

지상사진 도해법을 이용한 도로시설물 정보추출 Extraction of Road Facility Information Using Graphic Solution

손덕재* · 이혜진** · 이승환***

Sohn, Duk-Jae · Lee, Hey-Jin, Lee, Seung-Hwan

要 旨

본 연구는 도해법을 이용하여 지형공간정보체계(GIS)에 사용되는 도로시설물의 공간정보와 속성정보를 획득하는 방법에 관한 연구이다. 지상사진은 사진기의 정확한 위치선정과 대상물에 대한 방향의 전환 및 반복적인 촬영이 용이하여 도로시설물 정보취득에 많은 활용가능성을 가지고 있다. 본 연구에서는 도로시설물에 대한 신속한 정보취득을 요하는 경우나, 비교적 높은 정확도를 요하지 않는 경우를 상정하여 단사진 영상을 위주로 해석하였으며, 엄밀한 사진측량에 의한 공간정보의 취득이 불가능한 경우에 활용할 수 있는 기법을 개발하고자 하였다. 본 연구의 결과 도로시설물의 평면도 작성과 제원 등 공간정보와 속성정보를 효과적으로 추출할 수 있었다.

ABSTRACT

The intention of this study is to extract the spatial and attribute information of road facility for Geospatial Information System(GIS) using graphic solution. Terrestrial photogrammetry has a lot of possibility for the acquisition of road facility information, which has much convenience in locating camera station, selecting the direction, and taking multiple images of the object at the fixed position. This study intended to develop the technique using single frame images only for the raw image data, being able to apply in the case where comparative high accuracy is not required and rigorous photogrammetric method is not available or rapid acquisition of information is need. As the results, we can find the efficiency in plane feature mapping and determining the dimensions of the road facilities.

1. 서론

지형공간정보체계(Geospatial Information System: GIS)를 이용한 도로시설물관리 시스템 구축에 관한 연구가 최근에 많이 이루어지고 있다. 이 과정에서 시스템의 공간 자료기반(Data Base: DB)의 구축에 항공사진과 위성영상 등 공간영상을 많이 활용하고

있고, 지상사진을 활용한 연구로는 GPS VAN과 같은 연구가 진행되고 있다. 현재 전국을 대상으로 국가지리정보체계(National Geographic Information System: NGIS) 구축사업이 실시되어 1:25,000 수치지도 DB가 구축되었고, 주요지역 및 대도시 지역을 대상으로 하여 1:5,000 및 1:1,000 수치지도 DB가 연차적으로 구축되고 있다. 그러나, 대도시에서 벗어난

* 대전대학교 토목공학과 교수 (djsohn@road.daejin.ac.kr)

** 대전대학교 토목공학과 석사과정 수료

*** 대전대학교 토목공학과 석사과정

외곽지역은 각종 시설물 관리 시스템(Facility Management System : FM)을 구축하는데 충분한 대축척 수치지도 DB가 구축되어 있지 않은 경우가 많다^{1),2)}.

따라서, 본 연구에서는 도로시설물의 측정에서 정확한 촬영위치 선정과 대상물에 대한 방향의 전환 및 반복촬영 등이 용이하며 많은 활용성을 가지고 있는 지상사진 영상을 이용하였으며, 촬영된 영상으로부터 관련정보를 추출하고 활용할 수 있는 기법을 개발하고자 하였다. 또한, 지형도와 준공도면에서 누락된 공간자료와 관련 속성정보를 추출하여 공간 및 속성자료기반에 보완할 수 있는 가능성을 타진하려 하였다. 지상취득 영상으로는 현재 많이 쓰이고 있으며 저가품인 일반카메라, 디지털카메라, 비디오카메라에 의하여 촬영된 영상을 이용하였으며, 엄밀한 사진측량에 의한 정보 취득이 불가능하거나 신속한 정보취득이 요구되는 경우를 상정하여 단사진 영상을 위주로 해석하였다.

본 연구에서는 비교적 높은 정확도가 요구되지 않거나 짧은시간 안에 자료의 수정 및 갱신이 필요한 경우에 활용할 수 있도록 단사진 도해법을 활용한 도로시설물 정보추출 기법을 개발하고자 하였다.

한편, 지상사진과 다중영상을 이용한 영상지도의 제작과 도로 시설물 관리시스템 구축에 관한 다수의 연구가 진행되어 왔는데, Habib (2000)는 MMS(Mobile Mapping System)를 사용하여 입체영상에서 도로 경계를 추출하는 연구를 수행하였고³⁾, 신상철(1995)과 홍순헌(1998)은 도로 시설물 정보 관리시스템 구축에서 DB설계와 도로 시설물의 유지관리 및 보수시 자료의 수정과 보완에 중점을 두고 연구하였다^{4),5)}. 또한, 유환희(1995,1998)는 비디오 카메라를 이용한 3차원 지형정보의 자동추출과 수치지도 생성 및 갱신을 위한 수치처리 영상기법의 개발과, 비디오 사진측량 기본모듈 개발에 관한 연구를 수행하였다^{6),7)}. 또한, 현재에도 지상사진을 이용한 영상지도 제작에 관한 연구가 활발하게 진행중이다.

2. 도해법

도해법(graphical analysis)을 이용하여 카메라 작업자의 기술여부나 영상의 평면·비평면과 상관없이 단사진 영상(single photographic image)으로부터 평면정보 또는 3차원 정보를 추출할 수 있다. 인공물에 대한 단사진 광학영상(single frame optical image)과 비디오영상으로부터 투시기하학(perspective geometry)을 사용하여 대상 물체에 대한 정확한 치수 분석이 가능하다⁸⁾.

2.1 투시투영 (Perspective Projection)

공간에 존재하는 물체는 관측자의 위치와 거리에 따라 보이는 크기가 다르고, 결국에는 하나의 점으로 보이게 된다. 이와 같이 물체와 관측자 사이의 거리, 물체가 놓여진 위치, 관측자 눈의 높이에 따라 보이는 정도가 다르게 표현된다. 투시투영 또는 투시도법은 물체와 관측자, 그리고 투영면을 이용하여 관측자의 시점과 대상물체의 사이에 물체를 투영하는 방법이다. 즉 대상물체의 뒤쪽에 투영면을 놓고, 시점과 물체의 각 모서리 점을 직선으로 연결한 투사선에 의해 우리 눈에 보이는 형태와 같이 물체의 상을 도시하는 도법이다.

투시도법은 화면에 물체의 원근감을 느낄 수 있도록 관측자의 시점과 물체와의 관계를 기하학적인 원리에 의하여 작도하는 도법으로서 소점의 수에 따라 1소점 투시도(평행투시도), 2소점 투시도(유각투시도), 3소점 투시도(사각투시도) 등으로 분류한다⁹⁾.

2.2 1소점 투시(One-Point Perspective)

대상물체가 화면에 대하여 평행하게 놓여있고, 측면은 기면에 대하여 직각을 이루고 놓여 있으며, 관측자의 위치는 기면의 수직방향에 있는 것으로 하여 투시도를 작도하는 도법으로 1소점 투시 또는 평행

투시(平行透視)라고 한다.

1소점 투시도는 일반적으로 직접법(측선법), 거리점법, 측점법 등을 이용하여 작도한다.

2.3 2소점 투시(Two-Point Perspective)

대상물체가 기면에 평행하고 화면에는 기울어져 있으며, 관측자의 위치는 기면의 수직방향에 있을 때 투시도를 작도하는 도법으로 유각(有角) 또는 성각 투시라고도 한다. 2소점 투시도는 일반적으로 직접법(측선법), 측점법, 개선법, 기선법, 간략도법 등을 이용하여 작도한다.

2.4 3소점 투시(Three-Point Perspective)

대상물체가 기면과 화면에 모두 경사를 이루며, 관측자의 위치는 기면의 수직방향에 있을 때 투시도를 작도하는 도법으로 사각투시(斜角透視)라고도 한다. 3소점 투시도는 일반적으로 개선법, 기선법, 간략도법 등을 이용하여 작도한다.

3. 영상을 이용한 도해법

1소점 투영 방법은 한 평면에서 다른 평면으로 사각형 비례분할(proportional division) 또는 격자(grid) 형으로 치수분석과 측척에 따라 투영된다. 이 방법은 도해적이며 해석적인 절차를 따른다⁸⁾.

3.1 투영 기하학

1소점 투시영상이 어떤 면에 대해서도 정사투영(orthographic) 영상이 되는 것은 유일하다. 1소점 투영면의 모든 선은 그 면에 있는 다른 선과 실제 비례하는 선이며, 대상 공간면이 영상면과 평행하다는 것을 말해준다. 어떤 대상 공간면이 영상면에 평행하

고, 대상 공간면에서의 기하학적인 모양이 영상면에 서와 같은 것은 1소점 투영의 기하학적인 특성이다. 특히, 투영면에 있는 모든 거리는 실제 비율로 표현 되어 정사투영이 만들어진다.

3.1.1. 표준 매개변수

단사진에 대해 방위각(α)는 0° 또는 90° 이며 중심 좌표평면-YZ나 XZ가 고려될 때 중요하다. 경사각(t)는 90° 이고, 회전각(s)는 90° 에서 270° 범위에 있다. 실제 수평선(THL: true horizontal line)은 수평면에 평행하게 정의되며, 주점(소실점)을 통과하는 사용자 정의 수평선이 될 수 있다.

유효 초점거리(effective focal length) f' 는 도해적으로 정의되지 않고 측척 S 와 거리 R 의 계산 $f' = SR$ 로 결정될 수 있다. 여기서, R 은 주어지지 않으나, 두 개의 평행한 평면과 그 평면사이의 거리 dR 이 있다면 R 을 결정할 수 있다. 또한 R 로부터 f' 도 결정할 수 있다. 대상공간면과 영상면이 평행하고 대상공간면의 치수를 알고있다면, 다음과 같이 각 평면에 대한 측척을 결정할 수 있다.

$$S_1 = \frac{f'}{R} \quad (1)$$

$$S_2 = \frac{f'}{(R + dR)} \quad (2)$$

여기서, dR 은 알고있는 거리나 폭이며, 식 R 은

$$R = \frac{(S_2 dR)}{(S_1 - S_2)} \quad (3)$$

으로 전개된다. R 의 값은 f' 를 결정하기 위한 스케일 방정식에도 사용된다.

3.1.2. 비례분할

그림 1에서 1소점 투시영상의 좌표평면에 직사각

형을 세분함으로써 대상공간상에 임의의 점을 표시할 수 있다. 그림에서 4점 A, B, C, D로부터 대각선 AC, BD 를 그려 직사각형을 분할하며, 그 중심점을 E라 한다. 점 E를 지나고 AB와 DC에 평행한 선을 그린다. 새로운 교차점 F, G로 부터 두 개의 새로운 직사각형 ABGF와 FGCD가 만들어진다. 이 절차를 비례분할이라 하고 다음 직사각형을 나누기 위해 반복될 수 있다. 그러므로 만들어진 부분은 처음 직사각형의 1/2, 1/4, 1/8, 1/16과 같다⁸⁾.

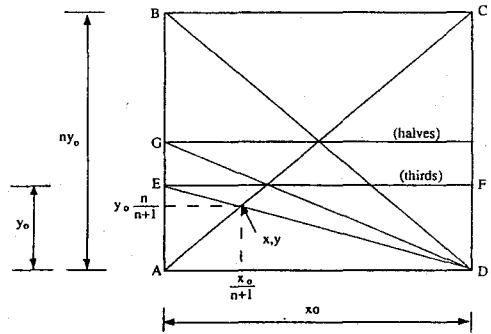


그림 3. 직사각형의 1/(n+1) 분할

이러한 1/2, 1/3 분할 뿐만 아니라, 직사각형을 어떤 수로도 비례배분할 수 있다. 먼저 그림 3과 같이 수직방향으로 1/n 분할 되었다고 가정하면 직사각형 ABCD는 n번째 사각형 AEFD 영역을 포함하고 있다. 대각선 AC와 ED를 그리면 그 교점의 x좌표는 초기좌표(x_0)의 1/(n+1)이 된다. 여기서 대각선에 의해 만들어진 선의 조건에서 교점 (x, y)의 방정식은 다음과 같다.

$$y = \left(\frac{y_0}{x_0}\right)x + y_0 \quad (4)$$

$$\left(\frac{x}{x_0}\right) = \frac{1}{(n+1)} \quad (5)$$

3.2 투시투영에 의한 분석

투시도(perspective drawing)는 투시투영에 의하여 작도된 도면이다. 그림 4에서 관찰자가 서있는 지평면을 기면(Ground Plane : GP)이라 하여 화면과 수직으로 놓인 기준이 되는 평화면이고, 화면(Picture Plane : PP)은 지면에서 수직으로 세운면으로 정투상 입화면에 해당하며, 기면과 화면이 교차하는 선을 기선(Ground Line : GL)이라 한다. 지평선(Horizon Line : HL)은 사점 E와 같은 높이의 기선(GL)의 평행선을 말하며, 소실점(Vanishing Point : VP)은 기면의 물체가 지평선상으로 무한히 멀어져 1점에 모

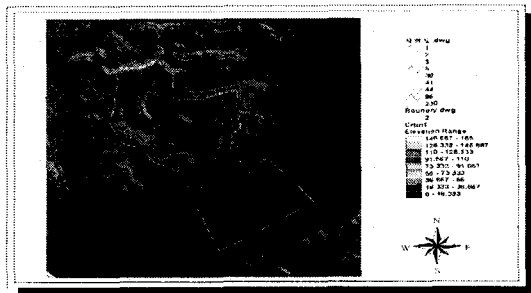


그림 1. 직사각형의 1/2 비례분할

비례적 도해법(proportional schemes)은 1/2이상의 다른 비율도 만들 수 있다. 다른 비율 방법 중 하나는 직사각형 ABCD를 3등분하는 것이며, 후에 진행된 부분은 1/3, 1/9, 1/27과 같다. 1/3 방법의 절차는 먼저 점 F, G를 만들면서 그림 2와 같이 직사각형을 반으로 그린다. 다음에 선 AG, BF, FC, GD를 그린다. 직사각의 대각선 AC, BD와 새로운 선의 교점들을 만들고 선AB와 DC에 평행하며 이 점들을 지나는 선을 그리면 1/3방법이 된다.

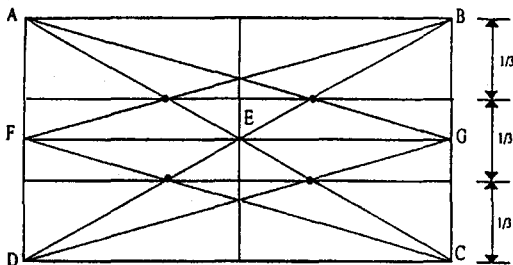


그림 2. 직사각형의 1/3 분할

이는 점을 말하며, 정점(Station Point : SP)은 시점 E에서 GP로의 수직 투영점이다. 그림 5는 이 관계를 이용하여 평면도를 작도하는 그림이다^{9),10)}.

사진을 이용한 1소점 투영의 도해적인 해석과정은 보통 사진영상 위에 직접 그리는 방법을 사용한다. 영상 영역 밖으로 스케일 평면을 만들어 투영하는 것도 가능하지만, 이러한 경우에는 오차가 크게 발생할 수도 있다.

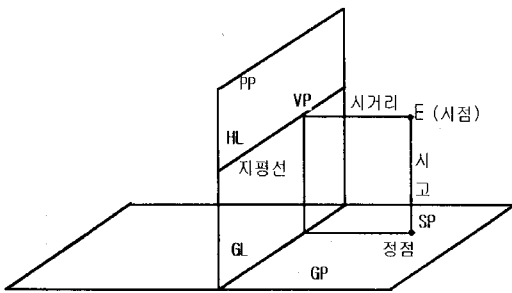


그림 4. 투시도법에서 사용되는 점과 선

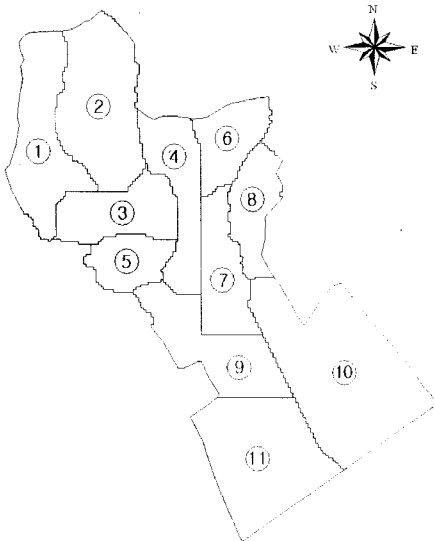
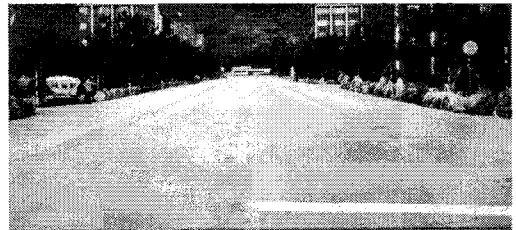


그림 5. 1소점 투영 평면 작도¹⁰⁾

4. 도로정보추출

4.1 도해법을 이용한 정보추출

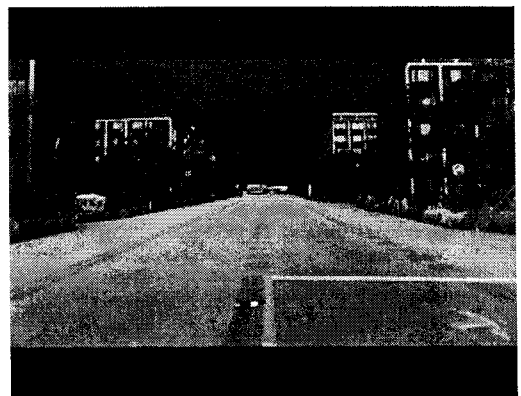
본 연구의 대상지역은 대전대학교 교내 중앙도로이며, 교수연구동과 국제학관 사이의 지역에 대하여 지상사진 영상을 획득하였다. 도로의 중앙을 따라 이동하며 일반카메라, 디지털카메라, 비디오카메라를 사용하여 촬영하였으며, 이때 도로의 경계선상에 풀



(a) 일반카메라 영상



(b) 디지털카메라 영상



(c) 비디오카메라 영상

그림 6. 실험 대상지역의 지상사진 영상

(pole)을 세워 실험 후 항공사진과의 정합시 확인점으로 인식될 수 있도록 하였고, 속성자료 추출시 알고 있는 높이값으로 사용하도록 하였다. 추출하려는 시설물은 도로중앙선, 정지선, 보차도 경계선, 배수구, 가로등, 표지판 등이다. 일반카메라, 디지털카메라, 비디오카메라의 영상은 그림 6과 같다.

4.2 공간 정보추출

지상사진 영상에 도해법(graphical method)을 적용하여 AutoCAD로 작도하면 그림 7과 같다. 도해법의 적용에 있어서 단사진에 대한 방위각(a)은 0°또는 90°이고, 경사각(t)은 90°이며, 회전각(s)은 90°에서 270°범위에 있다고 가정한다.

그림 7에서 AB의 연장선과 DC의 연장선의 교차점으로 소실점 VP(또는 주점 PP, Principal Point)를 정한다. 다음에 소실점 VP를 지나면서 BC와 AD에 평행하게 수평선 THL_H 를 그리고 소실점 VP를 지나면서 수평선 THL_H 에 수직으로 수직선 THL_V 를 그린다.

사진상에서 추출하려고 하는 시설물을 평면도에 투영하여 위치를 분석한다. 그림 8은 그림 7에서 보차도 경계선 IJ와 KL, 도로정지선 LM, 표지판 GH를 평면도상에 투영시킨 그림이다.

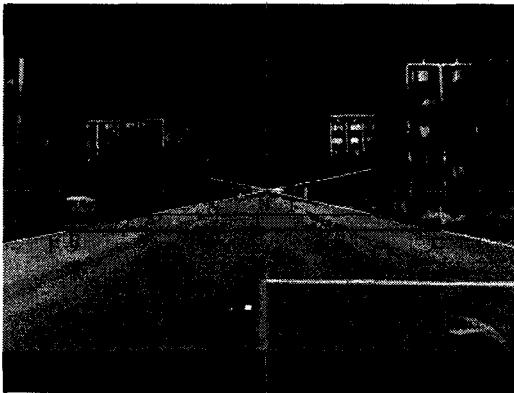


그림 7. 도해법에 의한 분석
(비디오카메라 영상)

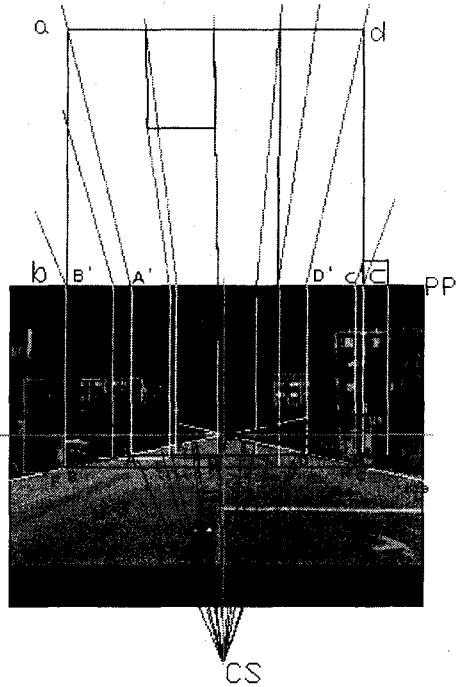


그림 8. 시설물을 평면도상에 투영시킨
그림 (비디오카메라 영상)

THL_V 의 연장선상 임의의 한 점에 촬영점(Camera Station : CS)을 잡고, 평면 ABCD와 보차도경계선 IJ와 KL, 도로정지선 LM, 표지판 GH에서 수직선 THL_V 에 평행하도록 사진면(PP)까지 작도하여 $A'B'C'D'$ 등의 교점을 구한다. CS점에서 이 교점들을 지나는 연장선을 그린다. 각 연장선과 $B'C'$ 점에서 수직으로 작도하여 만나는 점을 연결하면 평면도 abcd와 같이 투영된다. 보차도경계선 IJ, KL, 도로정지선 LM과 표지판의 위치 GH도 위와 같은 방법으로 평면도상에 투영된다.

본 연구에서 공간자료 추출은 상대적인 위치분석을 기본으로 하며, 항공사진과 지상사진 영상을 비교하여 위치를 확인한 후 정합시킨다. 그림 9는 지상사진과 정합시킬 지역을 확대한 항공사진이다.

다중영상에서 추출한 각각의 평면도와 그림 9와 정합시킨 그림은 각각 그림 10, 그림 11 및 그림 12에서 보여주고 있다.

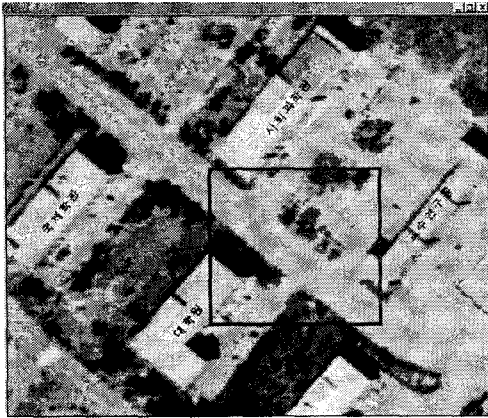


그림 9. 지상사진과 정합시킬 지역의 항공사진

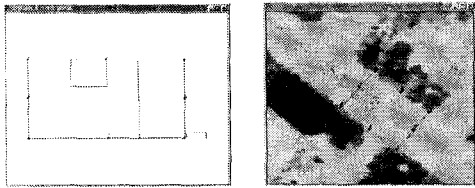


그림 10. 일반카메라 영상과 항공사진의 정합



그림 11. 디지털카메라 영상과 항공사진의 정합

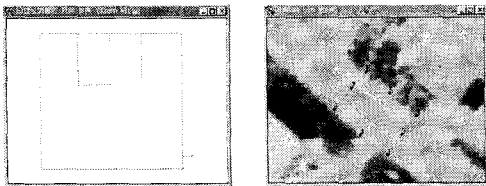


그림 12. 비디오카메라 영상과 항공사진의 정합

그림 13은 각각의 지상사진 영상에서 추출된 공간 정보와 항공사진을 정합시킨 그림이다.

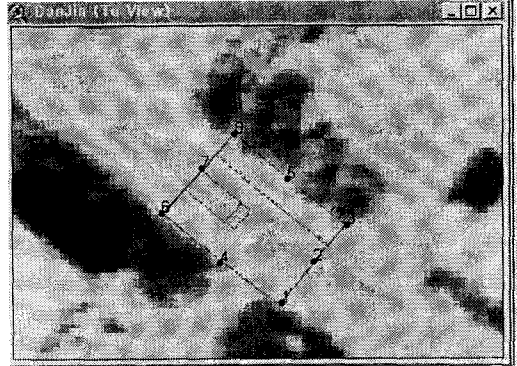


그림 13. 지상사진 영상추출정보를 이용한 정합

4.3 속성 정보추출

그림 14에서 소실점 VP에서 점 E, F, G, H 까지의 선을 그리고, 기준이 되는 폴의 끝 점을 이어 연장선을 그린 다음 EF선과 폴의 연장선의 교점을 F'라 한다.

소실점 VP로부터 경계석의 높이에 대한 선(P line)을 긋고, 이 연장선과 폴의 아랫부분인 C에서 수직으로 올린 선과의 교점으로 C와 H점을 이루는 직육면체를 작도한다. 하지만, 기준이 되는 폴과의 관계가 정의되지 않으므로, 선 GH를 P line에 교차할 때까지 수평선 TH_H와 평행하게 이동한다. 이 평행이동한 선을 H'G'라 하고, VP와 폴의 밑부분 연장선으로 선 H'G'를 아래로 연장하여 얻어진 선을 H''G''이라 한다.

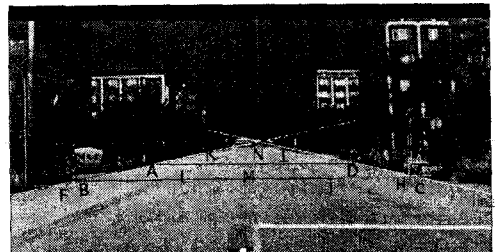


그림 14. 속성정보를 추출하기 위한 작도 (비디오카메라 영상)

가로등의 길이를 구하기 위한 FF'의 축척 계수 (scale factor)는

$$SF_{FF'} = \frac{2m}{FF' \text{ 길이}} = 2m/27.67mm$$

이다. 실제 가로등의 길이는

$$\begin{aligned} \overline{EF}_{true} &= \overline{EF} \times SF_{FF'} \\ &= 71.69mm \times \frac{2m}{27.67mm} = 5.182m \end{aligned}$$

이다. 표지판을 구하기 위한 G', H'의 축척 계수는

$$SF_{H'G'} = \frac{2m}{H'G' \text{ 길이}} = \frac{2m}{26.56mm}$$

이다. 따라서, 실제 표지판의 높이는

$$\begin{aligned} \overline{H'G'}_{true} &= \overline{GH} \times SF_{H'G'} \\ &= (GH' - HH'') \times \frac{2m}{26.56mm} \\ &= (38.87 - 7.92)mm \times \frac{2m}{26.56mm} \\ &= 2.331m \end{aligned}$$

이다. 위 식들은 비디오 영상을 이용해 측정한 가로등과 표지판의 높이값이다.

일반카메라, 디지털카메라 및 비디오카메라 영상에 의한 결과값은 표 1과 같다.

표 1. 다중영상에서 획득한 속성자료

		가로등높이 (EF)	표지판높이 (GH)
실제 높이		5.100 m	2.525 m
사진 영상	일반카메라	4.780 m	2.402 m
	디지털카메라	4.966 m	2.460 m
	비디오카메라	5.182 m	2.331 m
	평균값	4.976 m	2.398 m

5. 비교고찰

표 2는 일반카메라, 디지털카메라, 일반카메라 영상을 도해법에 의하여 분석한 결과값의 편차를 보여 준다.

표 2에서 보는 바와 같이 지상사진 영상의 도해법을 이용한 분석으로부터 가로등의 경우 3.5%의 오차 범위와 0.179m의 편차, 표지판의 경우 5.0%의 오차 범위와 0.127m의 편차 내에서 대상물의 속성정보를 추출할 수 있음을 알 수 있었다.

표 2. 다중영상에서 획득한 속성자료의 편차

		편차(m)	오차율(%)
가로 등	일반카메라	0.320	6.3
	디지털카메라	0.134	2.6
	비디오카메라	0.082	1.6
	평균값	0.179	3.5
표지 판	일반카메라	0.123	4.9
	디지털카메라	0.065	2.6
	비디오카메라	0.194	7.7
	평균값	0.127	5.0

6. 결론

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 일반카메라 영상, 디지털카메라 영상, 비디오 영상 등 지상사진에 도해법을 적용하여 도로중앙선, 정지선, 보차도경계선, 배수구 등 도로시설의 평면도를 작성할 수 있었다.
2. 도해법을 이용하여 지상에 나타나는 수직대상물의 제원을 해석한 결과, 가로등과 표지판의 오차는 각각 0.13~0.18m이며, 시설물 크기 대비 3.5~5.0%의 편차를 보이므로서 단사진만을 이용하여

도로시설물의 제원을 비교적 양호하게 획득할 수 있었다.

3. 본 연구에서는 시간과 경비가 많이 소요되는 엄밀 사진측량 방법을 사용하지 않고 간단하게 촬영된 단사진 영상을 이용하여 도로시설물의 공간 및 속성정보를 취득할 수 있었다.
4. 본 연구의 결과는 높은 정확도가 요구되지 않고 짧은 시간 안에 자료의 갱신이 필요한 경우, 또는 기존 자료로서 남아있는 사진이나 비디오 영상을 이용하여 수치지도의 일부분을 편집·갱신할 경우에 효과적으로 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

pp.93~96.

7. 유환희, 성재열(1998), "수치지도 생성 및 갱신을 위한 Video Photogrammetry적용", 한국지형공간정보학회 논문집, 제6권 제2호, pp.11~20.
8. Williamson, James R. and Michael H. Brill (1990), Dimensional Analysis Through Perspective, ASPRS, Kendall/Hunt, pp. 5-1~5-11 and pp. A-8~A-1.
9. 공문수 (1995), 도학의 원리와 기법, 기문당, p.76.
10. 오성진 (2001), 도학·제도, 조형사.

(2002년 3월 14일 원고접수)

참고문헌

1. 손덕재, 유환희, 이혜진(2002), "다중영상을 이용한 도로시설물 정보추출", 한국지형공간정보학회지, 제10권 제1호, pp.91~100.
2. 손덕재, 이혜진, 이승환(2002), "다중영상과 GIS를 이용한 대학시설물 안내 및 관리시스템 구축", 한국측량학회, 제20권 제1호, pp.47~57.
3. Habib, Ayman F. (2000), Matching Road Edges in Stereo-Image Sequences Using Data Association Techniques, PE&RS, ASPRS, Vol.66, No.1.
4. 신상철, 차성렬, 박운용(1995), "도로시설물관리를 위한 자료기반 설계에 관한 연구", 한국측지학회지, 제13권 제1호, pp.21~30.
5. 홍순현, 김관진(1998), "도로시설물 정보관리시스템 구축에 관한 연구", 한국지형공간정보학회 논문집, 제6권 제1호, pp.91~103.
6. 유환희, 김의명(1995), "비디오카메라를 이용한 3차원 지형정보의 자동추출을 위한 수치영상처리기법 개발", 대한토목학회 학술발표회 논문집(III),