

수치사진측량을 이용한 도로평면선형정보체계 개발 Development of Horizontal Alignment Information System of Road Using Digital Photogrammetry

서동주¹⁾ · 이종출²⁾

Seo, Dong Ju · Lee, Jong Chool

Abstract

Lately, Digital Photogrammetry has been increasingly applied to various hightech industries and becomes one of more interesting focuses of study than ever. Thus, this study aims to develop a Road Horizontal Alignment Information System by means of digital photogrammetry. Data acquired from digital photographic techniques were processed using Delphi, an object oriented programming language to develop a computer aided program, that allows us to build the information on Road Horizontal Alignment(Beginning Point of Curve, Ending Point of Curve, Radius, Intersection Point). The developed program could maximize visualization for better analysis compared with traditional programs because it utilizes 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 showed out of the developed road information systems the improved 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.

Keywords : Digital Photogrammetry, Road Horizontal Alignment Information, Camera/DGPS Combination

요 지

최근 수치사진측량은 각종 첨단 산업분야에 그 응용이 증대되고 있으며, 많은 관심과 연구가 진행되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 수치사진측량에 의한 도로평면선형정보체계 개발하였다. 먼저 수치사진측량에서 취득된 자료들을 객체 지향적인 언어인 Delphi를 이용하여 도로평면선형정보(BC,EC,R,IP)를 구축하는 프로그램을 개발하였고, 개발된 프로그램은 영상자료를 많이 이용하여 기존보다 시간적인 효과를 극대화할 수 있었다. 그리고 개발한 도로평면선형정보의 제원 값은 동적GPS에 의해 취득된 자료를 최소제곱법의 원리를 이용한 평면선형추출 프로그램값과 비교하면, IP값은 약 X,Y방향으로 약 2m정도 정확도가 향상되었고, 곡선반경(R)은 약 2.5m정도의 정확도향상이 있었다.

핵심용어 : 수치사진측량, 도로평면선형정보, 카메라/DGPS조합

1. 서 론

도로는 현대생활에서 필수적인 사회기반시설이며, 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 도로나 도로관리부서의 이관하는 과정에서 중요한 기초 자료들이 훼손되거나 분실되는 경우가 있다. 따라서 기초자료가 없는 도로의 경우 기초자료를 획득하는데 많은 시간과 비용이 소모되므로, 수치사진측량기법을 이용하여 도로유지관리 차원에서 도로정보획득에 관한 연구가 진행되고 있다

1) 연결저자 · 정회원 · 부경대학교 대학원 토목공학과 공학박사(E-mail:dpsdj@mail1.pknu.ac.kr)

2) 정회원 · 부경대학교 공과대학 건설공학부 교수(E-mail:jclee@pknu.ac.kr)

(Gillieron 등, 2001).

Habib(2000)는 mobile mapping system의 연속영상 표정 및 조정의 자동화에 대하여 연구하였고, 여기서는 VISAT (Video Inertial SATellite)라는 시스템에서 연속영상을 취득하였다. Ellum(2001)등은 Mobile Mapping System을 이용하여 연속적인 영상 매칭 시스템 개발 따른 연구하여 대상물과의 20m 이격거리에서 25cm정도의 정확도를 획득하였다. Joao(2001)는 도로의 자료획득과 획득된 자료들의 관리체계를 연구한바있다. 특히 국내에서는 이종출(2001)는 동적GPS에 의해 취득된 자료를 이용하여 평면선형분석을 한 결과 곡선반경은 약2.5~3.0m의 오차가 발생하였으며, IP좌표값은 X,Y방향별 약0.9~2.1m 오차가 나타나는 연구를 하였다.

따라서 본 연구에서는 수치사진측량을 이용하여, 설계자료가 없는 도로에서 3차원 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 그림 1에서와 같이 수행하였다. 이런 도로평면선형의 추출의 개발로 인해 도로정보를 손쉽게 취득하여 데이터베이스화하고, 도로유지관리와 안전운행에 기여하리라 판단된다.

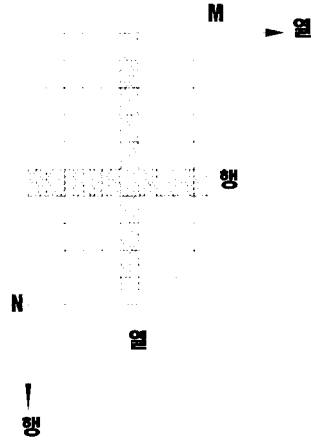


그림 2. 수치영상의 행렬표현

2. 수치사진측량 이론

2.1 CCD 영상의 특성 및 표현

CCD(Charge Coupled Device)영상은 수평 및 수직으로 설정된 2개의 좌표축 x와 y에 의해 표현되는 2차원 정보를 가리킨다. 2개의 변수로 나타내는 위치에서의 밝기를 밝기 값을 식으로 나타낸다.

그리고 한 개의 영상은 $N \times N$ 개의 화소로 구성되고, N 은 대체로 $N=2^m$ (m 은 정수)이 되도록 정한다. g 를 농담값으로 하면 $G=2^m$ 가 되는 자연수를 농담값의 최대값이 되도록 한다. 여기서 m 은 농담값을 나타내는 비트의 수가 되며 보통 8비트이다. 따라서 농담값은 $(0 \sim 2^m - 1)$ 범위의 자연수로서 나타낸다. 8비트 수치로 나타내면 $0 \sim 255$ 가 농담값을 나타내는 범위가 된다. 이러한 수치영상의 표현을 행렬로 나타내면 그림 2에 나타내었다(Pratt, 1991).

2.2 다중영상표정

수치영상의 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(K)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 ω, ϕ, κ 를 알아야 한다. 상-대상물 관계를 정의함에 있어서 기본적으로 외부표정 요소는 좌표변환이며, 표정각 ω, ϕ, κ 는 사진좌표계와 절대좌표계 사이에서의 회전변환을 말한다(Pollefeys, 2000).

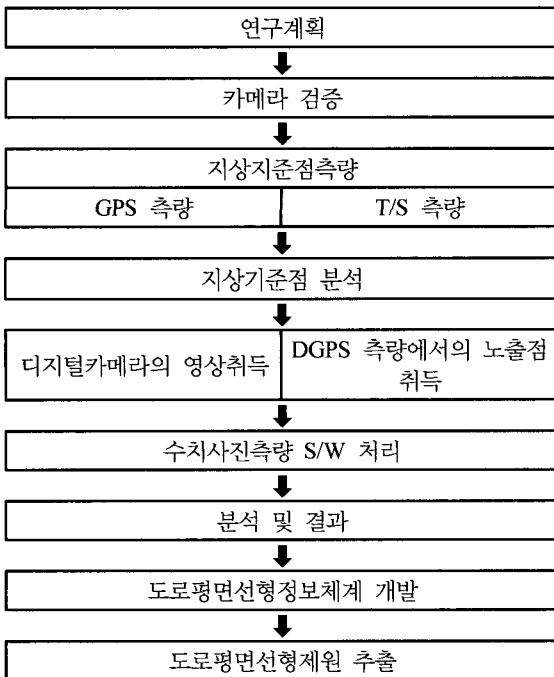


그림 1. 연구 흐름도



그림 3. 공간전방교회법



그림 4. 공간후방교회법

다중영상접합에서는 표정을 위해 공간 전방교회법(space intersection)과 공간 후방교회법(space resection)을 동시에 이용하며, 표정점의 사진지표와 DGPS에서 취득된 외부표정요소, 자체검정에 의한 카메라의 내부표정요소와 사진의 정확한 외부표정과 표정점의 대상물 좌표를 계산하기 위한 대상물 좌표체계결정에 이용한다(Wolf, 1999).

공간 전방교회법의 모습은 그림 3에서보는 바와 같이 두 장의 사진에 대한 외부표정과 사진좌표로부터 공통된 대상물의 표정점을 계산하고 이와 관련해서 정확한 외부표정을 결정하는 것이다.

공간 후방교회법은 이미 알고 있는 위치와 일치하는 지점에서 적어도 3개의 기지방향으로 교차시킴으로써 공간 위치를 결정하는 것이며, 기지의 대상물 좌표와 적어도 3개의 표정점의 사진 좌표로부터 어떤 사진의 외부표정을 결정하는 방법으로써 이는 그림 4와 같다.

3. 실험 및 결과

3.1 실험대상지역 및 관측장비

수치사진측량을 이용한 도로선형정보 체계 개발을 위하

여 실험대상지역은 부산광역시 남구 용당동 인근에 도로를 선정하였다. 비교적 교통량이 많은 지역을 택하였으며, 연구의 목적에 부합하기위하여 원곡선과 직선이 분포되어 있는 곳을 정하였다. 그 모습은 그림 5에서 보는 것과 같다.

디지털 카메라와 자체검증제원 및 GPS의 장비제원은 표



그림 5. 실험대상지역

표 1. Rollei d7 metric^s Camera의 제원

분 류	Rollei d7 metric ^s
기록모드	CCD recode
셔터	1/8,000 sec
화면거리	7mm
크기	151×102×106 mm
무게	650g(бат테리제외)
X방향 화소	2,552
Y방향 화소	1,920

표 2. 자체검증 제원

내 부 표 정 요소	자 체 검 증 제원
cK	-7.422 mm
xH	0.6875 mm
yH	0.0998 mm
A1	-2.1884e-03
A2	3.5727e-005
R0	3.00 mm

표 3. GPS 수신기의 제원

수신기 형식	Legacy-H
채널	20 Channel GPS L1, GPS L1/L2
신호	GPS L1/L2 (L1-C/A와 L1/L2-Full Cycle Carrier Phase, P1/P2)
정확도	수직 3mm + 1ppm
	수평 5mm + 1ppm

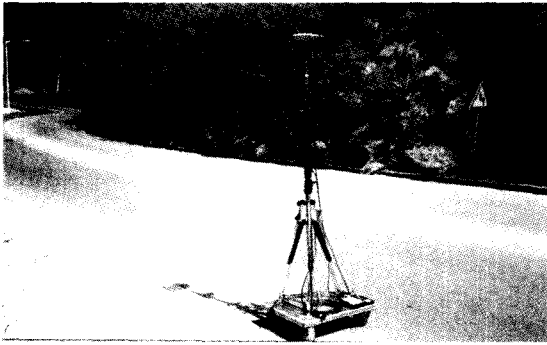


그림 6. 조합된 장비 모습

1과 표 2, 표 3에서 보는 바와 같다. 도로의 노면을 촬영하기 위하여 3m까지 높이 세울 수 있는 삼각대를 사용하였고, 카메라를 3m지점에서 촬영하기 때문에 카메라셔터를 대신할 수 있는 릴리즈를 첨가하여 사용하였다. 그리고 도로를 해야 하므로 이동이 간편하게 하기 위하여 자체 제작한 이동용 차대를 사용하였다. 이러한 관측장비를 조합한 모습은 그림 6과 같다.

3.2 실험결과 분석

근접수치사진측량을 이용하여 도로의 선형정보를 획득



그림 7. 대상도로의 구역 모습

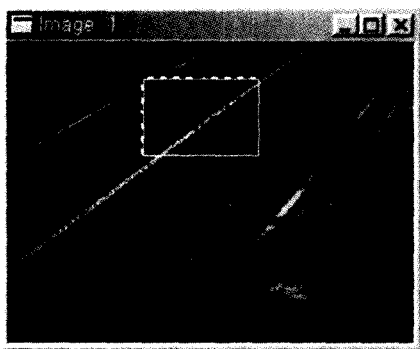


그림 8. 표정점과 검사점 모습

하기 위하여 촬영을 하였다. 일반적인 도로는 종방향으로 긴 형태이므로, 본 연구에서는 그림 7과 같이 15m의 간격으로 14개의 구역을 나누어 네 토틀에서 촬영하는 방법을 채택하여 실시하였으며, 도로의 연속성을 유지하기 위하여 각각의 구역을 약간 중복하여 촬영하였다. 그리고 도로에서 타켓을 부착하지 않고 139개의 자연점을 표정점으로 사용하였다. 대상지역의 표정점과 검사점들이 모습은 그림 8에 나타내었다.

카메라 보정에 의해 결정된 내부표정요소와 DGPS 기법에 의해 결정된 촬영 당시의 카메라 노출위치를 입력하고 획득된 56장의 영상에서 표정점 139개의 상좌표를 측정하였다.

수치사진측량으로 취득된 56개의 영상과 139개의 표정점을 이용하여 광속조정법으로 조정한 결과값을 대상물 3차원 좌표의 오차(rmse)를 구역별로 구분하여 나타내면 표 4와 같으며, 이를 도식화하면 그림 9에 나타낸 것과 같다. 특히 구역 11과 구역 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 표 5와 같다.

표 4. 번들조정후 RMSE (unit : cm)

구역	RMSE		
	X	Y	Z
1	8.15	7.90	13.48
2	1.62	1.65	4.08
3	1.04	0.92	3.55
4	1.83	1.91	7.38
5	1.05	0.67	3.05
6	2.44	1.33	13.24
7	1.32	1.34	3.77
8	0.91	0.83	6.29
9	6.85	4.40	8.88
10	0.72	0.65	1.72
11	3.04	16.13	3.57
12	21.41	51.90	5.07
13	3.88	4.21	10.84
14	1.77	1.36	4.49
Average	4.00	6.80	6.39

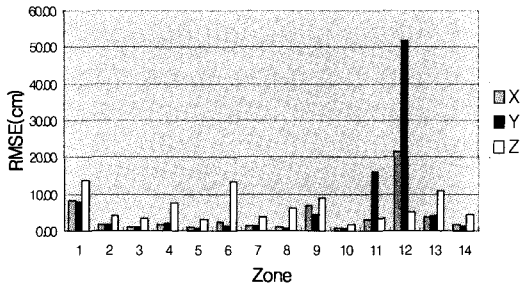


그림 9. 번들조정후 RMSE 모습

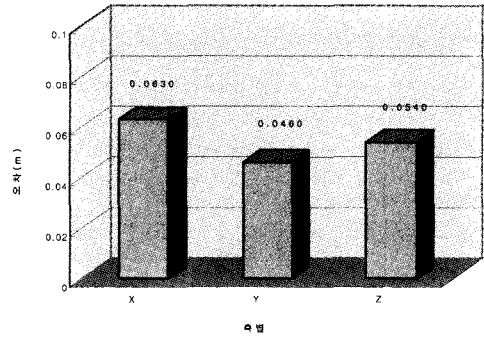


그림 10. 검사점의 오차(RMSE)

표 5. 검사점의 잔차 (unit : m)

No.	Total Station			Rollei d7metric ⁵			V _x (m)	V _y (m)	V _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
RMSE							0.063	0.046	0.054

또한, 20개 검사점들의 오차를 RMSE로 표시하면 X방향으로 0.063m, Y방향으로 0.046m, Z방향으로 0.054m로 나타났으며, 이 값들은 Ellum(2001)등이 발표한 20m이격거리에서 25cm정도의 정확도보다 향상되었다고 판단되며, 그 모습은 그림 10과 같다.

4. 도로평면선형정보체계 개발

4.1 도로 평면선형 자료생성

수치사진측량을 이용한 도로평면선형정보체계 개발에 앞서 선행되어야 할 부분이 도로정보자료 생성이다. 수치사진

측량에서 취득된 도로평면선형자료들을 그림 11에서와 같은 흐름도에 의해서 생성하였다. 흐름도를 살펴보면, 도로 평면선형자료들을 수치파일로 읽어서 변수들을 초기화하는 하는 과정부터 시작한다. 그리고 자동적으로 Record 개수를 파악 한 다음 Record 수만큼 반복실행을 한다. 반복 실행된 값들을 변수에 저장하고 마지막으로 RoadF 테이블에 저장하여 종료한다. 그렇게 하고 나면 프로그램 화면상에 처리된 자료들의 개수와 좌표들이 나타나고 영상자료도 보여지게 하였다. 이와 같은 화면은 그림 12와 같다.

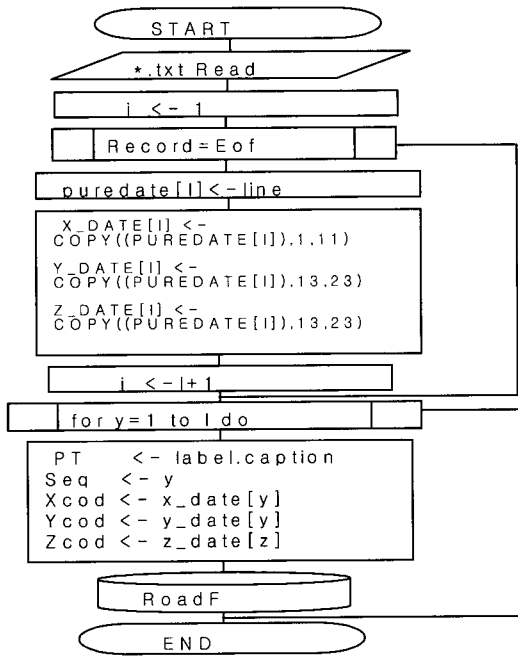


그림 11. 자료생성 흐름도

4.2 도로 평면선형 정보체계 개발

평면선형정보 자료는 수치사진측량에서 나온 수치를 이

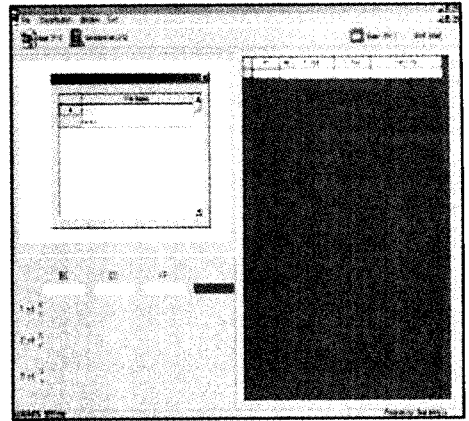


그림 13. 평면선형정보체계의 초기화 모습

		BC	EC	IP	def#02
1 st	X	178824.2393	178786.9461	178804.3970	49.9613
	Y	209430.6757	209436.5271	209436.0012	
2 st	X	178774.5040	178744.7061	178759.8008	30.0017
	Y	209444.0315	209444.7128	209452.9007	
3 st	X	178739.4373	178699.8149	178720.8999	80.0000
	Y	209441.8549	209432.1899	209431.8001	

그림 14. 추출된 평면선형제원 모습

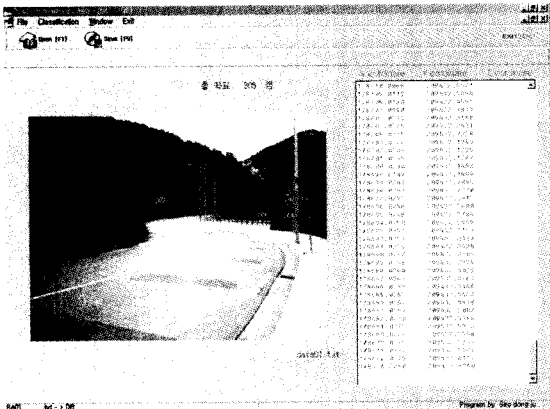


그림 12. 자료생성하는 모습

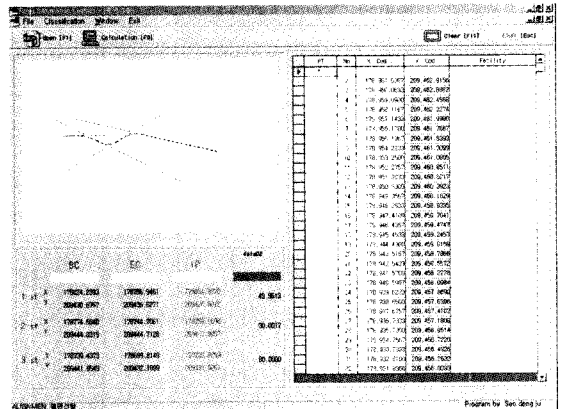


그림 15. 개발된 평면선형정보체계 모습

용하였다. 개발된 평면선형정보체계의 초기화 모습을 보면 그림 12와 같다. 관측된 자료로 계산된 BC, EC, IP, R값들의 결과를 그림 14에 나타내었다. 이러한 프로그램 시행후의 결과는 그림 15와 같으며, 화면에 나타난 바와 같이 좌측 상단의 화면에 찾아낸 IP좌표의 위치를 쉽게 알 수 있게 점등형식으로 표현하였다.

4.3 개발된 평면선형 제원 비교분석

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.

5. 결 론

수치사진측량을 이용하여 좀더 정확하고 경제적으로 도로평면선형정보체계를 개발하기 위해 현장 실험을 통하여 연구한 결과, 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. 수치사진측량으로 도로정보를 획득하기 위하여 도로 연장을 따라 구역당 네 모서리에서 촬영하여 번들 조정후의 오차(RMSE)는 4~7cm 정도로 나타나서 일반적인 축척(1:1,200)의 제도 허용 오차내에 충분히 만족함을 알 수 있었다.

2. 수치사진측량을 이용하여 취득된 자료와 객체 지향적인 언어인 Delphi를 이용하여 도로평면선형정보구축하는

프로그램을 개발하였고, 개발된 프로그램은 영상자료도 이용자에게 제공하므로써 기존의 방법보다 시각적 효과를 나타낼 수 있었다.

3. 도로평면선형 정보체계를 이용하여 분석된 I.P점의 위치와 곡선반경(R) 크기를 기존 발표된 논문 결과와 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, 제 19권, 제 1호, pp. 39-45.

Ellum, C. M., 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.

Gillieron,Pierre-Yves, Jan Skaloud, David Brugger, Bertrand Merminod (2001), Development of a low cost mobile mapping system for road data base management, 3rd International symposium on Mobile Technology, session 6, unpaginated CD-ROM.

Habib, A. (2000), *Matching road edges in stereo-image sequences using data association techniques*, ISPRS Journal of photogrammetry and Remote sensing, Vol. 56(1), pp. 91-98.

Joao, F.C. (2001), *Georeferenced road Image Database*, The 3rd international Symposium on Mobile Mapping Technology, session 11, unpaginated CD-ROM.

Pollefeys, M., R. Koch, M.Vergauwen, L. Van Gool (2000), *Automated reconstruction of 3D scenes from sequences of images*, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Volume 55. pp. 251-267.

Pratt, W.K. (1991), *Digital Image processing*, 2nd ed, Wiley Interscience, pp. 447-662.

Wolf, P.R., Bon A. Dewitt (1999), *Elements of Photogrammetry with Application in GIS*, 3rd edition, pp. 237-246.

(접수일 2003. 11. 4, 심사일 2003. 12. 11, 심사완료일 2003. 12. 20)