

DTM의 정확도 향상에 의한 정밀 수치정사사진 생성 The Generation of Accurate Digital Orthophoto by DTM Accuracy Improvement

박운용* · 이기부** · 정성모*** · 이인수****

Park, Woon-Yong · Lee, Kee-Boo · Jung Sung-Mo · Lee, In-Soo

요 旨

사진측량은 초기의 기계적 사진측량과 해석사진측량을 통해 현재는 컴퓨터에 저장된 영상을 이용한 수치사진측량 단계로 발전하고 있다. 항공사진을 이용해서 수치지형모델과 수치정사사진 등의 많은 결과물을 수치사진측량을 통해 생성할 수 있다. 특히 수치지형모델은 수치정사사진 정확도 향상에 중요한 요소이므로 이에 대한 연구가 절실히 요구되고 있다. 이 논문에서는 경사변환선을 포함한 경우와 그렇지 않은 경우의 수치지형모델을 사용해서 수치정사사진을 생성하고자 한다.

ABSTRACT

From early plane-table photogrammetry through the analog and analytical stages, photogrammetry has now reached the digital photogrammetry stage using the image stored at computers. Digital Photogrammetry using aerial photograph generates the DTM and digital orthophoto. Expecially, DTM is important for improving the accuracy of digital ortho photo. so Many experimental are required. In this study, therefore deals with the generation process of digital orthophotos using DTM with breakline and without breakline.

1. 서 론

수치사진측량 기법은 수치영상을 이용한 영상처리 기법이므로 획득되는 결과물이 수치자료이고 다양한 분야의 정보관리체계에 직접 연결하여 이용할 수 있다는 점에서 커다란 장점을 갖고 있다. 항공사진이나 지상사진을 스캐닝하여 얻어진 수치영상이나 CCD 카메라로부터 직접 얻어진 수치영상을 적용하여 필요한 대상지역에 대한 다양한 정보를 자동으로 추출하는 방법은 건설분야, 환경분야, 산업현장 등에 활용할 수 있다.

수치사진측량 기법을 이용한 정보 획득 방법에는 3차원 정보의 실시간 추출과 수치영상으로부터의 정사사진의 생성 등이 있으며, 이는 재래식 지도제작 정확

도에 필적하므로 다양한 용도로 사용할 수 있다. 항공사진은 경관의 수직 조망도로서 직접 보강될 수 없다. 중심투영으로 인한 영상 왜곡으로부터의 손상, 서로 다른 표고를 가진 대상물, 그리고 촬영거리의 차이때문에 크기에서 서로 다른 축소율을 보여주고 있다.¹⁾

정사사진은 영상 지도로서 인공 구조물과 자연 형상이 실질적인 평면위치로 영상이 편위수정된 사진이다. 수치 정사사진이 GIS 산업에 도입된 후 많은 영향을 끼쳤다. 정사사진의 지형측량 분야는 정사투영으로 촬영된 사진지도와 같은 편위수정된 영상을 얻기 위해 사진을 처리한다. 현재의 기술수준은 광학-기계 장치를 통한 차분 편위수정이고, 그것에 의해 소형 컴퓨터는 처리과정 조절을 위해 경관에 대해 사전에 수치화된 자료를 사용한다. 결과물은 정사사진 지도제작 기반인 노출 음화필름이다.²⁾

따라서, 본 연구에서는 래스터 자료와 경사변환선과 같은 벡터 자료로 구성되는 수치지형모델을 사용하여

*동아대학교 공과대학 건설공학부 교수

**영남이공대학 토목과 교수

***동아대학교 대학원 토목공학과 박사과정

****동아대학교 대학원 토목공학과 박사과정

수치정사사진을 생성하고자 한다.

2. 수치지형모델

수치지형모델은 지형을 수치적 또는 수학적으로 표현한 것으로 적절한 수의 수평좌표와 표고를 관측하여 저장하고, 저장된 기지의 좌표로부터 원하는 수평좌표에 대한 표고를 구할 수 있으며, 필요에 따라 여러 가지 지형정보를 수치화할 수 있는 기법이다. 수치지형모델에서 주요 사항은 자료 취득, 보간, 그리고 저장이다.

수치지형모델은 수치정사사진 생성에 있어 매우 중요한 요소이다. 수치지형모델은 수치정사사진이 만들어지는 축척 사양, 지도화된 지형의 거칠음, 편위수정된 사진을 촬영하는데 사용된 카메라의 초점거리, 그리고 확대도와 관련이 있다. 수치지형모델의 생성은 수치정사사진 생성에 있어 가장 많은 비용을 소요하게 될 것이다.

이런 수치지형모델을 생성하기 위해서는 경사변환선, form line, 점 표고, 그리고 mass points 등의 여러 유형의 자료가 필요하다. 경사변환선은 경사의 불연속성을 나타낸다. Form lines는 평활한 경사변환선이다. 그리고 점 표고는 표고에 대한 국지적 최대값 혹은 최소값이다. 수치지형모델의 자료구조는 그림 1에 나타내었다.

3. 수치정사사진 생성

수치정사사진은 한 장 혹은 여러 장의 수치적으로 왜곡된 영상으로부터 얻은 수치적으로 편위수정된 영상

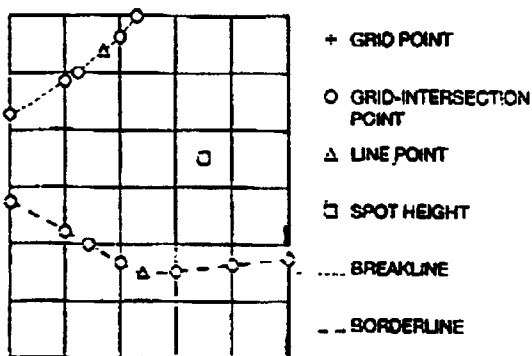


그림 1. 수치지형모델의 자료구조

이다. 수치정사사진생성 단계는 그림 2에 나타나 있다. 필름에 표현된 아날로그 자료를 수치영상으로 변환하기 위해 스캐너를 사용한다. 수치지형모델이 편위수정에 필요하며 편위수정전에 영상의 표정변수가 계산되어야 한다. 편위수정은 과정은 기하와 방사 편위수정으로 나눌 수 있다. 전자는 기하 왜곡을 제거하고, 후자는 밝기값 왜곡을 제거한다.

3.1 스캐닝

입력 영상이 아날로그 형식이면 라인방식으로 영상을 저장하는 스캐너를 이용해서 수치영상으로 변환시켜야 한다. 대응하는 영상소 크기가 정사사진의 품질에 큰 영향을 미치므로 샘플링 간격도 적절하게 고려해야 한다. 대개, 영상소 크기가 작을수록 정사사진의 품질은 우수하지만 잡음은 증가한다.

그림 3에서는 스캐너 좌표계(x_s, y_s)와 영상 좌표계(x, y)에서 밝기값 g_s 를 보여주고 있다. 두 좌표계의 차이점은 원점, 축척 그리고 좌표축의 표정이며, 좌표계변환은 지상기준점에 의해 이루어진다.

식 (1)은 스캐너 좌표계(x_s, y_s)에서 영상 좌표계(x, y)로의 변환을 나타내는 부등각사상 변환을 나타내고, 식 (2)는 미지 변수 $b_1 \sim b_3$ 로 결정된 공일차변환을 나타낸다.

$$x_s = a_1x + a_2y + a_3$$

$$y_s = a_4x + a_5y + a_6 \quad (1)$$

$$x_s = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy$$

$$y_s = b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy \quad (2)$$

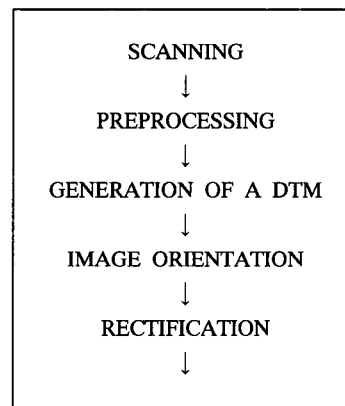


그림 2. 정사사진 생성 흐름도

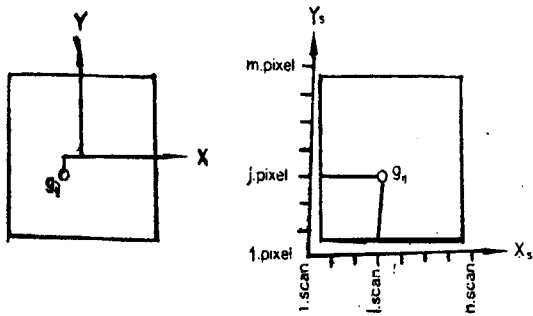


그림 3. 영상좌표와 스캐너 좌표

여기서, $a_1 \sim a_6$: 미지계수, $b_1 \sim b_3$: 미지계수

따라서 부등각 사상변환에서는 최소 3개 이상, 공일차변환에서는 최소 4개 이상의 기준점이 필요하다. 만약 사진측정용 카메라로 사진을 얻으면 미지값 계산에 기준점으로서 4개 지표가 사용될 수 있다. 이 두 변환식은 이동, 회전, 비직교 좌표축 그리고 x와 y 방향에서 상이한 축척을 사용할 수 있게 한다. 부등각사상변환은 공일차변환보다 적은 기준점을 필요로 하는 이점을 가지고 있다. 영상좌표를 스캐너 좌표로 변환하면 스캐너 좌표가 정수일지라도 실수값을 나타낸다. 하지만 이것은 재배열과정에 사용되므로 실수 좌표로 계속하는 것이 합당하다.

3.2 영상의 표정

그림 4는 중심 투영으로 지상점 $P(X, Y, Z)$ 를 대상 영상 점 $P'(x, y)$ 로 변환하는 과정을 보여주고 있다. 카메라 투영중심 $O(X_0, Y_0, Z_0)$ 좌표와 회전각 ω, ϕ, κ 가 외부표정의 변수이며, 내부표정은 초점거리 c 와 주점 위치로 정의된다. 이것은 아래의 공선조건식 (3)을 이용해서 수학적으로 표현한다.

$$\begin{aligned} x &= -c \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{12}(Y - Y_0) + r_{13}(Z - Z_0)}{r_{31}(X - X_0) + r_{32}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} \\ y &= -c \frac{r_{21}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{23}(Z - Z_0)}{r_{31}(X - X_0) + r_{32}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서, X_0, Y_0, Z_0 : 투영중심좌표

ω, ϕ, κ : 회전각

$r_{11} \sim r_{33}$: 회전변수 ω, ϕ, κ 로 결정된 행렬 요소

미지 변수들은 광속조정으로 계산될 수 있고, 이를 위해 지상기준점은 기준좌표계와 영상좌표계 2가지로 측정되어야 한다.

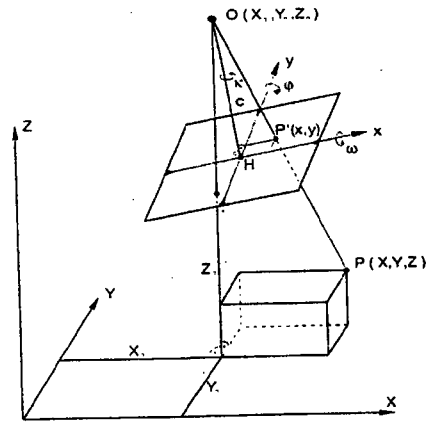


그림 4. 중심 투영

3.3 편위수정

항공사진은 카메라의 경사에 따라 변위가 생기며 또한 항공기의 동요로 인해 축척의 변화도 생긴다. 이 경사와 축척을 수정하여 축척의 통일과 변위가 없는 연직 사진으로 수정하는 작업을 "편위수정"이라 한다.

편위수정 절차는 사진처리가 이루어졌지만 왜곡되어 있는 영상을 정사사진 지도로 만드는 과정이다. 그림 5는 수치지형모델과 원 영상사이의 관계를 보여주며 또한 지도 평면(X-Y)에 있는 정규 격자와 사진에서 왜곡된 격자 사이의 관계를 보여주고 있다. 기존의 정사사진 기술은 사진의 완전한 편위수정이 이루어질 때까지 공일차변환으로 개개의 왜곡된 격자망을 사각형 격자망으로 변환시켰다.

3.4 수치지형모델 격자망

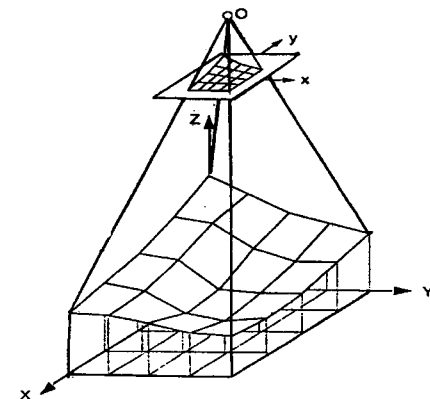


그림 5. 수치지형모델과 원 영상사이의 관계

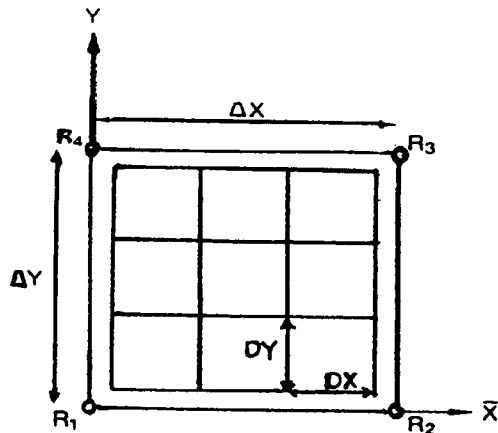


그림 6 수치지형모델 격자망

3.4.1 경사변환선이 없는 격자망

그림 6은 수치지형모델의 격자망을 보여주고 있으며, $R_1 \sim R_4$ 는 수치지형모델의 격자점이다. 대개 정사사진 영상소 중심과 수치지형모델 격자는 서로 다르다. 이 예에서 4장의 정사 사진 영상소 중심(격자 폭: DX, DY)은 이 격자 망내에 위치해 있고 영상소에 대응하는 영상 좌표를 계산하기 위해 Wiesel³⁾이나 Bähr⁴⁾이 제시한 anchor point 기법을 사용한다. 이 기법은 단지 수치지형 모델 래스터점만 기하변환에 사용한다. 그리고 수치지형 모델 격자점 $R_1 \sim R_4$ 는 공선방정식에 의해 변환된다.

변환된 좌표는 지도상의 정규 격자망과 영상에 있는 왜곡된 격자 사이의 공일차변환에 사용된다. 다음으로 4장의 정사사진 영상소 중심이 투영중심 변환보다 훨씬 빠르게 작용하는 간단한 공일차변환에 의해 변환될 수 있다. 이렇게 격자망에 있는 각 영상소에 대응하는 영상 좌표를 계산할 수가 있다. 재배열 과정에서는 영상좌표를 스캐너 좌표로 변환해야 한다.

3.4.2 경사변환선을 포함하고 있는 격자망

이 격자망에는 pixel-by-pixel 기법을 사용한다. 이 기법은 역 왜곡과 동일한 국부변위벡터가 완벽한 변환공식으로 개개 영상소에 대해 계산된다. 지도에 있는 개개 영상소는 공선방정식 (3-3)으로 영상좌표계로 변환하고 식 (3-1)이나 (3-2)로 스캐너좌표계로 변환하였다. 그리고 그림 7은 경사변환선과 점 표고를 이용한 사각형 격자를 나타낸 것이다.

3.5 재배열

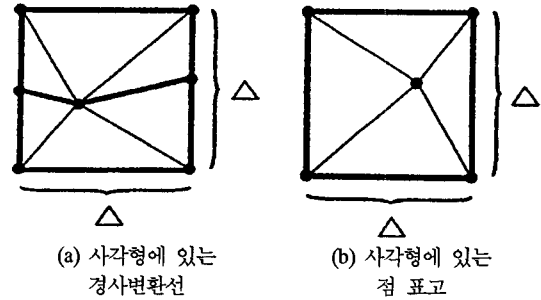


그림 7. 사각형 격자

재배열은 원 영상소 위치로부터 밝기값을 추출해서 보간한다. 보간 기법으로는 최근린 보간법(nearest interpolation), 공일차보간법(bilinear interpolation), 공이차(bicubic interpolation) 등이 있다. 최근린보간법은 특정 입력좌표에 대한 가장 근접한 영상소로부터 밝기값을 결정하고 그 값을 출력좌표에 할당한다.

이 기법은 계산 시간면에서 가장 효율적이지만 새로 등록된 영상에 작은 오차를 포함하고 있다. 그 영상은 공간적으로 1/2 영상소 정도 편위된다. 공일차보간법은 특정 입력값에 대한 4개의 근접 영상소의 경중율을 고려한 평균값으로부터 밝기값을 결정한다. 이 기법은 최근린 보간법보다 더 평활한 형상의 이미지를 생성한다. 그러나 그 밝기값은 처리과정에서 수정되어 영상 해상력의 저하와 흐림을 가져온다.

공이차보간법은 추천할 만한 재배열 기법으로서, 특정 입력좌표에 대한 16개 근접영상소의 경중율을 평균으로부터 밝기값을 결정하고 그 값을 출력좌표에 할당한다. 그 영상은 공일차보간법에 의해 생성된 것보다 좀 더 섬세하다. 그리고 최근린보간법으로 발생하는 불연속 형상을 가지고 있지 않다.

4. 실 험

4.1 실험 대상지역

현재 국내에서 항공사진 원 필름을 얻기 힘든 관계로 독일의 NIDERSACHEN 주의 한 도시인 OLDENBURG (latitude: 53.08°N, longitude: 8.13°E)에 대한 항공사진을 이용하였다. 항공사진은 2 스트립 4장으로 이루어져 있다. 실험에서는 전 지역을 이용하지 않고 단지 4장의 사진만 이용하여 정사사진을 생성하였다. 사진의 중 중복도는 60%, 횡 중복도는 30%이고, 카메라 종류는 Zeiss

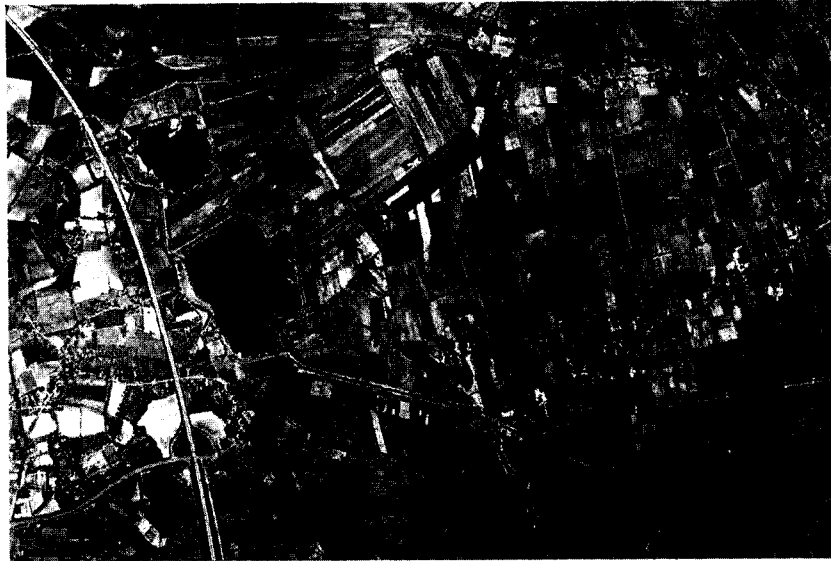


그림 8. 실험지역의 수치지영상(독일 Oldenburg)

TOP 30, Film type: Agfa PAN 200, 카메라 초점거리는 305.573 mm, 그리고 사진축척은 1:12,000이고, 실험지역은 6 kg×4 kg의 면적을 포함한다. 그림 8은 실험지역의 수치지영상을 나타내고 있다.

4.2 항공사진의 스캐닝

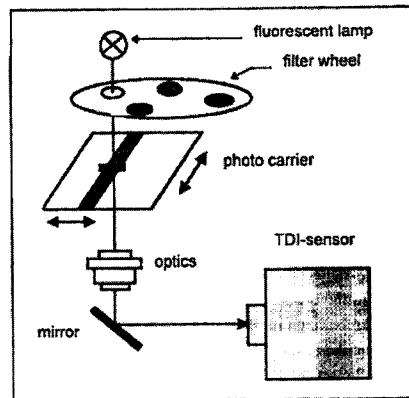
4.2.1 스캐너

항공사진 필름을 정사사진 생성에 이용하기 위해 독일 Hannover 대학 연구소에서 1995년 1월 이후 사용하고 있는 RASTERMASTER RM1 Flat-bed scanner (Wehrli & Associate Inc)을 사용하였다. RASTERMASTER RM1 Flat-bed scanner는 12 μm 영상소 크기의 항공사진 주사에 30분을 소요한다. Rastermaster RM1의 설계는 해석도화기와 일치한다.

Photo carrier의 움직임은 선형 압호기를 토대로 한 servos로 조정된다. Plate는 friction drive로 움직인다.

사용된 시간 지연과 통합 센서(TDI) DALSA CL-E1-2048A는 2048개 영상소를 가지고, 96개 영상소와 통합된다. 즉 이것은 선이 아니고, 2048×96개 영상소를 가진 배열이다. TDI-sensor를 96개 영상소에 통합함으로써 96개의 인자로 잡음과 계통적 선 오차를 줄이고 민감도를 개개 CCD-영상소 비해 80배 향상시켰다. 이 센서는 또한 사진측정 영상 스캐너에도 사용된다. 그림 9에 스캐너의 구조와 실물을 표시하였다.

RM1은 단지 2048행 중 1024행만 사용한다. 활동 부분은 스캐너 통제 자료로 선택될 수 있고, 대개 중심부



(a)



(b)

그림 9. Rastermaster RM1의 구조(a)와 실물(b)

분이 사용된다. 센서는 파장 영역 선택 능력은 없고, 단지 표준 R/G/B 선택을 이용한 컴퓨터 통제 필터 휠로 수행된다. 형광 램프에서 전송된 광선은 APO-RA-DOGON-D 렌즈 시스템을 통과한다.

투영으로 센서에 있는 13 μm 의 원 영상소 크기는 주사된 영상에서 12 μm 로 변환된다. 실험에 사용된 영상은 PC에서 처리에 많은 시간을 요하므로 원 해상력 23 μm 보다 훨씬 낮은 51 μm 로 이용하였다. 따라서 지상

기준점과 접합점 등을 영상에서 인식하는데 있어 큰 오차가 발생하였다.

5. 결과 분석

본 실험을 통해 수치지형모델에 경사변환선을 수치화하여 넣음으로써 수치정사사진의 정확도가 향상됨을 알 수 있었다. 여기서는 4장의 영상 중 1장의 사진에 대

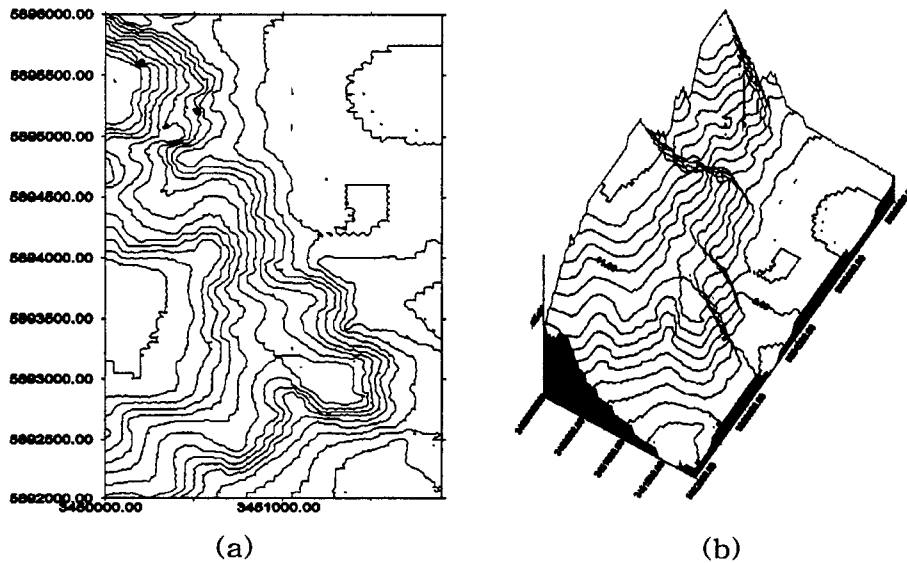


그림 10. 경사변환선이 포함된 등고선(a), 수치지형모델(b)

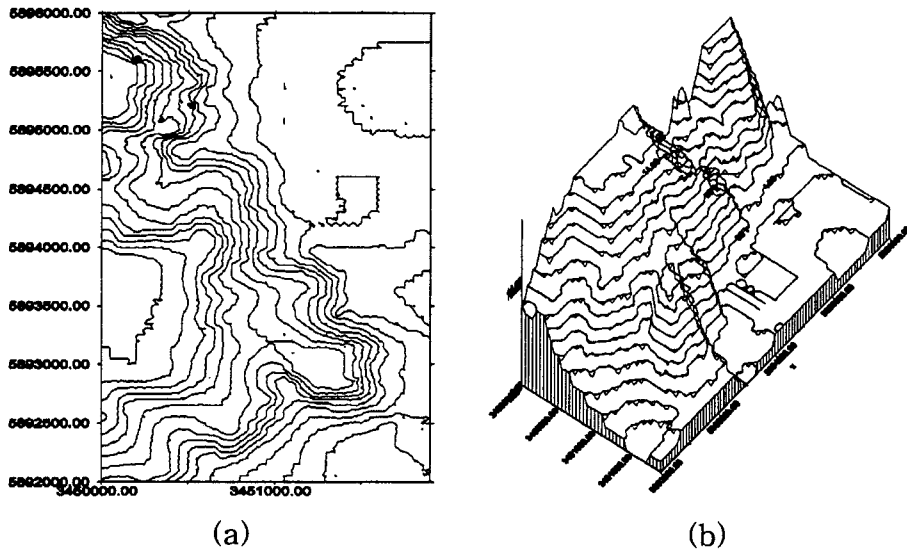


그림 11. 경사변환선이 포함되지 않은 등고선(a), 경사변환선이 포함되지 않은 수치표고모형(b)

해서만 경사변환선을 포함한 경우와 그렇지 않은 경우를 비교 분석하였다. 먼저 경사변환선을 포함한 등고선과 수치지형모델을 나타내면 그림 10과 같다.

그리고, 경사변환선을 포함하지 않은 등고선과 수치지형모델은 그림 11과 같다.

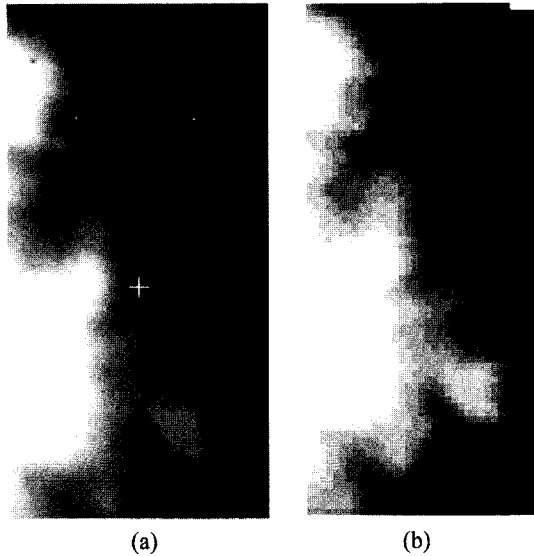


그림 12. 경사변환선이 포함된 수치표고모형(a), 경사변환선이 포함되지 않은 수치표고모형(b)

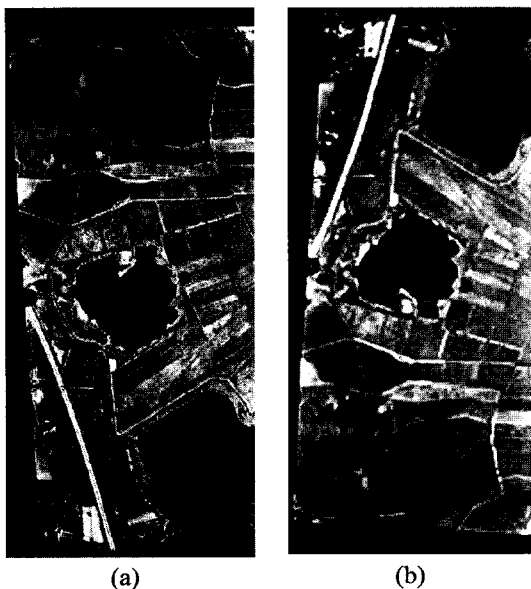


그림 13. 경사변환선이 포함된 수치정사사진(a), 경사변환선이 포함되지 않은 수치정사사진(b)

위 그림 13에서 (a)가 (b)보다 윤곽이 뚜렷한 것은 (a)의 수치지형모델에 경사변환선 추가로 격자간격(10 m × 10 m)이 (b)의 수치지형모델 격자간격(20 m × 20 m)보다 더욱 정밀하였기에 위와 같은 결과를 얻었다.

6. 결 론

본 논문에서는 항공사진을 Flat-bed scanner를 이용해서 주사한 다음 정밀 해석도화기를 이용하여 수치지형모델을 만들고 프로그램을 이용해서 수치정사사진을 제작하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. 경사변환선이 포함되지 않은 수치정사사진이 경사변환선이 포함된 수치정사사진보다 동일지점에 대한 지형·지물 식별능력 즉, 정보함유량이 훨씬 저하됨을 시각적으로 알 수 있었다.

2. 원 영상의 해상력이 23 μm에서 50 μm로 저하되어 지상기준점의 수작업 취득 등에 의해 큰 오차가 발생한 것으로 사료되며, PC 컴퓨터 자원능력의 확대와 지상기준점 자동 취득에 대한 연구가 필요하리라 사료되었다.

3. 수치지형모델의 정확도에 의해 수치정사사진의 정확도가 크게 영향을 받으므로 영상정합 기법, 디지털 이저 기법, 보간기법 등의 개발이 절실하며, 수치정사사진 등에 대한 지속적 연구를 통해 수치지도 제작과 지형공간정보체계, 그리고 도로 노선 설계 등의 기본 자료로 활용할 수 있으리라 사료된다.

참고문헌

1. Wong, K. W., "Basic mathematics of Photogrammetry", Manual of Photogrammetry, Ch. C. Slama, chapter II, American Society of Photogrammetry, Falls Church, 1980.
2. Kraus, K., Photogrammetrie, Chapter 6, Ferd. D mmlers Verlag, Bonn, 1986.
3. Wiesel, J., Herstellung dititaler Orthophotos. In:Digitale Bildverarbeitung-Anwendung in Photogrammetrie und Fernerkundung. Wiehman Verlag, Karlsruhe, 1985.
4. Bähr, H. P., Das digitale Orthophotos und seine Möglichkeiten. Schriftenreihe des Instituts für Photogrammetrie Stuttgart, Heft 13, Stuttgart, 1989.
5. Blote, Uwe, Jacobsen, Karsten, wehrmann, Hagen, Geometric and Radiometric analysis of a Photogrammetric Image

- Scanner, PE & RS, Vol. XX, Part B1, Vienna, 1996.
6. Robert, Ecker, Digital orthophoto generation based on a high-quality DTM, ITC Journal 1992-1, 59-64, 1992.
 7. 박운용, "응용측량학", 형설출판사, 1996.
 8. 박운용 외 2명, "해석 항공삼각측량에 의한 블록조정의 특성에 따른 정확도 향상", 대한토목학회지, 제18권 1호, 1998, 81-92.
 9. 유환희, "항공사진으로부터 지형 및 건물정보를 추출하기 위한 경계선 검출자의 특성 분석", 대한토목학회지, 제15권, 제4호, 1995, 953-960.
 10. 유복모, 김의명, "수치사진측량 적용을 위한 면적중심 영상정합의 특성 분석", 대한토목학회지, 제16권, 제III-6호, 1996, 497-504.
 11. 유환희, 김의명, "수치사진측량기법을 이용한 실시간 매핑 S/W 개발", 대한토목학회논문집, 제16권 제III-1호, 1996, 37-45.