주행상의 안전성이 제 1 조건이다. 자동차가 도로의 곡선부에서도 직선부와 마찬가지로 안전하고 쾌적한 주행이 가능하도록 곡선부의 최소반경을 <표 3.2>와 같이 규정하는 것이다.

<표 3.2> 최소곡선반경

설계속도(km/h)	120	100	80	70	60	50	40	30	20
최소곡선반경(m)	710	460	280	200	140	90	60	30	15

이 최소곡선반경은 도로의 곡선부를 주행하는 자동차에 가해지는 원심력 등의 횡방향력이 타이어와 노면간의 마찰에 의해서 주어진 한도를 초과하지 않도록 한다는 취지와 주행 쾌적도의 양부를 고려해서 산정되고 있다. 또 이 최소곡선반경은 산정방법으로도 명백한 바와 같이 차도의 각 차선중심에 적용되는 것이므로 선형을 차도중심선에 따라 설계하는 경우에는 각 차선과 차도중심선의 관계에 대해서 충분히 주의를 기울일 필요가 있다.

자동차가 곡선부를 주행할 때에 생기는 위험은 원심력에 의하여 곡선부의 외측으로 미끄러진다는가, 전도한다는가 하는 것이다. 그 한도는 자동차의 주행속도와 고도의 곡선반경이나 편구배 및 노면의 마찰계수등에 따라 좌우된다.

곡선부의 주행시 차량에 미치게 되는 원심력은 곡선반경과 주행속도에 대하여 나타내므로 식(3.1)과 같다.

$$Z = \frac{G}{g} \times \frac{V^2}{R} \quad (3.1)$$

여기서,

Z = 원심력(kg)

G = 자동차의 총중량(kg)

R = 곡선반경(m)

V = 자동차의 속도(m/s)

g = 중력가속도(≈ 9.8 m/s²)

(나) 횡방향 미끄럼 마찰 계수의 값

횡방향 마찰계수(f)는 노면과 타이어와의 횡방향 마찰저항인 동시에 차내의 사람이 느끼는 횡방향 가속도의 크기를 중력가속도 g 의 단위로 나타낸 것이다. 따라서 횡방향 마찰계수를 정하는데는 노면과 타이어간의 마찰

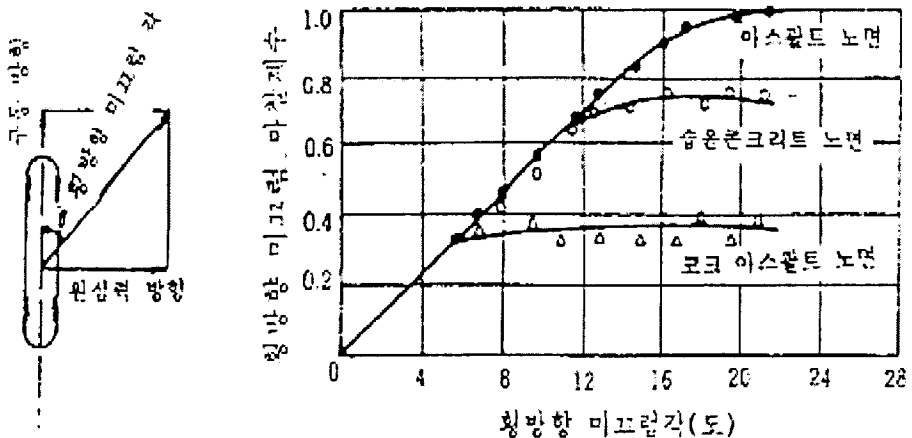
저항을 실측치로 부터 가정된 모든 조건하에서 안전치를 하고, 또 사람이 자동차 주행중에 견딜수 있는 횡방향 가속도의 크기는 쾌적성을 고려하여 정한다.

실측값으로 부터 구한 f 의 값은 노면 및 타이어의 상태에 따라 변하며 콘크리트포장에서는 0.4 ~ 0.6, 아스팔트포장에서는 0.4 ~ 0.8 이다. 그러나 강우의 초기, 빙설, 동결시에는 아주 저하하고 평활한 빙설면에서는 0.2 이하로 떨어진다. 미국의 연구결과에 의하면 주행속도 70km/h 이하에서는 $f=0.16$, 120km/h에서는 $f=0.12$ 가 쾌적성에서 본 한계라는 것이다.

<표 3.3>는 주행의 쾌적성으로 본 설계속도와 횡마찰계수를 나타내며, <그림 3.1>은 횡방향활동각과 마찰계수의 관계를 도로노면에 따라 보이고 있다.

<표 3.3> 설계속도와 f 값

설계속도(km/h)	120	100	80	70	60	50	40이하
f	0.10	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16



<그림 3.1> 횡방향 미끄럼각과 횡방향 미끄럼 마찰계수와의 관계

최소 곡선반경의 선정시 주의할 점으로서 교통량이 매우 많은 구간에는 될 수 있는 한 적은 곡선을 피하고, 전후의 선형과 조화를 고려하여 갑자기 작은 반경의 곡선을 쓰지 말아야 한다. 또 주위의 지형, 도시화의 상황 등 도로주변의 환경에 따라 선형설계를 해야 하며 종단선형과의 조화를 고려하고, 시거확보의 유무도 고려해야 한다.

3) 곡선의 길이(곡선장)

차도의 중심선 길이는 도로의 교각에 따라 <표 3.4>와 같이 길이 이상으로 한다. 이때 완화곡선을 사용하는 경우에는 당해 완화곡선의 길이를 원곡선에 가산한 길이를 말한다.

<표 3.4> 최소 곡선의 길이

단위(m)

설계속도 (km/h)	곡 선 의 최 소 길 이	
	도로의 교각이 5도 미만일 경우	도로의 교각이 5도 이상일 경우
120	$700/\theta$	140
100	$550/\theta$	110
80	$450/\theta$	90
70	$400/\theta$	80
60	$350/\theta$	70
50	$300/\theta$	60
40	$250/\theta$	50
30	$200/\theta$	40
20	$150/\theta$	30

비고) θ 는 도로교각의 값(도)으로 2도 미만인 경우에는 2도로 한다.

최소곡선의 길이는 자동차가 도로의 곡선부를 주행하는 경우, 곡선부의

길이가 짧으면 핸들을 꺾자마자 곧바로 반대방향으로 꺾어야하기 때문에 차내의 물체는 균형을 잃게되고 특히 자동차가 고속주행의 경우 위험하기도 하다. 속도를 떨어뜨리지 않고 주행한다고 하면 이때의 주행궤적은 큰 곡선길이를 취하게 되므로 다른차선을 침범해서 충돌 등의 위험이 생기게 된다. 따라서 최소의 곡선길이는 자동차의 운전자가 핸들조작에 곤란을 느끼지 않아야 하며 교각이 작은 경우, 곡선반경이 실제보다 작게 보이는 착각을 막을 정도의 길이로 해야 한다.

4) 편구배

원심력의 영향을 작게하고 배수를 위하여 곡선부의 횡단면에 직선경사를 붙이는데 이것을 편구배(Super Elevation, Slope)라고 한다. 우리나라에서는 도로구조령에서 최대 편구배를 8%로 규정하고 있다. 편구배의 최대치를 구하는데 있어서 조건이 되는 요소는 주행상의 쾌적성, 자전거등의 분리여부, 기상여건(다우, 다습, 적설, 결빙 등), 지역성(도시부, 지방부), 지형조건등이 있다. 한편 평면곡선이 시작되는 부근에서는 곡선의 전방에서부터 차량진입을 원활하게 하기 위해서는 도로의 정상 횡단구배의 바깥쪽 차선의 횡단구배를 어느정도 길이내에서 “0”으로 하고, 안쪽차선은 도로의 정상횡단구배를 유지하고 바깥쪽차선은 계속 기울기를 높여 정상횡단 구배가 되게 한다. 그리고, 바깥차선과 안쪽차선의 횡단구배가 모두 정상 횡단구배가 된 후 계속하여 구배를 높여 최대 편구배가 되도록 한다.

<표 3.5> 최대 편구배(도로 구조 시설기준)

구 분		최 대 편 구 배(%)
지 방 지 역	적 설 한 랭 지 역	6
	기 타 지 역	8
도 시 지 역		6

도로의 구분, 도로가 위치하는 지역의 적설경도, 도로의 설계속도, 곡선반경, 지형 상황등을 참작하여 <표 3.5>의 비율 이하로 편구배를 붙여야 한다.

편구배와 곡선반경의 관계를 운행속도에 따라 구해보면 <표 3.6>과 같다.

<표 3.6> 도시지역 도로의 편구배

편구배의 값(%)	곡 선 반 경(m)				
	60km/h	50km/h	40km/h	30km/h	20km/h
6			60이상 63미만	30이상 35미만	15이상 16미만
5		100이상 105미만	63이상 65미만	35이상 37미만	16이상 17미만
4	150이상 160미만	105이상 110미만	65이상 70미만	37이상 40미만	17이상 18미만
3	160이상 165미만	110이상 115미만	70이상 74미만	40이상 42미만	18이상 19미만
2	165이상 220미만	115이상 150미만	74이상 100미만	42이상 50미만	19이상 20미만

5) 곡선부의 확폭

차량의 앞뒤 바퀴의 고정차축 때문에 곡선부에서 뒷바퀴가 앞바퀴보다 회전내측으로 편이되어 통과하므로 이에 따른 내측차선평을 증설시켜야 한다. 이것을 확폭(Slack Widening)이라 한다.

일반적으로 자동차의 후륜 차축에 직각으로 장치되어 있어 자동차 주행 중에 방향전환은 전륜으로 행해진다. 이 경우 자동차 전륜의 각축 중심선의 연장이 후륜축 중심선의 연장과 자동차가 회전하려 하는 반경의 중심점과 만나도록 즉, 전륜의 각축이 각각 상이한 각도 α, β 로 전향하는 것

으로 되어 있다.

차선의 확폭량은 <표 3.7>과 같이 이론적으로 차선의 중심반경에 따라 서로 다른 값이지만 확폭량을 0.25m단위로 규정한 것이며, 평면선형 결정 시 차선의 반경을 각각 구해서 확폭량을 결정하는 번거러움을 덜기 위해 도로중심선의 반경이 35m이상인 경우에는 도로 중심선에 의해서 차선의 확폭량을 구한다.

<표 3.7> 곡선부 확폭량(도로구조시설기준, 단위 : m)

곡 선 반 경		차선당 최소 확폭량
자동차 전용도 주간선 도로 보조 간선 도로	집산 도로 국지 도로	
150 이상 250 미만	100 이상 150 미만	0.25
100 이상 150 미만	55 이상 100 미만	0.50
70 이상 100 미만	40 이상 55 미만	0.75
50 이상 70 미만	30 이상 40 미만	1.00
	25 이상 30 미만	1.25
	20 이상 25 미만	1.50
	18 이상 20 미만	1.75
	15 이상 18 미만	2.00

6) 완화 구간

자동차가 직선부에서 곡선부, 곡선부에서 직선부 또는 다른 곡선부로 원활하게 주행하도록 하기 위해서는 완화구간을 설치하여야 한다.

단, 완화구간이란 편구배변화 또는 확폭량을 설치하기 위하여 취하게 되는 편구배 및 확폭량의 변이 구간으로 정의 하며, 완화곡선은 직선부와 곡선부의 접속부에서 사용되는 완화곡선(클로소이드곡선)설치구간으로 정의

한다. 완화곡선을 설치하므로써 곡선부를 주행하거나 또는 주행하여야 하는 차량에 대한 원심력을 점차적으로 변화시켜 일정한 주행속도 및 주행 궤적을 유지시키며 표준 횡단구배구간과 곡선부의 최대 편구배구간 및 편구배 변화구간을 주행 속도와 곡선반경에 따라 적절하게 접속시킬 수 있도록 한다.

또, 급한 곡선부에서 확폭이 필요한 경우 접속 설치 구간으로 이용되며 원곡선의 시작점과 끝점에서 절곡된 형상을 시각적으로 원활하게 보이도록 한다.

자동차 전용도로의 전구간 및 일반도로 중 설계속도가 매시 80km이상인 도로의 곡선부에는 완화곡선을 설치하여야 한다. 길이는 당해 도로의 설계속도에 따라 <표 3.8>과 같이 길이 이상으로 한다.

<표 3.8> 완화 곡선(완화구간)의 최소길이

설계속도(km/h)	120	100	80	70	60	50	40	30	20
최소길이(m)	70	60	50	40	35	30	25	20	15
구 분	완 화 곡 선			완 화 구 간					

3.2 종단선형

3.2.1 종단선형설계의 방침

종단선형 설계시에는 건설비와 관계를 고려하면서 자동차 주행이 안전하고 쾌적하며 경제적이 되도록 힘쓰고, 평면선형과의 관련에 있어서 시각적으로 연속적이면서 원활한 선형으로 설계하여야 한다.

종단선형설계의 일반 방침은 다음과 같다.

- 1) 선형은 지형에 적합하고 원활한 것이어야 한다. 또한 짧은 거리에서 많은 요철을 반복하는 선형은 좋지 못하다.
- 2) 앞 쪽과 뒷 끝만이 보이고 중간이 폭 패어 보이지 않는 선형은 피해야 한다.
- 3) 오르막구배 앞에 내리막 구배를 설치해서 관성구배로 하여, 트럭등의 오르막시의 속도저하분을 내리막시에 미리 증가시켜 평균속도를 높이려는 방법을 고려하게 될 때에는 내리막구배를 너무 급하게 길게 두어서 트럭 등이 과도한 속도를 내게 되어 위험하게 되지 않도록 주의하고, 오목 부분에 삽입하는 종단곡선은 충분히 길게 잡아 시각적으로 원활한 선형을 얻을 수 있도록 힘써야 한다.
- 4) 같은 방향으로 굴곡하는 두 종단곡선 사이에 짧은 직선구배 구간을 두는 것은 피하여야 한다. 특히 오목형 종단곡선의 경우에 있어서는 주의하지 않으면 안된다.
- 5) 연장이 긴 연속된 오르막 구간에는 오르막구배가 끝나는 정상부근에서 구배를 비교적 완만하게 하는 편이 좋다.
- 6) 구배 변화가 작은 때의 종단곡선은 될 수 있는대로 크게 취해야 할 것이다.
- 7) 오르막구배가 크고 또 오르막길이가 긴 경우에는 트럭의 속도저하, 교통량등을 감안해서 필요에 따라 오르막차선의 설치를 고려한다.
- 8) 종단구배는 완만할수록 좋겠지만 노면의 배수를 고려할 때 최소 0.3% ~ 0.5% 이상의 구배로 함이 좋다.
- 9) 종단선형의 양부는 평면선형과의 관련으로 결정되는 수가 많으므로 평면선형과의 관련에 주의하고, 입체적인 선형으로서 양호한 것이 되도록 힘쓰지 않으면 안된다.
- 10) 종단곡선의 오목부가 절취부에 생길 경우 배수문제가 있으므로 이를 피한다.
- 11) 교량이 있는곳에 오목부가 생길 경우 차량의 충격이 구조물에 나쁜

영향이 미칠 우려가 있으므로 피하도록 한다.

3.2.2 종단선형설계의 방법

종래의 종단선형 설계의 순서는 평면선형의 설계의 경우와 마찬가지로 먼저 지형의 변화에 따른 요철에 맞추어서 컨트롤 포인트(Control Point)나 절성토의 균형 등의 조건을 고려하여 직선형으로서 종단구배를 설정하고 이들을 연결하는 직선형에 따라 종단형상의 기본형이 정해지며 그 다음에 종단구배의 변화점에 종단곡선을 필요에 따라 적절한 길이로 삽입시킨다고 하는 형태로 진행되었다. 그렇게 해서 이들 일련의 작업을 시행착오적으로 반복하여 자동차의 주행조건과 건설비의 관계를 조정해서 종단선형이 최종적으로 정해진다.

통상, 평면선형의 경우는 아무리 해도 지형의 제약이나 장애물 때문에 어느 크기의 곡선을 설정할 수 없는 경우가 때때로 생기지만, 종단선형의 경우는 약간의 토공량 증가나 구조물비의 추가에 의해서 이 종단곡선을 크게 확보할 수 있는 경우가 많다. 이와 같이 종단곡선을 될 수 있는 대로 길게 잡는다는 것은 설계, 시공의 양면에서 어려운 일이긴 하지만 완성된 도로는 지형에 잘 어울린다고 연속적으로 흐르는 듯한 인상을 주어 쾌적한 주행을 보장하게 한다.

3.2.3 종단선형의 요소

1) 종단구배

도로선형중 종단면상의 경사를 종단구배라 하며, 차량이 속도저하 없이 쾌적한 주행을 할 수 있는 종단구배는 완만할수록 좋다. 차중에 따라 등판능력이 좋은 승용차는 종단구배의 영향을 받지 않는 곳이라도 잉여마력이 적은 트럭은 주행속도가 떨어진다. 속도가 저하되는 차량 때문에 고속차의

주행을 방해하여 교통량을 저하시킨다. 또한 종단구배의 완급은 도로건설비와 완공 후 도로관리용면의 경제성에도 큰 영향을 미친다. 도로구조 시설 기준에서는 다음과 같은 시점에서 <표 3.9>와 같은 종단구배의 제한치를 규정하고 있다.

<표 3.9> 종단구배의 제한치

단위(%)

설계속도(km/h)	120	100	80	70	60	50	40	30	20
표 준 구 배	3	3	4	4	5	6	7	8	9
부득이한경우	-	5	6	6	7	9	10	11	13

종단구배치는 길이의 제한이 없는 등판로의 경우 종단구배의 일반값은 승용차가 거의 평균속도로 올라 갈 수 있고, 보통트럭은 설계속도의 1/2속도로 올라 갈 수 있는 값으로 하고, 종단구배의 특예치는 등판로 끝에 있어서 승용차는 평균주행속도, 보통트럭은 설계속도의 1/2의 속도를 확보할 수 있는 종단구배의 값과 그 길이로 하며, 등판차선을 설치할 때는 승용차는 설계속도의 2/3를 확보하도록 고려하고, 보통 트럭의 등판속도에 대해서는 고려하지 않는다.

각종 종단구배에서 주행속도가 설계속도 이하로 저하되는 구배구간의 종단구배 제한길이는 <표 3.10>과 같다.

<표 3.10> 종단구배 제한길이

설계속도 (km/h)	120		100		80		70		60		50			40		
종단구배 (%)	3	4	5	5	6	5	6	6	7	7	8	9	8	9	10	
제한길이 (m)	750	550	400	400	300	550	450	550	400	450	400	350	550	400	350	

2) 종단곡선

자동차가 두 개의 다른 종단구배 구간을 통과할때는 자동차의 운동량 변화에 따른 충격을 감소시키고 운전자의 시거를 확보할 수 있도록 종단곡선을 설치해야 한다. 종단곡선은 일반적으로 포물선으로 설치하며, 충분한 범위내에서 주행의 안전성과 쾌적성을 확보하고 도로의 배수를 원활히 할수 있도록 설치하여야 한다.

가) 종단곡선 반경

종단곡선의 크기는 식(3.2) 와 같이 곡선반경으로 규정할 수 있다.

$$\frac{X}{|t - t_0|} = |A| \cong R \quad (3.2)$$

여기서,

X : 임의의 지점

t : X에서의 접선의 기울기

t₀ : 원점에서의 접선의 기울기

R : 종단곡선의 반경

식(3.2)에서, X를 종단곡선의 길이 L로 치환하고 접선의 기울기를 구배(%)로 나타내면 다음과 같은 식(3.3)으로 나타낼 수 있다.

$$R = \frac{X}{|t - t_0|} = \frac{100L}{I} \quad (3.3)$$

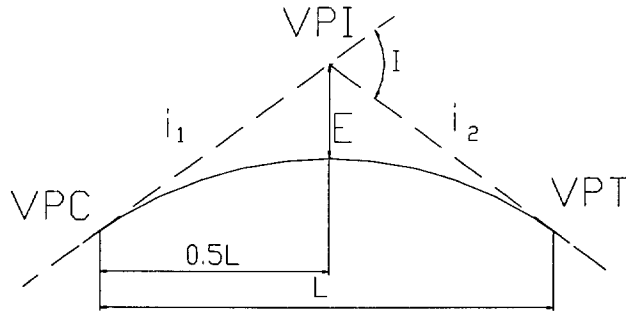
여기서,

L : 종단 곡선의 길이(m)

I : 종단 구배의 차(%)

나) 종단곡선변화 비율

<그림 3.2>와 같은 종단곡선에서 종단구배가 1% 변하는데 확보 하여야 할 수평거리로서 식(3.4)로 나타낼 수 있다.



<그림 3.2> 종단구배가 1% 변하는데 확보하여야 할 수평거리

$$K = \frac{L}{I} = \frac{R}{100} \quad (3.4)$$

여기서,

K : 종단곡선 변화비율(m/%)

L : 종단곡선의 길이(m)

I : $|i_1 - i_2|$: 종단구배의 차(%)

R : 종단 곡선 반경(m)

다) 최소 종단곡선변화 비율

충격완화에 필요한 종단곡선 길이와 변화비율은 식(3.5)와 같다.

$$L = \frac{V^2 \times I}{360} \quad (3.5)$$

$$K = \frac{V^2}{360}$$

여기서,

L : 종단곡선 길이(m)

I : 종단구배의 차(%)

V : 설계속도(km/h)

K : 종단곡선변화비율(m/%)

종단곡선의 최소길이는 설계속도에 따라 <표 3.11>의 길이 이상으로 하고, 종단곡선의 변화 비율은 당해 차도의 설계속도와 종단곡선의 형태에 따라 <표 3.12>의 값 이상으로 한다.

<표 3.11> 종단곡선의 최소길이

설계속도(km/h)	120	100	80	70	60	50	40	30	20
최소길이(m)	100	85	70	60	50	40	35	25	20

<표 3.12> 최소 종단곡선 변화 비율

설계속도(km/h)	120	100	80	70	60	50	40	30	20
볼록곡선	190	100	50	30	20	10	5	3	1
오목곡선	70	50	35	25	20	12	7	4	2

3) 오르막차선

오르막 구간에서는 트럭과 같이 속도가 현저하게 떨어지는 차량을 교통류로부터 분리시킴으로써 교통을 원활하게 유도하고, 필요한 교통용량을 확보할 목적으로 저속차 통행을 위하여 설치한 차선을 등판차선(Climbing lane)이라 한다. 오르막차선을 설치할 때는 교통용량과 교통량과의 관계, 고속차량과 저속차량의 자동차의 구성비, 종단구배를 낮추어 시공하는 방

안과 오르막 차선을 설치할 때의 경제성, 고속주행에 의한 편이 및 쾌적성
도모와 공사비 절감에 따른 경제성, 교통사고 예방에 따른 사고 비용절감
등을 검토하여 결정한다.

허용 최저 속도 이하 구간에서 최저속도 복귀되는 구간까지의 거리를
오르막차선의 본선길이로 한다. 허용 최저속도 이하의 구간이 200m 미만
이 되는 경우에는 오르막 차선을 설치하지 아니할 수 있다. 또 시점부의
변이구간(Taper)은 45m 이상 설치하여야 하며, 종점부의 변이구간(Taper)
은 60m 이상 내리막 구배 구간에 설치함을 원칙으로 한다.

3.3 평면선형과 종단선형의 조합

도로의 선형설계는 노선계획으로 시작해서 평면선형 설계, 종단선형 설
계로 이어지고 도로 환경과 조화를 이룬 평면선형과 종단선형의 결합으로
완료된다. 따라서 평면선형과 종단선형의 조합은 실제로 도로를 주행하는
운전자의 시각으로 고찰하지 않으면 안되므로 투시도의 이용이 필요하며
시간을 포함한 4차원으로 생각할 필요가 있다. 선형조합의 일반적인 설계
방침으로 선형이 시각적 연속성과 심리적 균형을 확보해야하며, 노면의 배
수 및 자동차의 역학적 요구에서 적절히 조화된 구배가 취해질 수 있는
조합을 택하고 도로환경과의 조화를 늘 고려해야 한다.

제4장 관측 및 자료수집

4.1 관측방법

먼저 도로설계에 있어서 선형설계과정을 분석하고, 선형 설계시 적용되는 여러 요소 중 자동차의 주행안전에 관련되는 설계요소에 대하여 그 특성을 분석하고자 한다.

그리고, 분석된 설계요소의 특성을 남해안 ○○도로 1개 노선의 일반도로에 대하여 실측을 통하여 적용값을 산출하고, 이 적용값이 자동차의 주행안전에 실제 어떻게 영향을 주는가를 연구한다.

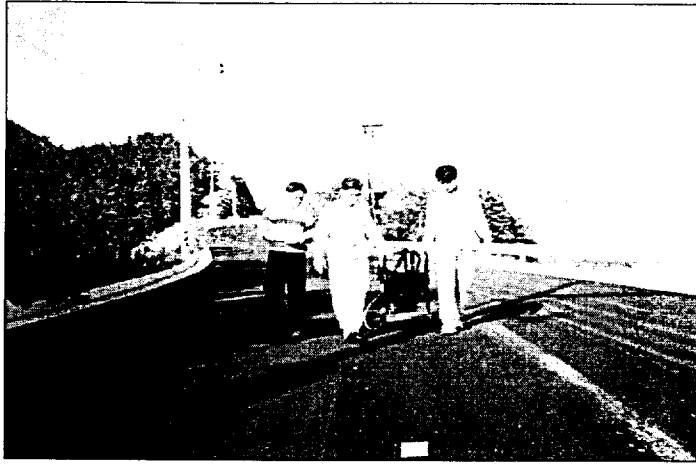
4.2 실측

4.2.1 실측 및 사용기기

RTK GPS를 이용하여 도로선형 위험요소를 분석하기 위하여 연구대상 도로인 남해안 ○○도로 확·포장 공사 일부구간에서 Real Time Kinematic 측량 방식으로 도로중심선을 측량하였다.

본 연구의 현장관측은 2001. 9. 9 ~ 2001. 10. 13 사이에 관측하였으며, 관측대상지역은 경남 고성에서 거제방향인 남해안 ○○도로 확·포장 공사 일부구간 중, 설계도가 입수되어 있고, 평면선형 및 종단선형이 확실한 구간에서 약 1.2km구간을 선정하여 관측하였으며, 관측모습은 <그림 4.1>과 같다.

관측장비는 Trimble사에서 제조된 장비를 사용하였으며, 모델명은 4600LS이고, 관측장비 제원은 <표 4.1>과 같다.



<그림 4.1> RTK GPS에 의한 도로선형관측모습

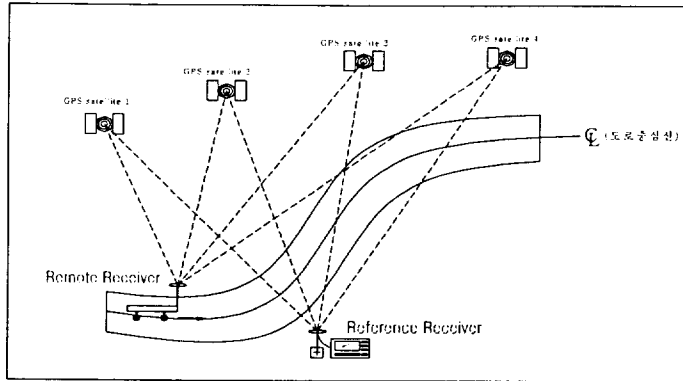
<표 4.1> 관측장비 제원

제 품 명		Trimble
모 델 명		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 : $\pm 2\text{cm} + 1\text{ppm}$

4.2.2 관측시스템 구성

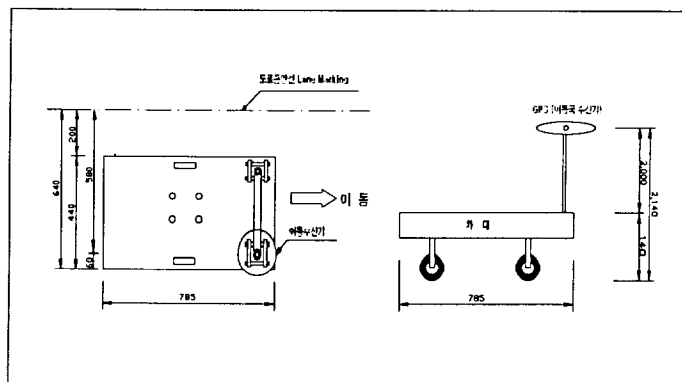
관측시스템은 <그림 4.2>와 같이 현장에 기지국을 설치하고, 이동국은 도로의 중앙선을 따라 이동하면서 기존 도로 중심선 선형의 각 측점에서의 3차원 좌표를 취득하였다. 그리고, 도로의 중심선 선형을 GPS로 관측하는 방법에는, 차량에 GPS수신기를 탑재하여 관측하는 방법이 효과적이나,

도로건설 후 공용중인 도로의 중심선을 따라서 GPS 탑재차량을 운행하는 것은 위험하고, 운전기능에 따라서는 관측값이 크게 달라질 수도 있다.



<그림 4.2> 도로 중심선 관측시스템 구성

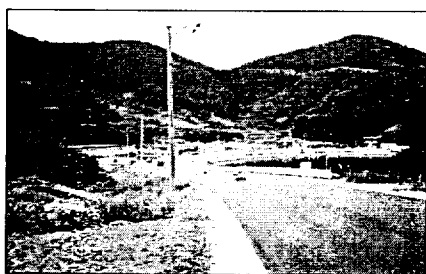
따라서 본 연구에서는 <그림 4.3>과 같이 대차에 GPS수신기를 고정시키고, 이 대차 측면을 도로중심선의 Lane Marking에 접하도록 하면서 대차를 인력으로 끌면서 측량하였다.



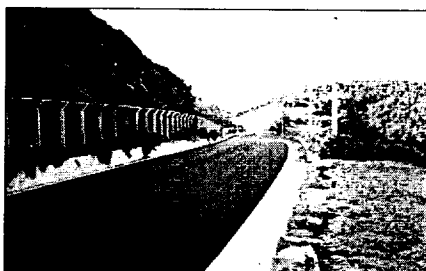
<그림 4.3> 관측시스템 중 대차의 모습

이 경우 측점위치는 가표지로 된 도로중심선상에서 측정되었다. 이동 속도는 1km당 약 1시간이 소요되나, 본 연구에서는 전 노선구간이 확보된

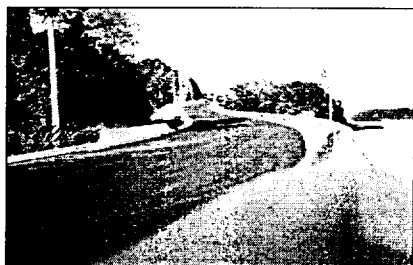
구간이 아니므로 <그림 4.4>와 같이 각 구간을 3부분으로 나누어서 측정을 하였다.



(a) 측정 노선구간 I



(b) 측정 노선구간 II



(c) 측정 노선구간 III

<그림 4.4> 측정구간 모습

4.3 자료산출방법

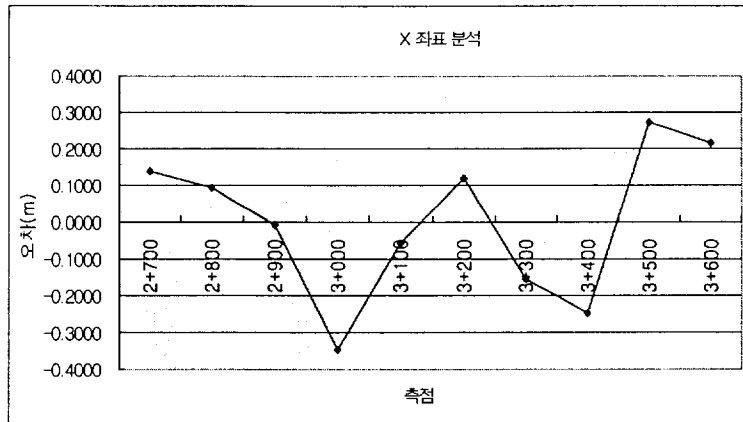
관측한 자료는 실내에서 GPS 후처리 과정을 통하여 관측된 도로 중심선 좌표와 설계도와의 좌표 차를 <표 4.2>와 같이 GPS에 의해 관측된 좌표중에서 설계도상에서 있는 좌표 중 측정점 100m 구간마다 관측값을 나타내었다.

따라서 <표 4.2>를 이용하여 그래프로 나타내면 <그림 4.5>는 X방향에서의 평균오차로는 16.6cm이고, <그림 4.6>은 Y방향에서 16.3cm 었다. 또한 <그림 4.7>은 Z방향에서 평균오차는 7cm로 나타났으며, 이는 Total

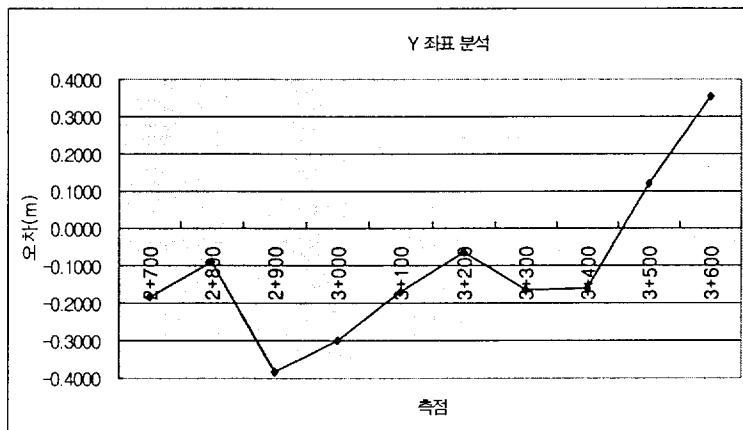
Station 관측에서 규정하고 있는 노선좌표 오차는 30cm로 규정하고 있으므로, 본 연구에서 관측된 좌표값은 이 규정에 만족하였다.

<표 4.2> GPS에 관측된 도로 중심케적 3차원 좌표

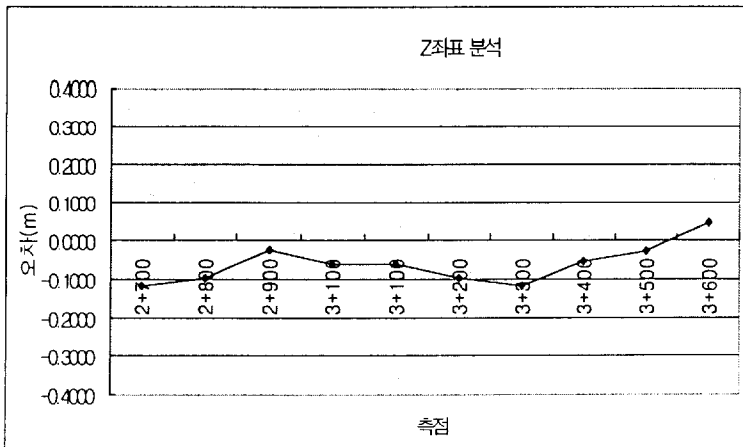
측점		X좌표	오차	Y좌표	오차	Z좌표	오차
2+700	GPS 관측값	173432.454	0.140	152341.567	-0.183	6.532	-0.118
	설계도 좌표	173432.314		152341.750		6.650	
2+800	GPS 관측값	173519.060	0.092	152389.758	-0.089	14.881	-0.099
	설계도 좌표	173518.968		152389.847		14.980	
2+900	GPS 관측값	173608.599	-0.005	152427.211	-0.382	23.938	-0.022
	설계도 좌표	173608.604		152427.593		23.960	
3+000	GPS 관측값	173707.686	-0.348	152417.084	-0.300	29.531	-0.059
	설계도 좌표	173708.034		152417.384		29.590	
3+100	GPS 관측값	173803.371	-0.058	152387.567	-0.169	26.788	-0.062
	설계도 좌표	173803.429		152387.736		26.850	
3+200	GPS 관측값	173899.281	0.110	152359.325	-0.063	25.044	-0.096
	설계도 좌표	173899.161		152359.388		25.140	
3+300	GPS 관측값	173990.717	-0.154	152324.165	-0.164	23.363	-0.117
	설계도 좌표	173990.871		152324.329		23.480	
3+400	GPS 관측값	174051.216	-0.247	152244.786	-0.160	16.106	-0.054
	설계도 좌표	174051.463		152244.946		16.160	
3+500	GPS 관측값	174093.635	0.272	152154.530	0.118	7.663	-0.027
	설계도 좌표	174093.363		152154.412		7.690	
3+600	GPS 관측값	174153.632	0.217	152076.417	0.353	2.816	0.046
	설계도 좌표	174153.415		152076.064		2.770	
평균오차		$\frac{\sum x }{n} = 0.166$		$\frac{\sum y }{n} = 0.163$		$\frac{\sum z }{n} = 0.07$	



<그림 4.5> X방향에서의 편차

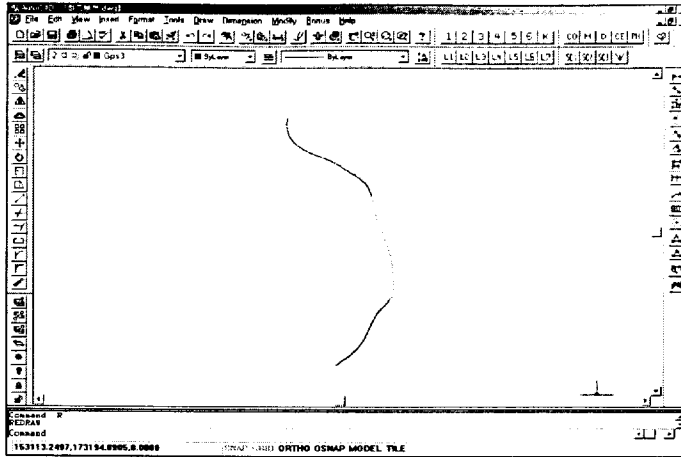


<그림 4.6> Y방향에서의 편차



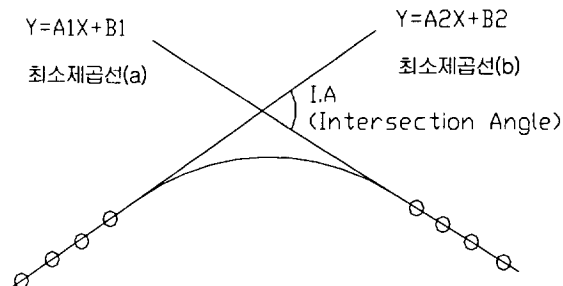
<그림 4.7> Z방향에서의 편차

4.3.1 평면선형 설계요소 추출



<그림 4.8> RTK에 의한 평면선형 궤적 추출

평면선형의 궤적은 GPS에서 취득된 평면좌표를 Auto CAD상에서 DWG파일로 변환시켜 <그림 4.8>과 같이 평면선형 궤적을 나타내었고, <그림 4.9>와 같이 최소제곱선을 이용하여 <표 4.3>과 같은 IP값을 도출하였다.



<그림 4.9> 최소제곱선을 이용한 IP 및 IA값 추출

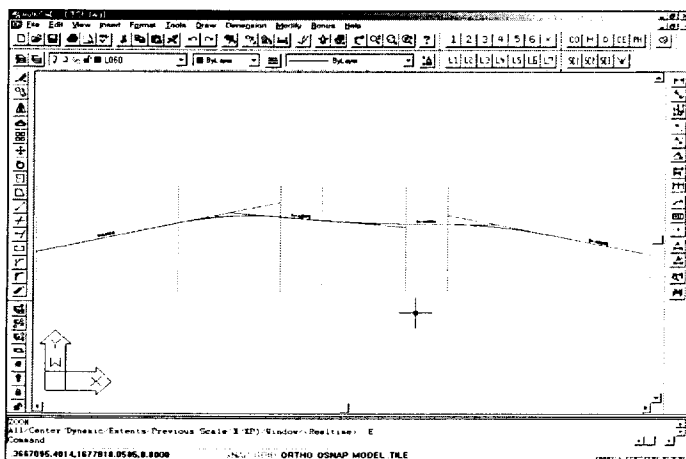
곡선반경인 R값을 구하기 위하여 GPS에 의해 관측된 도로 중심선의 좌표값이 최소제곱선 상에서 벗어나는 좌표점을 선택하여 두 최소제곱선상에 접하는 법선을 나타내어 두 법선이 교차하는 점을 구한 후에, 그 교차

점과 최소제곱선상의 접하는 좌표점과의 거리를 곡선반경 R로 판별할 수 있었다. 따라서, 이 원상에서 접하는 점선에서 교점인 BC와 EC값을 나타낼 수가 있었다.

<표 4.3> 설계도에 의한 IP값과 최소제곱법에 의한 IP값 비교

IP	X좌표			Y좌표		
	최소제곱법	설계도	X오차	최소제곱법	설계도	Y오차
1	173362.340	173361.000	1.340	152311.809	152312.000	-0.191
2	173493.784	173495.000	-1.216	152367.556	152367.900	-0.344
3	173566.862	173565.000	1.862	152431.612	152432.000	-0.388
4	173714.274	173716.000	-1.726	152417.967	152418.000	-0.033
5	173867.459	173872.000	-4.541	152365.369	152364.000	1.369
6	173977.639	173978.000	-0.361	152346.275	152346.000	0.275
7	174063.812	174064.400	-0.588	152227.908	152227.500	0.408

4.3.2 종단선형 설계요소 추출



<그림 4.10> RTK에 의한 종단선형 궤적 추출

종단선형의 궤적은 GPS에서 취득된 종단좌표를 CAD상에서 DWG파일로 변환시켜 <그림 4.10>과 같이 종단선형 궤적을 나타내었고, 여기서 VIP값을 추출하기 위하여 <표 4.3>에서 GPS에 의해 관측된 표고값을 가지고 <그림 4.9>와 같이 최소제곱선을 이용하였다.

따라서, 종단경사는 VIP값을 연결하여 그 기울기로 산출할 수 있었고, 종단곡선길어도 최소제곱선에 의해 추출할 수 있었다.

제5장 연구대상도로에 대한 위험요소 분석

5.1 대상도로에 대한 평면선형 위험요소 분석

실시간 GPS 측위방법으로 노선중심선을 측정하여, 그 자료를 이용하여 평면선형상에서 IP, BC, EC값과 곡선반경(R)을 추출하였다.

추출된 제원을 토대로 본 연구 대상지역인 남해안 ○○도로 확·포장 공사 일부구간에서 설계속도가 50km/h 구간에서 평면선형에서의 위험요소를 분석하였다. 분석한 결과는 <표 5.1>과 같다.

<표 5.1> 평면선형 위험요소 분석결과

설계 속도	평면선형요소	규칙값	위반 구간	내용
50km/h	최소평면곡선의 길이 <도로의 구조시설기준에 관한 규칙>	60.0m 이상	IP. 2	41.55m
			IP. 5	49.51m
	배향곡선사이의 직선길이 <RAS-L-1 (독일)>	100.0m 이상	IP. 1	1.9m
			IP. 2	58.6m
			IP. 3	20.8m
			IP. 6	33.9m
	같은 방향으로 복합되는 두원곡선의 반경 비교	큰원반경 ≤ 작은원반경 × 1.5	IP. 3	반경 120m
			IP. 4	반경 300m
			IP. 6	반경 120m
			IP. 7	반경 240m

<표 5.1>에서 「도로의 구조시설기준에 관한 규칙」이 제시하고 있는 설계속도는 50km/h에서 최소평면곡선길이의 규정사항은 60m이다. 본 선형에서 평면선형구간은 2개의 구간에서 위반이 나왔다.

또, 바람직한 곡선반경은 두 원곡선이 같은 방향으로 복합되어 있을 경우 큰 원의 반경이 작은 원의 반경의 1.5배 이하가 되도록 하는 것이 유리하지만, 본 노선의 4개 구간에서 위반되었다.

다른 방향의 곡선사이의 직선길이는 최소 100m 이상 제시하고 있으며, 본 평면선형에서는 4개 구간이 불량한 요소로 판별되었다.

5.2 대상도로에 대한 종단선형 위험요소 분석

설계속도가 50km/h인 본 연구대상지역에서 실시간 GPS 측위방법으로 노선중심선을 측정하여, 그 자료를 이용하여 종단선형에서는 VIP, 종단곡선장 그리고 종단경사값을 추출하여 위험요소를 분석하였다. 분석 결과는 <표 5.2>와 같다.

<표 5.2> 종단선형 위험요소 분석결과

설계 속도	종단선형요소 <도로의 구조시설기준에 관한 규칙>	규칙값	위반구간	내용
50km/h	종단경사	7.0% 이상	VIP(STA.2+660 ~STA.2+940)	8.98%
	최소종단곡선변화비율 (블록형종단곡선)	10.0m/% 이상	VIP(STA.2+940)	9.5m/%

<표 5.2>에서는 「도로의 구조시설기준에 관한 규칙」에서 제시하고 있는 종단곡선 변화비율의 규정사항에서는 종단경사의 규정치가 7% 이하가 되어야 하는데, 본 연구 노선에서는 1개 구간에서 위반되었다.

또한, 최소종단곡선 변화비율이 블록형 종단곡선에서는 10m/% 이상이지만, 본 선형에서 최소종단 변화비율은 1 구간에서 위반되었다.

5.3 대상도로에 대한 입체선형 위험요소 분석

설계속도가 50km/h인 본 연구대상지역에서 실시간 GPS 측위방법으로 노선중심선을 측정하여, 그 자료를 이용하여 평면선형과 종단선형을 추출하여 입체선형을 분석하였다. 분석 결과로는 <표 5.3>과 같다.

<표 5.3> 입체선형 위험요소 분석결과

분석대상	검토내용	검토구간
종단곡선과 평면곡선의 조화	종단곡선의 고점부나 저점부에 평면배향곡선의 변곡점을 두는 것을 피할 것	VIP(STA.2+660)
		VIP(STA.2+940)
		VIP(STA.3+100)

<표 5.3>에서 종단곡선과 평면곡선의 조화가 안전주행에 필수적인 사항인 것에 비추어 볼 때, 종단곡선의 고점부나 저점부에 평면 배향곡선의 변곡점을 두는 것은 위험요소를 내포하고 있으며, 본 연구 노선에서는 3개 구간에 입체선형이 불량인 것으로 분석되었다.

제6장 결론

GPS RTK를 이용한 도로선형 위험요소를 분석하기 위하여 도로선형설계에 있어서 안전주행에 필요한 선형설계의 제요소를 분석하고, 현재 시공 중인 남해안 ○○도로 확·포장 공사 일부구간에서 GPS에 의한 Real Time 측량방식으로 도로중심선에 대하여 측량하여 분석한 결과 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 실시간으로 관측된 자료를 이용하여 평면 및 종단선형구간에서 제시된 규정값에 대하여 위반되는, 주행안전에 필수적인 결정요소를 도출할 수 있었다.
- 2) GPS RTK로 도로 중심선을 관측한 결과 설계 제원상에서 제시된 선형제원과 가까운 값을 취득할 수 있었다.
- 3) 앞으로 도로안전시설물의 위치선정 및 준공검사에서 효율적으로 사용할 수 있는 방법으로 판단되고, 위반되는 구간에서는 주행속도를 제한하는 근거를 마련할 수 있다.
- 4) 설계도가 소실된 교통사고 다발지역에서 이와 같은 방법으로 선형을 제시하여 위반되는 구간에서도 주행속도를 제한할 수 있는 근거를 마련할 수 있다.

참고문헌

1. 건설교통부, “도로시설기준령”, 건설교통부, 1995. 12 pp. 183~311.
2. 건설부, “도로구조·시설기준에 관한 규정”, 건설부, 1990.
3. Glennon, J.C., “State of the Art Related to Safety Criteria for Highway Curve Design”, Texas Highway Department. Report 134-4, 1971.
4. Glenoon, J.C. and Weaver, G.D., “The Relationship of Vehicle Paths to Highway Curve Design”, Texas Highway Department., Report 134~5, 1971.
5. Oglesby C. H., “Highway Engineering(3rd)”, John Wiley & Sons, 1975, pp. 236~248
6. 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, 1981, pp313-317.
7. AASHTO, “A policy on Geometric Design of Highway and Stress”, 1990, pp 219~240.
8. 강정규, “고속도로의 기하구조가 교통사고 발생에 미치는 영향에 관한 연구”, 서울대학교 환경대학원 석사학위논문, 1985, pp.109~113.
9. 원문철, 노관섭, 이강재, “교통사고와 도로의 기하학적 조건과의 관계”, 한국건설기술연구원, 1989. pp.118~121.
10. 韓國道路公社, “道路設計要領(第1圈)”, 韓國道路公社, 1992, pp.144~158.
11. 김연복외 10인, “도로교통운영개선 실무서”, 한국건설기술연구원, 1993. pp.476~488.
12. 남궁문, “도로운전자의 차간거리 인지실험 및 그 특성”, 대한토목학회, 1994. pp.999~1011.
13. 박도병, “국도24호선과 국도35호선 도로선형에 관한 연구”, 울산대학교

- 대학원 석사학위논문, 1995. pp.46~53.
14. 심원보, “도로설계에 있어서 횡방향 마찰계수 적용에 관한 연구”, 부산
공업대학교 산업대학원 석사학위논문, 1996. pp.52~53.
 15. 김경석, 진광성, “도로의 기하구조와 안전성의 상호관계분석연구”, 국
토개발연구원, 1996. pp.111~114.
 16. 이성우, “주행안전을 고려한 도로의 선형설계에 관한 연구”, 부경대학
교 산업대학원 석사학위논문, 1997. pp.65~66.

감사의 글

많이 부족하고 모자란 저의 논문이지만, 그래도 열심히 했다는 자부심과 더욱더 열심히 했더라면 하는 후회스러움이 교차합니다.

지난 2년여 동안 바쁘고 힘들었던 시간들이었지만, 항상 부족한 저에게 끊임없는 격려로서 응원해주신 여러분들로 인해 결실을 맺을 수 있었습니다.

먼저, 바쁘신 와중에서도 학문적으로 인격적으로 성심 성의껏 가르침을 주신 지도교수 이종출 교수님께 머리숙여 감사 드립니다.

그리고, 본 논문의 심사과정동안 많은 지도편달을 해주신 김명식 교수님, 이종섭 교수님께 감사 드립니다.

그 동안 학업중에 여러모로 도움을 주신 김상용 교수님, 김종수 교수님, 손인식 교수님, 장희석 교수님, 이동욱 교수님, 이영대 교수님, 정진호 교수님, 이환우 교수님, 정두희 교수님, 국승규 교수님, 이상호 교수님께도 깊은 감사의 마음을 전합니다.

또한, 강의시간 틈틈이 시간을 내어 많은 도움과 충고를 해주신 서동주 선배님, 서정훈 선배님, 노태호 선배님, 장호식 선배님과 강성원, 김진수, 왕정환 후배님께도 감사의 마음을 전합니다.

마지막으로 바쁜 와중에도 학업에 열중하게 해주신 박희식 이사님과 이형국부장님 이하 회사동료 여러분과 삼영건설기술공사의 홍순현 소장님 이하 여러분, 존경하는 부모님과 형님들 그리고 정분이에게도 감사의 마음을 전합니다.