

측위위성자료를 활용한 터널 내 평면선형 추출기법 개발

Development of Extracting Method of Horizontal Alignment in a Tunnel Using Positioning Satellite Data

김진수*·장호식**·이종출***

Kim, Jin-Soo · Jang, Ho-Sik · Lee, Jong-Chool

要 旨

도로는 인류와 더불어 발전하여 근대화 되어왔고, 생산과 유통 등 경제적으로나 정치적 문화적으로도 중요한 기능을 하고 있으며, 교통체계 중에서 특히 우리의 생활에 중요한 교통시설이다. 그러나, 건설위주의 국가정책으로 인해 도로 시설물 관리가 과학적이고 체계적으로 수행되지 못하고, 기존 도로의 설계도가 훼손·분실되어 도로의 유지관리 차원에서 어려운 점이 많다. 이러한 경우, 기존의 측량방식으로 도로의 선형을 재현하기란 상당한 기간이 소요되며, 교통의 통제 등 많은 어려움이 따른다. 또한 도로 중심선의 3차원 좌표를 신속히 추출하기 위하여 위성측량방법을 이용할 경우, 터널과 같은 지역에서는 가시위성의 확보가 어려워 관측이 되지 않는다. 따라서, 본 연구에서는 DGPS(Differential GPS)방법을 이용하여, 도로의 중심선 3차원 위치자료를 취득함과 동시에, 이러한 자료를 바탕으로 자료 취득이 불가능한 터널 내에서의 평면선형을 추출하고, 기존 설계도의 선형과 비교함으로써, 도로선형자료의 갱신과 유지관리 차원에서 앞으로 도로관리통합시스템을 구축하는데 있어서 도로선형 및 도로시설물의 위치를 효과적으로 관리·이용하는데 기여하고자 한다.

Abstract

Roads have been developed throughout the history of mankind, and play a significant role among many traffic facilities for the economy, politics and cultures of our lives. However, the management of roads has not been fully scientific or systematic due to governmental policies focused on construction, resulting in damages, and the loss of drawings for existing roads. In this case, it is difficult to manage roads using normal cadastre due to its time consuming work. And, when applying satellite surveying to rapidly extract the centerline of roads, it is impossible to obtain data about the status of internal tunnels. Therefore, this study can be used to extract optimum alignment data of tunnels using the data from satellite surveying, and is a practical paper which can contribute to efficient management and usage of alignment data and road facilities in establishing a HMS(Highway Management System) for the renewal and management of the alignment data of roads, by comparing the data from satellites with the alignment data in existing drawings.

1. 서 론

오늘날 경제발전과 자동차의 급격한 증가에 따른 교통수요의 증가로 인해 국도의 확장 및 개조, 지방산업개발을 위한 도로의 신설 등 도로에 관련된 많은 사업이 진행 중에 있다. 그러나, 그동안 건설위주의 국가정책으로 인하여 시설물관리가 체계적으로 수행되지 못하여 기존도로의 설계도가 없는 경우가 많고, 이러한 경우 설계도를 재현하기 위한 작업이 이루어져야 한다.

또한, 도로 교통이 고속화되면서 선형불량에 따른 안

전사고가 증가함에 따라 기존도로의 선형요소 검출이 필요하게 되었고, 1990년대 후반부터 위성측량방법을 이용하여 선형을 재현하려는 연구가 수행되었다¹⁾. 정적측위기법에 의해 추출된 중심선 3차원 좌표를 이용하여 평면선형을 재현하는 연구²⁾와 RTK GPS에 의한 평면선형³⁾ 및 도로 편경사 분석⁴⁾, 위성자료를 이용한 도로에서의 위험요소를 분석⁵⁾ 등과 같은 기존도로의 선형을 재현하기 위한 많은 연구가 수행되었으며, GPS/GLONASS 조합으로 도로 관측시 가시위성의 확보를 향상시키기 위한 연구⁶⁾도 수행된 바 있다.

* 정희원, 부경대학교 토목공학과 박사과정 (pkurveying@mail1.pknu.ac.kr)

** 정희원, 부경대학교 토목공학과 박사수료 (gpsjhs@mail1.pknu.ac.kr)

*** 정희원, 부경대학교 건설공학부 교수, 공학박사 (jcllee@pknu.ac.kr)

그러나, 이상의 연구들은 개활된 도로 환경에서만 적용 가능하며, 오늘날 도로를 신설하거나 기존도로의 효율적 이용, 교통의 가속화 등으로 인해 많이 건설되고 있는 터널, 방음벽과 같은 가시위성의 확보를 저하시키는 도로 시설물이 설치된 구간에서는 적용하기가 사실상 어렵다.

따라서, 본 연구에서는 위성측량방법 중 DGPS 기법을 이용하여 도로의 중심선 3차원 위치자료를 취득하고, 이러한 자료를 바탕으로 가시위성의 확보가 불가능한 터널 내 평면선형을 결정하기 위한 방법을 제시하였다.

2. 도로의 평면선형

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

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

이와 같이 평면곡선부를 주행하는 자동차에 작용하는 힘의 요소들에 대하여 주행의 안전과 쾌적을 확보할 수 있도록 횡방향미끄럼마찰계수와 편경사의 값으로 설계 속도에 따른 최소 평면곡선반경을 산정하게 된다. 이때 직선부에서와 같이 안전하고 쾌적한 주행이 가능하도록

횡방향미끄럼마찰계수와 편경사의 값을 결정하게 되므로 두 요소는 주행의 안전과 쾌적에 가장 큰 영향을 미치는 기본적인 요소라 할 수 있다.

2.1 평면곡선반경

차로의 곡선부의 곡선반경은 클수록 도로선형은 양호하나, 지형 여건상 크게만 하는 경우 도로선형의 전체적인 균형이 잡히지 않고, 경제성이 결여될 수도 있다.

따라서, 자동차의 물리적 운동에 안전을 유지할 수 있는 범위 내에서 최소값을 정해두고, 최소값 이상 적용할 수 있는 경우에는 지형 여건에 적합하게 전체적인 균형이 유지되도록 설계함이 이상적이라 할 수 있다. 현재 우리나라의 경우에는 표 1에서 나타난 설계속도에 따른 최소곡선반경을 적용하여 도로설계를 하고 있다.

표 1. 최소곡선반경⁷⁾

설계속도(km/hr)	최소곡선반경(m)
130	1,200
120	900
110	600
100	400
90	320
80	260
70	200
60	150
50	100
40	70
30	40

2.2 전국 도로 등급별 터널 현황

오늘날 터널은 자동차 주행에 적합한 종단경사 확보 또는 환경을 보전하기 위하여 건설되어지게 되었으며,

표 2. 전국 도로 등급별 터널 현황

(단위 : m)

합 계	합 계		고속국도		일반국도		특별·광역시도		지방도		시도	
	개 소	연 장	개 소	연 장	개 소	연 장	개 소	연 장	개 소	연 장	개 소	연 장
	397	239,904.7	170	100,643.0	101	55,423.2	76	57,695.2	29	18,264.8	19	7,627.5
서울특별시	47	30,515.5	2	1,265.0	4	1,386.0	41	27,864.5	-	-	-	-
부산광역시	33	28,972.7	-	-	2	802.0	31	28,170.7	-	-	-	-
대구광역시	11	7,914.0	9	7,174.0	-	-	2	740.0	-	-	-	-
대전광역시	18	10,912.0	16	9,992.0	-	-	2	920.0	-	-	-	-
경 기 도	81	44,891.7	38	24,972.0	28	11,943.7	-	-	6	3,027.0	9	4,949.0
강 원 도	54	38,355.5	27	22,411.0	18	9,966.0	-	-	5	5,152.0	2	539.5
충청북도	16	9,354.5	8	3,422.0	8	5,932.5	-	-	-	-	-	-
충청남도	10	5,261.0	2	1,380.0	6	3,290.0	-	-	2	591.0	-	-
전라북도	16	7,860.8	5	2,879.0	5	2,192.0	-	-	4	2,320.8	2	469.0
전라남도	40	19,179.0	24	10,239.0	10	7,231.0	-	-	1	500.0	5	1,209.0
경상북도	36	17,129.0	17	8,759.0	10	6,381.0	-	-	9	1,989.0	-	-
경상남도	35	19,595.0	22	8,150.0	10	6,299.0	-	-	2	4,685.0	1	461.0

목적의 광범위화와 더불어 그 수요도 계속적으로 증가하고 있다. 그리고, 환경보전에 대한 예측과 대책이 가능하고 유지관리가 용이하도록 시공되고 있다.

현재, 전국 도로별 터널 현황은 표 2에 나타내어진 바와 같으며, 이러한 터널은 선형에 있어서 평면선형은 가능한 직선으로 계획하되 곡선으로 할 경우 터널 내 정지시거를 고려하여 큰 반경의 곡선으로 계획하여야 하며, 평면선형과 중단선형은 상호 연계하여 조화되도록 계획하여야 한다.

3. 현장관측 및 결과

3.1 관측대상지역

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

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



그림 1. 관측대상지역 위치도

3.2 관측장비제원

관측에 사용된 장비는 가시위성의 수를 최대한 증가시키기 위해, GPS 위성과 GLONASS 위성의 신호를 모두 수신할 수 있는 JAVAD 사에서 제조된 장비를 사용하였으며, 장비의 제원은 표 3과 같다.

3.3 관측시스템 구성

관측시스템은 부경대학교 내에 있는 기지점에 먼저 기지국을 설치하고, 그림 2와 같이 이동국은 차량에 일체식으로 탑재하여 편도2차로 도로의 1차로를 주행하면서, 기존 도로의 3차원 자료를 1초 간격으로 취득하였다.

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

이 경우 도로의 중심선의 측정위치는 중심선상에서 1.7m Offset되어 측정되어지나, 좌표계산시 X, Y방향으로 Offset량을 감하여 산출하였다. 약 50km 구간을 관측하는데 90분이 소요되었으며, 부경대학교에 설치된 기지국 및 수신기를 차량에 일체식으로 탑재한 모습의 그림은 그림 3 및 그림 4와 같다.

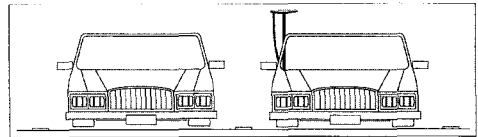


그림 2. 관측시스템 모식도

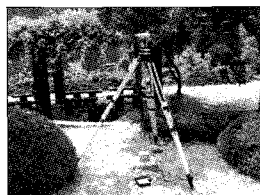


그림 3. 관측시스템 중 기지국의 모습

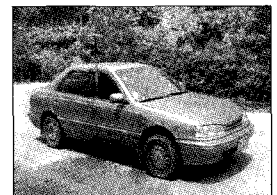


그림 4. 관측시스템 중 이동국의 모습

표 3. 관측장비제원

Tracking Specification			Performance Specification	
Tracking	Signals Tracked	Measure Mode	DGPS mode	
			H	V
40 L1 channels, 20 L1+L2 channels GPS/GLO (optional)	L1/L2 (L1-C/A &L1/L2 Full Cycle Carrier, P1/P2)	Static Kinematic RTK DGPS	10mm+1.5ppm (×Base) for 2 freq.	20mm+1.5ppm (×Base) for 2 freq.

3.4 관측결과

3.4.1 위성의 가시성

본 연구에서는 약 50km 구간의 도로 중심선 자료를 취득함에 있어서 최대한의 가시위성 확보를 위하여 GPS와 GLONASS의 신호를 모두 수신할 수 있는 수신기를 사용하였으며, 관측시의 측정별 GPS와 GLONASS 위성의 추적 분포와 위치 정밀도 저하율(PDOP)을 나타내면 그림 5, 그림 6과 같다.

그림 5에 나타난 바와 같이, 전체 구간에서 8개 이상의 위성신호를 수신할 수 있었으며, 대부분의 구간에서 9개 이상의 위성신호를 수신할 수 있었다.

또한, 그림 6에 나타난 바와 같이 모든 자료에서 정밀도 저하율이 3.0 이하로 나타났다.

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

의 배치상태를 알아낼 수가 없었다.

3.4.2 자료 취득률

본 연구에서 관측자료의 취득률은 전체 대상구역의 노선길이 대한 관측되지 않은 구간의 길이로 나타내었다. 표 4는 대상구역내에서 취득된 자료수와 대상 도로의 길이를 나타낸 것이다.

표 4. 자료취득률

구 분	취득된 자료수	길이(km)	자료취득률(%)
자료취득구간	4,695	49.88	89.8
터널 구간	0	5.02	9.0
방음벽 구간	0	0.65	1.2

4. 터널 내 평면선형결정

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

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

4.1 터널 내 평면선형 I.P 추출

터널 내의 선형은 일반 도로의 선형보다는 교통사고의 위험 등으로 인해 선형이 대체로 단조로운 특성을 지닌다. 이러한 특성을 고려해 볼 때, 대상 터널의 시점과 종점부에 각각 원곡선이 설치된 것을 감안하여 「부경대학교 측량 및 지형공간정보연구실」에서 FORTRAN으로

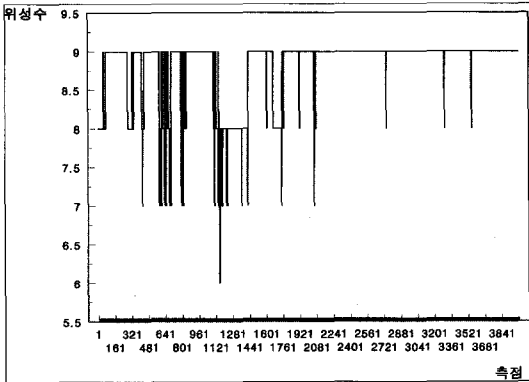


그림 5. 측정별 가시위성수

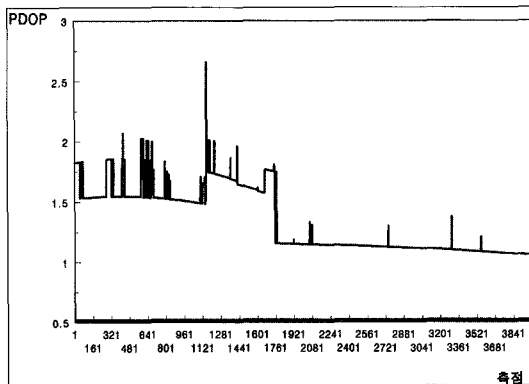


그림 6. 측정별 위치 정밀도 저하율

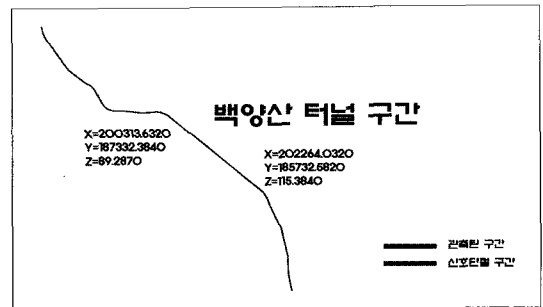


그림 7. 관측대상구간 중 터널 설치 구간

표 5. 추출된 터널 시·중점부 선형제원과 설계도의 설계제원의 비교

구 분		추출된 선형제원		설계도에 의한 선형제원		비 고	
		X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$
I.P 3	I.P 좌표	187423.19	200196.22	187,424.40	200,190.85	1.21	5.37
	반경 R	503.5364m		500m		3.5364m	
I.P 5	I.P 좌표	185672.43	202541.28	185,680.51	202,539.67	8.08	1.61
	반경 R	704.8726m		700m		4.8726m	

표 6. 추출된 터널 내 I.P 좌표와 설계도의 I.P 좌표의 비교

구 분	추출된 터널 내 I.P 좌표		설계도의 터널 내 I.P 좌표		비 고	
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	$\Delta X(m)$	$\Delta Y(m)$
I.P 4	187186.26	200679.78	187171.52	200674.58	3.26	5.2

개발된 선형분석 Program을 사용하여 시점과 중점부의 설계제원을 추출하였다. 추출된 설계제원과 설계도의 설계제원을 비교해 보면 표 5와 같고, 관측된 구간과 신호 단절 구간은 그림 7과 같다.

이렇게 결정된 터널 시·중점부 선형제원과 관측자료를 이용하여 터널 내의 I.P를 추출하였으며, 추출된 터널 내 I.P 좌표와 설계도의 I.P 좌표를 비교하면 표 6과 같다.

4.2 터널 내 평면선형 추출

이렇게 추출된 I.P를 바탕으로 먼저 교각(I)를 계산하고 터널 내에 존재하는 곡선장(CL)을 100m, 200, 300, 400, 500m로 가정하여 접선장(TL)을 결정하였다. 그리고 이렇게 결정된 접선장(TL)로 곡선반경(R)을 계산하였으며, 계산된 제원들은 표 7과 같다.

표 7에서 나타난 바와 같이 결정된 터널 내 I.P4에서는 X, Y 방향별로 3.2~5.2m의 오차가 나타났으나, 평면선형 결정시 1/1,200 도면에 의한 좌표계산시 5m(8) 정도의 정확성을 유지하는 것을 고려한다면 선형의 양부를

표 7. 추출된 대상구간의 설계제원

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

판단하는 선형분석에서는 실용성이 있다고 판단된다.

이와 같은 제원들을 바탕으로 곡선장에 따른 도로의 선형을 제시해 보면 그림 8~그림 12와 같다.

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

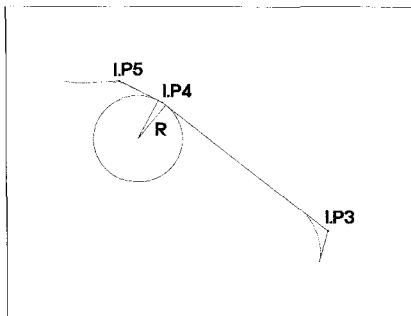


그림 8. CL(곡선장)=100 일 경우 평면선형

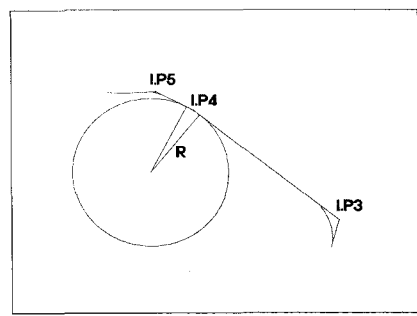


그림 9. CL(곡선장)=200 일 경우 평면선형

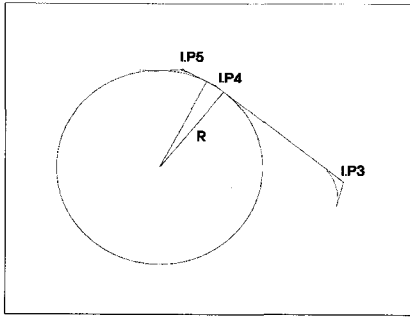


그림 10. CL(곡선장)=300 일 경우 평면선형

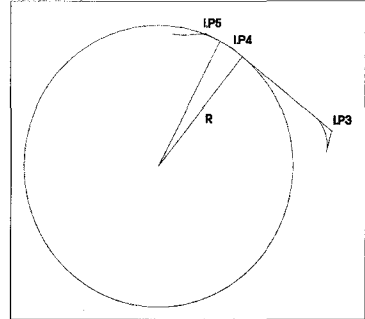


그림 12. CL(곡선장)=500 일 경우 평면선형

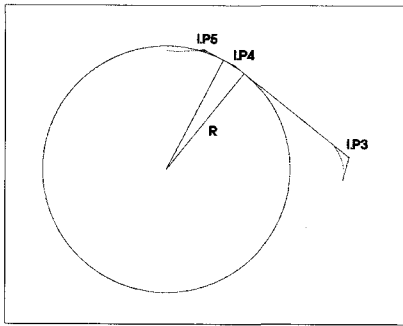


그림 11. CL(곡선장)=400 일 경우 평면선형

4.3 결과 및 분석

이렇게 결정된 평면선형을 설계제원의 선형자료와 100m 간격으로 36개의 측점에 대하여 비교해 보면 표 8과 같으며, 그림 13은 설계제원에 의해 재현된 평면선형을 나타내며, 그림 14는 추출된 제원에 의해 재현된 평면선형을 보여준다. 그 결과 방향별 RMSE는 X방향으로 1.642m, Y방향으로 1.283m로 나타났으며, 수평위치에 있어서는 평균 1.707m의 차이를 나타내었다. 본

연구는 터널 내 I.P가 1개소 있는 경우에 적용할 수 있는 기법이며, I.P가 2개소 이상 있을 경우에는 다른 기법을 적용해야 한다. 그런데 터널 내 I.P가 2개소 이상 있는 경우는 극히 드문 사례이다.

5. 결 론

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

1. 가시위성을 확보하기 위해 GPS와 GLONASS 위성신호를 수신한 결과, 대부분의 대상구간에서 9개 이상의 위성신호를 수신할 수 있었으며, PDOP도 2.5이하의 양호한 분포를 보였다.
2. 터널 시종점 부근의 원곡선을 이용하여 터널 내의 I.P를 추출한 결과, 설계제원의 I.P와 3.2~5.2m의 차이를 보였으며, 이는 선형의 양부를 판단하는 선형분석에서는 실용성이 있다고 판단된다.

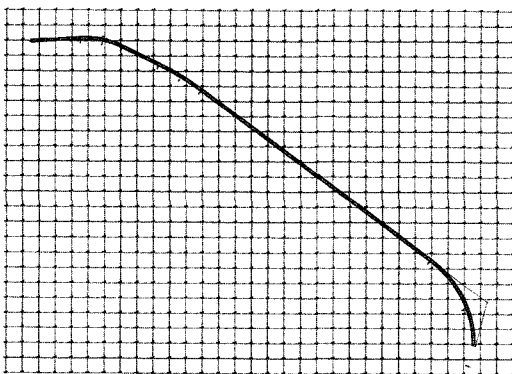


그림 13. 설계제원에 의해 재현된 평면선형

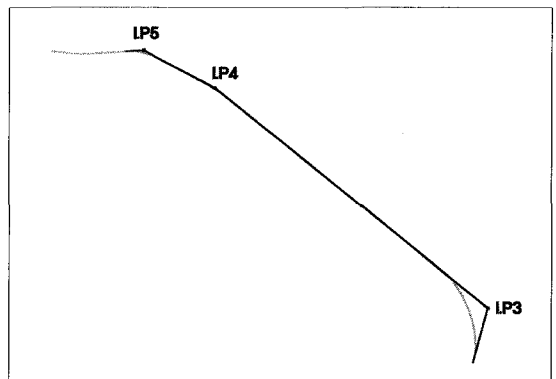


그림 14. 추출된 설계제원에 의한 평면선형

3. 결정된 I.P에서의 교각을 계산하고, 곡선장(CL)을 100m간격으로 변화시켜서 그에 따른 곡선반경(R)을 계산한 결과, 곡선장이 200m일 때 가장 양호한 선형을 추출할 수 있었으며, 선형추출의 한 방법을 제시하였다.
4. 결정된 평면선형을 설계제원의 선형자료와 100m간격으로 비교해 본 결과, 방향별 RMSE는 X방향으로 1.642m, Y방향으로 1.283m로 나타났으며, 수평위치에 있어서는 평균 1.707m의 차이를 나타내었다.
5. 본 연구에서 제시한 방법을 이용한다면, 도로 선형자료의 갱신과 유지관리 차원에서 앞으로 도로통합관리 시스템을 구축하는데 있어서 도로 선형 및 도로시설물의 위치를 효과적으로 관리·이용할 수 있을 것으로 판단되며, 터널 내 I.P가 2개소 이상 있을 경우에는 다른 기법을 적용해야 하나, 이 경우는 극히 드문 사례이다.

참고문헌

1. Glennon, J.C., 1971, "State of the Art Related to Safety Criteria for Highway Curve Design", Texas Highway Department Report 134-4.
2. 임삼성, 노현호, 1999, "GPS측량성고를 이용한 NAHMIS 도면의 좌표부여", 한국측지학회지, 제17권, 제35호, pp. 205-211.
3. 이종출, 2001, "동적 GPS관측에 의한 도로의 평면선형 분석", 한국측량학회, 제19권, 제1호, pp. 39-45
4. 서동주, 장호식, 이종출, 2002, "GPS 실시간 동적측위법을 이용한 도로 편경사 추출", 한국측량학회지, 제20권, 제2호, pp. 183-190.
5. 장호식, 서동주, 이종출, 2002, "RTK GPS를 이용한 도로선형 위험요소분석에 관한 연구", 한국지형공간정보학회지, 제10권, 제1호, pp. 67-76
6. Roh, T.H., Seo, D.J., and Lee, J.C., 2003, "An Accuracy Analysis for Horizontal Alignment of Road by the kinematic GPS/GLONASS Combination", KSCE Journal of Civil Eng., Vol. 7, No. 1, pp. 73-79.
7. 건설교통부, 2000, "도로 구조·시설기준에 관한 규칙".
8. 강재수, 1998, "도로의 계획과 설계", 도서출판, 도우엔지니어즈, pp. 134-135.

(접수일 2003. 3. 29, 심사 완료일 2003. 4. 23)

