

위성 원격탐사 데이터를 이용한 지형표고모델 산출 알고리즘 구축 및 응용 Study on the Building of Digital Terrain Model Using Satellite Remotely Sensed Data and Its Applications

최 윤 수*
Choi, Yun-Soo

요 旨

일반적으로 GIS의 기초자료로 인공위성 화상데이터를 이용하여 수치표고모델(DTM)을 생성하는 것이 기존 지형도 및 항공사진을 이용할 경우보다 자료획득의 시의성과 경제성에서 유리하다.

본 연구에서는 단사진 표정 원리를 응용하여 외부표정요소를 결정하고 Coarse to Fine법에 기초한 Image Matching 프로그램 및 DTM생성 프로그램을 개발하였다. 생성된 DTM을 이용하여 정사투영화상, 조감도, 등고선도 등을 제작하고 지형분석 및 수계분석을 실시하였다. 생성된 DTM의 정확도 분석 및 다양한 처리를 통하여 위성 데이터를 이용하여 생성된 DTM을 수치지도, 시설물관리, 국토정보체계 등과 같은 GIS의 응용분야에 적용 가능성을 제시하였다. 본 연구결과는 추후 보다 더 일반적인 환경 및 우리 국토 전역에 적용될 수 있도록 연구, 검토되어야 한다.

ABSTRACT

In generating DTM as basic data to GIS, the use of existing map is difficult to acquire current data and the method using airphotos needs cost for stereoplottting and ground control surveying. So, the method of DTM generation by satellite imagery is promising because satellite is able to observe wide area at once.

In this study the program for SPOT bundle adjustment and image matching based on Coarse to Fine method is developed and various image enhancement algorithm is used for more accurate DTM generation and also evaluation of accuracy was carried out. Further more, orthophoto, a bird's eye-view, contour map producing, network analysis and terrain analysis were performed for GIS applications using generated DTM in this study.

Generated DTM using SPOT stereo imagery is useful for GIS applications such as automated mapping, facility management, national geographic information system. Moreover developed automatic DTM generation program is studied, tested and verified more to be applicable to all the area.

1. 서 론

1972년 미국이 Landsat 1 호를 발사하여 지구관측을 시작한 이래 20여년 동안 Remote Sensing에 관한 다양한 연구가 진행되어 왔다. 특히 인공위성 데이터를 이용한 지구규모 환경에 관한 연구의 중요성이 더욱 높아지고 있다. 지구환경보호 활동의 일례로 아마존강 유역 및 시베리아 지역 삼림의 남벌에 따른 지구환경 파

괴를 인공위성으로 조사하여 해당국가 및 국제사회에 큰 충격을 주었다.

이러한 산림남벌에 의한 환경파괴는 기본적으로 지형도의 미비에 따른 무분별하고 무계획적인 개발도 하나의 원인으로 개발도상국에서의 1:50,000 지형도의 신속한 정비 및 지속적인 유지관리가 요망되고 있다.

전세계적으로 1:50,000 이상의 지형도 제작현황을 보면 제작이 완료된 지역이 지구 전체의 40 % 이하로 특히, 개발도상국을 중심으로 지형도 등 지리정보가 정비되지 않은 지역이 많다. 현재까지도 지형도가 제작되

*국립 안성산업대학교 토목공학과 조교수

지 못한 이유는 주로 막대한 항공사진촬영 및 지상기준점 측량비용 때문이다.^{5,6,7,8)}

신속하고 경제적인 지형의 3차원 계측을 목표로 하여 프랑스에서 제작하여 발사된 인공위성 중의 하나가 SPOT 위성이다. 지상분해능이 10 m로 고해상도의 지표면정보 취득이 가능하며 종래 위성과는 달리 스테레오 데이터의 취득도 가능하다. 따라서 최근 스테레오 (Stereo) SPOT위성을 이용한 3차원 정보추출에 관한 기술개발이 본격화 되었으며 컴퓨터를 이용한 자동 DTM생성에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다.¹⁻¹⁴⁾

본 연구는 한국과학재단에서 지원하는 1994년 전반기 한국과학재단 Pos-doc연수의 일환으로 1년간 일본 동경이과대학 Remote Sensing 연구소에서 이루어진 연구의 일부로 1) 스테레오 위성화상을 이용한 지형계측 이론 정립 2) Coarse to Fine법에 의한 지형계측 프로그램 개발 3) 수치지형모델의 작성 및 활용 방안 연구 4) 위성데이터를 활용한 국토정보체계의 구축가능성 등을 검토하였다.

2. SPOT화상의 기하학 및 표정

SPOT화상을 이용한 지형계측에 있어서 필수자료인 스테레오 화상자료의 획득시 센사의 위치(X_0, Y_0, Z_0) 및 센사의 3축 주변의 회전요소(ω, ϕ, κ)를 사진측량의 원리를 이용하여 해석적으로 구하는 데에는 다양한 수학적모델이 제시되어 있다. 지상좌표계와 화상좌표계간의 관계를 구하는 데에 이용된 Control Data는 종래 사진측량에서 이용된 기준점 개념과 동일하지만 다음과 같은 다소 상이한 점이 있다.

1) 화상축척이 대단히 작기 때문에 명료하고 정확하게 결정하는 것이 어렵다.

2) 기준점을 선정할 때 도로의 교점, 굴곡부 등 이외에는 제약이 많다.

이상의 문제점을 보완하고자 Control Data로써 특징선을 이용하여 스테레오 매칭을 하기도 하지만 주로 항공사진을 이용한 매칭분야에서 활용되고 있다.^{5,8,10,11)}

2.1 공선조건식과 표정계산

SPOT위성에 탑재된 리니어센사(Linear Sensor (CCD))의 기하학은 사진측량에 있어서 1 장의 사진이 동일 중심투영인 것과는 달리 1 라인형 중심투영으로

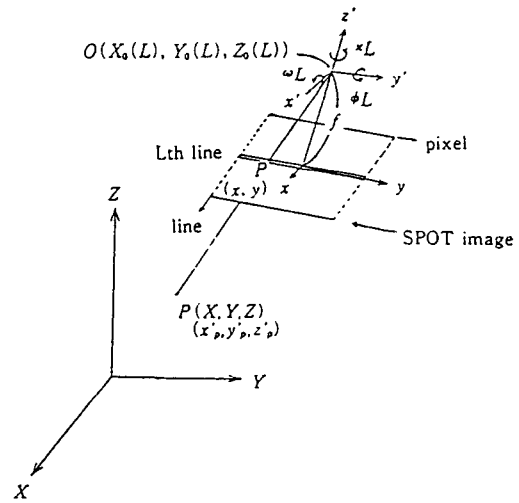


그림 1. SPOT 화상데이터의 기하학

고려한다. 따라서 센사가 탑재된 위성의 위치 및 자세는 사진측량의 외부표정요소와 동일하다.

센사는 미소시간 간격(1.5 m sec/line)으로 주사되기 때문에 외부표정요소는 1 Line당 6 요소, 1000 line화상이면 6000요소가 된다. 이와 같이 미지량은 막대하나 위성의 궤도가 안정되어 있고 고속으로 이동하기 때문에 Scene 전체의 외부표정요소는 주사Line의 함수인 다항식으로 근사할 수 있다.^{5,8,9)}

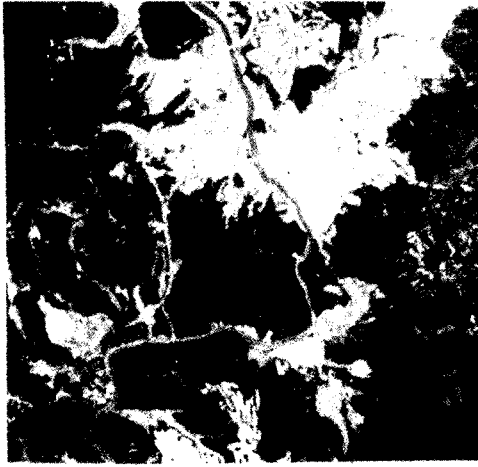
$$\begin{aligned} X_0(L) &= X_{00} + X_{01} \cdot L & \omega_0(L) &= \omega_{00} + \omega_{01} \cdot L \\ Y_0(L) &= Y_{00} + Y_{01} \cdot L & \phi_0(L) &= \phi_{00} + \phi_{01} \cdot L \\ Z_0(L) &= Z_{00} + Z_{01} \cdot L & \chi_0(L) &= \chi_{00} + \chi_{01} \cdot L \end{aligned} \quad (1)$$

L:라인번호

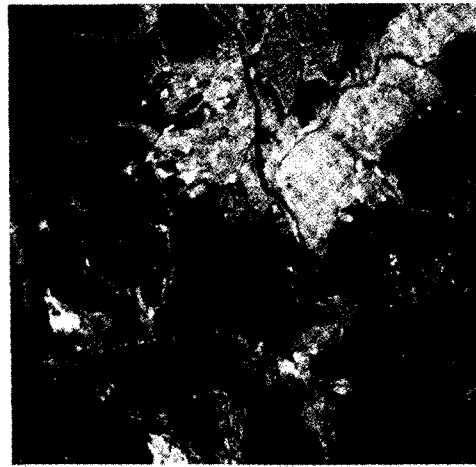
그림 1과 같이 센사좌표계를(x', y', z'), 사진좌표를(x, y), 지상좌표계를(X, Y, Z), x', y', z' 축의 회전각을 ω, ϕ, κ 라 하면 지상대상물 $P(X, Y, Z)$ 의 센사좌표계상의 좌표(x'_p, y'_p, z'_p)는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} x'_p \\ y'_p \\ z'_p \end{bmatrix} = R\omega(L)R\phi(L)R\kappa(L) \cdot \begin{bmatrix} X - X_0(L) \\ Y - Y_0(L) \\ Z - Z_0(L) \end{bmatrix} \quad (2)$$

투영중심, 화상 및 지상의 대상물이 일직선상에 있는 공선조건식은 (2)식에 의하여 다음과 같다.



(a) 좌영상 ©CNES1990NASDA/EOC



(b) 우영상 ©CNES1990NASDA/EOC

그림 2. 연구대상 SPOT화상

$$\begin{aligned}
 x &= -f \cdot \frac{x'_p}{z'_p} \\
 &= -f \frac{m_{11}(X - X_0(L)) + m_{12}(Y - Y_0(L))}{m_{31}(X - X_0(L)) + m_{32}(Y - Y_0(L))} \\
 &\quad + \frac{m_{13}(Z - Z_0(L))}{m_{33}(Z - Z_0(L))} \\
 y &= -f \cdot \frac{y'_p}{z'_p} \\
 &= -f \frac{m_{21}(X - X_0(L)) + m_{22}(Y - Y_0(L))}{m_{31}(X - X_0(L)) + m_{32}(Y - Y_0(L))} \\
 &\quad + \frac{m_{23}(Z - Z_0(L))}{m_{33}(Z - Z_0(L))}
 \end{aligned} \tag{3}$$

식(3)은 기준점에 관한 조건방정식이다.

센사의 위치(X_0, Y_0, Z_0) 및 자세(ω, ϕ, κ)는 각각 Tracking 및 자세제어 센사에 의하여 계측되거나 지형 3차원 계측에 부합되는 충분한 정확도를 가지고 있지 않다. 특히 SPOT의 경우 화상수집시간(9초)의 트래킹 데이터는 없고 각속도 성분만 수집된다. 따라서 지상에서 수집된 지상기준점 좌표를 이용하여 센사의 위치(X_0, Y_0, Z_0) 및 자세(ω, ϕ, κ)를 정확하게 구해야 한다.

조건방정식(3)에서 미지수는 식(1)에서 다항식으로 표현된 12개이다. 식(3)은 외부표정요소, 지상좌표에 대하여 비선형이기 때문에 테일러전개를 이용하여 선형화하고 반복계산으로 근사치의 수렴해를 구하면 된다. 일반적으로 단모델 표정의 경우 6점 이상의 지상기

표 1. 사용된 SPOT 데이터

	좌화상	우화상
데이터	SPOT HRV (Panchromatic mode)	
처리 Level	1	
Node (칼람-로우)	324-280	324-280
촬영년월일	1990. 3. 27	1989. 12. 4
센사	HRV 2	HRV 2
관측각도	21.3° 東	23.7° 西
윤량	1	1
과장대	0.51~0.73 m	0.51~0.73 m

준점이 필요하다.

2.2 SPOT화상의 표정계산

본 연구에서는 공선조건식을 기본으로 한 단사진표정 원리를 응용하여 표정요소를 구하였다. 사용된 SPOT 데이터는 표 1과 같으며 내부표정요소는 일반적으로 공개된 제원을 이용하였다.

지상기준점의 평면좌표는 1:50,000 지형도상에서 디지털타이저를 이용하여 취득하였으며 표고데이터는 등고선 데이터를 이용하였다. 표정계산결과는 2차항까지 근사한 경우에는 해의 수렴이 불안정하여 여러 가지 근사식을 적용하여 검토한 결과 X_0, Y_0, Z_0 에 관해서는 1차식으로 ω, ϕ, κ 에 관해서는 정수항으로 근사하여 표 2와 같이 수렴해를 구하였다.

표 2. 표정계산 결과

外部標定要素			標定計算結果	
			左畫像 1990. 3. 27 ??	右畫像 1989. 12. 4??
位置 (m)	X ₀	2次係數	-	-
		2次係數	9.65018564	9.74513008
		定數項	-191526.67483560	-114468.70459399
	Y ₀	2次係數	-	-
		2次係數	-2.69176356	-1.10415299
		定數項	288906.53124079	1004494.01704030
	Z ₀	2次係數	-	-
		2次係數	0.22795831	1.66991644
		定數項	798290.98897763	783538.95273338
姿勢 (red)	ω	2次係數	-	-
		2次係數	-	-
		定數項	-0.40210959	0.44925884
	φ	2次係數	-	-
		2次係數	-	-
		定數項	0.03912449	0.09622489
	κ	2次係數	-	-
		2次係數	-	-
		定數項	0.20975159	0.13540049

3. Coarse to Fine 법에 의한 Matching

3.1 Coarse to Fine 법에 의한 매칭(Matching)

일반적으로 경사관측된 스테레오 데이터는 동일한 크기의 화상이라도 관측각에 따라서 취득된 지표면상의 정보량이 다르기 때문에 스테레오 화상에서 동일한 대상물이 촬영된 대응점을 탐색하는 경우 라인방향 및 칼람방향을 고려한 2차원 탐색을 실시해야 한다. 그러나 SPOT 화상과 같이 좌우관측의 스테레오 데이터는 라인방향의 투영왜곡(x시차)을 제거할 수 있다면 대응점이 2개의 화상상에서 동일 라인번호상에 존재하기 때문에 탐색을 칼람방향의 1차원으로 한정하여 단순하고 신속하게 실시할 수 있다.^{5,8,10,11)}

투영왜곡을 제거하여 1차원 탐색으로 매칭점을 구하는 Coarse to Fine 법에 의한 Matching Algorithm을 이용하여 그림 3과 같이 3단계의 반복처리를 실시한다. 1-2 단계에서는 개략적인 처리에 의해 산출된 표고를 이용하여 조금씩 x시차를 제거하고 마지막 3단계에서 x시차가 완전히 제거된 화상에서 대응점 탐색을 실시

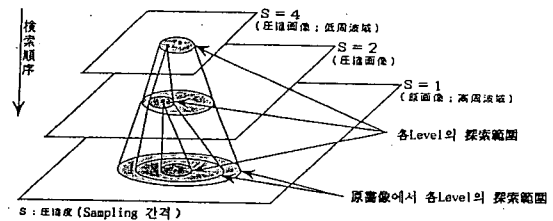


그림 3. Coarse to Fine 법의 개념

하여 표고를 산출한다.

본 연구에서는 컴퓨터의 처리속도, 기억용량을 고려하여 스테레오 화상을 소영역(Patch)으로 분할하여 소영역별로 화상처리를 실시하였다. 소영역의 크기는 2의 승수인 1024×1024로 설정하였으며 좌화상을 기준화상으로 하여 우화상의 대응점을 탐색하였다. 구체적인 흐름은 그림 4와 같다.

3.1.1 화상 필터링(Filtering)

단계적 매칭처리를 실시하기 위한 기준화상의 압축

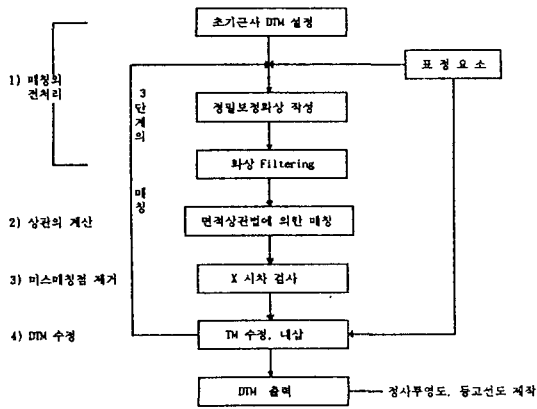


그림 4. Coarse to Fine 법의 흐름도

처리를 실시한다. 제 1단계에서는 1/16, 제 2단계에서는 1/4로 압축된 화상을 사용하고 제 3단계에서는 원화상을 사용한다. 즉 제 1단계에서는 화상의 크기가 256×256 화소, 제 2단계에서는 512×512 화소, 제 3단계에서는 1024×1024 화소가 되며 본 연구에서는 처리 시간을 단축하기 위하여 압축화상을 제 1단계에서는 16개(4×4)화소, 제 2단계에서는 4개(2×2)화소의 평균치를 구하여 압축화상을 작성하였다.

3.1.2 정밀기하보정 화상의 작성

Coarse to Fine법에서 스테레오 화상의 대응점을 정확하게 탐색하기 위해서는 표정요소 및 각 단계에서 산출된 표고를 이용하여 종시차가 소거된 정밀기하보정 화상을 작성하여 칼람방향 시차(y 시차)만을 가진 화상을 작성해야 한다. 즉 스테레오 화상의 투영왜곡을 소거하여 1차원 탐색을 실시하기 위해서는 표정요소 및 전단계에서 산출된 표고를 이용하여 대응패취(Patch)를 기준패취와 동일면에 투영한 정밀기하보정 화상으로 작성한다. 단, 제 1단계에서는 표고가 없기 때문에 가정의 평균표고를 적용한다.

3.1.3 기준격자점 설정

처리시간, 상관창(window)의 크기, 탐색영역 등을 고려하여 각단계의 압축화상에 매칭처리를 실시하기 위한 격자점을 설정한다.

3.1.4 면적상관법을 이용한 매칭처리

3)에서 설정된 기준격자점의 대응점을 2)에서 작성된

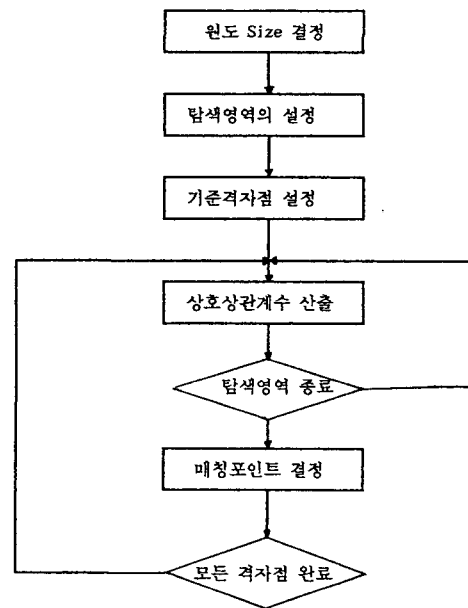


그림 5. 스테레오 매칭의 흐름

정밀기하보정 화상(대응화상)에 면적상관법으로 탐색한다.

3.1.5 미스 매칭점의 제거

4)의 매칭결과 Miss매칭점을 메디안 필터, 칼람방향의 시차비교에 의하여 제거한다.

3.1.6 표고산출

구해진 매칭결과를 이용하여 표고를 산출한다. 제 3단계에서 구한 표고가 최종표고이다.

3.1.7 표고의 내삽

제 1, 2단계에서는 6)에서 산출된 표고를 정밀기하보정 화상을 작성하는 데에 사용하기 위하여 내삽을 실시한다.

3.2 면적상관법에 의한 스테레오 매칭

x 시차가 제거된 정밀기하보정 화상에 있는 대응점이 기준패취상에 있는 점과 동일 라인상에 존재하기 때문에 대응점 탐색이 1차원적으로 간단하고 신속하게 된다. 본 연구에서는 면적상관법을 이용하여 대응점 탐색을 하였으며 상관창의 크기는 각 단계에서 동일하게 설정되었다. 스테레오 매칭의 흐름은 그림 5와 같다.

3.2.1 상관창의 크기 설정

면적상관을 실시할 상관창의 크기를 지형조건에 따라서 설정한다.

3.2.2 탐색영역의 설정

탐색영역은 지표의 상태에 따라서 설정한다. 구체적으로 관측영역내에 600 m의 표고차가 있는 경우 B/H가 1.0의 SPOT 화상에서는 약 60화소의 시차가 발생하게 되어 탐색영역이 60화소보다 작은 경우에는 표고차에 대응할 수 없으며, 필요 이상으로 탐색영역이 큰 경우에는 불필요한 영역을 탐색하게 되어 탐색속도가 저하된다.

3.2.3 기준격자점의 설정

효율적인 매칭을 실시하고자 각 단계마다 압축화상 및 정밀기하보정 화상에 기준격자점을 설정하였다. 격자점간격이 커지면 구하는 표고데이터의 수가 적게 되어 매칭속도는 빠르게 된다.

3.2.4 상관계수의 설정

상관창 유사도의 지표로 상호상관계수를 이용하였으며 다음 식과 같다.

$$R(t) = \frac{\sum \{a(i,j) \times b(i+t,j)\}}{\sqrt{\sum \sum \{a(i,j)^2\}} \times \sqrt{\sum \sum \{b(i+t,j)^2\}}} \quad (4)$$

R(t) : 상호상관계수

a(i,j) : 압축화상의 농도치

b(i,j) : 정밀기하보정 화상의 농도치

t : 위치오차

i : 칼럼

j : 라인

상호상관계수는 정밀기하보정 화상에 설정된 탐색영역의 모든 상관창에 대하여 구한다.

3.2.5 매칭점의 결정

정밀기하보정 화상상에 결정된 탐색영역내에서 산출된 상호상관계수가 최대인 상관창의 중심화소를 압축화상의 격자점에 대응하는 매칭점으로 결정한다. 이 매칭점은 미스매칭점의 제거처리를 효율적으로 하기 위

하여 시차데이터로 관리한다.

3.3 미스매칭점의 제거

면적상관법에 의한 매칭에서는 정밀기하보정 화상에서 압축화상의 모든 격자점의 매칭점을 정확하게 찾는 것은 불가능하여 미스매칭도 발생한다. 1) 메디안 휠타법 2) 대응점의 정합성 검사법을 적용하여 미스매칭점을 제거하였다.

3.3.1 메디안 휠타법

메디안 휠타법은 비고가 급변하는 부분의 지(Edge)를 유지하면서 돌발적인 노이즈(Noise)를 제거할 수 있는 특성을 가지고 있다. 메디안 휠타로 구한 시차데이터와 원시차데이터를 비교하여 기준치 이상의 차가 있으면 미스매칭점으로 취급한다. 메디안 휠타의 크기는 3×3 이다.

3.3.2 대응점의 정합성 검사법⁵⁾⁶⁾

그림 7과 같이 압축화상의 격자점좌표 및 대응점좌표를 $(x_{ij}, y_{ij})(u_{ij}, v_{ij})$ 라 하고 격자점 (i, j) 에 있어서 y 시차를 p_{ij} 라 하면 다음 식이 성립한다.

$$u_{ij} = x_{ij} \quad v_{ij} = y_{ij} + p_{ij} \quad (5)$$

따라서 격자점 (i, j) 와 $(i-1, j)$ 에는 다음 식이 성립한다.

$$\begin{aligned} \delta u_{ij} &= u_{ij} - u_{i-1,j} = (x_{ij} - x_{i-1,j}) + (p_{ij} - p_{i-1,j}) \\ u_{ij} - u_{i-1,j} &= \text{격자점간격} \end{aligned} \quad (6)$$

화상좌표에서

$$\delta u_{ij} \geq 0 \quad (7)$$

이 성립하고, 지형의 최대구배에 관한 조건은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} |\delta p_{ij}^1 = p_{ij} - p_{i-1,j}| &\leq v \times 4 \\ |\delta p_{ij}^2 = p_{ij} - p_{i-1,j}| &\leq v \times 4 \end{aligned} \quad (8)$$

(6), (7)식을 만족하지 않는 경우에 미스매칭점으로 판정하고 주변의 매칭점을 이용하여 평균화 처리한다.

4. 수치지형모델의 작성 및 활용

4.1 수치지형모델의 수정 및 내삽

Coarse to Fine 법의 각 단계에서 구한 x 시차를 이용하여 표고보정량 Z_{ij} 를 다음 식으로 계산하여 수치지형 모델을 수정한다.

$$\delta Z_{ij} = H/f(B/H)^{-1} \delta CCD Px \quad (9)$$

단 f: 초점거리 1.082 m, H: SPOT 위성궤도, B/H: B/H 比, CCD: CCD소자간격 0.013 mm, Px: 매칭계산과정에서 구한 시차 (화소단위) 이다. 만약 B/H=0.6, H=830 km 일 때 x 시차가 1화소 라면 대응한 Z는 16.6 m 이다. 따라서 수정후 수치지형모델은 (8)식에서 계산된 Z_{ij} 를 이용하여 다음과 같이 구한다.

제 1단계 매칭에서 구한 격자점 간격은 지상에서 200 m이므로 2단계의 100 m 격자 수치지형모델을 구하기 위하여 바이리니어 내삽을 하였으며 제 2단계에서도 동일한 처리를 실시하였다. 3단계의 매칭처리에 의해 단계별로 매칭정확도가 높아져서 최종적으로 보다 정확한 수치지형모델이 작성된다. (그림 7 참조)

4.2 수치지형모델의 평가

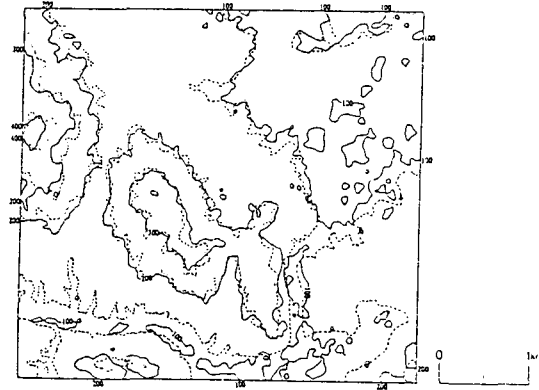
본 연구에서 작성된 수치지형모델의 정확도를 평가하고자 정량적,정성적으로 정확도를 평가하였다.^{5,11,15,16)}

4.2.1 정량평가

정량평가의 순서는 다음과 같다.

- 1) 정사투영화상에서 확인가능한 점을 선택하여 그 점의 화상좌표를 구한다.
- 2) 1)에서 선정된 점에 대응하는 표고좌표를 수치지형모델에서 검색한다.
- 3) 2)에서 선정된 점의 표고를 1:50,000 지도에서 구한다.
- 4) 2), 3)의 결과를 비교한다.

이상의 평가를 300점에 실시한 결과 표고오차 절대치의 평균이 10.6 m, 표준편차가 11.5 m로 나타나서 상당히 높은 정확도로 수치지형모델이 작성되었음을 확인하였다. 일부 30 m를 초과하는 점도 있으나 이는 산의 정상부근으로 검증점의 선정과정에 문제가 있는 것으로 판명되었다.



실선: 본연구에서 작성된 등고선
파선: 지형도(1:50,000)에서 독취된 등고선

그림 6. 등고선의 평가

4.2.2 정성평가

수치지형모델을 이용하여 작성된 등고선도와 1:50,000 지형도를 중첩하여 수치지형모델의 정성평가를 실시하였다. 그림 6과 같이 SPOT화상으로부터 제작된 등고선도의 형상이 1:50,000 지형도의 등고선과 거의 유사하므로 본 연구에서 제작된 등고선도는 지형의 형상을 파악하는 데에 활용될 수 있다.

4.3 수치지형모델의 활용

수치지형모델은 등고선 등으로 중이에 표현된 종래의 지형정보와는 달리 컴퓨터를 이용하여 여러 가지 처리에 의한 활용이 가능하다. 본 연구에서는 Coarse to Fine 법의 알고리즘에 따라서 SPOT 데이터를 이용하여 작성된 수치지형모델 및 SPOT 화상데이터를 이용하여 다음과 같이 토목설계, 도시설계, 토지조사 등의 분야에서 활용될 수 있는 정사투영화상, 조감도, 수계도, 수계밀도도, 경사구분도 등을 제작하였다.

4.3.1 정사투영도제작

본 연구에서 사용된 SPOT데이터의 관측각도는 좌화상이 21.3 우화상이 23.7로 각각의 화상에는 지형의 기복에 의한 기하학적 왜곡이 포함되어 있다. 이러한 왜곡은 2차원 왜곡을 제거하는 데에 이용되는 아핀(Affine)변환이나 의사아핀변환 등으로는 제거되지 않기 때문에 표정계산결과와 수치지형모델을 이용하여 다음과 같이 정사투영화상을 제작하였다.

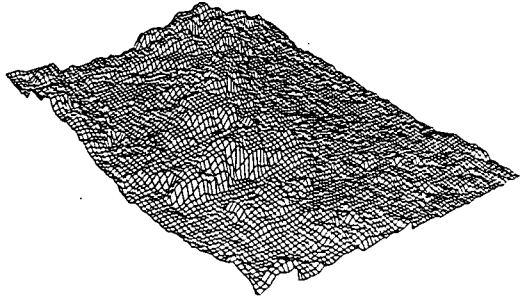


그림 7. 작성된 수치지형모델

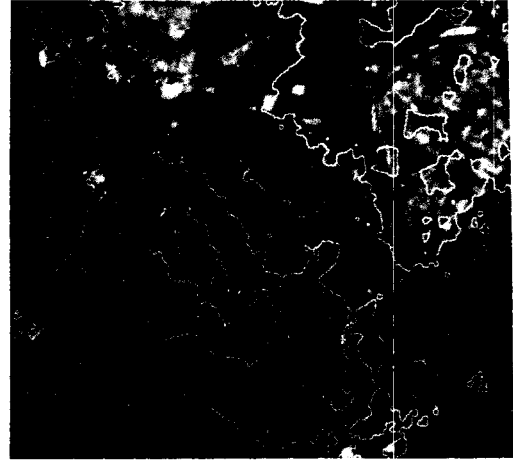


그림 9. Orthophoto Map

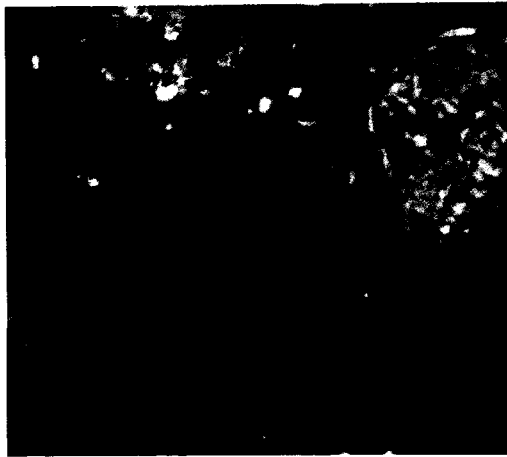


그림 8. 정사투영화상

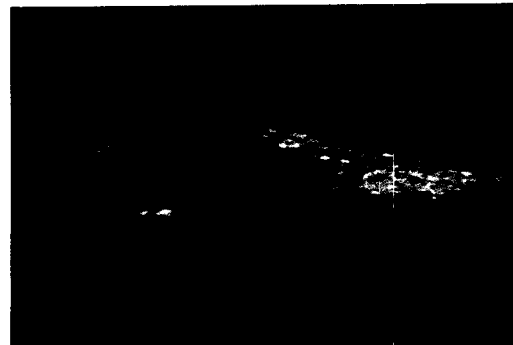


그림 10. 조감도(남동에서 조망)

정사투영화상의 제작은 수치지형모델상의 임의의 점이 위성데이터의 어느 부분에 투영되는가를 조사하는 것과 같다. 즉, 수치지형모델상의 임의점 좌표(X, Y, Z)

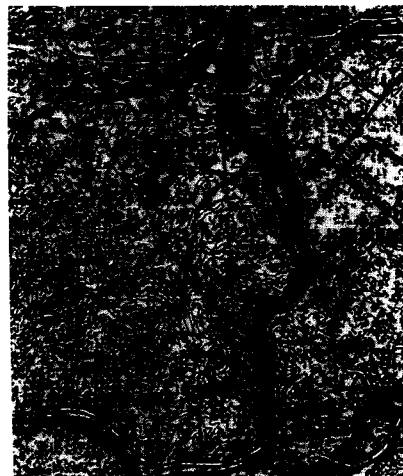
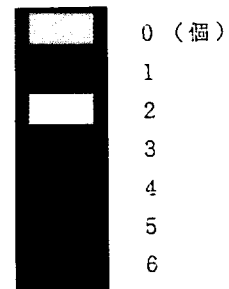
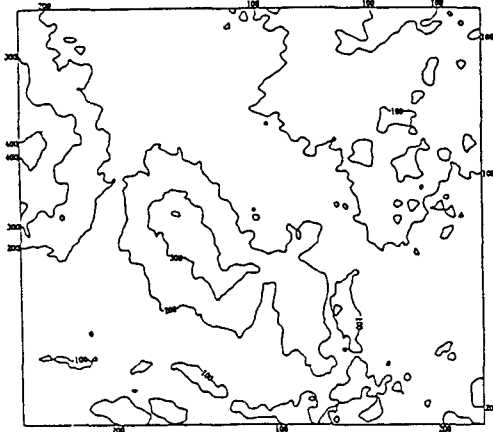


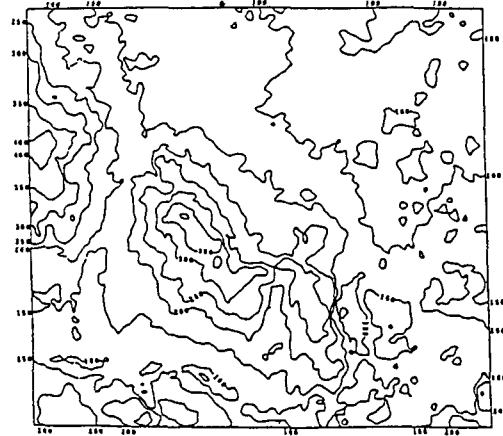
그림 13. 수계밀도도

凡 例





(a) 등고선도 (등고선간격 100 m)



(b) 등고선도 (등고선간격 50 m)

그림 11. 등고선

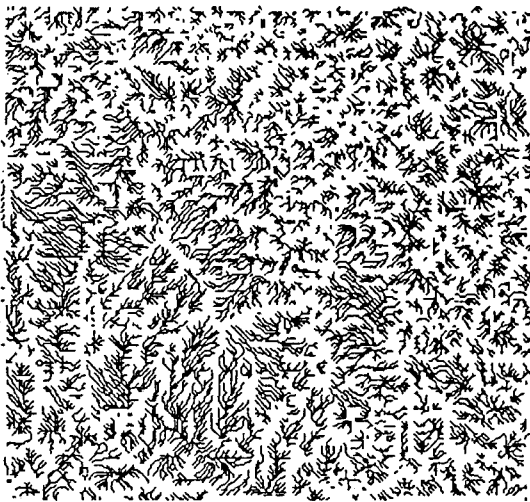


그림 12. 수계도

에서 화상좌표를 구하고 이 화상좌표치와 SPOT 데이터에서 최근린내삽법에 의하여 지상좌표에 대응하는 화상농도치를 산출한다. 수치지형모델 전체에 이 처리를 실시하면 정사투영화상이 구해진다.

4.3.2 Orthophoto Map 제작

지형정보와 토지피복정보를 동시에 파악할 수 있는 Orthophoto Map은 전향에서 제작된 정사투영화상에 등고선도를 중첩하면 제작된다. 먼저 등고선도는 수치지형모델의 수치데이터를 설정한 등고선 간격으로 분

류하고 분류된 표고대에 서로 다른 화상농도치를 부여하여 표고화상을 제작한다. 표고화상의 표고대역 경계선을 등고선으로 추출하고 2차화 과정을 통해 라스타(Raster)형 데이터로 변환하여 정사투영화상에 중첩시키면 된다.

4.3.3 조감도 제작

일반인이 지형과 SPOT화상을 보다 실감나고 이해하기 쉬운 형태이기 때문에 도로, 항만, 건물 등의 건설공사 등에 대단히 많이 이용되고 있는 조감도를 수치지형모델과 정사투영화상을 이용하여 제작하였다. 본 연구에서는 중심투영법으로 표고를 2배 강조한 화상을 제작하였다.

4.3.4 등고선도 제작

본 연구에서는 매칭결과를 이용하여 구축한 수치지형모델에서 가장 일반적인 지형정보의 형태로 지형도에서 필수 불가결한 등고선도를 다음과 같이 제작하였다.

4.3.5 水系圖와 수계密度圖제작

수계도는 모든 점에서 시작되는 우수선을 상류측에서부터 추적하여 제작되었다. 임의 한 점을 중심으로 주변의 8점과의 표고차 및 경사를 계산하고 최대경사 방향으로 수계가 연장된다고 가정하였다. 이를 이용하

여 수계밀도도를 제작하였다.

수계밀도(drainage density)는 유역의 특징 및 開析度를 나타내는 지표로 지형, 지질, 지표의 피복상태와 관계가 깊다. 즉, 강우시 시간에 따른 유출량의 변화를 나타내는 지표로서 집중호우시에 급격한 유출증가에 대한 수방대책 수립에 있어서 유용한 수단 중의 하나이다.

5. 분 석

본 연구에서는 인공위성에서 취득된 스테레오 화상을 이용하여 지형의 3차원 정보를 추출하는 프로그램을 개발하고 수치지형모델의 생성 및 응용에 관한 연구를 수행하였다. 지형계측 프로그램은 표정, 매칭, 지상좌표산출, 수치지형모델 생성 및 활용으로 구성되었으며 위성데이터로부터 지형의 3차원 정보를 효과적으로 추출가능함이 입증되었다.

표정처리 과정에서 산출된 센사의 위치와 자세의 근사식은 최종적으로 위치데이터는 1차식, 자세 데이터는 정수항으로 근사하였다. 설정된 근사식의 계수를 표정계산에서 산출한 결과 사용된 기준점에서 잔차는 1화소 이내로 수렴하였다. SPOT 데이터의 전정(PS)모드에서 지상해상력이 10m이므로 평면위치 오차도 10m 이내임을 알 수 있으며 최종적으로 사용된 기준점은 11점이다.

매칭은 실용적이고 간단한 면적상관법을 기본으로 하여 매칭점을 보다 더 효율적으로 탐색하는 Coarse to Fine 법에 의한 프로그램을 개발하였다. 특히 미스매칭점은 칼람방향 배열의 정합성을 검사하거나, 매디안 필터를 이용하여 효율적으로 제거하였다.

표정계산 및 매칭결과를 이용하여 매칭포인트의 지상좌표를 산출하고 평면좌표계상에서 규칙적으로 수치표고모델을 생성하였다. 정량평가 결과 표고오차의 절대치 평균이 10.60 m, 절대치 표준오차가 11.47 m로 나타났다.

6. 결 론

본 연구에서는 인공위성에서 수집된 화상데이터를 이용하여 단계적으로 매칭처리를 하면서 기준화상에 대응하는 정밀기하 보정된 대응화상을 구하는 Coarse to Fine 법의 알고리즘을 이용한 프로그램을 개발하고

수치지형모델을 생성하였다.

생성된 DTM의 정확도를 정성적, 정량적으로 평가한 결과 실용적으로 사용가능함이 판단되어 이를 이용하여 정사투영화상, Orthophoto map, 조감도, 등고선도, 수계도, 수계밀도도 등을 제작하였다.

위성화상으로부터 생성된 수치지형모델을 이용하여 제작된 여러 가지 주제도는 토목분야의 기본설계 및 국토정보체계, 도시계획 수립과정 등에 활용될 수 있다. 또한 개발된 프로그램은 보다 일반적인 환경에서 사용될 수 있도록 보완되어야 할 것으로 판단된다.

가까운 장래에 고해상도(5 m 이상) 위성데이터가 제공된다면 보다 경제적이고 체계적으로 전국도에 대한 토지조사를 실시하여 정확한 국토정보체계를 구축할 수 있다고 사료된다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 94년도 전반기 Pos-doc 일환으로 수행된 것으로 여러 가지 도움을 주신 한국과학재단 및 일본국 동경이과대학 Remote Sensing 연구소 관계자 여러분에게 감사드립니다.

參考文獻

1. 안기원, "인공위성 화상데이터를 이용한 지형표고의 추출", 서울대학교 대학원 박사학위논문, 1988
2. 박병욱, SPOT화상을 이용한 수치지형표고 생성에 관한 연구, 서울대학교 박사논문, 1991
3. 유복모, 위성화상을 이용한 3차원 정사투영영상 생성법에 관한 연구, 국방과학연구소, pp 12-133, 1994
4. 김의홍, 이종훈, 국토자원관리를 위한 통합 지리정보 시스템 개발, 과학기술처, 1992
5. 大林成行, 衛星リモートセンシングデータを用いた地形計測の効率化に関する研究, 日本國 東京理科大学 Remote Sensing 研究所, 1993.3
6. 竹内章司, スポット畫像による地圖作成の海外における事例, 寫眞測量とリモートセンシング, Vol 28, No3, pp 19-23, 1989
7. 秋山廣, SPOT畫像を用いた地圖作成技術, 寫眞測量とリモートセンシング, Vol 28, No3, pp 24-29, 1989
8. 内田修, 스테레오衛星畫像を用いた3次元計測의自動化に関する研究, 岡山大學博士論文, 1989
9. 村井俊治, 스테레오衛星畫像を用いた3次元測定, 生産研究, Vol 41, No11, pp 27-32, 1989

10. 史中超, 柴崎亮介, 多重解像度解析による領域分割とステレオマツチング, 第6回機能図形情報情報システム シンポジウム講演論文集, pp 63-68, 1995
11. 崔允秀, 衛星リモートセンシングデータを用いた地形計測精度に関する検討, 日本國 東京理科大学 Remote Sensing 研究所, 1995.8
12. 丸山弘通, 人工衛星画像による地図作成の現況について, 写真測量とリモートセンシング, Vol 32, No.2, pp 42-44, 1993
13. 建設省國土地理院, 人工衛星画像処理技術の地図作成等への應用に関する研究作業, 建設省國土地理院, 1994
14. 建設省國土地理院, 地図作成等における人工衛星画像處理技術の應用に関する研究, 建設省國土地理院, 1993
15. V.Rodriguez, P.gigord, A.C.de Gaujac, abd P.Munier, Evaluation of the Stereoscopic Accuracy of the SPOT Satellite, PE&RS, Vol.54, No. 2 pp 217-221, 1988
16. Paul V.Bolstad and Timothy Stowe, An Evaluation of DEM Accuracy: Elevation, Slope, and Aspect, PE&RS, Vol.60, No.11 pp 1327-1332, 1994
17. Konecny, G., P.Lohmann, H.Engel, and E.Kruck, "Evaluation of SPOT Imagery on Analytical Photogrammetric Instruments", PE & RS, Vol.53, No.9, pp. 1223-1230, 1987.