

前處理 水準에 따른 SPOT 衛星寫眞의 正確度 分析에 關한 研究 A Study on the Analysis of Accuracy of SPOT Photos According to the Preprocessing Level

柳 福 模* 李 顯 職**
YEU Bock-Mo LEE Hyun-Jik

要 旨

본 연구는 최근 소축척 및 중축척지도 제작과 database 구축등의 활용분야에 효용성이 확대되고 있는 SPOT 위성영상의 3차원 위치결정에 대한 연구로서, 사진필름형태의 SPOT 위성영상에 대해 전처리 수준(level 1A, 1B)에 따른 기하학적 특성과 정확도에 대해 분석하였다.

본 연구 결과, 전처리 수준에 따른 SPOT 위성사진의 기하학적 특성과 각 전처리 수준의 외부표정요소에 대한 최적 다항식 형태 및 유의한 부가매개변수를 결정할 수 있었으며, level 1A가 level 1B에 비해 기하학적 정밀도와 정확도가 양호하여 정밀한 3차원 위치결정과 지도제작에 적합함을 알 수 있었다.

ABSTRACT

The use of SPOT Imagery is a growing trend in the field of small and middle scale mapping, as well as in establishing topographic database. This study is about 3-D positioning using the SPOT Imagery, where the accuracy and the gemetric characteristics of SPOT photos are analysed according to the preprocessing level(level 1A, 1B).

As a result of this study the following could be determined, i. e 1) the gemetric characteristics of SPOT Imagery according to the preprocessing level, 2) the optimal polynomial type for exterior orientations of each preprocessing level, and 3) the type of significant additional parameters. It was found that both the gemetric precision and accuracy of level 1A is higher than those of level 1B, which implies that level 1A is more suitable for precise 3-D positioning and map production.

1. 序 論

SPOT 위성영상은 HRV탐측특성과 궤도의 안정성 및 적합한 기선고도비에 의해 높은 해상력을 나타내며, off-nadir viewing에 의해 획득된 영상으로 입체모형을 형성할 수 있음에 따라 판독에 그치던 위성영상자료의 이용에서 탈피하여 소축척이나 중축척 지형도의 제작 및 수치지형모형을 통한 database 구축등에 활용도가 날로 확대되고 있다.

* 延世大學校 土木工學科 教授

** 延世大學校 大學院 土木工學科 博士課程

SPOT 위성영상 자료는 CCT(computer compatible tape) 형태의 수치영상과 hard-copy 필름형태의 사진필름형태로 분류되며, 이용목적에 따라 적절한 전처리를 수행하여 제공되므로 전처리수준 및 자료형태에 따라 동일한 자료일지라도 초점거리나 축척등 기하학적 상태가 다르게 된다.

따라서, 본 연구에서는 두가지 자료형태중, 서로 상이한 두가지 전처리 수준으로 처리된 SPOT 위성사진 자료를 이용하여 외부표정의 다항식을 변화시켜 분석함으로써, 각 전처리 수준의 외부표정요소 최적다항식 및 유의한 부가매개변수를 결정하고 전처리수준에 따른

SPOT 위성사진의 기하학적 특성을 파악하는데 목적이 있다.

본 연구의 이용자료는 level IB와 level IAP 위성사진이며 3차원절대좌표 체계로 지도좌표계인 횡메르카토르(Transverse Mercator) 좌표 체계를 이용하였고, 위성위치 및 자세를 결정하기 위한 외부표정요소의 함수로 비행방향인 y축을 기준으로한 선 함수를 채택하였다.

또한 SPOT 위성자료에 포함된 정오차요소를 보정하기위한 부가매개변수는 2차원 부등각 사상변환식을 확장한 16변수의 3차다항식을 이용하였으며, 조정시에는 과대변수화를 방지하기 위해 유의성 검정을 통해 유의한 항만을 채택하도록 하였다.

연구결과의 분석은 두 전처리 수준(level IB, level IAP)에 대해 외부표정 요소의 다항식을 변화시킨 동일한 분석 case로 조정을 수행한 후 분석 case에 대한 분산—공분산 행렬로 결정되는 기하학적 정밀도와 검사점의 정확도 및 상좌표의 잔차를 통해 분석하였다.

2. SPOT 衛星映像의 位置決定 理論

SPOT 위성영상은 일정한 궤도를 안정되게 움직이는 선형배열 HRV 탐측기에 의해 얻어지며 한 영상선에 대해서는 중심투영이나 약 9초동안 획득된 전체 영상에 대해서는 원통투영의 성질을 나타낸다.^{1),2)}

또한 SPOT 위성영상은 약 0.074의 작인 swath width/altitude 비를 나타냄에 따라 위성위치 및 자세에 해당되는 외부표정요소 추정 이 위치결정의 정확도에 중요한 영향을 미친다.³⁾

따라서, 본 연구에서는 영상이 고고도의 초점거리가 긴 탐측기에 의해 획득될 경우, 각각의 영상선이 인접 영상선과 높은 상관성을 나타내는 특성을 이용하여⁴⁾ 총 36,000개의 외부표정요수를 비행방향의 영상선 함수형태로 단순화하는 수정된 광속조정이론을 통해 동적 탐측특성을 나타내는 SPOT 위성영상의 위치결정을 수행하였다.

SPOT 위성영상의 광속조정에는 항공사진에 비해 많은 미지변수가 포함되며 대상지역의 광범위함에 따라 복잡한 오차특성을 나타내므로 입력자료의 정확도 및 기하학적 분포가 양호하여야함은 물론 높은 정확도의 위치결정을 위해서는 좌표체계의 통일을 위한 좌표변환 및 지구곡률이나 탐측기의 비선형성, 지구자전, 대기굴절등의 정오차요소를 보정하기 위한 부가매개변수가 도입되어야 한다.^{4),5)}

2.1 位置決定에 利用되는 座標系

위성영상을 이용한 위치결정은 여러가지 좌표체계로 수행할 수 있으나, 본 연구에서는 지상기준점의 좌표체계와 동일한 횡메르카토르 좌표체계를 3차원 절대좌표계로 채택하였다. 따라서, WGS 84좌표계로 제공되는 위성위치 및 영상모서리의 좌표는 광속조정시 필요한 외부표정요소의 초기값 결정과 영상인지를 위해 미 국방성지도국(DMA)에서 발표한 공식을 이용하여 국부좌표로 변환한 후, TM좌표로 변환하였다.

또한, 본 연구의 영상좌표계는 3차원 좌표계와 동일한 우수좌표계를 채택하였으며 비행방향을 y축으로 선정하여 전처리수준에 따라 상이한 사진좌표 변환을 수행하였다.⁶⁾

2.2 SPOT 衛星映像의 光速調整 理論

SPOT 위성영상은 push broom 주사방식의 CCD 선형배열 탐측기인 HRV에 의해 탐측기가 궤도를 따라 움직이는 동안 지형이 연속적으로 탐측기에 투영되어 획득된다.

SPOT 영상자료는 안정된 선형등속운동을 하는 HRV탐측기에 의해 일정한 시간간격(0.0015sec/line)으로 획득되며, 지상 60km x 60km를 포함하는 표준영상을 획득하기 위해서는 약 9초가 소요되고, 약 1.5ms동안 한 영상선의 모든 자료가 동시획득될 경우, 각 주사선상의 영상은 중심투영으로 간주할 수 있다. 각 영상선에 대해서는 항공사진과 마찬가지로 6개의 외부표정요소가 주어지나, SPOT 위성과 같이 지구중심궤도를 갖는 고고도(832km) 위성

의 경우는 인접한 영상선과 높은 상관성을 나타낸다.”)

그림 1에서 임의의 영상선 i 에 대한 P점의 공선조건식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} x_i \\ 0 \\ -f \end{bmatrix} = \lambda R_i \begin{bmatrix} X_p - \bar{X}_{oi} \\ Y_p - \bar{Y}_{oi} \\ Z_p - \bar{Z}_{oi} \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, x_i 는 영상선의 영상좌표이며 (X_p, Y_p, Z_p)는 P점의 지상기준점좌표이고, ($\bar{X}_{oi}, \bar{Y}_{oi}, \bar{Z}_{oi}, x_i, \varphi_i, \omega_i$)는 i 영상선의 외부표정요소, R_i 는 회전행렬이다. 그러나, 관측자료에 포함된 오차요인에 의해 실제조정에서는 식(1)의 함수관계가 일치하지 않으므로 식(1)은 다음과 같이 부가매개변수가 고려된 자체검정 광속조정을 위한 함수로 나타낼 수 있다.

$$F(x) = x_i - x_p - f \frac{m_{11}(X_p - \bar{X}_{oi}) + m_{12}(Y_p - \bar{Y}_{oi}) + m_{13}(Z_p - \bar{Z}_{oi})}{m_{31}(X_p - \bar{X}_{oi}) + m_{32}(Y_p - \bar{Y}_{oi}) + m_{33}(Z_p - \bar{Z}_{oi})} + \Delta x_i = 0 \quad (2)$$

$$F(y) = 0 - y_p - f \frac{m_{11}(X_p - \bar{X}_{oi}) + m_{12}(Y_p - \bar{Y}_{oi}) + m_{13}(Z_p - \bar{Z}_{oi})}{m_{31}(X_p - \bar{X}_{oi}) + m_{32}(Y_p - \bar{Y}_{oi}) + m_{33}(Z_p - \bar{Z}_{oi})} + \Delta y_i = 0$$

여기서, ($\Delta x_i, \Delta y_i$)는 주로 대상지역이 광범위함에 따라 발생하는 지구곡률과 경사변환의 영향을 보정하기 위해 도입된 정오차보정항이다.

일반적으로 사진측량에서 정오차를 보정하기

위한 부가매개변수형태에는 기지의 오차원인에 대한 물리적 거동을 모형화하는 방법과 오차원인을 구별하지 않고 추정된 영상의 분포를 토대로 영상좌표를 보정하는 방법이 이용되나, SPOT 위성영상은 항공사진측량에서 이용되어 온 렌즈왜곡이나 필름변형등의 특정한 물리학적 부가매개변수항을 고려하는 것은 불가능하다.⁸⁾

따라서, 본 연구에서는 지구곡률이나 지구자전, 위성의 섭동등에 의한 위성자세의 변화 및 유사성에 의해 발생하는 정오차를 보정하기 위해 일반적인 2차원 부등각사상변환식을 확장한 다음과 같은 3차 다항식을 부가매개변수로 채택하였다.

$$\begin{aligned} \Delta x_i &= a_1 - a_2x + a_3y + a_5x^2 - a_6y^2 + a_7xy + a_{11} + xy^2 + a_{12}x^2y + a_{15}xy^3 \\ \Delta y_i &= a_4 - a_2y + a_3x + a_6y^2 - a_9x^2 + a_{10}xy + a_{13} + xy^2 + a_{14}x^2y + a_{16}x^2y \end{aligned} \quad (3)$$

SPOT 위성영상의 외부표정요소는 각 영상선에 6개의 외부표정요소가 존재하여 표준영상에 대해 총 36,000개의 외부표정요소가 필요하나, 항공사진과 같은 일반적인 중심투영과는 달리 각 영상선의 표정요소는 인접 영상선과 높은 상관성을 나타내며 안정된 선형 등속운동으로 가정할 수 있는 SPOT 위성영상의 기하특성에 의해 주사시간이나 영상선의 함수로 단순화시킬 수 있다.⁹⁾

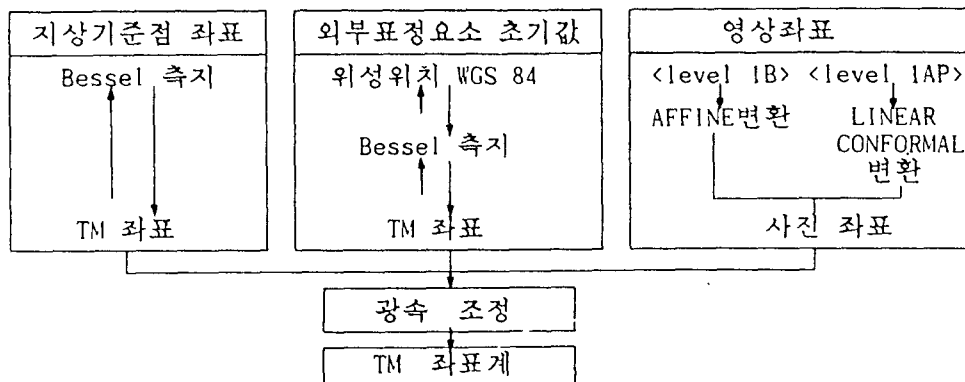


그림 1. 위치결정을 위한 좌표변환

이와 같은 외부표정요소의 다항식형태는 취득된 입체영상의 궤도길이나 기선고도비 및 위성자세의 변화에 영향을 받음은 물론, SPOT 위성영상은 swath width/altitude 비가 약 0.074로 항공사진(0.86~1.50)에 비해 매우 작기 때문에 지상기준점의 오차가 정확한 외부표정요소다항식 추정에 큰 영향을 미치게 된다.¹⁰⁾

본 연구에서는 이용된 자료가 위성사진형태이므로 궤도방향인 y좌표의 함수로 외부표정요소 다항식을 나타내었으며 위성위치($\bar{X}_0, \bar{Y}_0, \bar{Z}_0$)에 대해서는 2차, 위성자세($\bar{x}, \bar{\varphi}, \bar{\omega}$)에 대해

서는 3차 다항식까지 다항식의 형태를 변화시켜 전처리수준에 따른 분석을 수행하였다.

$$\left. \begin{aligned} \bar{X}_0 &= x_0 + K_{11}y + K_{17}y^2 \\ \bar{Y}_0 &= y_0 + K_{21}y + K_{28}y^2 \\ \bar{Z}_0 &= z_0 + K_{31}y + K_{39}y^2 \\ \bar{x}_0 &= x_0 + K_{41}y + K_{10}y^2 + K_{13}y^3 \\ \bar{\varphi}_0 &= \varphi_0 + K_{51}y + K_{11}y^2 + K_{14}y^3 \\ \bar{\omega}_0 &= \omega_0 + K_{61}y + K_{12}y^2 + K_{15}y^3 \end{aligned} \right\} (4)$$

식(2)는 비선형이므로 Taylor이론에 의해 선형화하여 2차항 이상은 미소하므로 무시하고 식(3)과 같은 부가매개변수와 비행방향의 함수로 나타낸 외부표정요소 다항식인 식(4)를 고

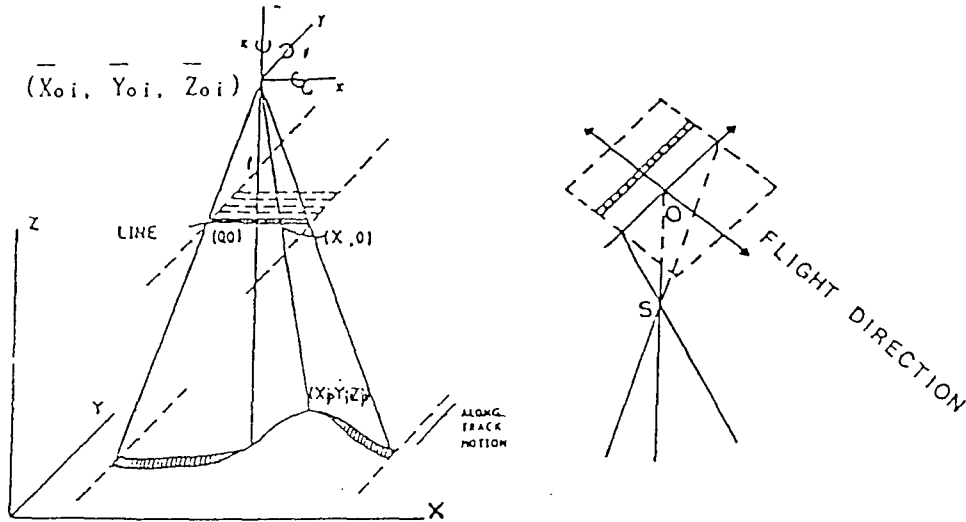


그림 2. SPOT HRV의 영상기하

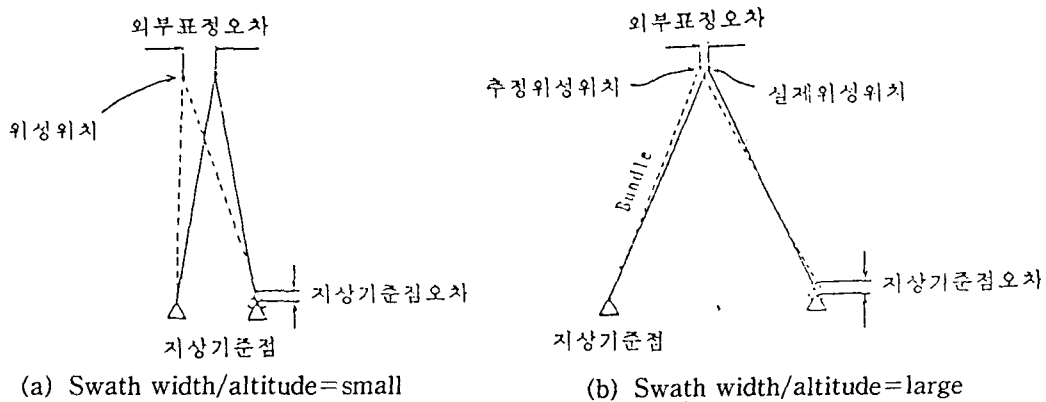


그림 3. SPOT 위성영상의 외부표정요소특성

려하면, 다음과 같은 관측방정식이 결정된다.

$$\bar{V} + \bar{B} + \bar{Z} + \bar{E}^{(4,1)} = 0; \bar{W} \quad (5)$$

여기서,

$$\bar{V} = \begin{bmatrix} V \\ e \\ V \\ ap \\ V \\ s \\ V \end{bmatrix}, \bar{B} = \begin{bmatrix} e & ap & s \\ B & B & B \\ -I & 0 & 0 \\ 0 & -I & 0 \\ 0 & 0 & -I \end{bmatrix},$$

$$\bar{Z} = \begin{bmatrix} \Delta \\ ap \\ \Delta \\ s \\ \Delta \end{bmatrix}, \bar{E} = \begin{bmatrix} E \\ e \\ E \\ ap \\ E \\ s \\ E \end{bmatrix}$$

$$\bar{W} = \begin{bmatrix} W & 0 \\ & e \\ & W \\ & ap \\ & W \\ 0 & s \\ & W \end{bmatrix}$$

이다.

식(5)를 만족하는 \bar{V} , \bar{Z} 를 최소제곱조정을 통해 $\bar{V}^T \bar{W} \bar{V}$ 가 최소가 되도록 조정하며 미지 변수 \bar{Z} 의 해는 다음과 같은 정규방정식을 통해 결정된다.

$$\bar{N} \bar{Z} + \bar{U} = 0 \quad (6)$$

또는

$$\begin{bmatrix} e & e & e & ap & e & s \\ B^T W B + W & B^T W B & B^T W B & & & \\ & ap & ap & ap & ap & s \\ & & B^T W B + W & B W B & & \\ symmetric & & & s & s & s \\ & & & & B^T W B + W & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \\ ap \\ \Delta \\ s \\ \Delta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e & e \\ B^T W E - W E \\ ap & ap \\ B^T W E - W E \\ s & s \\ B^T W E - W E \end{bmatrix} = 0 \quad (7)$$

$$\therefore \bar{Z} = -\bar{N}^{-1} \cdot \bar{U} \quad (8)$$

이 된다.

식(7)과 같은 정규방정식은 외부표정요소 다항식과 부가매개변수의 도입으로 인해 복잡해 지므로 정규방정식의 특성을 파악하여 축약정규방정식을 구성하여야 한다.

식(7)의 축약정규방정식은

$$\begin{bmatrix} N_{11} & N_{12} \\ N_{12}^T & N_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta_1 \\ \Delta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

이므로,

$$\Delta_2 = N_{22}^{-1} (u_2 - N_{12}^T \Delta_1) \quad (10)$$

이 되어 구하고자 하는 지상기준점이 결정되고, 식(10)을 식(9)에 대입하면 다음과 같은 축약정규방정식이 결정된다.

$$(N_{11} - N_{12} N_{12}^{-1} N_{12}^T) \Delta_1 = u_1 - N_{12} N_{22}^{-1} u_2 \quad (11)$$

이와 같은 축약방정식은 삼각형분할을 이용하여 지상기준점과 외부표정요소 및 부가매개변수를 정확도 한계내에 들어올 때까지 반복계산함으로써 결정된다.

위치 결정의 정확도분석은 조정체계의 기하학적 정밀도를 나타내는 조정된 지상기준점의 분산 $B^T W B + W$ 공분산행렬과 검사점의 평균제곱근오차를 통해 수행된다.

$$\left. \begin{aligned} \bar{\sigma}_x^2 &= \frac{\text{tr}(\sum X_{xx})}{n_p} & \bar{\sigma}_y^2 &= \frac{\text{tr}(\sum Y_{xx})}{n_p} \\ \bar{\sigma}_{xy}^2 &= \frac{\bar{\sigma}_x^2 + \bar{\sigma}_y^2}{2} & \bar{\sigma}_z^2 &= \frac{\text{tr}(\sum Z_{xx})}{n_z} \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

$$\left. \begin{aligned} \hat{\mu}_x^2 &= \frac{\Delta X^T \Delta X}{n_{cp}} & \hat{\mu}_y^2 &= \frac{\Delta Y^T \Delta Y}{n_{cp}} \\ \hat{\mu}_{xy}^2 &= \frac{\hat{\mu}_x^2 + \hat{\mu}_y^2}{2} & \hat{\mu}_z^2 &= \frac{\Delta Z^T \Delta Z}{n_{ch}} \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

여기서, $(\sum X_{xx}, \sum Y_{xx}, \sum Z_{xx})$ 는 미지수의 공분산행렬이며, n_p, n_z 는 평면과 높이 관측점수, n_{cp} 와 n_{ch} 는 검사점의 높이 및 평면 관측점수이다.

3. 觀測 및 結果分析

3.1 入力資料의 決定

본 연구에서 이용된 위성자료는 동일한 입체영상을 전처리하여 제작한 level 1B와 level 1AP P형(Panchromatic mode) SPOT 위성사진이며, 수직관측 영역(5.6° L)에 해당되는 좌측영상과 경사관측영역(26.2° R)에 해당되는 우측영상으로 입체모형을 형성하였다. 좌우영상의 기선고도비는 약 0.57이며 전처리 수준과

경사각의 차이에 의해 좌우사진의 제원은 서로 다르게 된다. 본 연구에 이용된 SPOT 위성영상의 주요 특성 및 위성사진의 제원은 다음과 같다.

표 1. SPOT 위성영상의 주요특성 (WGS 84 측지)

항 목	좌	우
위 성 명	SPOT 1	SPOT 1
GRS 좌표	307/277	307/277
파 장 대	P	P
영상중심(Co)	N 36°22'02" E127°25'41"	N 36°22'02" E127°25'08"
영상표정(γ)	11.4°	8.2°
영상고도	829875.9(M)	829741.9(M)
경사각(α)	L 5.6°	R 26.2°
영상직하	N 36°32'25" E126°39'07"	N 35°53'04" E131°19'18"
영상 획득일	87.11.29	87.11.30

본 연구의 대상지역은 위도 N 36°02'~N 36°41', E 127°02'~E 127°50' 사이의 충남북 일대지역으로 지상 60km X (60km~81km)의 면

표 2. 전처리 수준에 따른 위성사진의 제원

제 원	level 1B		level 1AP	
	좌	우	좌	우
x(mm)	150.0	182.8	173.0	210.0
y(mm)	150.0	150.0	171.2	171.2
사진 축척	1/400000		1/350000	
초점 거리	2072.0(mm)		2370.5(mm)	
영상소크기	0.0250(mm)		0.0285(mm)	

적을 포함하고 있으며 좌측영상이 우측영상에 100% 중복된 형태를 나타내고 있다.

본 연구의 입력자료로 이용되는 지상기준점 좌표 및 검사점은 사진상에 잘 나타난 총 30점을 전 대상지역에 고루 분포되도록 선정하여 삼각수준측량을 통해 정밀하게 관측하였으며 지상기준점에 해당되는 좌우사진의 상좌표는 Zeiss P2 Planicomp 해석도화기로 관측하였다. 총 30점의 기준점중, 7점은 관측오차 및 인식 불능에 의해 과대오차로 소거되어 조정과정에는 기준점으로 13점, 검사점 10점을 이용

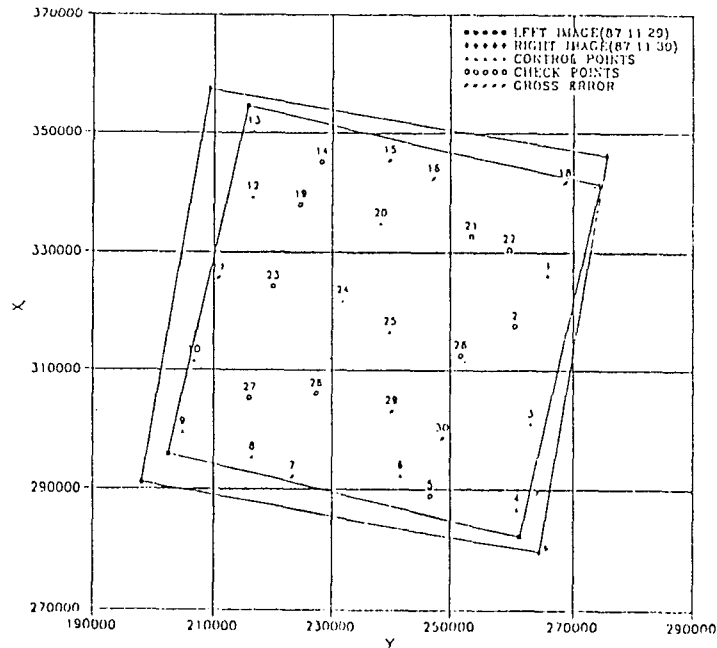


그림 4. 위성사진과 기준점의 배치

하여 분석하였다. 본 연구에 이용된 좌우사진과 기준점 및 검사점의 배치는 그림 4와 같다.

또한, 광속조정시 초기값으로 이용되는 외부표정요소에 대한 정보는 위성사진의 주석부분에 WGS 84 측지좌표계로 제공된 위성직좌표 및 위성고도를 Bessel측지좌표로 변환한후 다시 본 연구의 지상기준점좌표계인 TM좌표로 변환하여 위성위치의 초기값으로 이용하였으며, x_0 는 영상표정(γ)을 φ_0 는 경사각(α)을 이용하였다.

표 3. 외부표정요소의 초기값

사진	표정요소	WGS 84측지	Bessel 측지	T.M 좌표(M)
왼 쪽	X_0	E126°39'07"	E126°39'14"079	169064.43
	Y_0	N 36°32'25"	N 36°32'15"726	337783.33
	Z_0 (M)	829875.9	829863.64	829464.43
	x_0	-0.19605(rad)		
	φ_0	-0.09800(rad)		
	ω_0	0.00000(rad)		
	오른쪽	X_0	E131°19'48"	E131°19'56"292
Y_0		N 35°53'04"	N 35°52'54"066	273062.72
Z_0 (M)		829741.3	829750.516	827203.38
x_0		-0.14197(rad)		
φ_0		-0.45670(rad)		
ω_0		0.00000(rad)		

해석 도화기에 의해 얻어진 지상기준점 및 검사점에 대한 영상좌표는 전처리 수준에 따라 사진의 형태가 달라지므로 기하학적 보정으로 인해 x축이 변형된 level IB에서는 부등각사상변환(Affine transformation), 복사보정만을 한 level IAP에서는 사진모서리에 표시된 8점의 자료를 이용한 선형사상변환을 수행하여 영상소수와 주사선수로 나타나는 사진좌표로 변환하였다.

3.2 前處理水準에 따른 外部標定要素의 最適多項式決定 및 正確度 分析

SPOT 위성영상을 통한 위치결정에서 동적인 위성위치 및 자세를 추정하는 외부표정요소 다항식의 결정은 조정체계의 신뢰성과 조정결

과의 정확도에 중요한 영향을 미친다.

본 연구에서는 전처리수준과 관계없이 외부표정요소에 대한 다항식으로 식(4)와 같은 주사선의 함수를 채택하여 위성위치에 대해서는 선형 비가속운동으로 이동하는 위성궤도의 안정성에 의해 2차, 위성자세에 대해서는 3차까지 변화시켜 총 6개의 분석 case를 선정하였다. 본 연구의 분석 case는 다음과 같다.

표 4. 분석 case

Cass		case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
1차	X_0	K_1	○	○	○	○	○
	Y_0	K_2	○	○	○	○	○
	Z_0	K_3	○	○	○	○	○
	x_0	K_4	○	○	○	○	○
	φ_0	K_5	○	○	○	○	○
	ω_0	K_6	○	○	○	○	○
2차	X_0	K_7		○		○	○
	Y_0	K_8		○		○	○
	Z_0	K_9		○		○	○
	x_0	K_{10}	○	○	○	○	○
	φ_0	K_{11}	○	○	○	○	○
	ω_0	K_{12}	○	○	○	○	○
3차	x_0	K_{13}				○	○
	φ_0	K_{14}				○	○
	ω_0	K_{15}				○	○
외부표정요소수		12	15	15	18	18	21

표 4와 같이 외부표정요소수가 12~21개로 변화하는 6가지 분석 case에 대해 전처리 수준이 다른 위성사진으로 광속조정을 수행하였으며, 조정과정에서 전처리 수준에 따른 기하학적 특성을 알기위해 부가매개변수는 도입하지 않았다. 각 전처리 수준에 따른 기하학적 특성을 알기위해 부가매개변수는 도입하지 않았다. 각 전처리 수준에 따른 광속조정의 결과는 채택된 외부표정요소의 신뢰도를 분석하기 위해 분산-공분산 행렬로 구한 기하학적 정밀도와 영상좌표의 잔차 및 검사점의 평균제곱근오차

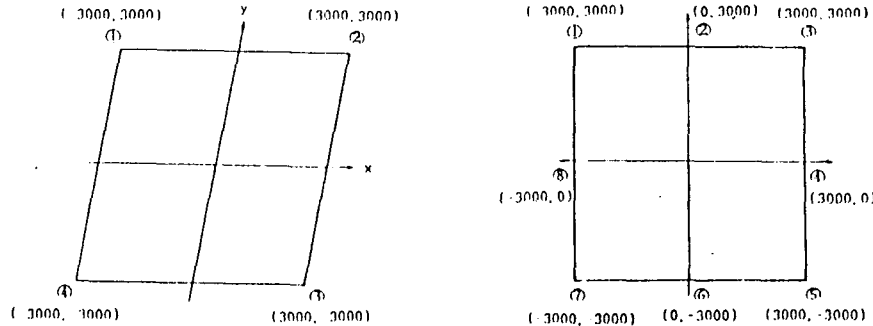


그림 5. 전처리 수준에 따른 사진좌표 변환

를 분석하였다. 각 분석 case의 조정결과는 표 5 및 그림 6과 같다.

표 5 및 그림 6(a)에 나타난바와 같이 부가 매개변수를 고려하지 않고 외부표정요소의 다항식을 변화시켜 분석한 결과, 기하학적 보정을 수행한 level 1B에서는 외부표정요소의 다항식을 2차항까지 고려한 case 1, 2, 3, 4에서 유사한 기하학적 정밀도를 나타내었으나, case 3이 $\sigma_{xy}=10.00m$, $\sigma_z=18.42m$ 로 가장 양호하였으며, 위성자세를 3차항까지 고려한 case 5, 6에서는 수평위치 및 높이 정밀도가 현저하게 저하됨을 알 수 있었다.

level 1B의 검사점에 대한 정확도는 정밀도와 유사한 경향을 보였으나, 기하학적 보정의 영향으로 수평위치중 x좌표의 오차가 전 case에서 y좌표의 오차보다 컸다. 그리고 수평위치에서는 case 3, 4가 10m이내의 정확도를 나타내었으나, 특히 높이 좌표의 정확도가 $\mu_z=13.77m$ 로 가장 좋은 case 3에서 최상의 결과를 얻을 수 있었고, 3차항 이상의 영향이 포함된 case 4, 5는 수평위치 및 높이 정확도가 현저하게 저하되었다. 또한, level 1B의 영상좌표 잔차에서는 기하학적 보정의 영향으로 x좌표의 잔차가 y좌표의 잔차보다 전 case에서

표 5. 전처리 수준에 따른 분석 case의 조정결과

(단위 : M)

항 목		case 1		case 2		case 3		case 4		case 5		case 6	
		1B	1AP	1B	1AP	1B	1AP	1B	1AP	1B	1AP	1B	1AP
정밀도	σ_x	10.50	7.18	9.59	8.25	9.39	13.02	10.83	12.33	41.12	14.67	40.69	28.08
	σ_y	11.71	6.97	10.90	8.01	10.57	12.34	11.50	11.55	38.88	13.54	37.67	25.71
	σ_{xy}	11.21	7.08	10.27	8.13	10.00	12.68	11.17	11.95	40.02	14.12	39.21	26.92
	σ_z	20.90	12.02	18.89	16.89	16.73	18.42	19.89	25.26	79.69	30.33	80.10	58.08
정확도	μ_x	18.00	11.18	17.17	12.24	17.71	20.70	16.98	15.05	25.76	18.72	26.84	24.87
	μ_y	14.26	8.91	14.36	11.17	9.12	10.77	9.89	25.57	16.23	35.28	17.13	37.80
	μ_{xy}	16.24	10.11	15.83	11.72	14.02	16.50	13.98	20.98	21.53	28.24	22.52	31.99
	μ_z	17.00	11.30	16.36	18.11	13.77	20.51	17.07	31.62	21.56	33.40	42.75	38.23
영상좌표 잔차	V_x (mm)	0.0281	0.0217	0.0270	0.0261	0.0262	0.0224	0.0270	0.0357	0.1242	0.0521	0.1811	0.1132
	V_y (mm)	0.0260	0.0181	0.0245	0.0206	0.0238	0.0461	0.0370	0.0303	0.0201	0.0391	0.0220	0.0818

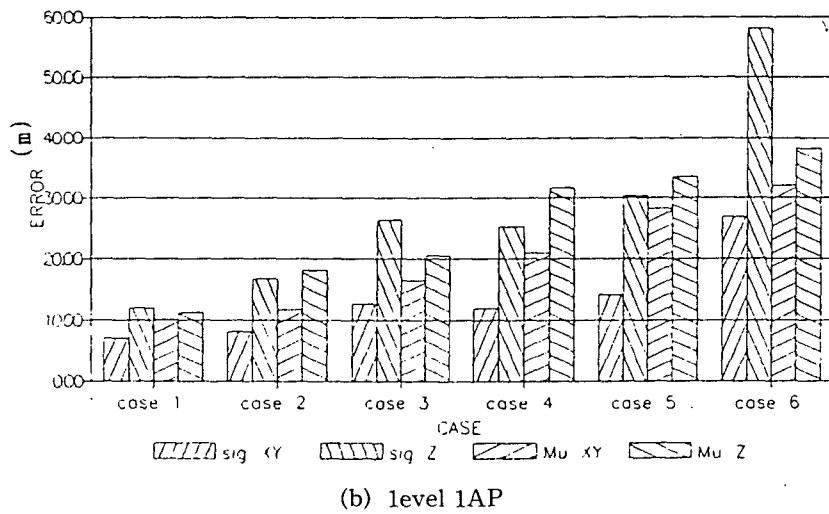
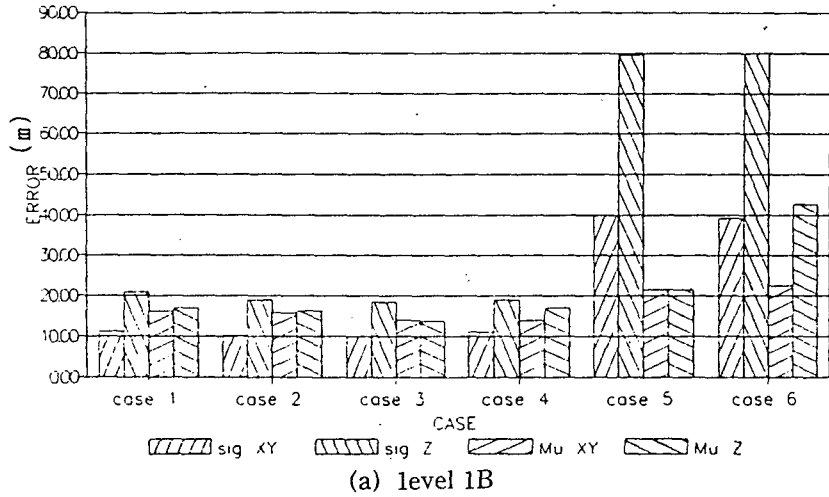


그림 6. 분석 case에 대한 level 1B와 level 1AP의 오차 비교

모두 크게 나타났으며, 특히 case 5와 6에서는 x좌표잔차가 크게 증가하여 정밀도 및 정확도의 감소시킴을 알 수 있었다.

따라서, 복사보정과 기하학적 보정의 영향이 포함된 SPOT level 1B 위성사진의 외부표정요소에 대한 최적다항식의 형태는 위성위치에서는 1차, 위성자세에서는 2차 선함수를 적용한 15변수의 case 3이 기하학적 정밀도나 정확도 면에서 가장 바람직한 형태임을 알 수 있었다.

또한, 복사보정과 위성사진의 제작과정에서 위성자세변수를 보정하여 해석도화기의 지도제

작 자료로 이용하기 위해 전처리된 level 1AP에서의 기하학적 정밀도는 위성자세에 대한 보정 영향에 따라 위성자세를 2차항이상까지 고려한 case 3, 4, 5, 6에서 수평위치 및 높이 정밀도가 저하되었으며, 위성자세 및 위치에 대해 1차항까지만 고려한 case 1이 수평위치오차 $\sigma_{xy}=7.08m$, 높이오차 $\sigma_z=12.02m$ 로 기하학적 정밀도가 가장 좋았다.

level 1AP의 검사점에 대한 정확도에서는 위성자세에 대해 1차항만을 고려한 case 1, 2에서 수평위치 및 높이정확도가 양호하였으나,

기하학적 정밀도가 최상인 12변수의 case 1에서 수평위치 정확도 10.11m, 높이 정확도가 11.30m로 가장 검사점의 정확도가 좋았다.

그리고, level 1AP의 영상좌표 잔차는 기하학적 정밀도와 검사점의 정확도가 가장 양호한 case 1에서 20 μ m정도를 나타내었으나, 위성자세에 대해 3차항까지 고려한 case 5, σ_0 에서는 x좌표의 잔차가 현저하게 저하되어 기하학적 정밀도와 정확도를 감소시켰음을 알 수 있었다.

이상과 같이 외부표정요소의 다항식을 변화시켜 전처리수준에 따른 최적 다항식형태를 분석한 결과, level 1B에서는 x축에 대한 기하학적 보정의 영향으로 위성위치에 대해서는 1차, 위성자세에 대해서 2차 선함수를 적용한 15변수의 외부표정요소가 최적으로 나타났으나, 위성자세 변화가 보정된 15변수의 외부표정요소가 최적으로 나타났으나, 위성자세 변화가 보정된 level 1AP에서는 위성위치 및 자세에 대해 1차항 까지만 고려한 12변수의 외부표정요

소가 가장 바람직한 다항식 형태임을 알 수 있었다. 그리고, 두 전처리수준 모두 18변수 이상의 외부표정요소 다항식은 과대변수화를 초래하여 x좌표 오차를 가중시킴에 따라 기하학적 정밀도나 정확도가 현저하게 저하됨을 알 수 있었다.

또한, 전처리수준에 따른 SPOT 위성사진의 기하학적 특성을 파악하기 위해 각 전처리수준의 최적 다항식 형태인 level 1B의 15변수와 level 1AP의 12변수를 이용하여 광속조정을 수행한 결과, 표 6 및 그림 7을 얻을 수 있었다.

표 6 및 그림 7에 나타난 바와 같이 level 1AP가 level 1B에 비해 수평위치에서는 29.2%, 높이좌표에서는 34.74% 기하학적 정밀도가 높아 수평위치에 비해 높이의 정밀도가 양호한 반면, 검사점의 정확도에서는 수평위치의 정확도가 높이의 정확도 향상율보다 크게 타나났다. 또한, 영상좌표의 잔차에서는 level 1AP가 pitch의 불안정에 의해 발생하는 궤도

표 6. 전처리 수준에 따른 오차비교

표정 변수	전처리 수준	기하학적 정밀도(M)		검사점의 정확도(M)		상좌표 잔차(MM)	
		σ_{xy}	σ_z	μ_{xy}	u_z	V_x	V_y
15	1B	10.00	18.42	14.02	13.77	0.026	0.0238
12	1AP	7.08	12.02	10.11	11.30	0.0217	0.0181
정확도 향상율(%)		29.2	34.74	27.89	17.94	17.18	23.94

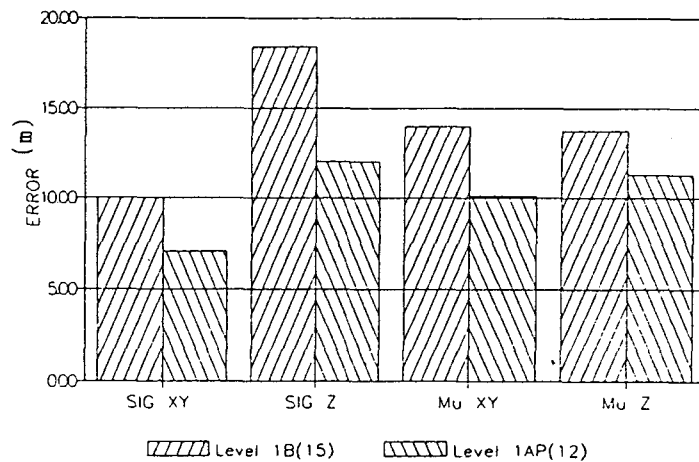


그림 7. 전처리 수준에 따른 오차 비교

방향의 위성자세를 보정한 관계로 궤도방향인 y축의 잔차가 x축의 잔차보다 작아 기하학적 정밀도와 검사점의 정확도를 향상시킴을 알 수 있었다.

따라서, 최적의 외부표정요소 다항식을 적용하여 전처리 수준에 따른 기하학적 특성을 분석한 결과, 위치결정시 level 1AP가 level 1B

에 비해 기하학적 안정성과 정확도가 양호하여 SPOT 위성영상을 이용한 중 축척 및 소축척의 지도제작이나 database 구축 등 정밀한 3차원 위치결정을 요하는 경우에 더욱 적합한 전처리 수준임을 알 수 있었다. 이와 같은 전처리 수준에 따른 기하학적 정밀도를 3차원 투시도로 나타내면 그림 8과 같다.

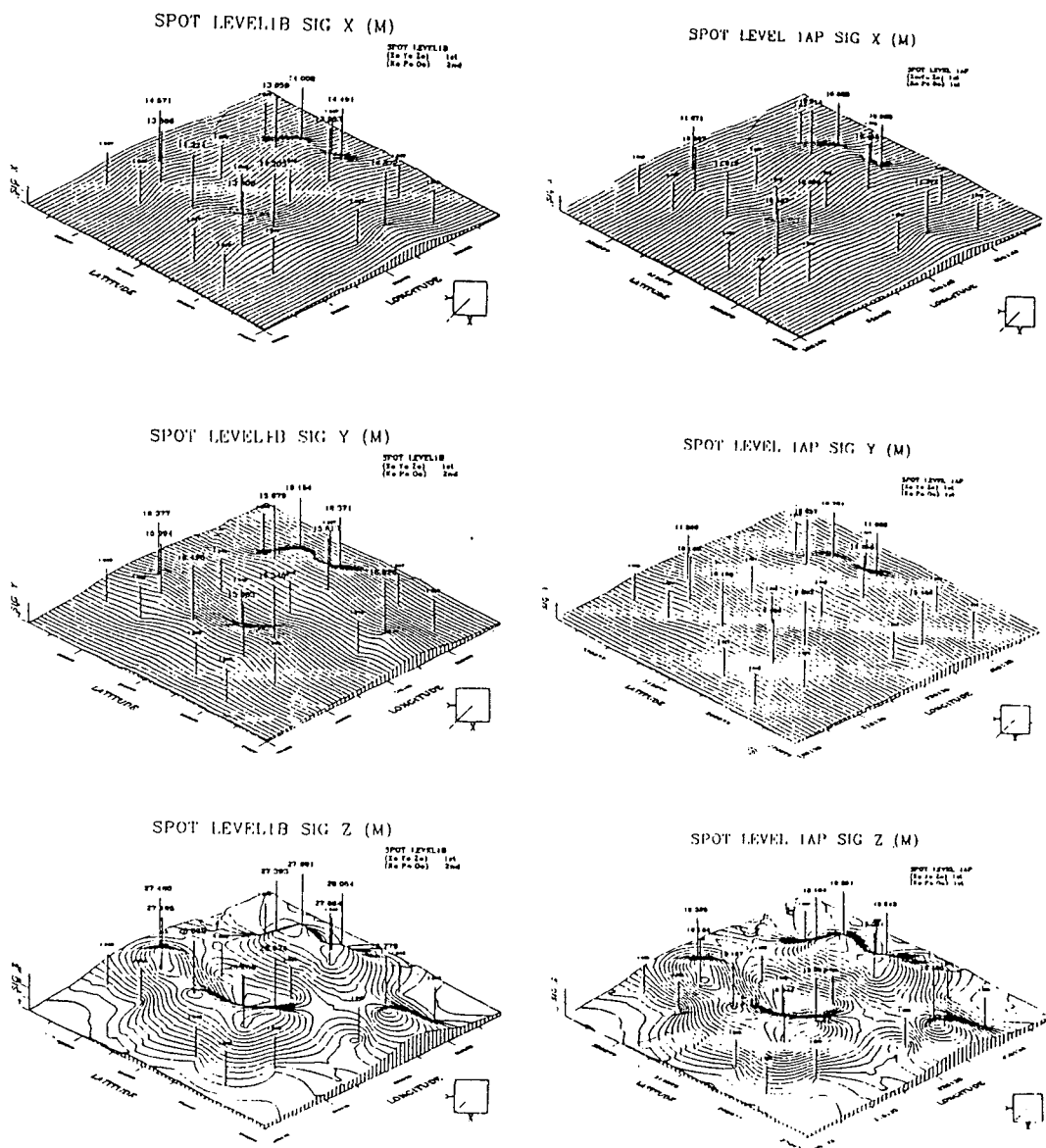


그림 8. 전처리 수준에 따른 기하학적 정밀도 비교

3.3 前處理 水準에 따른 유의한 附加媒介變數의 決定

SPOT 위성영상은 동적 탐측기에 의해 고고도에서 획득되며 대상지역이 광범위하여 지구 곡률이나 지구자전 및 위성의 진동에 의한 영향 뿐만아니라 조정과정중에 수행되는 좌표 변환과정에서도 정오차요인이 포함될 수 있다.

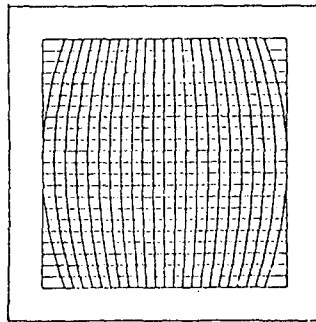
따라서, 본 연구에서는 이와같은 정오차 요인을 보정하기 위해 위성자세에 대한 영향과 지구곡률과 자전 및 필름신축등으로 발생하는 affinity의 영향 등이 포함된 식(3)과 같은 16 변수의 3차다항식을 부가매개변수로 도입하여 유의성 검정을 통해 각 전처리수준에 따른 유의한 부가매개변수를 결정하였다.

부가매개변수의 유의성 검정은 조정과정에 유용한 정보를 제공하지 못하고 고정체계의 불

안정을 초래하는 부가매개변수를 제거하기 위해 필요하다. 일반적으로 부가매개변수의 유의성에 대한 통계학적 검정은 완전한 급수를 갖는 가설모형을 기초로 하며 다차원검정을 위한 정교하고 복잡한 F검정과 일차원검정을 위한 기초로 하며 편리한 t검정이 이용된다.

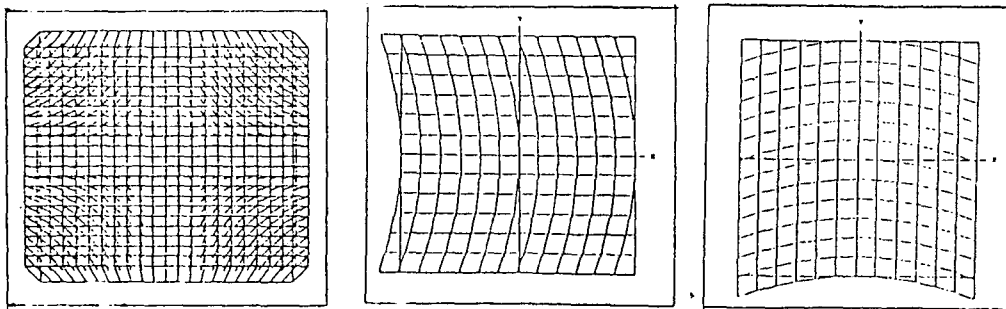
본 연구에서는 다차원검정을 통해 조정체계 전반에 걸친 부가매개변수의 계통적영향을 검정한 후 다차원검정에서 귀무가설이 기각된 경우, t검정을 이용한 일차원 검정을 수행하여 유의한 부가매개변수항을 결정하였다.

이와같은 유의성검정을 통해 유의수준 5%에 대한 검정통계량이 기각값보다 작은 항을 소거한 결과, level 1B에서는 a_{11} 인 $\Delta x = a_{11}xy^2$ 항만이 검정통계량 |T|가 2.01로 기각값 1.703보다 크게 나타나 유의한 부가매개변수항으로 결정되었다. 또한, level 1AP에서는 x축에 대한



$$\Delta x = a_{11}xy^2$$

(a) level 1B에 유의한 부가매개변수항



$$\Delta x = -a_2x \quad \Delta x = -a_6y^2 \quad \Delta x = -a_9x^2$$

(b) level 1AP에 유의한 부가매개변수

그림 9. 전처리수준에 따른 유의한 부가매개변수의 영향

기하학적 보정이 수행되지 않은 관계로 x축의 ω 변화에 의한 영향으로 a_4 항인 $\Delta y = -a_4 x^2$ 과 지구곡률에 의한 영향을 보정하는 a_6 항인 $\Delta x = -a_6 x$ 의 검정통계량이 기각값보다 크게 나타나 유의한 항으로 결정되었다. 각 전처리 수준에 따른 유의한 부가매개변수의 영향은 그림 9와 같다.

그림 9에서 나타난 바와 같이 level 1B에 유의한 부가매개변수항인 a_6 는 ϕ 의 순간적 변화에 대한 보정으로 전처리 과정에서 기하학적 보정에 따른 정오차와 사진좌표 변환시의 영향이 포함된 것으로 생각되며, level 1AP는 기하학적 보정은 수행하지 않고 위성자세에 대한 pitch의 영향만을 보정한 결과로 x축에 대한 ω 의 영향과 지구곡률 및 affinity의 보정이 유의한 부가매개변수항으로 결정되었다.

또한, 각 전처리수준에 대해 유의검정을 통해 결정된 부가매개변수를 고려하여 최적다항식을 통해 광속조정을 수행한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

표 7. 부가매개변수를 고려한 각 전처리수준의 오차

(단위 : M)

표정 변수	전처리 수 준	기하학적 정밀도				검사점의 정확도			
		σ_x	σ_y	σ_{xy}	σ_z	μ_x	μ_y	μ_{xy}	μ_z
15	level 1B	8.15	9.58	8.89	13.19	12.45	9.08	10.89	12.34
12	level 1AP	6.32	6.12	6.22	9.81	9.75	8.13	8.97	9.48

표 7에 나타난 바와 같이 전처리수준에 따라 유의한 부가매개변수를 고려한 결과, level 1B에서는 수평위치의 기하학적 정밀도가 약 10% 향상된 반면 높이좌표에서는 28.39% 향상되었다. 또한, level 1AP에서는 수평위치에서 12.15%, 높이에서는 18.39% 만큼 기하학적 정밀도가 향상되었으며, 검사점의 정확도가 모두 1영상소에 해당되는 10m내로 얻어져 중측척 지도제작에 활용이 가능할 것으로 사료된다.

4. 결 론

SPOT 위성사진을 이용하여 전처리수준에 따른 외부표정요소의 최적다항식의 형태와 유의성검정을 통한 부가매개변수의 유의성을 분석하고 전처리 수준에 따른 기하학적 특성을 분석한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 전처리수준에 따른 외부표정요소의 최적다항식은 level 1B의 경우, 위성위치는 1차, 위성자세는 2차 선함수로 고려한 15변수의 외부표정요소가 최적인 반면, level 1AP에서는 위성위치나 자세에서 모두 1차인 12변수의 외부표정요소가 가장 신뢰도가 높았으며, 3차항 이상의 고려는 과대변수화를 초래하여 두 전처리수준 모두에서 기하학적 정밀도와 정확도가 현저하게 저하되었다.

2. 유의성검정을 통해 유의한 부가매개변수를 결정한 결과, level 1B에서는 y좌표의 순간적인 변화를 보정하는 항만이 유의한 부가매개변수로 결정되었으나, level 1AP에서는 지구곡률과 affinity 및 ω 의 변화에 대한 3가지 보정항이 유의한 부가매개변수임을 알 수 있었다.

3. 본 연구에서 결정된 외부표정요소의 최적다항식과 유의한 부가매개변수를 적용하여 각 전처리 수준에 대해 광속조정을 수행한 결과, level 1AP가 level 1B보다 기하학적 정밀도 및 검사점의 정확도가 양호하여 정밀한 3차원 좌표의 결정이나 지도제작이 더욱 적합한 전처리 수준임을 알 수 있었다.

참고 문헌

1. Trinder, J. C., B. E. Donnelly, Kwoh Leong Keong, "SPOT Software for Wild AVIOLYT BC2 Analytical Plotter", ISPRS. Commisoin III, Vol. 27, 1988, pp. 412-421.
2. Konecny, G., P. Lohmann, Engel, H., Kruck, E., "Evaluation of SPOT Imagery on Analyti-

- cal Photogrammetric Instruments", P. E. & R. S., Vol. 53, No. 9, 1987, pp. 1223-1230.
3. Shunji Murai, Tsutomu Okuda, Ryosuke Shibasaki, "SPOT Imagery Orientation with Auxiliary Satellite Position and Attitude Data", ISPRS, Commission III/1, Vol. 27, 1988, pp. III 125-III 132.
 4. Gagan, D. J., "Practical Aspects of Topographic Mapping from SPOT Imagery", Photogrammetric Record, 12(69), 1987, pp. 349-355.
 5. Rodriguez, V., P. Gigord, A. C. Gaujac, and P. Munier, "Evaluation of the Stereoscopic Accuracy of the SPOT Satellite", P. E. & R. S., Vol. 54, No. 2, 1988, pp. 217-221.
 6. 유복모, 조기성, "SPOT 위성영상의 외부표정요소 결정에 관한연구", 대한토목학회 논문집, 제10권, 4호, 1990, pp. 77-85.
 7. Kratky, V., "Rigorous Photogrammetric Processing of SPOT Images at CCM Canada", ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 44, 1989, pp. 53-71.
 8. Kratky, V., "On-Line Aspects of Stereophotogrammetric processing of SPOT Images", P. E. & R. S., Vol. 55, No. 3, 1989, pp. 311-316.
 9. Liang-Hwei Lee, Liang-Chien Chen, "Bundle Adjustment with additional Parameter for SPOT Stereopairs", ISPRS, Commission III, Vol. 27, 1988, pp. III 1-III 10.
 10. Hartley, W. S., "Topographic Mapping with SPOT1 Data : A Practical Approach by the Ordnance Survey", Photogrammetric Record, 12(72), 1988, pp. 833-846.