

디지털 영상을 이용한 철도선형정보 추출

The Extraction of Alignment Information on Railroad Using Digital Imagery

이종출¹⁾ · 차성렬²⁾ · 김진수³⁾ · 남일현⁴⁾
 Lee, Jong-Chool · Cha, Sung-Yeol · Kim, Jin-Soo · Nam, Il-Hyun

- 1) 부경대학교 공과대학 건설공학부 교수(E-mail:jclee@pknu.ac.kr)
- 2) 양산대학 토목과 교수·공학박사(E-mail:sycha@yangsan.ac.kr)
- 3) 부경대학교 대학원 토목공학과 박사수료(E-mail:pkssurveying@pknu.ac.kr)
- 4) 부경대학교 대학원 토목공학과 석사과정(E-mail:yuwool4@pknu.ac.kr)

Abstract

Railroads made many contribution to modernization being developed so quickly as public transportation, but after middle of 20 century, its qualities are getting low because of focusing on the investment and development of cars and airplanes. Its role which is getting the excellent merits on the mass transportation, rapid transit, safety, state period, energy efficiency, and prevention of environmental pollution has been reconsidered. Element of horizontal alignment in an existing railroad line is needed as basic materials, when it will be improved or moved. If its design drawing was lost or damaged, it is impossible to recover. It is not easy to repair for it as disasters. We must understand an existing railroad line to bring a function included a basic geography situation. In this studies we acquire, analyze, and handle the digital picture of railroads and then reappear shape of three dimension. But also we want to contribute to establish the facilities information choosing materials of existing railroad line in outputting the alignment element by reverse.

1. 서론

최근 남·북 경제협력 등 경인선과 경원선의 철도복원사업이 본격적으로 추진되면서 한국중단철도연결(TKR), 러시아횡단철도(TSR), 중국대륙철도(TCR), 몽골연결철도(TMR)를 연결함으로써 중국대륙, 몽골, 유럽과의 연계 철도망 구축이 현실로 직면하게 되었다(최종길, 2003). 이러한 도로나 철도와 같은 교통시설의 망 구축을 위해서는 3차원 위치좌표와 선형정보의 추출이 선행되어야 한다. 도로정보의 자동추출을 위하여 수치사진측량기법을 적용한 바 있으며(유환희, 1996), 개략적인 철도선형에 대한 제원을 복원하고자 GPS기법을 이용한 연구가 최근에 수행된 바 있다(정의환, 2003).

본 연구에서는 사회간접자본시설인 철도를 대상으로 영상을 이용하여 효과적인 선형을 추출하기 위한 기법을 제시하고 디지털 영상을 획득·처리함으로써, 철도선형의 3차원 위치형상과 선형자료를 추출하고자 한다. 이를 위해 그림 1과 같은 일련의 과정으로 연구를 수행하였다.

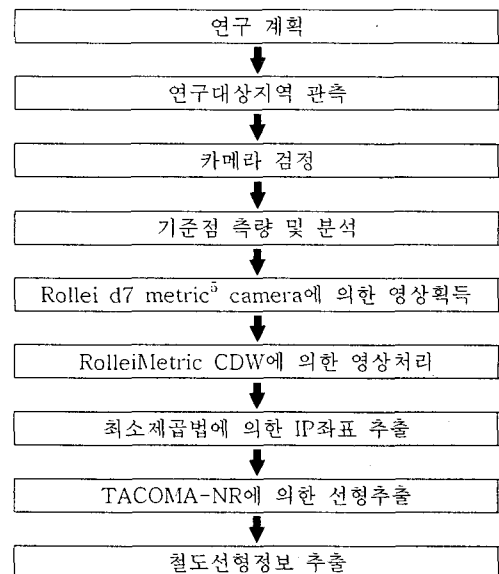


그림 1. 연구의 흐름도

2. 철도선형 관측시스템 구성

연구대상지역은 부산광역시 OO구간으로 총연장 528m인 4급선 철도를 선정하였다. 본 연구를 위해 선정한 대상지역은 원곡선과 직선이 조합되어 있고, 비교적 곡선이 급하여 Cant가 큰 지역을 선정하였다.

2.1 카메라 검정

수치영상의 획득을 위한 장비로는 Rollei사에서 제조한 d7 metric⁵ 카메라를 사용하였으며, 카메라의 형상은 그림 2와 같고, 촬영에 사용될 카메라의 렌즈를 검정하기 위한 작업을 선행하였다. 방사방향 왜곡 수차와 편심방향 왜곡 수차를 보정해야 하지만, 편심방향 왜곡 수차는 극히 미세하여 특수한 경우를 제외하고는 유사하므로 최소제곱법에 의해 구해진 1차 왜곡상수와 2차 왜곡상수를 적용하여 방사방향 왜곡 수차만을 보정해 주었다.

표 1은 카메라 검정에 의해 보정된 자료를 나타낸 것이다.

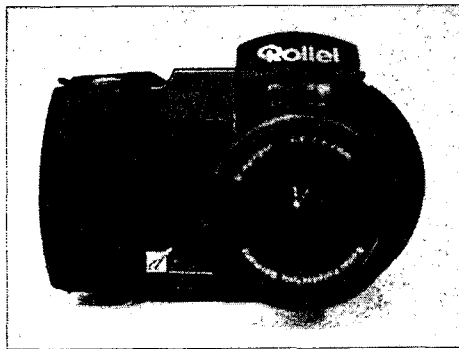


그림 2. Rollei d7 metric⁵ Camera

표 1. 카메라 검정에 의해 보정된 자료

검정된 자료 [Rollei d7 metric ⁵ Camera]		
내부표정요소	cK ¹	-7.422 mm
	xH ²	0.6875 mm
	yH ²	0.0998 mm
	A1 ³	-2.1884e-003
	A2 ³	3.5727e-005
	RO ⁴	3.00 mm

1. 검정된 초점거리
2. 주점좌표
3. 방사방향 왜곡수차
4. 방사왜곡이 0이 되는 주점으로부터의 반경

2.2 기준점 측량

디지털 영상처리 시스템의 광속조정법에서 얻어진 지상좌표 값의 정확도를 분석하기 위해 대상점에 대한 측량을 실시하여 기준점 측량성과를 얻었다. 본 연구에서 사용된 대상점은 총 50점으로 각 대상점에 대하여 3차원 좌표를 토달스테이션으로 정밀하게 관측하였으며, 관측된 3차원 좌표값은 표 2와 같다.

표 2. 기준점 관측결과

No.	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	192926.145	208047.358	23.801
2	192925.346	208047.057	23.798
3	192925.015	208047.934	23.788
4	192924.227	208047.426	23.786
5	192923.103	208047.836	23.774
6	192921.958	208048.183	23.761
7	192919.766	208049.134	23.722
8	192919.432	208049.926	23.723
9	192918.656	208049.425	23.718
10	192917.506	208049.834	23.704
⋮			
41	192808.692	208080.398	22.447
42	192807.555	208080.646	22.445
43	192807.120	208081.253	22.509
44	192806.424	208080.760	22.423
45	192805.954	208081.480	22.507
46	192805.284	208080.980	22.423
47	192804.778	208081.576	22.484
48	192803.628	208081.732	22.485
49	192803.004	208081.267	22.410
50	192802.495	208081.838	22.476

2.3 영상획득 및 자료처리

본 연구에서는 철도노선에 대한 디지털 영상을 획득하기 위해 그림 3과 같이 촬영을 실시하였으며, 그 모식도는 그림 4와 같다.



그림 3. 사진측량 촬영모습

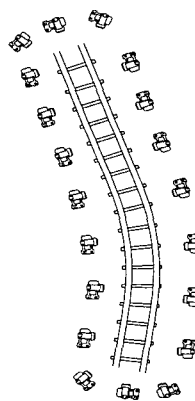


그림 4. 사진측량 모식도

자료처리에 있어서는 사진측량 S/W 중 다양한 카메라 및 렌즈의 선택과 설치의 편의성이 있고, 다양한 분야에서 많이 활용되고 있는 Rollei Metirc CDW(Close Range Digital Workstation)(Gayde *et al.*, 1997)를 이용하여 획득된 대상물의 수치영상에서 각 표정점의 3차원 좌표를 광속조정법에 의해 결정하였다. 이러한 RolleiMetirc CDW는 복잡한 수치영상에서 상좌표 취득이 용이할 뿐만 아니라 자료처리의 모든 공정이 자동으로 수행되며, 정확한 표정점의 계산이 가능하다.

먼저, 카메라 검정에 의해 결정된 내부표정요소와 촬영 시 카메라 위치를 입력하고 표정점을 관측하였다. 연속된 두 영상에 대한 표정점 관측모습은 그림 5와 같다.

이렇게 연속된 영상에서 중복 관측된 표정점은 다중영상표정을 실시하였으며, 다중영상표정과 번들조정에 의해 대상점의 3차원 좌표를 획득할 수 있었다. 획득한 3차원 좌표를 10m 간격으로 총 54개소(STA.0~520, STA.528)에 걸쳐 표 3과 같이 나타내었다.

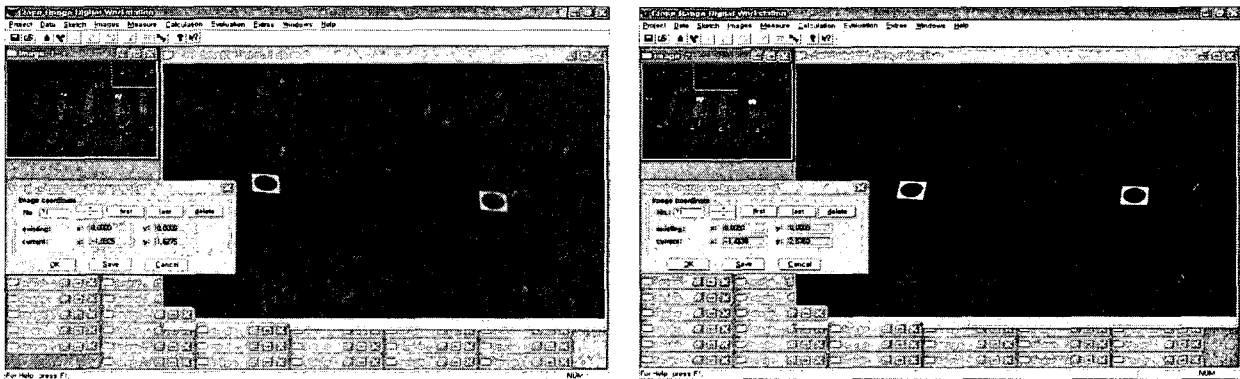


그림 5. 상좌표 측정모습

표 3. 번들조정 후 좌표

구분	내 측			외 측			구분	내 측			외 측		
	X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)		X(m)	Y(m)	Z(m)	X(m)	Y(m)	Z(m)
0m	193107.0641	207983.0989	24.9685	193107.5505	207984.4915	24.9686	270m	192851.7521	208070.5218	23.0795	192851.8627	208072.0456	23.1856
10m	193097.6390	207986.4410	24.9305	193098.1102	207987.7900	24.9300	280m	192841.9090	208073.0447	22.9628	192842.0224	208074.6069	23.0908
20m	193088.1857	207989.7024	24.8827	193088.6801	207991.1179	24.8828	290m	192832.0828	208075.4096	22.8443	192832.2327	208076.9163	22.9832
30m	193078.7502	207993.0148	24.8478	193079.2408	207994.4192	24.8470	300m	192822.3320	208077.4406	22.7311	192822.4394	208078.9474	22.8703
40m	193069.3101	207996.3139	24.8101	193069.8012	207997.7199	24.8116	310m	192812.3553	208079.2251	22.6168	192812.4960	208080.7581	22.7536
50m	193059.8646	207999.5977	24.7748	193060.3610	208001.0189	24.7813	320m	192802.2956	208080.7607	22.5053	192802.5061	208082.3685	22.6431
60m	193050.4276	208002.9057	24.7535	193050.9164	208004.3051	24.7525	330m	192792.3863	208082.1054	22.2298	192792.5810	208083.5929	22.3680
70m	193040.9870	208006.2034	24.7298	193041.4811	208007.6180	24.7278	340m	192782.5380	208083.1131	22.1399	192782.6960	208084.6049	22.2790
80m	193031.5436	208009.4930	24.6905	193032.0407	208010.9164	24.6901	350m	192772.7846	208083.8317	22.0609	192772.8950	208085.3278	22.1997
90m	193022.1044	208012.7950	24.6333	193022.5985	208014.2094	24.6327	360m	192762.9822	208084.3516	21.9954	192763.0482	208085.8501	22.1306
100m	193012.6636	208016.0921	24.5837	193013.1537	208017.4951	24.5866	370m	192753.0390	208084.6548	21.9526	192753.0897	208086.1541	22.0941
110m	193003.2183	208019.3762	24.5313	193003.7139	208020.7953	24.5341	380m	192743.1780	208084.6973	21.9395	192743.1954	208086.1974	22.0745
120m	192993.7792	208022.6783	24.4914	192994.2724	208024.0905	24.4907	390m	192733.2698	208084.4802	21.9351	192733.2645	208085.9810	22.0749
130m	192984.3416	208025.9848	24.4392	192984.8395	208027.4102	24.4440	400m	192723.4789	208084.0165	21.9381	192723.4374	208085.5165	22.0631
140m	192974.9094	208029.3064	24.3745	192975.4040	208030.7224	24.3739	410m	192713.9181	208083.3430	21.9516	192713.8221	208084.8402	22.0611
150m	192965.4725	208032.6147	24.3040	192965.9659	208034.0274	24.3025	420m	192704.0877	208082.4755	21.9834	192703.9680	208083.9709	22.0782
160m	192956.0293	208035.9050	24.2451	192956.5258	208037.3265	24.2437	430m	192694.2753	208081.4375	22.0286	192694.1252	208082.9302	22.1057
170m	192946.5898	208039.2060	24.1776	192947.0831	208040.6183	24.1724	440m	192684.4842	208080.2342	22.0664	192684.3084	208081.7240	22.1316
180m	192937.1485	208042.5017	24.0878	192937.6404	208043.9101	24.0870	450m	192674.7182	208078.9116	22.0995	192674.5176	208080.3982	22.1475
190m	192927.7021	208045.7829	23.9903	192928.1993	208047.2064	23.9900	460m	192664.8220	208077.4704	22.1336	192664.6214	208078.9570	22.1666
200m	192918.2987	208049.0912	23.8874	192918.7312	208050.5219	23.8876	470m	192654.9246	208076.0383	22.1797	192654.7241	208077.5249	22.1970
210m	192908.8611	208052.3639	23.7657	192909.2795	208053.8162	23.7805	480m	192645.0237	208074.6324	22.2203	192644.8231	208076.1190	22.2245
220m	192899.4664	208055.6414	23.6535	192899.7568	208057.0957	23.6776	490m	192635.1259	208073.2035	22.2372	192634.9253	208074.6901	22.2374
230m	192889.8947	208058.8559	23.5342	192890.2139	208060.3212	23.5758	500m	192625.2280	208071.7752	22.2523	192625.0274	208073.2618	22.2537
240m	192880.3743	208061.9586	23.4180	192880.6512	208063.4688	23.4753	510m	192615.3301	208070.3470	22.2700	192615.1295	208071.8336	22.2700
250m	192870.8375	208065.0011	23.3119	192871.0400	208066.5354	23.3771	520m	192605.4322	208068.9187	22.2835	192605.2316	208070.4053	22.2865
260m	192861.0955	208067.8867	23.1982	192861.3913	208069.3603	23.2807	528m	192595.5343	208067.4904	22.2886	192595.3337	208068.9770	22.2906

이렇게 연속된 영상에서 중복 측정된 표정점은 공선조건을 기초로 한 다중영상표정에서 후방회법과

전방교회법을 동시에 수행하고, 광속조정법에 의해 대상점의 3차원 좌표 및 외부표정 매개변수를 결정하게 된다.

또한, 본 연구에서는 다중영상표정과 광속조정법에 의해 결정된 대상물 3차원 좌표의 정확도를 분석하기 위해 토탈스테이션에 의해 측정된 기준점 좌표성과와의 차이로 비교하였다. 기준점의 잔차에 대한 RMSE를 산정한 결과, 그림 6에 나타낸 것과 같이 X방향으로 0.658mm, Y방향으로 0.620mm, Z방향으로 0.797mm의 RMSE 분포를 나타내었다.

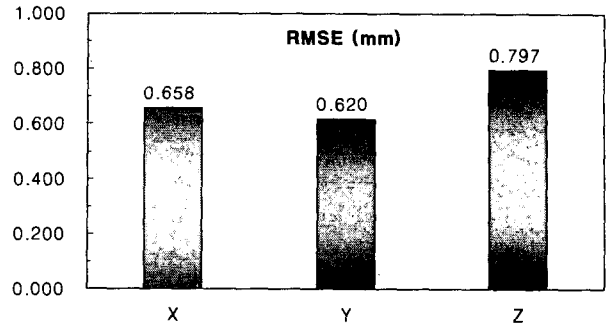


그림 6. RMSE 결과값 [X, Y, Z]

3. 철도선형정보 추출

3.1 IP좌표 추출

본 연구에서 평면선형을 추출하기 위해 영상으로부터 얻은 자료를 이용하여 중심선 좌표를 획득하였으며, 획득한 총 54개소에 대한 중심선 평면좌표는 표 4와 같다.

중심선 좌표를 이용하여 직선구간의 직선식을 획득하기 위해 본 연구에서는 그림 7과 같은 최소제곱선을 이용하였으며, 최소제곱법에 의해 산정된 직선식은 그림 8과 같다. 이 두 최소제곱선으로 IP(X=192786.761, Y=208095.859)를 산정하였다.

표 4. 중심선 결과 [X, Y]

구분	X (m)	Y (m)	구분n	X (m)	Y (m)
0 m	193107.3073	207983.7952	270 m	192851.8074	208071.2837
10 m	193097.8746	207987.1155	280 m	192841.9657	208073.8258
20 m	193088.4329	207990.4102	290 m	192832.1578	208076.1630
30 m	193078.9955	207993.7170	300 m	192822.3857	208078.1940
40 m	193069.5557	207997.0169	310 m	192812.4257	208079.9916
50 m	193060.1128	208000.3083	320 m	192802.4009	208081.5646
60 m	193050.6720	208003.6054	330 m	192792.4837	208082.8492
70 m	193041.2341	208006.9107	340 m	192782.6170	208083.8590
80 m	193031.7922	208010.2047	350 m	192772.8398	208084.5798
90 m	193022.3515	208013.5022	360 m	192763.0152	208085.1009
100 m	193012.9087	208016.7936	370 m	192753.0644	208085.4045
110 m	193003.4661	208020.0858	380 m	192743.1867	208085.4474
120 m	192994.0258	208023.3844	390 m	192733.2672	208085.2306
130 m	192984.5906	208026.6975	400 m	192723.4582	208084.7665
140 m	192975.1567	208030.0144	410 m	192713.8701	208084.0916
150 m	192965.7192	208033.3211	420 m	192704.0279	208083.2232
160 m	192956.2776	208036.6158	430 m	192694.2003	208082.1839
170 m	192946.8365	208039.9122	440 m	192684.3963	208080.9791
180 m	192937.3945	208043.2059	450 m	192674.6179	208079.6549
190 m	192927.9507	208046.4947	460 m	192664.7217	208078.2137
200 m	192918.5150	208049.8066	470 m	192654.8244	208076.7816
210 m	192909.0703	208053.0901	480 m	192644.9234	208075.3757
220 m	192899.6116	208056.3686	490 m	192635.0256	208073.9468
230 m	192890.0543	208059.5886	500 m	192625.1277	208072.5185
240 m	192880.5128	208062.7137	510 m	192615.2298	208071.0903
250 m	192870.9388	208065.7683	520 m	192605.3319	208069.6620
260 m	192861.2434	208068.6235	528 m	192595.4340	208068.2337

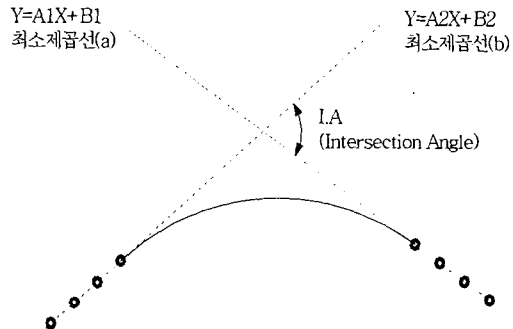


그림 7. 관측점에 의한 직선식

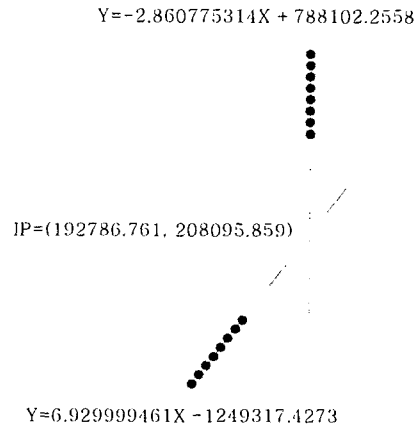


그림 8. IP좌표 산정

3.2 철도평면선형 추출

철도설계에서 중요한 요소는 평면선형정보이다. 평면선형정보 자료는 영상에서 얻은 수치를 이용하였으며 철도선형설계에 많이 활용되고 있는 TACOMA-NR을 이용하여 평면선형을 추출하였다.

먼저, 철도선형 설계 프로그램에서 기본데이터와 BP, EP, IP, R 그리고 제한조건들을 입력하여 텍스트 파일과 도면파일로 평면선형정보를 추출하였다. 프로그램에 입력과정은 그림 9와 같다.

또한 프로그램 시행 후의 결과로 나타난 연구대상구간의 평면선형제원은 표 5와 같다.

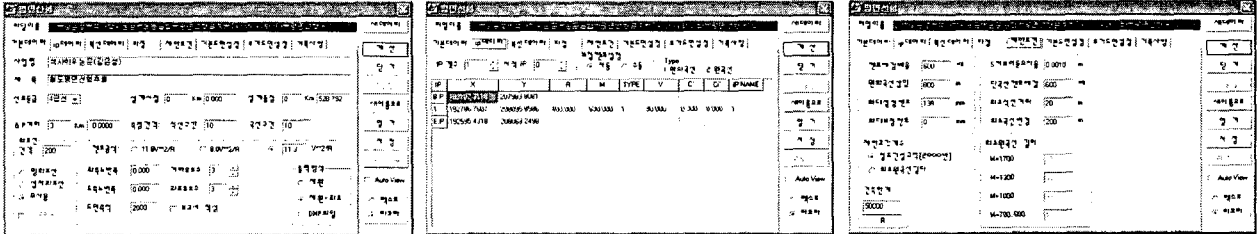


그림 9. 철도선형 설계프로그램

표 5. 설계제원 결과

B P	X(m)	193107.3118	I A	27° 28' 43"
	Y(m)	207983.8081		
I P	X(m)	192786.7607	T L	139.599 m
	Y(m)	208095.8586		
E P	X(m)	192595.4318	C L	275.107 m
	Y(m)	208068.2498		

3.3 철도종단선형 추출

철도평면선형을 이용하여 철도의 종단에 관련된 종단선형을 추출하였다. 종단선형은 디지털 영상처리해서 나온 값들을 이용하였으며, 중심선에 대한 종좌표는 표 6과 같다. 54개소의 종단선형은 그림 10과 같이 나타났다.

표 6. 중심선 결과 [Z]

구분	Z (m)	구분	Z (m)	구분	Z (m)
0 m	24.9686	180 m	24.0874	360 m	22.0630
10 m	24.9303	190 m	23.9902	370 m	22.0234
20 m	24.8828	200 m	23.8875	380 m	22.0070
30 m	24.8474	210 m	23.7731	390 m	22.0050
40 m	24.8109	220 m	23.6656	400 m	22.0006
50 m	24.7781	230 m	23.5550	410 m	22.0064
60 m	24.7530	240 m	23.4467	420 m	22.0308
70 m	24.7288	250 m	23.3445	430 m	22.0672
80 m	24.6903	260 m	23.2395	440 m	22.0990
90 m	24.6330	270 m	23.1326	450 m	22.1235
100 m	24.5852	280 m	23.0268	460 m	22.1501
110 m	24.5327	290 m	22.9138	470 m	22.1884
120 m	24.4911	300 m	22.8007	480 m	22.2224
130 m	24.4416	310 m	22.6852	490 m	22.2373
140 m	24.3742	320 m	22.5742	500 m	22.2530
150 m	24.3033	330 m	22.2989	510 m	22.2700
160 m	24.2444	340 m	22.2095	520 m	22.2850
170 m	24.1750	350 m	22.1303	528 m	22.2896

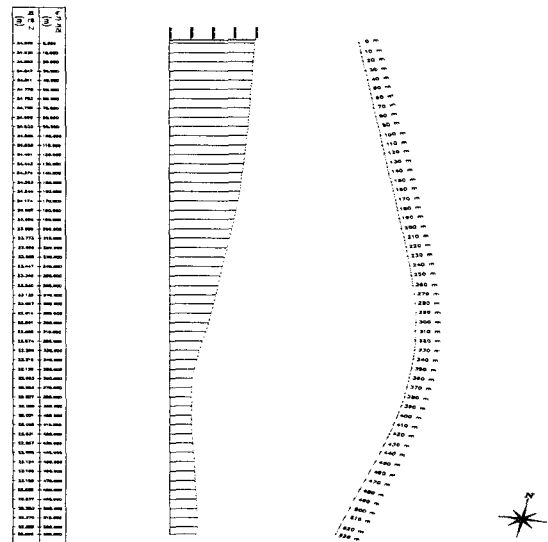


그림 10. 종단선형 추출

3.4 Cant 산정

디지털 영상을 이용하여 철도의 내·외측에 대한 Cant 정보를 산정하였다. Cant 정보는 디지털 영상

처리에서 나온 3차원 값들을 이용하였다. 10m 간격으로 산정하였으며, 본 연구대상지역에서 Cant가 존재하지 않는 직선 20개소, Cant가 0.138m인 원곡선 11개소에 대하여 비교하였다. 산정된 Cant는 표 7과 표 8에 나타내었다.

5. 결론

디지털 영상을 이용하여 철도의 선형정보를 추출하기 위해 연구한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 디지털 영상을 이용하여 철도궤도에 대한 3차원 좌표를 취득할 수 있었으며, 정확도를 분석하기 위해 기준점 좌표성과와 비교한 본 결과, RMSE는 X방향으로 0.658mm, Y방향으로 0.620mm, Z방향으로 0.797mm로 나타났다. 이는 궤간(2mm) 및 표고(7mm)의 허용오차기준(철도건설규칙)을 만족하므로 선형정보추출의 방법으로 타당함을 보여준다.
2. 영상분석을 통해 중심선을 추출하고 최소제곱법에 의한 직선궤도를 산정하였으며, 산정된 최소제곱선에 의해 IP(192786.761, 208095.859)를 추출할 수 있었다. 이를 철도선형 설계 프로그램에 적용한 결과 IA, CL, TL 등의 제원과 평면선형 및 종단선형을 추출할 수 있었다.
3. Cant의 정확도를 분석하기 위해 영상으로부터 추출된 Cant를 산정한 결과 Cant가 없는 직선구간에서는 오차가 0.1mm~6.5mm, Cant가 138mm인 원곡선구간에서는 오차가 0.2mm~3.5mm의 범위를 나타냈다. 이는 레일길이 10m에 대하여 7mm의 허용오차기준(철도건설규칙)을 만족하므로 철도궤도에 디지털 영상을 이용하여 Cant량을 해석할 수 있겠다.
4. 향후 디지털 영상자료에 대한 정밀한 기하학적 해석의 연구가 지속될 경우, 선형의 틀림을 결정함과 동시에 레일, 침목 등의 마모와 교체시기와 같은 철도궤도 정보를 과학적이고 효율적으로 획득할 수 있을 것이다.

표 7. 직선구간 Cant

구분	내 측 (m)	외 측 (m)	Cant (m)		
			시험	설계	오차
0 m	24.9685	24.9686	0.0001	0.0000	0.0001
10 m	24.9305	24.9300	0.0005		0.0005
20 m	24.8827	24.8828	0.0001		0.0001
30 m	24.8478	24.8470	0.0008		0.0008
40 m	24.8101	24.8116	0.0015		0.0015
50 m	24.7748	24.7813	0.0065		0.0065
60 m	24.7535	24.7525	0.0010		0.0010
70 m	24.7298	24.7278	0.0020		0.0020
80 m	24.6905	24.6901	0.0004		0.0004
90 m	24.6333	24.6327	0.0006		0.0006
100 m	24.5837	24.5866	0.0029		0.0029
110 m	24.5313	24.5341	0.0028		0.0028
120 m	24.4914	24.4907	0.0007		0.0007
130 m	24.4392	24.4440	0.0048		0.0048
140 m	24.3745	24.3739	0.0006		0.0006
150 m	24.3040	24.3025	0.0015		0.0015
160 m	24.2451	24.2437	0.0014		0.0014
170 m	24.1776	24.1724	0.0052		0.0052
180 m	24.0878	24.0870	0.0008		0.0008
190 m	23.9903	23.9900	0.0003	0.0003	

표 8. 원곡선구간 Cant

구분	내 측 (m)	외 측 (m)	Cant (m)		
			시험	설계	오차
290 m	22.8443	22.9832	0.1389	0.1380	0.0009
300 m	22.7311	22.8703	0.1392		0.0012
310 m	22.6168	22.7536	0.1368		0.0012
320 m	22.5053	22.6431	0.1378		0.0002
330 m	22.2298	22.3680	0.1382		0.0002
340 m	22.1399	22.2790	0.1391		0.0011
350 m	22.0609	22.1997	0.1388		0.0008
360 m	21.9954	22.1306	0.1352		0.0028
370 m	21.9526	22.0941	0.1415		0.0035
380 m	21.9395	22.0745	0.1350		0.0030
390 m	21.9351	22.0749	0.1398		0.0018

참고문헌

- 유환희, 조해용, 송영선(1996), 수치사진측량을 이용한 GIS의 지형정보 자동획득, 대한토목학회 논문집, 제16권 제III-4호, pp.335-341.
- 정의환, 이남수(2003), GPS 기법을 이용한 철도 선형제원의 복원, 한국철도학회 논문집, 2003권 2호, pp.123-128.
- 최종길(2003), 철도 전철화에서 건설과 유지보수 사업에 관한 연구, 공학석사학위논문, 연세대학교, p.2.
- J.C. Gayde, C. Humbertclaude, and C. Lasseur(1997), Prospects of close range digital photogrammetry in large physics installations, *Accelerator Alignment Workshop*, Geneva, Switzerland.