

# 디지털 영상을 이용한 철도선형정보 추출

## The Extraction of Railroad Alignment Information Using Digital Imagery

서동주<sup>1)</sup> · 김종원<sup>2)</sup>

Seo, Dong-Ju · Kim, Joung Won

### Abstract

Railroads have been developed as public transportation and made a great contribution to national economic growth. But after the mid-20th century, its qualities have been 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. Elements of horizontal alignment are needed in the case where the existing railroad lines should 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 study, we acquire, analyze, and process the digital images of the railroad and then reappear shape of three dimension. And we expect to be utilized to construct the facility information by extracting the alignment elements of existing railroad lines reversely.

Keywords : Digital Imagery, Railroad alignment information, Cant, Least squares method

### 초 록

철도는 대중교통 수단으로 가장 일찍이 개발되어 근대 산업발전에 크게 기여하였으나 20세기 중반이후 자동차, 항공기 산업의 발달과 투자의 집중으로 철도시설의 낙후 등 정체화의 길을 걷게 되었다. 그러나 산업의 고도화 및 분업화로 인한 교통수요의 급속한 증가와 다양화로 대량수송, 고속성, 안전성, 정시성, 에너지 효율성 및 환경오염 방지 측면에서 탁월한 장점을 갖는 철도의 역할을 재인식하게 되었다. 최근 기존선의 개량 및 이설하고자 할 경우 기존선의 평면선형 제원은 기본적인 자료로서 필요하게 되는데, 만약 최초 선형자료의 기본인 설계도서가 분실되었거나 훼손되었을 경우에 설계제원의 복원이 불가능하며, 최근 발생하는 각종 재난으로 인한 선로 유실시 선형의 정밀 복구가 어려운 실정이다. 철도선형제원이 기본적인 지리정보 자료로서의 기능을 발휘하기 위해서는 누락된 기존선의 철도선형에 대한 제원을 알아야 한다. 따라서 본 연구에서는 사회간접자본시설인 철도를 대상으로 디지털 영상을 획득하고 분석·처리하여 선형의 3차원 형상을 재현하며, 선형제원을 역으로 산출함으로써 기존선의 선형자료를 정밀하게 추출하여 철도시설의 정보화 구축에 기여하고자 한다.

핵심어 : 디지털 영상, 철도선형정보, Cant, 최소제곱법

## 1. 서 론

최근 남·북 경제협력 등 경인선과 경원선의 철도 복원 사업이 본격적으로 추진되면서, 한국중단철도연결(TKR), 러시아횡단철도(TSR), 중국대륙철도(TCR), 몽골연결철도

(TMR)를 연결함으로써 중국대륙, 몽골, 유럽과의 연계 철도망 구축이 현실로 직면하게 되었다(최종길, 2003). 향후 대륙연계철도 및 동북아 교통 중심지로 자리 잡기 위해서는 기존선 및 고속철도의 정보화 구축이 필수적인 사항으로 대두되고 있다. 특히 선형에 대한 정보화는 다

1) 연결저자 · 정회원 · 부경대학교 공학연구원 연구원, 공학박사(E-mail:dpsdj@pknu.ac.kr)

2) 정회원 · 부경대학교 대학원 건설사업협동과정 박사수료(E-mail:jwon@pknu.ac.kr)

른 시설물의 정보화 구축에 기반 자료를 제공할 수 있기 때문에 선행되어야 한다(정의환, 2003).

선형정보추출 연구는 도로정보의 자동추출을 위하여 항공사진측량을 적용한 바 있으며(유환희, 1996), GPS 등 적관측기법을 이용하여 도로의 평면선형을 분석한 연구를 했으며(이종출, 2001), 근거리사진측량기법을 이용하여 도로평면선형정보를 추출하는 프로그램을 개발하였다(서동주 등, 2003, Habib, 2000). 그리고 일반적인 비디오 카메라를 이용하여 도로중심선의 3차원위치정보를 추출하는 연구가 있었다(서동주 등, 2006). 또한 철도선형인 단곡선의 추출하기 위한 최적화를 연구하였으며(Kufver, 1997), 개략적인 철도선형에 대한 제원을 복원하고자 GPS 기법을 이용한 연구가 수행된 바 있다(정의환, 2003).

본 연구에서는 사회간접자본시설인 철도를 대상으로 영상을 이용하여 효과적인 선형을 추출하기 위해서 먼저 연구계획을 수립하고 대상지역을 선정하였다. 그리고 대상지역에 기준이 되는 기준점들을 GPS측량 및 Total Station으로 위치 자료를 획득하였으며, 디지털 영상을 획득·처리함으로써, 철도선형의 3차원 위치 형상과 선형자료를 추출하였다. 이를 위해, 본 연구에서는 그림 1과 같은 일련의 과정으로 연구를 수행하였다.

또한 대상지역 총 528m에 대하여 획득한 영상들을 처리하여 10m 간격으로 54개소(STA.0~520, STA.528)의

3차원 좌표를 획득하였으며, Cant 및 최소제곱법에 의한 IP좌표를 산정하였다.

이렇게 산정된 IP좌표를 철도선형 설계 프로그램에 적용함으로써, 연구대상지역의 평면선형과 종단선형을 추출하였다.

따라서, 본 연구에서는 사회간접자본시설인 철도를 대상으로 디지털 영상을 획득하고 분석·처리하여 선형의 3차원 형상을 재현하며, 선형제원을 역으로 산출함으로써 기존선의 선형자료를 정밀하게 추출하여 철도시설의 정보화 구축에 기여하고자 한다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 디지털 영상

다중영상표정은 여러 다른 사진들과 대상물에 관련된 각 사진의 카메라 위치( $X_c, Y_c, Z_c$ )와 회전요소( $\omega, \phi, \kappa$ )에 대한 계산이며, 표정점에 대한 대상물 좌표를 계산하는 것으로서 내부표정과 외부표정으로 구분할 수 있다. 광속조정에서는 표정을 위해 공간 전방교회법(space intersection)과 공간 후방교회법(space resection)을 동시에 이용한다.

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 이를 도식화하면 그림 3과 같다.

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, 이를 도식화하면 그림 2와 같다(이철우, 2000).

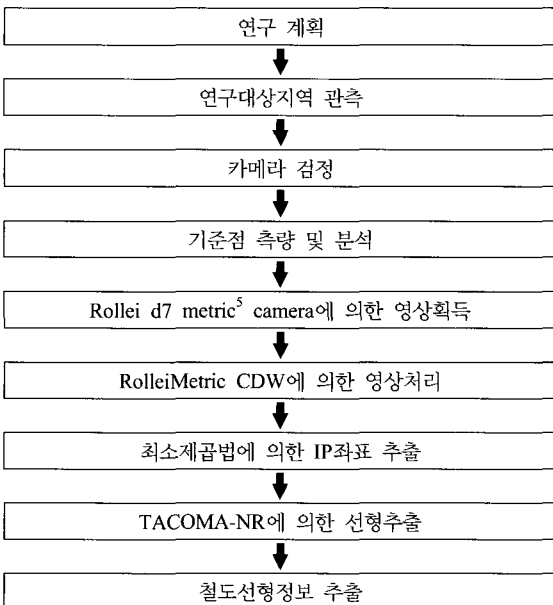


그림 1. 연구의 흐름도

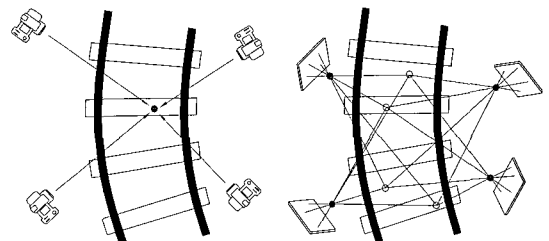


그림 2. 공간전방교회법

그림 3. 공간후방교회법

## 2.2 Cant

열차가 곡선부를 통과할 때 차량에 작용하는 원심력으로 외측레일에는 과도한 부하가 생기는 반면, 내측레일에는 하중이 감소되어 불안정하게 된다. 열차속도가 커지면 차량은 곡선 외방으로 탈출할 우려가 있으므로 이를 방지하기 위하여 외측레일을 내측레일보다 높게 하여 원심력(F)과 중력(W)과의 합력(P)이 궤간 중앙부에 작용하도록 하여 주행차량의 안전을 도모한다. 이와 같이 곡선에서 내측레일을 기준하여 외측레일을 높게 하는 것을 Cant라 한다.

Cant는 원심력과 중력가속도의 합력이 궤도중심으로 향하도록 설정하는 것이 바람직하며, 이것을 균형 Cant라고 한다. 그 산출은 Cant를 C(mm), 좌우차량접촉점간 거리를 G(mm)로 하면 식 (1)에서 F, W는

$$\frac{F}{W} = \frac{C}{G} \quad (1)$$

의 관계가 성립되며,

$$C = \frac{GV^2}{127R} \quad (2)$$

된다. 즉 식 (2)의 Cant를 설정하면 차량중심과 원심력의 합력 P는 레일면과 직각으로 되어 차량이나 승객에게 원심력의 영향을 주지 않는 것으로 된다. 이 식에서 알 수 있듯이 곡선반경이 작은 만큼, 또 열차속도가 클수록 Cant의 값을 크게 한다.

표준궤간에서 G=1500mm로 하면, Cant는 식 (3)과 같다(이남수, 1993).

$$C = 11.8 \frac{V^2}{R} C \quad (3)$$

## 2.3 최소제곱법

자료 점들이  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ 라 하면, 1차함수  $f(x) = ax + b$ 가 준 좌표에 얼마나 잘 일치하는가를 결정하는 한 방법은 점들이  $f$ 의 그래프 사이의 수직거리,  $e_i = |y_i - f(x_i)|$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ 을 측정하는 것이다. 각  $e_i$ 는 자료값  $y_i$ 를 함수값  $f(x_i)$ 으로 근접시키는 오차로 생각할 수 있다. 그림 4를 보면 직관적으로, 모든  $e_i$ 의 값들의 합이 최소이면, 함수  $f$ 는 자료에 잘 맞을 것이라는 것을 알 수 있다.

식 (4)를 최소화하는 계수 a와 b라고 정의하자.

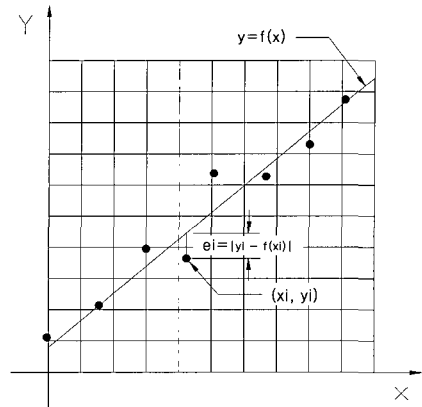


그림 4. 최소제곱법

$$E = \sum_{i=1}^n [y_i - ax_i - b]^2 \quad (4)$$

제곱오차의 합을 최소화하는 직선  $f(x) = ax + b$ 는 최적선이라고 정의되고, 자료  $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ 에 대한 최소제곱선이라고 불린다(이종출, 2001).

## 3. 철도선형 관측

연구대상지역은 부산광역시 ○○구간으로 총연장 528m 인 4급선 철도를 선정하였다. 본 연구를 위해 선정된 대상지역은 원곡선과 직선이 조합되어 있고, 비교적 곡선이 급하여 Cant가 큰 지역을 선정하였다.

### 3.1 카메라 검정

수치영상의 획득을 위한 장비로는 Rollei사에서 제조한 d7 metric<sup>5</sup> 카메라를 사용하였으며, 카메라의 형상 및 제원은 그림 5와 표 1과 같고, 촬영에 사용될 카메라의

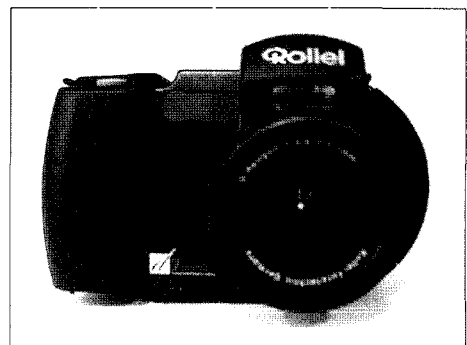


그림 5. Rollei d7 metric<sup>5</sup> 카메라

표 1. 카메라 제원

제 원		Rollei d7 metric <sup>5</sup>
기록장치		CCD recode
셔터속도		1/8,000 sec
초점거리		7mm
유효화소수	X	2,552
	Y	1,920
센서크기	X	8.932mm
	Y	6.720mm

표 2. 카메라 제원

검정된 자료 [Rollei d7 metric <sup>5</sup> Camera]		
내부표정요소 및 렌즈왜곡계수	cK <sup>1</sup>	-7.422mm
	xH <sup>2</sup>	0.6875mm
	yH <sup>2</sup>	0.0998mm
	A1 <sup>3</sup>	-2.1884e-003
	A2 <sup>3</sup>	3.5727e-005
	R0 <sup>4</sup>	3.00mm

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

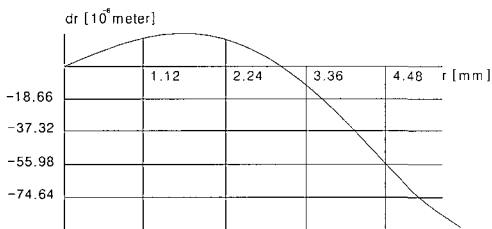


그림 6. 카메라 검정에 의한 시스템의 왜곡 매개변수

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 왜곡계수와 2차 왜곡계수를 적용하여 방사방향 왜곡 수차만을 보정해 주었다.

표 2는 카메라 검정에 의해 보정된 자료를 나타낸 것이며, 카메라 검정결과 시스템의 왜곡 매개변수들을 도식적으로 나타내면 그림 6과 같다(이효성, 2000).

표 3. 기준점 및 대상점의 측량성과

No.	X(m)	Y(m)	Z(m)	No.	X(m)	Y(m)	Z(m)
1	192926.145	208047.358	23.801	26	192822.203	208078.627	22.690
2	192925.346	208047.057	23.798	27	192819.908	208079.007	22.644
3	192925.015	208047.934	23.788	28	192817.663	208079.490	22.640
4	192924.227	208047.426	23.786	29	192816.935	208078.973	22.551
5	192923.103	208047.836	23.774	30	192815.754	208079.191	22.533
6	192921.958	208048.183	23.761	31	192815.248	208079.898	22.601
7	192919.766	208049.134	23.722	32	192814.560	208079.444	22.525
8	192919.432	208049.926	23.723	33	192814.038	208080.106	22.583
9	192918.656	208049.425	23.718	34	192813.340	208079.657	22.504
10	192917.506	208049.834	23.704	35	192812.875	208080.203	22.555
11	192917.184	208050.674	23.699	36	192811.717	208080.508	22.555
12	192916.441	208050.258	23.694	37	192811.040	208079.998	22.469
13	192916.058	208051.087	23.691	38	192810.537	208080.707	22.542
14	192914.932	208051.500	23.676	39	192809.847	208080.171	22.454
15	192914.052	208050.983	23.666	40	192809.379	208080.890	22.526
16	192913.725	208051.934	23.665	41	192808.692	208080.398	22.447
17	192912.935	208051.358	23.662	42	192807.555	208080.646	22.445
18	192911.820	208051.724	23.657	43	192807.120	208081.253	22.509
19	192911.485	208052.699	23.657	44	192806.424	208080.760	22.423
20	192910.637	208052.135	23.654	45	192805.954	208081.480	22.507
21	192910.351	208053.097	23.661	46	192805.284	208080.980	22.423
22	192909.479	208052.481	23.658	47	192804.778	208081.576	22.484
23	192823.770	208077.699	22.642	48	192803.628	208081.732	22.485
24	192823.326	208078.386	22.705	49	192803.004	208081.267	22.410
25	192822.619	208077.846	22.619	50	192802.495	208081.838	22.476

### 3.2 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 3과 같다.

### 3.3 영상획득 및 자료처리

본 연구에서는 철도노선에 대한 디지털 영상을 획득하기 위해 그림 7과 같이 촬영을 실시하였으며, 그 모식도는 그림 8과 같다.

자료처리에 있어서는 사진측량 S/W 중 다양한 카메라 및 렌즈의 선택과 설치의 편이성이 있고, 다양한 분야에서 많이 활용되고 있는 Rollei Metirc CDW(Close Range Digital Workstation)를 이용하여 획득된 대상물의 수치

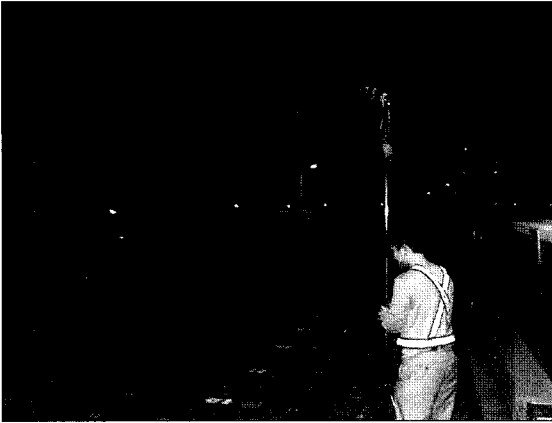


그림 7. 사진측량 촬영모습

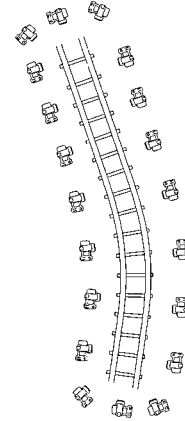


그림 8. 사진측량 모식도

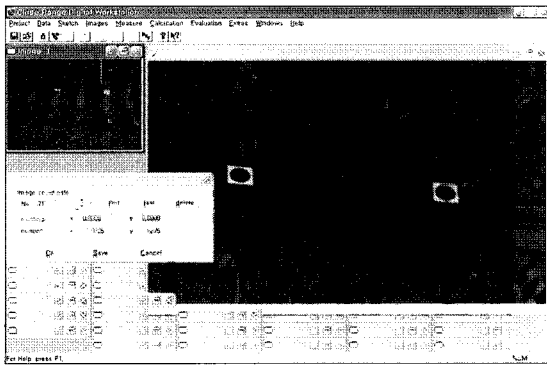
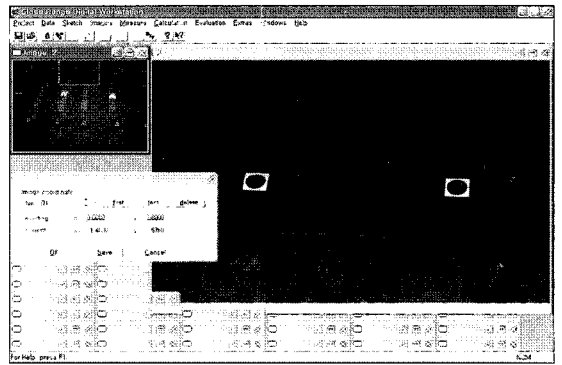


그림 9. 상좌표 측정모습



영상에서 각 표정점의 3차원 좌표를 광속조정법에 의해 결정하였다(Fraser, 1998). 이러한 RolleiMetric CDW는 복잡한 수치영상에서 상좌표 취득이 용이할 뿐만 아니라 자료처리의 모든 공정이 자동으로 수행되며, 정확한 표정점의 계산이 가능하다.

먼저, 카메라 검정에 의해 결정된 내부표정요소와 촬영시 Camera 위치를 입력하고 표정점을 관측하였다. 연속된 두 영상에 대한 표정점 관측모습은 그림 9와 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 4와 같이 나타내었다.

이렇게 연속된 영상에서 중복 측정된 표정점은 공선조건을 기초로 한 다중영상표정에서 후방교회법과 전방교회법을 동시에 수행하고, 광속조정법에 의해 대상점의 3

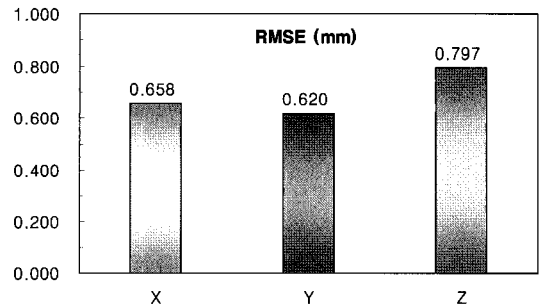


그림 10. 검사점 RMSE 결과값 [X, Y, Z]

차원 좌표 및 외부표정 매개변수를 결정하게 된다.

또한, 본 연구에서는 다중영상표정과 광속조정법에 의해 결정된 대상물 3차원 좌표의 정확도를 분석하기 위해 토탈스테이션에 의해 측정된 검사점 좌표성과와의 차이로 비교하였다. 검사점에 대한 RMSE를 산정한 결과, 그

표 4. 광속조정 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

림 10에 나타난 것과 같이 X방향으로 0.658mm, Y방향으로 0.620mm, Z방향으로 0.797mm의 RMSE 분포를 나타내었다.

#### 4. 철도선형정보 추출

##### 4.1 IP좌표 추출

본 연구에서 평면선형을 추출하기 위해 영상으로부터 얻은 자료를 이용하여 중심선 좌표를 획득하였으며, 획득한 총 54개소에 대한 중심선 평면좌표는 표 5와 같다.

중심선 좌표를 이용하여 직선구간의 직선식을 획득하기 위해 본 연구에서는 그림 11과 같은 최소제곱선을 이용하였으며, 최소제곱선(a)는  $Y=-2.860775314X+788102.2558$

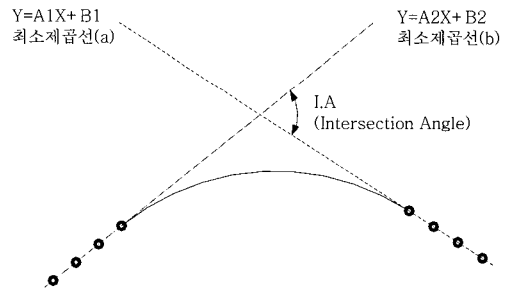


그림 11. 관측점에 의한 직선식

이며 상관계수(R2)은 0.976로 분석되었으며, 최소제곱선 (b)는  $Y=6.929999461X-1249317.42738$ 이며 상관계수(R2)은 0.987로 분석되었다. 위와 같이 분석된 직선식은 그

$$Y = -2.860775314X + 788102.2558$$

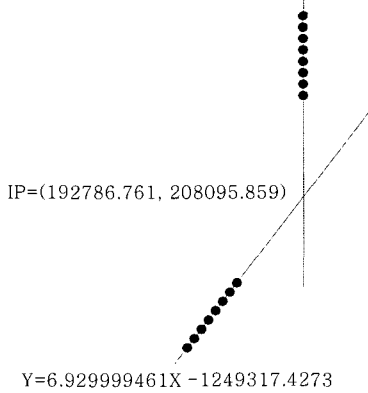


그림 12. IP좌표 산정

표 5. 중심선 결과 [X, Y]

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

림 12와 같다. 이 두 최소제곱선으로 IP(X=192786.761, Y=208095.859)를 산정하였다.

#### 4.2 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 (Beginning Point), EP(Ending Point), IP(Intersection Point), R(Radius) 그리고 제한조건들을 입력하여 텍스트 파일과 도면파일로 평면선형정보를 추출하였다. 프로그램에 입력과정은 그림 13와 같다.

프로그램 시행 후의 결과로 나타난 연구대상구간의 평면선형제원은 표 6과 같고, 평면선형의 형상은 그림 14로 추출되었다.

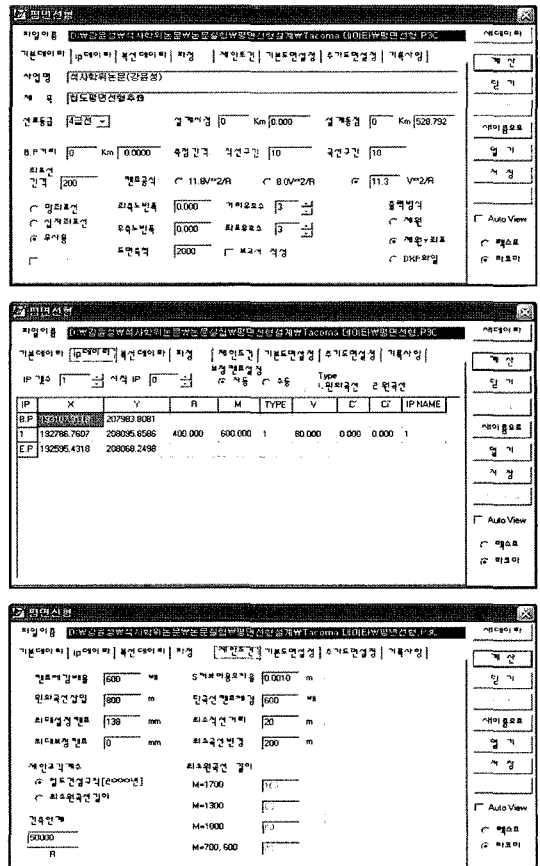
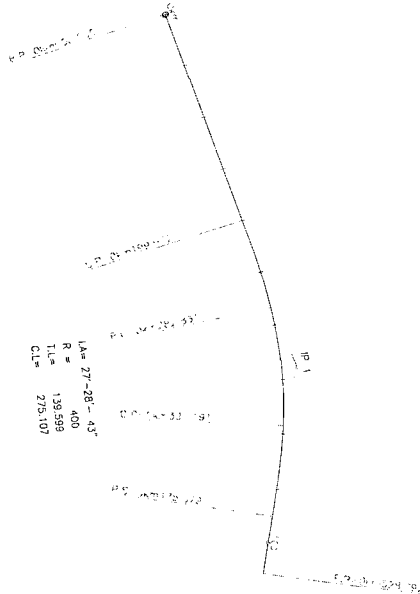


그림 13. 철도선형 설계프로그램

표 6. 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	139.599m
	Y(m)	208095.8586		
E P	X(m)	192595.4318	C L	275.107m
	Y(m)	208068.2498		



SP (Straight Parabola)	완화곡선 시점
PC (Parabola Curve)	원곡선 시점
CP (Curve Parabola)	원곡선 종점
PS (Parabola Straight)	완화곡선 종점
BP (Beginning Point)	직선 시점
EP (Ending Point)	직선 종점
IP (Intersection Point)	교선점
R (Radius)	반경

그림 14. 평면선형 형상

4.3 철도중단선형 추출

철도평면선형을 이용하여 철도의 중단에 관련된 중단 선형을 추출하였다. 중단선형은 디지털 영상처리해서 나온 값들을 이용하였으며, 중심선에 대한 Z좌표는 표 7과 같다. 54개소의 중단선형은 그림 15와 같이 나타냈다.

4.4 Cant 산정

디지털 영상을 이용하여 철도의 내·외측에 대한 Cant

표 7. 중심선 결과 [Z]

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

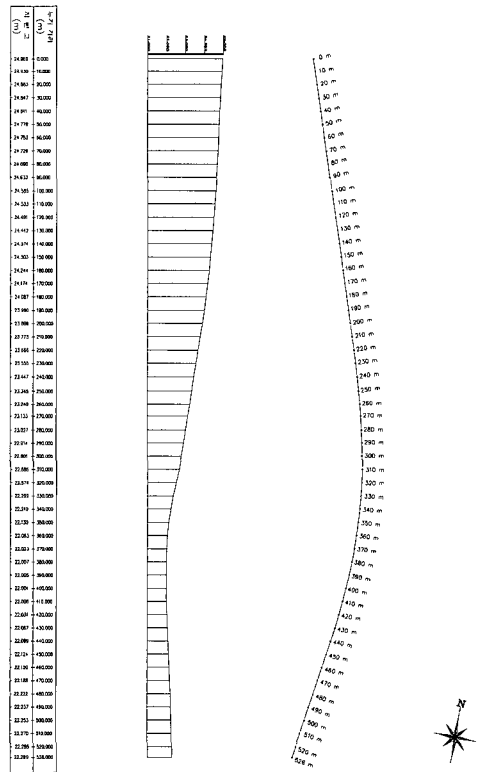


그림 15. 중단선형 추출



표 8. 직선구간 Cant

구분	내 측 (m)	외 측 (m)	Cant(m)		
			시험	설계	오차
0m	24.9685	24.9686	0.0001	0.0000	0.0001
10m	24.9305	24.9300	0.0005		0.0005
20m	24.8827	24.8828	0.0001		0.0001
30m	24.8478	24.8470	0.0008		0.0008
40m	24.8101	24.8116	0.0015		0.0015
50m	24.7748	24.7813	0.0065		0.0065
60m	24.7535	24.7525	0.0010		0.0010
70m	24.7298	24.7278	0.0020		0.0020
80m	24.6905	24.6901	0.0004		0.0004
90m	24.6333	24.6327	0.0006		0.0006
100m	24.5837	24.5866	0.0029		0.0029
110m	24.5313	24.5341	0.0028		0.0028
120m	24.4914	24.4907	0.0007		0.0007
130m	24.4392	24.4440	0.0048		0.0048
140m	24.3745	24.3739	0.0006		0.0006
150m	24.3040	24.3025	0.0015		0.0015
160m	24.2451	24.2437	0.0014		0.0014
170m	24.1776	24.1724	0.0052		0.0052
180m	24.0878	24.0870	0.0008		0.0008
190m	23.9903	23.9900	0.0003	0.0003	
평균					0.0017

표 9. 원곡선구간 Cant

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

정보를 산정하였다. Cant 정보는 디지털 영상처리에서 나온 3차원 값들을 이용하였다. 10m 간격으로 산정하였으며, 본 연구대상지역에서 Cant가 존재하지 않는 직선 20

개소, Cant가 0.138m인 원곡선 11개소에 대하여 비교하였다. 산정된 Cant값은 표 8과 표 9에 나타내었다.

설계값과 결과값의 비교 분석결과 직선구간에서는 평균오차 0.0017m이며, Cant구간에서는 0.0015m로 나타났으며, 이 값은 레일길이 10m에 대하여 7mm의 허용오차 기준인 철도건설규칙에 만족하는 것으로 분석되었다.

### 5. 결 론

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, 토털스테이션에 의해 관측하여 얻은 대상점들의 3차원좌표와 비교하여 정확도를 분석한 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 철도궤도의 Cant량을 추출하는데 디지털 영상을 활용할 수 있음을 확인 할 수 있었다.

4. 향후 디지털 영상자료에 대한 정밀한 기하학적 해석의 연구를 지속함으로써 선형의 적합여부에 대한 자료를 추출할 수있 음은 물론 동시에 레일, 침목 등의 마모와 교체시기와 같은 철도궤도 정보를 과학적이고 효율적으로 획득할 수 있을 것이다.

### 참고문헌

서동주, 이종출 (2003), 수치사진측량을 이용한 도로평면선형정보체계 개발, 한국측량학회지, 제21권, 제4호, pp. 347-353.  
 서동주, 이종출 (2006), 비디오키메라를 이용한 3차원 도로중심선추출, 한국도로학회 논문집, 제8권, 제1호, pp. 65-75.

- 유환희, 조해용, 송영선 (1996), 수치사진측량을 이용한 GIS의 지형정보 자동획득, 대한토목학회 논문집, 제16권 제III-4호, pp. 335-341.
- 이남수 (1993), 철도곡선부의 캔트 설정에 틸팅장치에 의한 주행성 연구, 박사학위논문, 경기대학교, p. 28.
- 이종출 (2001), 동적 GPS관측에 의한 도로의 평면선형분석, 한국측량학지, 제19권, 제1호, pp. 39-45.
- 이철우 (2000), 수치사진측량을 이용한 Fender의 3차원 수치모형생성, 공학석사학위논문, 충북대학교, p. 12, 25.
- 이효성 (2000), 수치근접사진측량에 의한 조경석의 표면거칠기 정밀측정, 공학박사학위논문, 경상대학교, pp. 64-68.
- 정의환, 이남수 (2003), GPS 기법을 이용한 철도 선형제원의 복원, 한국철도학회 논문집, 3권 2호, pp. 123-128.
- 최종길 (2003), 철도 전철화에서 건설과 유지보수 사업에 관한 연구, 공학석사학위논문, 연세대학교, p. 2.
- Bjon Kufver (1997), "Optimization of single horizontal curves in railway alignments", Division of transport systems, Swedish Road and Transport Research Institute, Sweden, TRITA-FKT Report 424A.
- Fraser, C. S. (1998), Automated processes in digital photogrammetric calibration, orientation, and triangulation, Digital Signal Processing, Vol. 8, pp. 277-283.
- Habib, 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.

---

(접수일 2006. 10. 25, 심사일 2006. 11. 20, 심사완료일 2006. 11. 30)