

## 수치영상을 이용한 도로평면선형 추출

### Extraction of Road Horizontal Alignment Using Digital Imagery

이종출<sup>1)</sup> · 강인준<sup>2)</sup> · 김남식<sup>3)</sup> · 서동주<sup>4)</sup>

Lee, Jong Chool · Kang, In Joon · Kim, Nam Sik · Seo, Dong Ju

<sup>1)</sup> 부경대학교 공과대학 건설공학부 교수(E-mail:jclee@pknu.ac.kr)

<sup>2)</sup> 부산대학교 공과대학 토목공학과 교수 (E-mail:ijkang@pusan.ac.kr)

<sup>3)</sup> 창원전문대 지적정보과 조교수 (E-mail:nskim@changwon-c.ac.kr)

<sup>4)</sup> 부경대학교 대학원 토목공학과 공학박사 (E-mail:dpsdj@mail1.pknu.ac.kr)

#### Abstract

Data acquired from digital Imagery were processed via Delphi, an object-oriented programming language to develop a computer aided program, that allows us to build up the information on road horizontal alignment(BC, EC, R, IP). And the developed program could maximize the visual effects better than traditional programs, because it used many image data. Comparing with data from traditional horizontal alignment extraction programs based on the principle of least square method, the data acquired by horizontal alignment information and kinematic GPS out of the developed road information systems showed the enhanced accuracy of IP value up to about 2m in the direction of X, Y axes, where the accuracy of curve radius(R) becomes enhanced up to about 2.5 m.

## 1. 서 론

도로는 현대생활에서 필수적인 사회간접시설물이며, 국가 지하시설물의 공간적인 기능과 도시거주환경의 형성 및 방재 공간으로 활용하고 있는 다목적 국가시설물이다.(이종출, 2001)

또한 현재는 교통량 증가에 대비하고 도로교통에 대한 안전을 도모하기 위하여, 도로 확·포장 공사가 많이 진행되고 있다. 이러한 과정에서 시공된 지 오래된 도로 또는 관리부서로 이관되는 과정에서 중요한 기초 자료들이 훼손되거나 분실되는 경우가 있다. 따라서 기초자료가 없는 도로 경우 기초자료를 획득하는데 많은 시간과 비용이 소모되므로 수치영상으로 도로유지관리차원에서 도로정보획득 및 도로정보수집에 관한 연구가 진행되고있다.(Gillieron 등, 2001)

Habib.A(2000)은 mobile mapping 연속영상의 표정 및 조정의 자동화에 대하여 연구하였고, 여기서는 VISAT(Video Inertial SATellite)라는 시스템에서 연속영상을 취득하였다. 그리고 연속영상을 92-98%정도의 중복촬영을 했으며, 표정과 조정을 자동화하여 3차원 도로의 위치를 취득하였으며, Ellum(2001)등은 Mobile Mapping System을 이용하여 CCD, IMU(Inertial Measuring Unit), GPS 차량을 측정된 자료의 연결과 그리고 연속적인 영상 매칭, 시스템 개발등을 연구하여 대상물과의 20m 이격거리에서 25cm정도의 정확도를 획득하였다. 그리고 도로의 자료획득과 획득된 자료들의 관리체계를 연구한 Joao(2001)등이 있다.

따라서 본 연구에서는 수치영상을 이용하여, 설계자료가 없는 도로에서 3차원적인 위치정보를 취득하여, 도로 유지관리차원에서의 도로 시각적 효과를 증대시킬 수 있는 도로평면선형을 추출하고자한다. 그리고 도로평면선형의 정보를 객체 지향적인 언어인 Delphi를 이용하여 추출하는 프로그램을 개발하였으며, 일련의 과정들은 그림1에서와 같이 수행하였다.

이런 도로평면선형의 추출의 개발로 인해 도로정보를 손쉽게 취득하여 자료화하고, 도로유지관리와 안전한 운행에 기여하리라 판단된다.

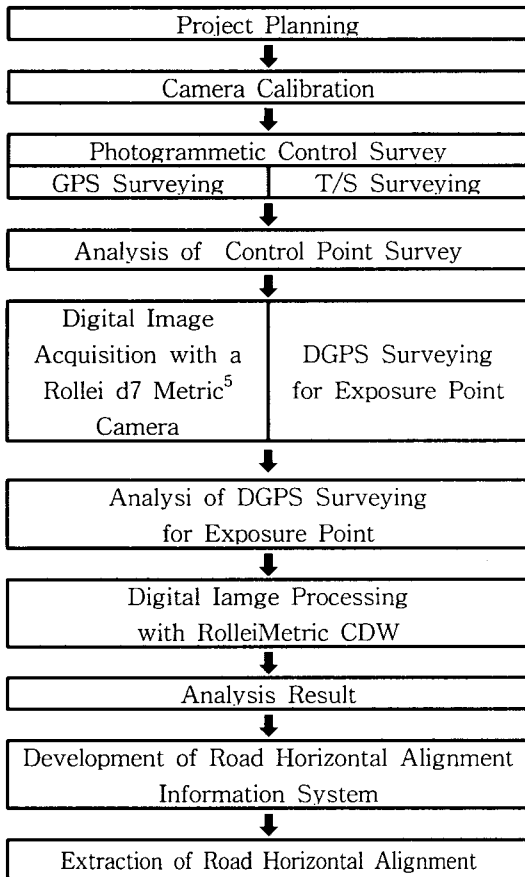


그림 1. 연구 흐름도

## 2. 수치영상의 다중영상표정 이론

다중영상정합의 표정(orientation)이란 여러 다른 사진들과 대상물에 관련된 각 사진의 카메라 위치( $X_c, Y_c, Z_c$ )와 회전요소( $\omega, \varphi, \kappa$ )에 대한 계산이며, 표정점에 대한 대상물 좌표를 계산하는 것으로서 내부표정과 외부표정으로 구분할 수 있다.

내부표정은 카메라의 내적인 특성을 나타내는 것으로 주점의 위치( $X_0, Y_0$ )와 주점거리( $cK$ )를 결정하는 것이고, 외부표정은 카메라 시스템과 대상물 공간사이의 관계를 나타내는 것으로 카메라 외부투영 중심으로 절대좌표계  $X, Y, Z$ 에 관계되는 촬영점 좌표  $X_c, Y_c, Z_c$ 에 의해 표현되며, 절대좌표에 관계되는 사진좌표축의 각회전  $\omega, \varphi, \kappa$ 를 알아야 한다. 상-대상물 관계를 정의함에 있어서 기본적으로 외부표정요소는 좌표변환이며, 표정각  $\omega, \varphi, \kappa$ 는 사진좌표계와 절대좌표계 사이에서의 회전변환을 말한다.(Kraus,1997)

다중영상정합에서는 표정을 위해 공간 전방교회법(space intersection)과 공간 후방교회법(space resection)을 동시에 이용하며, 표정점의 사진지표와 스케치에 의해 입력된 대략의 외부표정요소, 자체검정에 의한 카메라의 내부표정요소와 사진의 정확한 외부표정과

표정점의 대상물 좌표를 계산하기 위한 대상물 좌표체계결정을 이용한다.

공간 전방교회법은 광속이 3차원 공간에서 교차하는 것을 기초로 하는 사진측량학적인 계산방법으로 두 장의 사진에 대한 외부표정과 사진좌표로부터 공통된 대상물의 표정점을 계산하고 이와 관련해서 정확한 외부표정을 결정하는 것이며 그림 2에서 나타낸 것과 같다.

공간 후방교회법은 이미 알고 있는 위치와 일치하는 지점에서 적어도 3개의 기지방향으로 교차시키므로써 공간 위치를 결정하는 것이며, 기지의 대상물 좌표와 적어도 3개의 표정점의 사진 좌표로부터 어떤 사진의 외부표정을 결정하는 방법으로써 이는 그림 3과 같다.(이칠우,2000)

공선조건에 만족하기 위하여 대상물 좌표체계 결정에 이용된 표정점은 표정 순서에서 최소 3장의 사진에 나타나야 하며, 맨 처음 두 장의 사진은 공간 전방교회법으로 모델 좌표를 계산하게 된다. 두 장의 사진방향은 3차원 공간에서  $60\sim 90^\circ$ 의 각도가 이루어지도록 하고 대상물 전역에 골고루 분포되어 있는 최소 7개의 표정점을 갖고 있어야 하며, 공간 후방교회법의 계산을 위하여 각 표정 순서에서 이미 알고 있는 3개의 표정점이 적어도 3장의 사진에 나타나야 한다. 그리고 결과값에 대한 정확도를 미리 고려하여 사진의 표정 순서를 결정하여 그에 대한 영향을 최소화해야 한다.

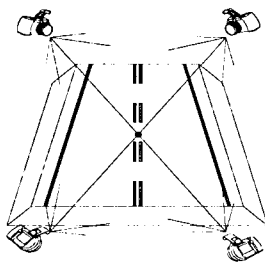


그림 2. 공간전방교회법

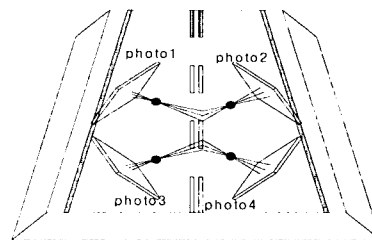


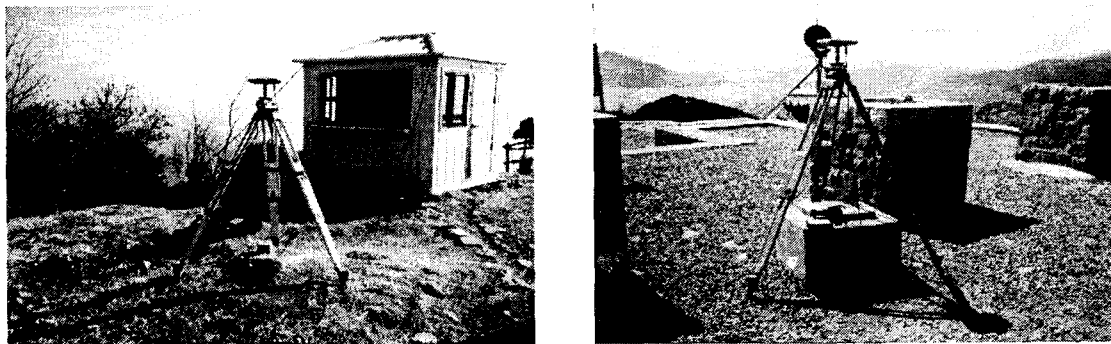
그림 3. 공간후방교회법

### 3. 수치영상을 이용한 도로중심선 측량

#### 3.1 기준점 측량 결과 및 분석

본 연구에서는 대상지역 지상기준점의 정밀한 측량을 위하여 근교에 있는 두 개의 삼각점  $\Delta 309$ 와  $\Delta 422$ 를 이용하여 GPS 정적측위방법으로 10초씩 1시간 관측을 실시하였으며, 두 삼각점에 설치된 GPS의 모습은 그림 4와 같다. 기준점 관측과 사진 촬영점의 위치를 관측하기 위한 수신기는 JAVAD사의 GPS 수신기를 사용하였으며, 이 수신기는 L1/L2 C/A 코드와 P코드 및 반송파 위상을 수신할 수 있는 장비이며, 그리고 제원은 표 1과 같으며 그림 5는 장비의 모습이다.

두 개 삼각점을 고정점으로 하여 대상지역에 2점(B43, B47)의 관측시 위성수는 평균 5개 이상이 관측되었고, PDOP는 2~4값이 나와 안정된 관측을 하였다. 그리고 B43의 기준점인 경우  $\sigma_x = 20.1\text{mm}$ ,  $\sigma_y = 16.1\text{mm}$ ,  $\sigma_z = 42.8\text{mm}$ 의 관측의 오차가 나왔고, B47의 기준점인 경우  $\sigma_x = 24.6\text{mm}$ ,  $\sigma_y = 19.0\text{mm}$ ,  $\sigma_z = 50.5\text{mm}$ 의 관측의 오차가 나왔다. 이를 대한민국 직각좌표계로 나타낸 것은 표 2와 같다.



(a)

(b)

그림 4. 삼각점의 모습 ( $\Delta 309, \Delta 422$ )

표 1. GPS수신기 제원

Receiver Type	Legacy-H
Channel	20 Channel GPS L1, GPS L1/L2
Signal	GPS L1/L2 (L1-C/A와 L1/L2-Full Cycle Carrier Phase, P1/P2)
Accuracy	Vertical 3mm + 1ppm
	Horizontal 5mm + 1ppm

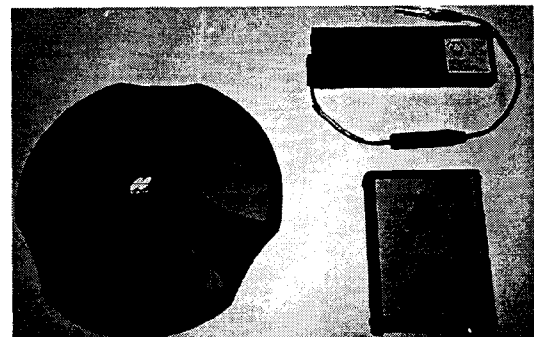


그림 5. GPS수신기의 모습

표 2. 기준점측량의 결과값(Grid, Zone Korea)

Point Name	Coordinates (m)			Sigmas (m)		
	Northing	East	Orto H	s(X)	s(Y)	s(Z)
B43	179364.4965	209349.7402	69.9206	0.0201	0.0161	0.0428
B47	179302.7072	209400.5448	70.9263	0.0246	0.0190	0.0505
$\Delta 422$	184236.8118	207407.7793	427.6300	0.0	0.0	0.0
$\Delta 309$	179821.0928	211051.9423	224.6000	0.0	0.0	0.0

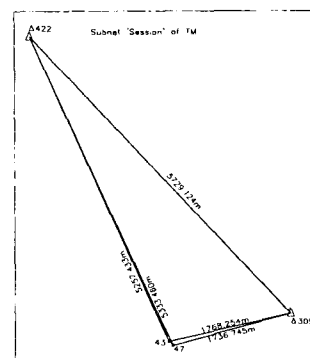


그림 6. 삼각망도

### 3.2 수치영상 취득 결과 및 분석

수치영상을 이용한 도로평면선형추출을 위하여 실험대상지역은 부산광역시 남구 용당동 인근에 도로를 선정하였다. 비교적 교통량이 많은 지역을 택하였으며, 선형정보의 원활함을 위하여 원곡선과 직선이 분포되어 있는 곳을 정하였다. 그 실험대상지역은 모습은 그림 7.에서 보는 것과 같다.

본 연구에서 대상지역의 3차원 영상을 획득한 장비로는 표1에서 보는 바와 같고, 도로의 노면을 촬영하기 위하여 3m 까지 높이 세울 수 있는 삼각대를 사용하였고, 카메라를 3m지점에서 촬영하기 때문에 카메라셔터를 대신할 수 있는 릴리즈를 첨가하여 사용하였다. 그리고 도로 중심선을 따라 촬영을 해야 하므로 이동이 간편하게 하기 위하여 자체 제작한 이동용 차대를 사용하였다. 이러한 관측장비를 조합한 모습은 그림 8.와 같다

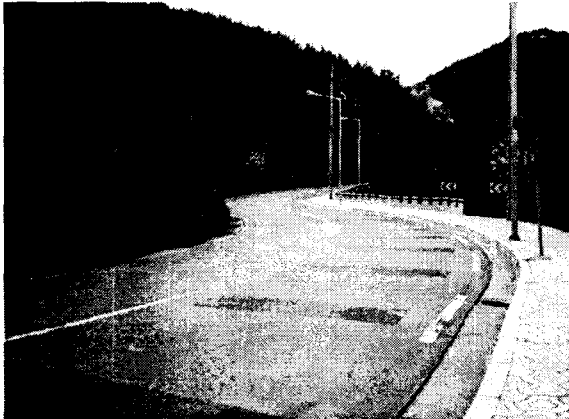


그림 3. Photo of observation Area

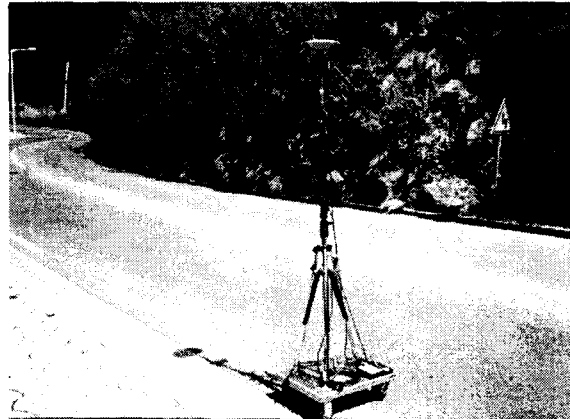


그림 4. Experimental Equipment

표 1. Specifications of Rollei d7 metric<sup>5</sup> Camera

Classification	Rollei d7 metric <sup>5</sup>
Recording mode	CCD recode
Shutter	1/8,000 sec
Focal Length	7mm
Dimensions	151×102×106 mm
Weight	650g (without batteries)
Pixel in X	2,552
Pixel in Y	1,920

수치영상을 이용하여 도로의 평면정보추출 획득하기 위하여 촬영을 하였다. 일반적인 도로는 종방향으로 긴 형태이므로 본 연구에서는 그림 5.와 같이 15m의 간격으로 14개의 Zone을 나누어 네 모퉁이에서 촬영하는 방법을 채택하여 실시하였으며, 도로의 연속성을 유지하기 위하여 각각의 Zone을 약간 중복하여 촬영하였다. 그리고 도로에서 타켓을 부착하지 않고 139개의 자연점을 표정점으로 사용하였다. 카메라 보정에 의해 결정된 내부표정요소와 DGPS 기법에 의해 결정된 촬영 당시의 카메라 노출위치를 입력하고 획득된 56장의 영상에 있어서 표정점 139개의 상좌표를 측정하였다

수치영상으로 취득된 56개의 영상과 139개의 표정점을 이용하여 광속조정법으로 조정한 결과값을 대상물 3차원 좌표의 RMSE를 Zone별로 구분하여 나타내면 표 3.과 같으며, 이를 도식화하면 그림 6에 나타낸 것과 같다. 특히 Zone11과 Zone 12의 Y방향이 오차가 많은데 이유는 도로의 곡선부분에서 촬영을 하여 생기는 오차라고 판단된다.

본 연구에서는 다중영상표정과 광속조정법에 의해 결정된 대상물 3차원 좌표의 정확도를 분석하기 위해 20개의 검사점들을 이용하여 비교·분석하였다. 그 결과는 표4.와 같다. 또한, 20개 검사점들의 평균 오차는 X방향으로 0.0203m, Y방향으로 0.0208m, Z방향으로 0.0513m로 나타났으며, 이를 도식적으로 나타내면 그림 7.과 같다.

표 3. RMS of bundle adjustment (unit : m)

Zone	RMSE		
	X	Y	Z
1	0.0815	0.0790	0.1348
2	0.0162	0.0165	0.0408
3	0.0104	0.0092	0.0355
4	0.0183	0.0191	0.0738
5	0.0105	0.0067	0.0305
6	0.0244	0.0133	0.1324
7	0.0132	0.0134	0.0377
8	0.0091	0.0083	0.0629
9	0.0685	0.0440	0.0888
10	0.0072	0.0065	0.0172
11	0.0304	0.1613	0.0357
12	0.2141	0.5190	0.0507
13	0.0388	0.0421	0.1084
14	0.0177	0.0136	0.0449
Average	0.0400	0.0680	0.0639

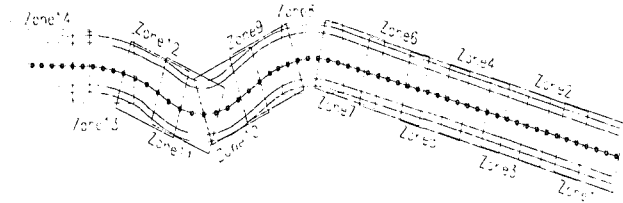


그림 5. The type of Section

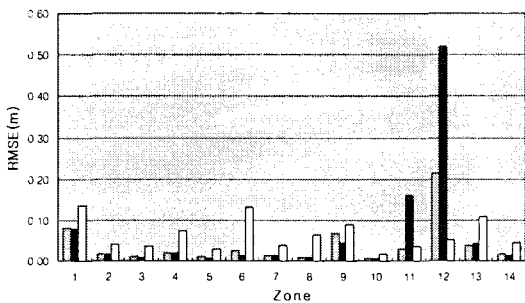


그림 6. RMSE of bundle adjustment

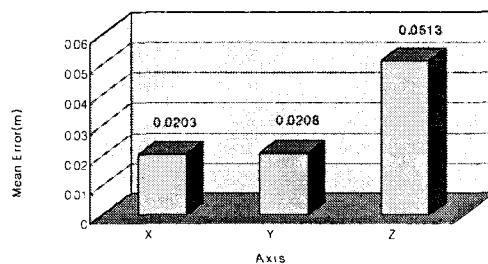


그림 7. Mean error of check points [X, Y, Z]

표 4. The residuals of check points (unit : m)

No.	Total Station			Rollei d7metric <sup>3</sup>			$\nu_x$ (m)	$\nu_y$ (m)	$\nu_z$ (m)
	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)			
1	178943.403	209463.129	75.366	178943.403	209463.130	75.487	0.000	0.001	0.121
2	178940.523	209462.546	75.448	178940.548	209462.642	75.556	0.025	0.096	0.108
3	178937.515	209461.947	75.522	178937.545	209462.014	75.582	0.030	0.067	0.060
4	178896.318	209454.182	75.604	178896.473	209454.204	75.682	0.155	0.022	0.078
5	178893.487	209453.612	75.554	178893.641	209453.642	75.693	0.154	0.030	0.139
6	178881.827	209451.349	75.274	178881.743	209451.333	75.352	-0.084	-0.016	0.078
7	178822.556	209440.311	72.435	178822.630	209440.267	72.625	0.074	-0.044	0.190
8	178947.988	209456.084	75.322	178947.8504	209456.1929	75.317	-0.138	0.109	-0.005
9	178944.815	209455.412	75.416	178944.8207	209455.5418	75.487	0.006	0.130	0.071
10	178938.915	209454.383	75.563	178938.8207	209454.4087	75.488	-0.094	0.026	-0.075
11	178930.302	209452.675	75.655	178930.3075	209452.676	75.735	0.005	0.001	0.080
12	178924.314	209451.578	75.815	178924.3347	209451.561	75.721	0.021	-0.017	-0.094
13	178912.461	209449.251	75.816	178912.6045	209449.2794	75.824	0.143	0.028	0.008
14	178897.470	209446.318	75.624	178897.4698	209446.318	75.682	0.000	0.000	0.058
15	178894.628	209445.757	75.557	178894.7396	209445.6318	75.707	0.112	-0.125	0.150
16	178782.780	209439.946	70.400	178782.6096	209440.0484	70.551	-0.170	0.102	0.151
17	178766.098	209448.535	69.726	178766.0932	209448.5366	69.788	-0.005	0.002	0.062
18	178763.163	209449.223	69.617	178763.1594	209449.2177	69.788	-0.004	-0.005	0.171
19	178695.049	209431.026	70.831	178695.0859	209431.0279	70.695	0.037	0.002	-0.136
20	178676.992	209430.263	71.795	178677.1307	209430.2688	71.606	0.139	0.006	-0.189
Average							0.0203	0.0208	0.0513

#### 4. 도로평면선형정보 추출 프로그램

도로의 선형에는 평면선형과 종단선형으로 구성되어있는데 그중 본 연구에서는 평면선형정보추출 프로그램을 개발하여 평면선형을 추출하였다. 평면선형정보 자료는 수치영상에서 나온 수치를 이용하였다. 개발된 평면선형정보추출 프로그램의 초기화 모습을 보면 그림 8과 같다. 이러한 프로그램 시행후의 결과는 그림 10과 같으며, 화면에 나타난 바와 같이 좌측 상단의 화면에 찾아낸 IP좌표의 위치를 쉽게 알 수 있게 점등형식으로 표현하였다.

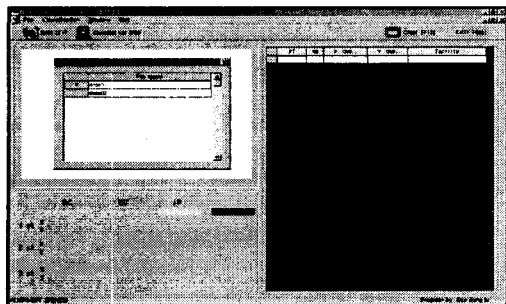


그림 8 Horizontal alignment information system of initial screen

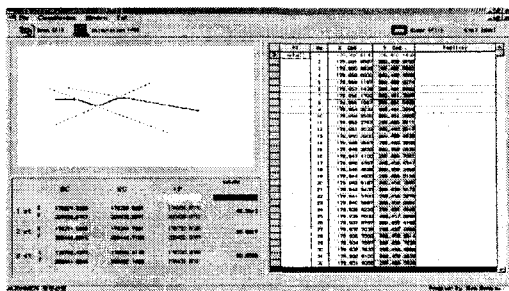


그림 9. Horizontal alignment information system

개발된 알고리즘에 의해 결정된 대상도로의 IP 3개소에 대한 평면선형 제원과 선형설계자료의 제원을 비교해 본 결과, IP값은 X방향으로 약 0.08m~0.09m, Y방향으로 약 0.09m~0.11m정도의 오차가 발생되었고, BC값은 X방향으로 약 0.05m~0.09m, Y방향으로 약 0.03m~0.07m정도이고, EC값은 X방향으로 약 0.06m~0.10m, Y방향으로 약 0.07m~0.9m정도이다. 그리고 곡선반경(R)은 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 그 결과는 표5.에 나타내었다.

## 5. 결 론

표5. A Comparison of Drawings Values

	Drawing Coordinate		Programing Coordinate		Remarks		
	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)	dx(m)	dy(m)	
I	IP1	178804.30000	209425.90000	178804.39700	209426.0012	-0.09700	-0.10120
	BC	178824.15927	209430.60565	178824.23930	209430.67570	-0.08003	-0.07005
	EC	178786.87612	209436.44712	178786.94610	209436.52710	-0.06998	-0.07998
	R	50.00000 m		49.96130 m		0.03870 m	
II	IP2	178759.72000	209452.81000	178759.80080	209452.90070	-0.08080	-0.09070
	BC	178774.45396	209444.00147	178774.50400	209444.03150	-0.05004	-0.03003
	EC	178744.60606	209444.62280	178744.70610	209444.71280	-0.10004	-0.09000
	R	30.00000 m		30.00170 m		-0.00170 m	
III	IP3	178720.80000	209431.69000	178720.89990	209431.80010	-0.09990	-0.11010
	BC	178739.34729	209441.78493	178739.43730	209441.85490	-0.09001	-0.06997
	EC	178699.73491	209432.09987	178699.81490	209432.18990	-0.07999	-0.09003
	R	80.00000 m		80.0000 m		0 m	

수치영상을 이용하여 객체지향적인 언어를 통해 도로평면선형 제원 추출한 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

첫째, 수치영상으로 도로정보를 획득하기 위하여 도로연장을 따라 Zone당 네 모서리에서 촬영하여 번들 조정후의 RMSE는 4~7cm 정도로 나타나서 일반적인 축척(1:1,200)의 제도 허용오차내에 충분히 만족함을 알 수 있었다. 둘째, 수치영상을 이용하여 취득된 자료들을 객체 지향적인 언어인 Delphi를 이용하여

도로선형정보(IP, BC, EC, R) 추출하는 프로그램을 개발하였다. 셋째, 평면선형정보체계를 이용하여 추출된 IP점의 위치와 곡선반경(R) 크기를 기존의 방법과 비교할 때, 위치오차는 X,Y방향으로 약 2m 정도, 곡선반경(R) 크기는 약 2.5m 정도 정확도가 향상되었다.

## 참고문헌

- 이종출(2001), 동적 GPS 관측에 의한 도로의 평면선형 분석, 한국측량학회지, 제19권, 제1호, pp.39~45.
- Pierre-Yves, Gillieron,(2001), Development of a Low Cost Mobile Mapping System for road Data base Management, The 3rd international Symposium on Mobile Mapping Technology, session 6, unpaginated CD-ROM.
- Hobib, A.(2000), Matching road edges in stereo-image sequences using data association techniques, photogramm. Eng. Remote sens. ISPRS Journal of photogrammetry and Remote sensing vol 66(1), pp.91~98,
- CM. Ellum, N. El-sheimy,(2001), A Mobile Mapping System for the survey community, The 3rd international Symposium on Mobile Mapping Technology, session 4, 2001.unpaginated CD-ROM.
- Joao Fernando C, (2001), Georeferenced road Image Database, The 3rd international Symposium on Mobile Mapping Technology, session 11, unpaginated CD-ROM.