

數値寫眞測量에 있어서 epipolar 幾何狀態를 形成하기 위한 映像再配列 Image Resampling for Epipolar Geometry in Digital Photogrammetry

柳福模* · 尹炅喆** · 鄭 樹***

Yeu Bock-Mo · Youn Kyung-Chul · Jeong Soo

요 지

수치사진측량에서 이용되는 대부분의 알고리즘은 수치화된 입체영상이 epipolar 기하상태를 이루고 있다는 가정을 근거로 하고 있으므로, 입체쌍의 주사선이 epipolar선이 되어야 한다. 그러나 항공사진의 경우는 매 순간의 촬영위치에서 촬영자세가 달라지므로 epipolar 기하상태를 이루지 못한다.

본 연구에서는 한 쌍의 입체항공사진을 주사기(scanner)에 의해 수치영상으로 변환시키고, 절대표정후의 외부표정요소를 이용해 영상 재배열을 수행하는 과정에서 대해 연구하였다. 그 결과 입체수치영상으로부터 epipolar 기하상태의 영상을 생성하였다.

생성된 epipolar 영상은 영상정합 과정에 적용하기 위해 수치영상상관기법으로 영상정합을 실시하였고, 영상정합의 결과를 이용해 수치표고모형을 제작하였다.

영상정합에 의해 생성된 수치표고모형은 해석도화기에 의해 생성된 수치표고모형과 비교하였으며 그 결과 경제적인 방법으로 수치표고모형을 제작하는 방안이 제시되었다.

ABSTRACT

Most algorithms in computer vision and digital photogrammetry assume that digital stereo pairs are registered in epipolar geometry. But, an aerial stereo pair is not likely to be in epipolar geometry since the attitude of the camera at the instant of exposure is different at every exposure station.

In this paper, stereo digital imagery is obtained from aerial stereo pair by scanner. Then the procedure to resample the digital imagery to epipolar geometry using exterior orientation elements after absolute orientation is described. As a result, a stereo imagery in epipolar geometry is produced from stereo digital imagery.

Epipolar imagery in this paper is applied to the image matching method by digital image correlation technique. Then, a digital elevation model is produced from the result of image matching.

The digital elevation model in this paper is compared to the other digital elevation model produced by analytical plotter. As a result, an economical method to generate digital elevation model is presented.

1. 서 론

수치사진측량에서 이용되는 대부분의 알고리즘은 수치화된 입체영상이 epipolar 기하 상태를 이루고 있다는 가정을 근거로 하고 있으므로, 입체쌍의 주

사선이 epipolar선이 되어야 한다. 이러한 조건은 입체 영상 체계에 있어 두 개의 사진기의 축이 촬영기선에 대해 수직이고 서로 평행하다는 것을 만족시켜야 한다. 일반적으로 수치영상은 Landsat이나 SPOT과 같이 탐측기에 의해 직접적으로 취득하거나, 혹은 항공사진을 수치화하여 간접적으로 취득할 수 있다. 그러나, 한 쌍의 입체 항공사진은 매 순간의 촬영위치에서 촬영자세가 달라지므로 epipolar 기하 상태를

*연세대학교 공과대학 토목공학과 교수

**삼북토목 Eng. 대표, 측지기술사

***연세대학교 대학원 토목공학과 박사과정

이루지 못한다.

본 연구에서는 주사기를 이용하여 수치화한 항공 사진영상을 영상의 해상도가 감소되는 것을 최소화 하면서 epipolar 영상으로 영상 재배열하는 과정을 연구하였다.

2. Epipolar 영상재배열 이론

2.1 Epipolar 기하

그림 1은 epipolar 기하를 이루고 있는 각각의 투영중심이 C' , C'' 인 입체쌍을 나타내고 있다. Epipolar면은 두 개의 투영중심과 대상점 P 에 의해 정의된다. Epipolar선 e' 과 e'' 은 epipolar면과 영상면의 교선(intersection)이고, Epipole은 사진과 모든 가능한 epipolar면의 교선인 epipolar선들의 수렴중심이다.

그림 1에서 공액 epipolar선은 주사선에 대해 평행하고 동일하다. 또한 수직사진이므로 epipole은 무한대에 놓여 있다. 그러나, 대부분의 경우에 있어서 두개의 사진기 축은 평행하지 않고, 촬영기선($C' C''$)에 대해 수직이 아니므로 epipolar 기하상태로 변환하기 위해서는 공액 epipolar선이 영상좌표체계에서 동일한 y 좌표를 갖고, x 축에 평행하게 되도록 변환시켜야 한다. 이렇게 변환된 영상은 촬영기선에 평행하고 동일한 초점거리(focal length)를 가져야 한다. 하나의 초점거리를 선택하고 난 뒤에도 촬영기선을 회전하며 무한한 수의 가능한 epipolar 기하가 존재하게 된다.

2.2 Epipolar 영상으로의 변환

주사기를 이용하여 수치화된 영상을 epipolar 기하 상태의 영상으로 변환시키기 위해서는 절대표정 후의 외부표정요소가 이용된다. 수치영상과 대상공간과의 관계는 다음과 같이 공선조건식에 의하여 표현된다.

$$\begin{aligned} x_p &= -f_p \frac{r_{11}(X-X_c) + r_{12}(Y-Y_c) + r_{13}(Z-Z_c)}{r_{31}(X-X_c) + r_{32}(Y-Y_c) + r_{33}(Z-Z_c)} \\ y_p &= -f_p \frac{r_{21}(X-X_c) + r_{22}(Y-Y_c) + r_{23}(Z-Z_c)}{r_{31}(X-X_c) + r_{32}(Y-Y_c) + r_{33}(Z-Z_c)} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, x_p , y_p 는 영상좌표이고 $r_{11} \dots r_{33}$ 은 영상좌표 체계에 대한 대상공간의 회전을 나타내는 직교회전 행렬 R 의 요소이다. X_c , Y_c , Z_c 는 투영중심의 좌표이고

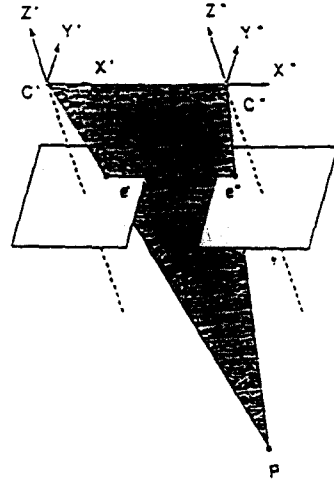


그림 1. Epipolar 기하

X , Y , Z 는 대상점의 좌표이다.

주사기에 의해 수치화된 영상(P' , P'')으로부터 epipolar영상(N' , N'')으로의 변환과정에는 두 가지 단계가 포함된다. 우선, 주사기에 의해 수치화된 영상은 수직사진영상(vertical image)으로 변환되어야 하며, 그 다음에 epipolar영상으로 변환되게 된다. 그림 2는 주사기에 의해 수치화된 영상과 epipolar영상과의 관계를 나타내고 있다.

주사기에 의해 수치화된 영상으로부터 수직사진영상으로의 변환은 영상좌표체계에 대한 대상공간의 회전을 나타내는 직교회전행렬 R 의 전치행렬인 R^T 에 의한 회전으로서 수직사진영상으로부터 epipolar영상으로 변환하는 회전행렬 R_B 의 요소는 X , Y , Z 축에 대하여 각각 K , Φ , Ω 로 나타낼 수 있으며, 이는 기선요소 BX , BY , BZ 와 외부표정요소에 의해 계산될 수 있다.

$$K = \tan^{-1} \frac{BY}{BZ} \quad (2)$$

$$\Phi = -\tan^{-1} \frac{BZ}{(BX^2 + BY^2)^{1/2}} \quad (3)$$

$$\Omega = \frac{\omega' + \omega''}{2} \quad (4)$$

여기서, $BX = X'' - X'$, $BY = Y'' - Y'$, $BZ = Z'' - Z'$ 이다. 기선회전행렬 R_B 는 다음과 같다.

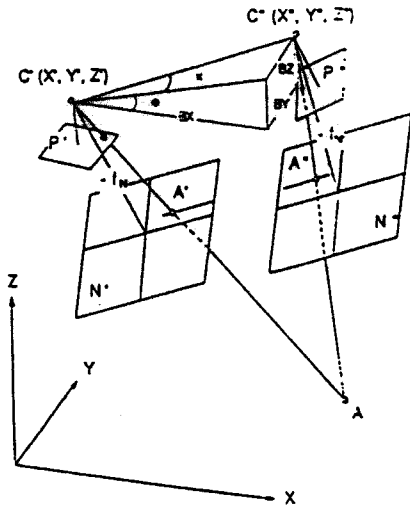


그림 2. 주사기에 의해 수치화된 영상과 epipolar 영상과의 관계

$$R_B = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\Omega & \sin\Omega \\ 0 & -\sin\Omega & \cos\Omega \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\Phi & 0 & -\sin\Phi \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\Phi & 0 & \cos\Phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos K & \sin K & 0 \\ -\sin K & \cos K & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서, X축의 회전을 나타내는 Ω 의 변화에 따라 많은 경우의 epipolar영상이 생성된다. 또한 Ω 는 epipolar영상으로 변화시키는 과정에서 비정사각형으로 영상이 생성되는 문제를 야기시킬 수 있다.

Epipolar 변환행렬은 주사기에 의해 수치화된 영상으로 부터 수직사진영상으로 변환시키는 회전행렬과 수직사진으로부터 epipolar영상으로 변환시키는 회전행렬의 곱으로 나타낼 수 있다.

$$R_N = R_B R^T \quad (6)$$

식 (6)에서 R^T 는 외부표점요소의 전치회전행렬이므로, R_N 은 입체인 두 영상에 대해 계산되어야 한다. 그 다음, 투영변환에 의해 주사기를 이용하여 수치화된 영상을 epipolar영상으로 변환시킬 수 있다.

2.3 투영변환

주사기에 의해 수치화된 영상과 epipolar 영상 사이의 변환을 평면과 평면 사이의 변환이므로 다음과 같은 투영변환(projective transformation)이 적용될 수 있다.

$$X_N = \frac{C_{11} X_P + C_{12} Y_P + C_{13}}{C_{31} X_P + C_{32} Y_P + 1} \quad (7)$$

$$Y_N = \frac{C_{21} X_P + C_{22} Y_P + C_{23}}{C_{31} X_P + C_{32} Y_P + 1}$$

여기서, 각 계수는 공선조건식으로 부터 다음과 같이 유도된다.

$$c_{11} = \frac{f_N r_{11}}{f_P r_{33}} \quad c_{21} = \frac{f_N r_{21}}{f_P r_{33}} \quad c_{12} = \frac{f_N r_{12}}{f_P r_{33}} \quad c_{22} = \frac{f_N r_{22}}{f_P r_{33}}$$

$$c_{13} = -\frac{f_N r_{13}}{r_{33}} \quad c_{23} = -\frac{f_N r_{23}}{r_{33}} \quad c_{31} = -\frac{r_{31}}{f_P r_{33}}$$

$$c_{32} = -\frac{r_{32}}{f_P r_{33}}$$

주사기에 의해 수치화된 영상을 epipolar 영상으로 변환하는 데 있어서 수치화된 영상의 정사각형 형태가 epipolar 영상에서는 비정사각형으로 변환될 수 있다. 따라서 epipolar 영상으로 부터 수치화된 영상으로의 역변환 형태를 이용하면 이러한 문제를 해결할 수 있다. 역변환 형태의 계수들은 주사기에 의해 수치화된 영상과 epipolar 영상의 초점거리가 같다는 가정하에서 R_N 의 전치행렬인 R_N^T 에 의해 다음과 같이 된다.

$$c'_{11} = c_{11} \quad c'_{21} = c_{12} \quad c'_{12} = c_{21} \quad c'_{22} = c_{22}$$

$$c'_{13} = c_{31} f_P f_N \quad c'_{23} = c_{32} f_P f_N \quad c'_{31} = c_{13} \frac{1}{f_P f_N} \quad c'_{32} = c_{23} \frac{1}{f_P f_N}$$

3. 연구의 적용 및 해석

3.1 대상지역 및 관측

본 연구에서는 TM 좌표상 X 방향으로 179400 m, Y 방향으로 229500 m 부근의 하천과 도로와 산악이 적절히 배치된 지역을 선정하여, 고도 약 1170 m상에서 촬영된 입체항공사진을 이용하였다. 항공사진의 축척은 약 1/7,600이며 초점거리는 153.40 mm이고 렌즈의 구경이 40 mm인 Wild사의 RC10 항공용사진기를 이용하여 촬영된 것이다.

항공사진에 촬영된 지역의 면적은 약 1.6 km × 1.6 km이고 좌우사진의 중복된 지역중 590 m × 480 m 크기의 지역이 본 연구의 대상지역이다.

3.2 항공사진의 수치화 및 주사기 검증

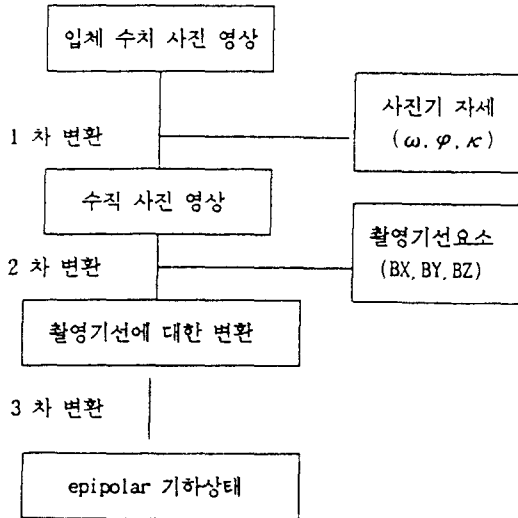


그림 3. 수치영상좌표로부터 epipolar 영상좌표로의 변환

본 연구에서는 드럼방식의 ANA Tech. Eagle Scanner(Intergraph 사)를 이용하여 항공사진을 수치영상으로 변환시켰으며 이때 이용한 software는 I/SCAN과 MGE IMAGER이다. 수치영상의 해상도는 400 DPI이며 10"×10"를 주사영역으로 설정하였으므로 각 사진의 주사선 수와 영상소 수는 4000×4000이 된다.

총 256가지 계조값(gray value)으로 구분하여 수치화하였으므로 한 영상소는 1 byte의 기억용량을 차지하고 한 사진에 대한 전체 파일의 크기는 16 M-byte이다. 따라서 사진 2장을 저장하기 위해서는 최소 32 Mbyte의 저장용량이 필요하다. 이때 1영상소는 사진상 63.5 μm×63.5 μm의 크기를 갖는다.

주사기에 의한 왜곡을 검정하기 위해서는 이차원 부등각 사상변환을 적용하였으며, 매개변수를 결정하기 위해서 사진상의 지표에 대한 사진좌표와 수치영상상의 영상좌표를 관측값으로 이용하였다.

3.3 Epipolar 영상 재배열

주사기에 의해 수치화된 영상을 epipolar 기하상태로 변환시키는 과정은 그림 3과 같은 변환을 수행하여 epipolar 영상의 좌표계를 결정하고 수치영상과 epipolar 영상사이의 변환관계를 이용하여 영상을 재배열한다. 본 연구에서의 영상 재배열은 공일차보간법(bilinear interpolation)을 적용하여 수행하였다.

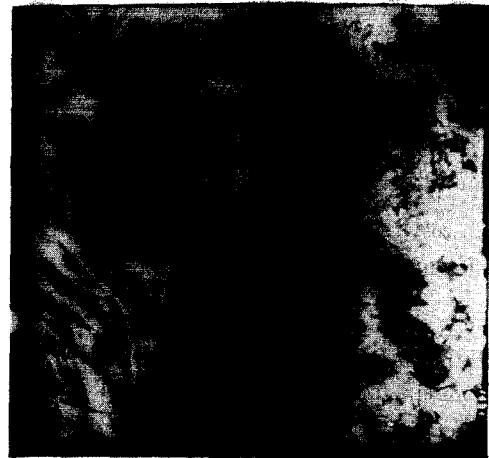


그림 4. 주사기에 의해 수치화된 입체수치영상

Epipolar 영상의 좌표계를 설정하기 위해서는 수치영상의 4개의 모서리점을 이용하여 epipolar 사진으로의 변환을 수행하고 좌우 epipolar 사진의 크기를 고려하여 이를 영상좌표로 변환시킨다. 본 연구에서 이용한 수치영상과 이에 대한 epipolar 영상은 그림 4와 그림 5에 나타나 있다.

4. 결과분석 및 비교고찰

본 연구에서는 연구결과로 생성된 epipolar 영상의 효용성을 고찰하기 위해서 대상지역에 대해 영상정합을 실시한 후 탐색된 공역점에 대해 광속조정법을 이용하여 3차원 위치를 결정하였다. 대상지역에 대해 총 4780점의 3차원 위치가 결정되었으며 이에 대해

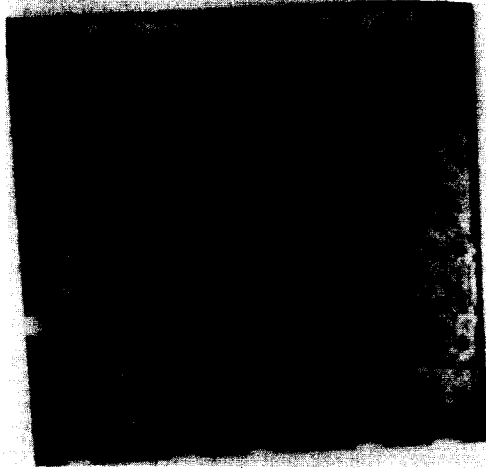
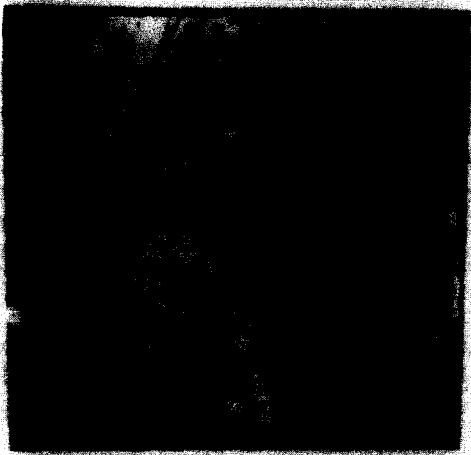


그림 5. epipolar 기하상태의 영상

Octant Searching 방법에 의해 KRIGING 보간방법을 적용하므로써 10 m×10 m 간격의 수치표고모형(digital elevation model)을 제작하였고 이를 해석도화기에 의해 생성된 수치표고모형과 비교하였다. 각각의 수치표고모형에 의한 등고선도는 그림 6과 그림 7에 나타나 있다.

본 연구에서 생성된 수치표고모형과 해석도화기에 의해 생성된 수치표고모형을 비교한 결과 지형특성에 따라 영상의 계조값의 변화가 뚜렷한 평지와 전답의 경우는 비교적 잘 일치하였으나 산악이나 하천의 수면과 같이 계조값의 변화가 뚜렷하지 않은 곳에서는 그 차이가 다소 심하였다. 이는 영상정합에서의 오차에 의해 발생된 것으로 사료되며 향후 이에 대한 연구가 계속되어야 할 것이다.

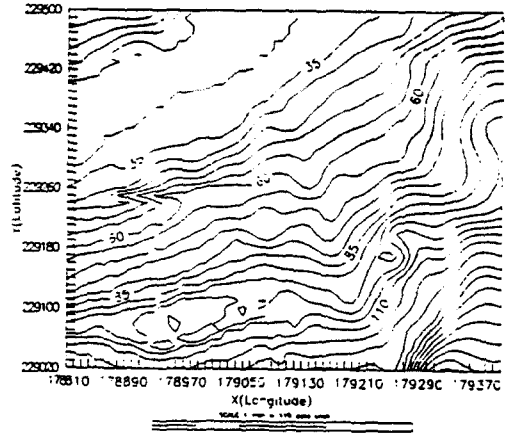


그림 6. 영상정합에 의해 생성된 수치표고모형의 등고선도

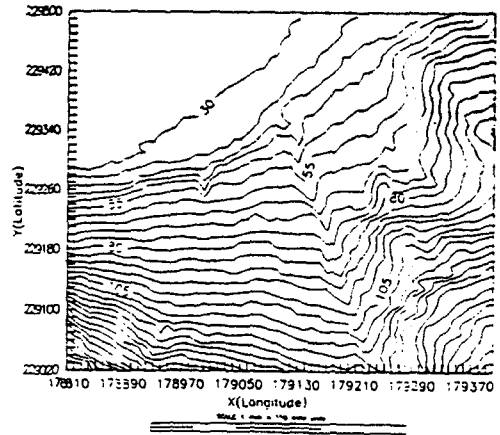


그림 7. 해석도화기에 의해 생성된 수치표고모형의 등고선도

한편, 영상정합을 수행함에 있어서 기준영역의 크기는 9×9로 하였으며, 탐색영역의 크기는 기준영역과 탐색영역의 예측모형식을 2차원 부등각사상변환식으로 하여 각매개변수를 구한 후 이에 대한 통계학적 분석을 통하여 5×26으로 하였다. 이는 epipolar 기하상태를 형성하지 않았을 경우에 탐색영역을 정사각형으로 구성하여야 하므로 26×26의 크기로 정해야 하는데 비하여 상당한 계산의 절감효과를 가져왔다.

5. 결 론

본 연구에서는 절대표정을 하므로써 외부표정요소

를 결정한 다음 그 값을 이용하여 epipolar 영상을 생성하는 과정을 수행하였다. 또한, 투영변환의 계수들 직접적으로 계산하는 방법을 제시하였다. 생성된 epipolar 영상에 대해서는 영상정합을 수행하여 수치표고모형을 제작하였으며 이를 해석도화기에 의해 생성된 수치표고모형과 비교분석하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 절대표정 후의 외부표정요소를 이용하여 수치영상을 epipolar 영상으로 변환하는 과정에 대한 알고리즘을 도출하고 프로그램을 개발하였다.
2. 본 연구에 의해 생성된 epipolar 영상을 이용하여 영상정합을 수행할 경우 탐색 영역의 크기를 줄일 수 있었으므로 영상정합의 속도는 향상시킬 수 있었다.
3. 해석도화기를 이용하지 않고서도 영상정합에 의해 수치표고모형을 제작하는 경제적인 방법을 제시하였다.

감사의 글

본 연구는 국방과학연구소의 장기기초연구과제(사업과제부호 : 90040119)에 의해 이루어졌으며 연구지원에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 유복모, 사진측정학, 문운당, 1991, pp.11-40, pp.57-70, pp.169-279.
2. Horton, J., "The PDS Differential Rectifier: An Economic Approach to Digital Orthophotos", *Proceeding of American Society of Photogrammetry, Fall Convention*, Albuquerque, NM, October, 1978.
3. 유복모, 사진측정학 개론, 희중당, 1987, pp.1-2.
4. American Society of Photogrammetry, *Manual of Photogrammetry, 1980. 4th Ed. chap. 1.*
5. Schank, T., *Digital Photogrammetry*, The Ohio State Univ. Lecture Note, 1990, pp.1-2.
6. Cho, W., Schenk, T., "Resampling Digital Imagery To Epipolar Geometry", *17th ISPRS Commission IV*, Washington, D.C, USA., 1992.
7. Schenk, T., "Computation of Epipolar Geometry". *Technical Notes in Photogrammetry*, No. 5., The Ohio State Univ., 1990.
8. Li, J., Schenk, T., "An accurate camera calibration for the aerial image analysis", *Proc. 10th International Conference on Pattern Recognition.*, Vol 1., NJ, USA., 1990.
9. Wiessel, J., "Digital Image Processing for Orthophoto Generation", *Photogrammetria*, Vol.40, 1985.
10. ESRI, *Erdas Field Guide*, Erdas Inc., 1990, pp.93-111.
11. Hood, j., Champion, R., Lander, L., "Digital Rectification of Aerial Photographs", *ACSM/ASPRS*, Vol. 3, 1988, pp.35-44.
12. Paul, R. Wolf, *Element of Photogrammetry*, McGraw-Hill, 2nd Ed., 1983.
13. Paul, R. Wolf, Dewitt B. A., "Correction for Systematic Errors of a Drum-type Scanning Microdensitometer", *Presected Paper, ISPRS, Commission III*, Rio de Janeiro, Brazil, 1984.
14. Ayeni, O. O., "Phototriangulation: A Review and Bibliography", *P.E. & R.S.*, Vol.48, No.11, 1982, p. 1733-1759.
15. 유환희, "근거리 사진측량에 의한 변형해석의 연구", 박사학위논문, 연세대학교 대학원, 1988.
16. Francis H. Moffitt and Edward M. Mikhail, *Photogrammetry*, Happer and Row, New York, 3rd ed., 1980, pp.460-482.
17. Lodwick. G. D., *Digital Terrain Modelling*, Calgary, 1983, pp.161-164.
18. Lillesand and Kieger, *Remote Sensing and Image Interpretation*, John Wiley & Sons, New York, 1979, pp.557-562.
19. American Society of Photogrammetry, *Manual of Remote Sensing*, 1983, 2nd Ed., Vol.1, chap. 21.
20. 유복모, 측량학 원론(I), 개문사, 1984, pp.35-65, pp. 164-170.