

SPOT 映像을 利用한 3次元 位置決定에 있어서 定誤差 補正에 관한 研究

The Correction of Systemetic Error of Three Dimensional Positioning using SPOT Imagery

유복모* · 정영동** · 이현직***

Yeu, Bock Mo · Jung, Young Dong · Lee, Hyun Jik

Abstract

This study aims to define the algorithm for self-calibration bundle adjustment with additional parameters, which is fit for the correction systematic errors in the SPOT satellite imagery, and to present a suitable term of additional parameters for the data form of SPOT satellite imagery.

As a result, an algorithm of self-calibration bundle adjustment for SPOT satellite imagery was settles, and the computer program was developed. Also, the suitable term of additional parameters to correct the systematic errors for each data form was defined through examination for determination effect of additional parameters and significance test.

The algorithm of self-calibration bundle adjustment for SPOT satellite imagery according to this study could improve the accuracy of positioning.

요 지

본 연구는 SPOT 위성영상에서 존재하는 정오차요소를 조정체계에 유의한 부가매개변수를 도입하여 보정하는 자체검정 광속조정 알고리즘을 확립하고 SPOT 위성영상의 자료형태에 유의한 부가매개변수항을 제시하는데 목적이 있다.

본 연구 결과, SPOT 위성영상용 자체검정 광속조정법 알고리즘을 확립하고 프로그램을 개발하였으며, 부가매개변수의 결정력 검토 및 유의성검정을 통해 각 자료형태의 정오차 보정에 유의한 부가매개변수항을 결정할 수 있었다.

또한, 본 연구를 통해 확립된 SPOT 위성영상의 자체검정 광속조정 알고리즘은 위치결정의 정확도 향상에 유용함을 알 수 있었다.

1. 서 론

일반적으로 SPOT 위성영상을 이용한 3차원 위치결정에는 동적인 위성위치와 자세를 결정하는 의

* 정희원 · 연세대학교 토목공학과 교수

** 정희원 · 조선대학교 토목공학과 교수

*** 정희원 · 연세대학교 산업기술연구소 객원연구원

부표정요소 추정방법과 영상의 기하학적 왜곡을 보정하고 입력자료에 포함되는 과대오차를 탐색·소거하기 위한 조정해석방법 및 조정과정에 입력자료로 이용되는 지상기준점의 정확도 등이 중요한 요소가 된다.

그러나, SPOT 위성영상을 이용한 3차원 위치결정은 영상에 포함된 각종 기하학적 왜곡과 지상기준점의 오차로 인해 소요정확도를 얻는 것이 매우 어렵게 된다.

따라서, 위치결정의 정확도를 향상시키기 위해서는 지상기준점의 정확도를 향상시켜야 하며, 조정체계에 우연오차, 정오차 및 과대오차로 이루어진 관측오차를 합리적으로 소거하기 위한 방법이 포함되어야 한다.

본 연구에서는 위치결정의 정확도향상을 위해 위성영상에서 존재하는 정오차요소를 조정체계에 유의한 부가매개변수(additional parameter)를 도입하여 보정하는 자체검정 광속조정(self calibration bundle adjustment)의 알고리즘을 확립하고 SPOT 위성영상의 자료형태에 유의한 부가매개변수항을 제시하는데 목적이 있다.

2. 위성영상의 정오차를 보정하기 위한 부가매개변수의 도입 및 유의성 검정

SPOT 위성영상의 정오차는 위성에서 채택하고 있는 지구타원체의 특성, 전처리수준 및 자료형태에 따라 서로 다른 특성을 나타냄에 따라 정확도를 요하는 3차원 위치결정을 수행하기 위해서는 영상의 정오차를 보정하기 위한 부가매개변수를 조정체계에 도입하여야 한다. 또한, 부가매개변수의 도입은 관측값에 포함된 과대오차를 검색하고 소거하는 데도 중요한 역할을 한다.

정오차를 보정하기 위한 부가매개변수의 도입에는 기지의 오차 원인에 대한 물리적 현상을 모형화하는 방법 및 각각의 오차원인을 구별하지 않고 추정된 영상의 분포를 토대로 모든 점의 총 오차를 보정하는 방법으로 분류된다.

그러나, 부주의한 부가매개변수의 도입은 오히려 조정체계의 불안정을 야기시켜 위치결정의 정확도를 저하시키는 결과를 초래할 수 있다.

부가매개변수의 도입에서는 상기한 두가지 형태중 어떤 모형을 채택하는 여부보다도 채택된 부가매개변수항에 대한 유의성, 부가매개변수 사이의 상관성 및 부가매개변수항과 조정에 이용된 미지변수사이의 상관성이 더욱 중요하다. 따라서, 부가매개변수의 도입에는 도입된 부가매개변수의 통계학적 신뢰도 및 발생가능한 정오차를 완전하게 표현할 수 있는 능력이 고려되어야 한다.⁽¹⁾

일반적으로 부가매개변수를 통한 정오차의 보정은 광속조정법의 수학적모형을 확장하여 조정체계에 포함된 모든 관측오차를 동시에 조정하는 동시조정법이 가장 효율적이다. 동시조정을 적용할 경우에는 관측오차를 처리하는 방법, 조정체계내에서 불필요한 부가매개변수항을 배제하기 위한 부가매개변수의 결정력 검토 및 부가매개변수에 대한 유의성검정이 합리적으로 구성되어야 양호한 결과값을 얻을 수 있다.⁽²⁾

SPOT 위성영상의 위치결정에서 부가매개변수의 도입은 종래의 항공사진측량 분야에서 이용되어 온 렌즈왜곡이나 필름변형으로 나타내는 특정한 물리학적 부가매개변수항을 고려하는 것은 불가능하다.

따라서, 본 연구에서는 이용자료의 형태에 관계없이 영상내 포함된 모든 정오차 요소를 보정하기 위하여 일반적인 2차원 부등각사상 변환식을 확장한 3차다항식을 부가매개변수항으로 채택하였다. 본 연구에서 채택하고자 하는 부가매개변수항은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta x &= a_1 + a_2x + a_3y + a_7x^2 + a_8xy + a_9y^2 + a_{13}x^3 \\ &\quad + a_{14}x^2y + a_{15}xy^2 \\ \Delta y &= a_4 + a_5x + a_6y + a_{10}x^2 + a_{11}xy + a_{12}y^2 + a_{16}x^3 \\ &\quad + a_{17}x^2y + a_{18}xy^2 \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)은 SPOT 위성영상의 위치해석에 이용된 수학적 모형에 부가하여 조정되며, 모든 미지변수에 대한 상관분석과 부가매개변수에 대한 유의성 검정이 포함된 자체검정 광속조정을 수행하여 자료의 특성에 관련되는 유의한 부가매개변수만을 채택하는 방법을 이용하였다.

2.1 부가매개변수의 결정력 검토

자체검정광속조정에서 정규방정식에 대한 해석

여부는 조정에 포함되는 미지변수사이의 상관성에 영향을 받는다. 예를 들어 임의의 두 미지변수가 상관성이 크다면 이 변수는 동일한 기능을 수행하므로 두 변수중 한 변수를 제거하여도 조정과정에 영향을 주지 않는다.

특히, SPOT 위성영상과 같이 미지변수의 확장으로 인해 정규방정식의 형태가 복잡한 경우에는 정규방정식이 특이행렬(singular matrix)이 되는 특성을 나타내므로 본 연구와 같이 동시조정이 이용될 경우 도입된 부가매개변수와 미지변수의 상관특성과 조정정확도에 대한 영향을 파악하는 부가매개변수의 결정력 검토가 중요하게 된다.⁽³⁾

일반적으로 SPOT 위성영상의 위치결정에서 부가매개변수의 결정력에 영향을 미치는 요소에는 조

정에 포함된 영상점과 지상기준점의 수 및 분포, 대상물의 형상 및 영상수, 중복도, 기선고도비 등이 있다.⁽⁴⁾ 본 연구에서 이용된 부가매개변수의 결정력 검토는 다음과 같은 과정으로 진행된다.

2.2 부가매개변수의 유의성 검증

부가매개변수의 유의성 검증은 조정체계에 유의한 부가매개변수를 결정하기 위해 이용된다. 일반적으로 부가매개변수의 유의성에 대한 통계학적 검증은 완전한 급수를 갖는 가설모형을 기초로 하며, 다차원검정을 위한 정교하고 복잡한 F 검정과 일차원검정을 위한 간단하고 편리한 t 검정이 이용된다.⁽⁵⁾ 다차원 검정은 조정체계 전반에 걸쳐 부가매개변수의 중요한 계통적 영향을 알기위한 검정으로 다음과 같은 귀무가설(null hypothesis)을 설정한다.

$$H_0 : I \cdot X_{ap} = X_{apo} \quad (2)$$

여기서, I 는 $(n_{ap} \times n_{ap})$ 크기의 단위행렬이며, X_{apo} 는 부가매개변수의 기지값 벡터로 기지값이 제공되지 않았다면 영 벡터가 된다. 검정통계량 T 는

$$T = \frac{1}{n_{ap} \hat{\sigma}_o^2} (\hat{X}_{ap} - X_{apo})^T Q_{ap}^{-1} (\hat{X}_{ap} - X_{apo}) \quad (3)$$

이 된다. 여기서 \hat{X}_{ap} 는 조정을 통해서 얻어진 부가매개변수이며, Q_{ap} 는 부가매개변수의 경중률 계수행렬로 정규방정식을 분할하므로 결정할 수 있다.

비 중심모수 λ 는 귀무가설에 따라 다음과 같이 된다.

$$\lambda = \frac{1}{2 \hat{\sigma}_o^2} (\hat{X}_{ap} - X_{apo})^T Q_{ap}^{-1} (\hat{X}_{ap} - X_{apo}) \quad (4)$$

다차원 검정에서 귀무가설이 기각되었을때 각각의 부가매개변수에 대한 가설검정을 수행할 필요가 있으며, 다차원검정은 일차원검정으로 축약된다.

일차원검정을 위한 귀무가설과 검정통계량은 다음과 같다.

$$H_0 : X_{api} = X_{apoi} ; i = 1, 2, \dots, n \quad (5)$$

$$T = \frac{(\hat{X}_{ap} - X_{apoi})^2}{\hat{\sigma}_o^2 q_{api}} \quad (6)$$

여기서, q_{api} 는 부가매개변수의 여인수 행렬에 대한

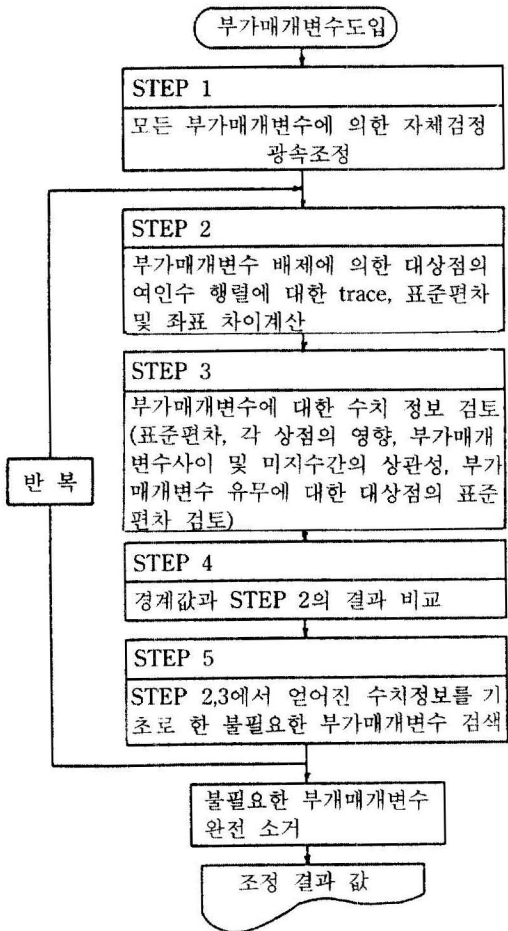


그림 1. 부가매개변수의 결정력 검토

i번째 주대각요소이다.

식 (5)와 같은 귀무가설하에서 $t_i = (T_i^{1/2})$ 값은 유의수준 α 이며 자유도가 r인 student 분포를 나타낸다. 유의수준 α 는 부가매개변수가 독립이라면 α'/n 이 되며, 완전 종속이면 α 가 된다.

일반적으로 부가매개변수사이에는 상관성이 존재하므로 결합사건을 위한 확률은 두 한계 사이에 놓인다. 만약, 두 변수가 상관성이 있다면 귀무가설은

$$H_0 : I \cdot X_{ap} = X_{apo} \quad (7)$$

가 되며, 여기서 I는 (2×2) 크기의 단위행렬이다. 또한, 부가매개변수의 초기값이 0($X_{apo} = 0$)이라면 검정통계량 T는 다음과 같이 된다.

$$T = \frac{1}{2\sigma_0^2} [\hat{X}_{api} \quad \hat{X}_{apj}] \begin{bmatrix} Q_{apiapi} & Q_{apiapi} \\ Q_{ajapij} & Q_{ajapij} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{api} \\ X_{apj} \end{bmatrix} \quad (8)$$

만약 귀무가설 H_0 가 채택되었다면 검정통계량 T는 F 분포를 나타내지만, 기각되면 T는 비중심 F 분포를 나타낸다.⁽⁶⁾

본 연구에서는 이와같은 부가매개변수의 유의성 검정을 수행하는 부프로그램 TESTAP를 작성하여 자체

검정 광속조정 프로그램에 포함시켜 유의한 부가매개변수를 채택하는데 이용하였다. 부가매개변수의 유의성검정에 이용한 부프로그램 TESTAP의 흐름도는 그림 2와 같다.⁽⁷⁾

3. 관측값형성 및 자료분석

본 연구에 이용된 위성영상자료는 동일한 대상지역에 대해 서로 다른 궤도에서 영상을 취득하여 전처리를 수행한 수준 1AP 위성사진 및 수준 1A 수치영상이며, 모든 영상자료는 위치결정에 적합한 흑백 P 형자료로, 수직관측영역에 해당되는 좌측영상(L5°37')과 경사관측에 해당되는 우측영상(R 26°10')으로 입체모형을 형성하였다.

본 연구에 이용된 입체영상의 기선고도비는 약 0.57이며, 좌측영상 및 우측영상의 자료취득일이 1일 차이로 태양각의 변화가 유사한 양호한 관측조건으로 구성되었다. 본 연구에서 이용된 위성영상의 주요특성은 표 1과 같다.

본 연구의 대상지역은 위도 N36°02'~N36°41', 경도 E127°02'~E127°50' 사이의 충남북 일대지역으로 1 : 50,000 지형도로 12 도엽에 해당되며, 입체모형의 중복 면적은 지상 약 60 km×60 km 정도로 좌측영상이 우측영상에 100% 중복된 형태를 나타낸다.

3.1 관측값의 형성

SPOT 위성영상을 이용한 3차원 위치결정에서 입력자료로 이용되는 관측값에는 대상지역에 일정한 수 이상 균등외곽 분포되어 있는 지상기준점의 상

좌측영상(87. 11. 29) 우측영상(87. 11. 30)

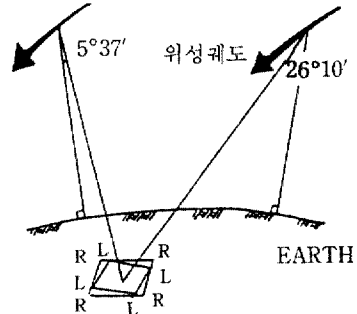


그림 3. 위성영상자료의 입체모형

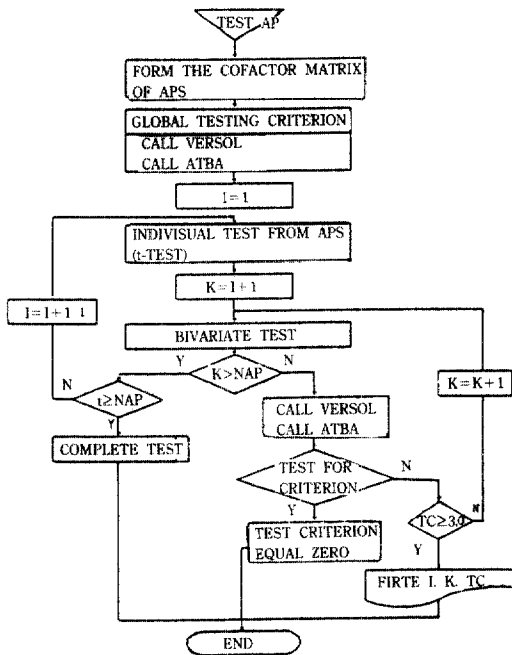


그림 2. 부프로그램 TESTAP의 흐름도

표 1. 위성영상자료의 주요특성
(WGS 84 측지좌표)

항 목	좌측영상	우측영상
위 성 명	SPOT-1	SPOT-1
탐측기명	HRV 2	HRV 1
GRS 좌표	305/277	305/277
영상중심주사	N36°32'25"	N35°53'04"
시 위성직하	E126°39'07"	E131°19'48"
위성고도	829875.9(m)	829741.3(m)
경사각(α)	L 5°37'	R 26°10'
영상표정각	11°23'29"	8°13'42"
대상면적 · 궤도방향 · 주사방향	60068(M) 63486(M)	59794(M) 76644(M)

좌표와 3차원좌표 및 영상취득시 개략적인 위성위치와 자세를 나타내는 외부표정요소 초기값이 있다.⁽⁸⁾

일반적으로 지상기준점의 취득과정은 좌·우 영상자료의 상좌표 취득 가능성에 많은 영향을 받으므로 영상자료의 형태에 따라 서로 이용방법이 달라진다. 본 연구에서는 지상기준점의 3차원좌표 취득을 위해 최근 시통이 문제시되는 도심지의 수평 위치결정에 많이 이용되는 정밀다각측량 및 삼각수준측량에 의한 지상측량 방법과 지형도에 의해 수치좌표관측과 높이보간을 이용하는 방법을 이용하였다. 또한, 지상기준점의 상좌표취득을 위해서는 위성사진자료에 대해서 해석도화기인 ZEISS P2를 이용하였으며, 수치영상자료에 대해서는 육안관측 및 최소제곱 영상정합방법을 이용하였다.

본 연구에서 취득된 지상기준점의 수는 총 30점이었으며, 이 중에서 각 자료취득방법에서 동일한 난이도로 결정할 수 없거나, 지형의 변화로 지형도 상에서 위치선정이 곤란한 7점을 제외하고 23점이 관측값분석에 이용되었다.

또한, 광속조정시 초기값으로 이용되는 외부표정 요소에 대한 정보는 위성영상의 header 화일에 있는 영상보조자료를 이용하였다. 위성위치에 대한 초기

값은 본 연구에서 채택한 TM 좌표계로 통일하기 위해 좌표변환과 보간 및 지구곡률 보정을 수행하여 결정하였으며, 위성자세에 대해서는 영상표정(γ)을 κ_0 로 경사각(α)을 ϕ_0 는 이용하였다.^(9,10)

3.2 관측값 해석

본 연구에서는 광속조정 이론에 3차다항식 형태의 부가매개변수를 도입하고 유의성검정에 위해 조정 체계에 유의한 부가매개변수만을 이용하는 자체검정 광속조정 프로그램을 개발하였으며, 이를 이용하여 정오차보정에 따른 3차원 위치결정 정확도를 분석하였다.

정오차보정에 따른 정확도 분석에서는 위치결정에 적합한 위성사진형태인 수준 1AP 및 수치영상형태인 수준 1A를 이용하여 가장 양호한 정확도를 나타내는 조건들을 조합한 경우 및 비접근 지역의 위치결정에서 일반적으로 이용될 수 있는 조건들을 조합한 경우를 설정하였다. 본 연구의 정오차보정에 따른 정확도 분석 case는 표 2와 같다.

표 2의 분석 case 중, case 1, 2는 각 자료형태에서 관측값 조정을 통해 최상의 정확도를 나타낸 외부표정요소 형태 및 지상기준점 취득방법을 조합한 경우이며, case 3은 대상지역이 비접근지역일 경우 가장 일반적으로 이용이 가능한 지상기준점 취득방법을 조합한 경우이다.

부가매개변수 고려에 따른 3차원 위치결정의 정확도 분석에서는 본 연구에서 채택한 18변수의 부가매개변수에 대해 조정체계에 유의한 부가매개변수항을 결정하기 위한 다차원 및 일차원 검정이 포함된 자체검정 광속조정 프로그램을 이용하였다.

이와 같은 분석 case에 대해 본 연구에서는 부

표 2. 정오차분석에 따른 정확도 분석 CASE

case	전처리 수준	자료형태	지상기준점 취득 방법	
			3차원좌표	상좌표
1	1AP	위성사진	지 상 측 량	해석도화기
2	1A	수치영상	지 상 측 량	최소제곱 영상정합
3	1A	수치영상	1:50,000지형도	육안관측

표 3. 정오차보정에 따른 3차원 위치결정의 정확도 (단위 : m)

case	일반광속조정				자체검정 광속조정			
	σ_{xy}	σ_z	μ_{xy}	μ_z	σ_{xy}	σ_z	μ_{xy}	μ_z
1	7.08	12.02	10.11	11.30	6.22	9.81	8.97	9.48
정확도향상율(%)					12.15	18.34	11.28	16.11
2	9.99	13.37	10.42	6.11	9.21	11.67	9.67	5.42
정확도향상율(%)					7.81	12.72	7.20	11.29
3	16.63	36.14	38.29	26.09	16.59	31.48	38.05	20.62
정확도향상율(%)					0.2	12.9	3.2	20.9

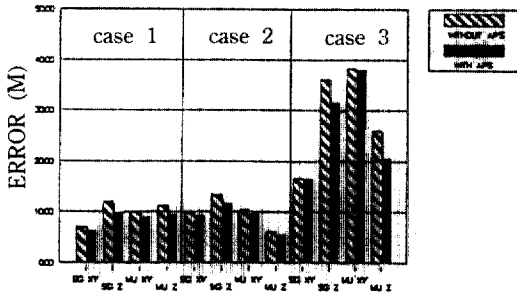


그림 4. 부가매개변수 고려에 따른 정확도 분석

가매개변수를 도입한 자체검정 광속조정 및 부가매개변수를 고려하지 않은 광속조정을 수행하여 3차원 위치결정의 정확도 변화를 분석하였으며, 이 과정에서 유의성검정을 통해 각 자료형태에 유의한 부가매개변수항을 결정하였다. 표 2 분석 case에 대한 수행결과는 표 3 및 그림 4와 같다.

표 3 및 그림 4에 나타난 바와 같이, 각 자료형태에서 최적의 지상기준점 취득방법을 이용한 case 1, 2에서는 부가매개변수의 고려에 의해 수평위치 및 높이좌표의 기하학적 정밀도와 검사점 정확도가 향상되었으며 특히, 수평위치보다는 높이좌표의 정확도가 더욱 향상되었다.

특히, 위성사진자료인 수준 1AP를 이용한 case 1에서는 유의한 부가매개변수를 도입하여 기하학적 왜곡을 보정한 결과, 기하학적 정밀도 및 검사점 정확도가 균등하게 향상되어 1 영상소에 해당되는 10 m 이내의 양호한 정확도를 나타내었다.

수치영상자료인 case 2에서는 높이좌표의 정확도

는 10% 이상 향상되었으나, 영상정합의 어려움에 따라 1 영상소 폭 이내의 도로교차점을 지상기준점으로 선정한 점에서 상좌표 정확도가 저하되어 수평위치의 정확도 향상율은 높이좌표에 비해 작게 나타났다.

그러나, 비접근 지역의 해당되는 case 3에서는 1 : 50,000 지형도를 통해 취득한 지상기준점의 3차원 좌표 오차에 따라 높이좌표의 정확도는 10% 이상 향상되었으나, 수평위치에서는 5% 미만의 정확도 향상율을 나타냄에 따라 부가매개변수의 도입만으로는 3차원 위치결정의 정확도 향상을 기대할 수 없음을 알 수 있었다.

본 연구에서 개발한 자체검정광속조정 프로그램에는 유의한 부가매개변수를 결정하는 유의성검정 과정이 포함되어 있으며, 이를 통해 수준 1AP 위성사진과 수준 1A 수치영상자료에 유의한 부가매개변수항을 결정하였다.

본 연구의 유의성검정 과정은 다차원검정인 F 검정을 통해 조정체계 전반에 걸친 부가매개변수의 계통적 영향을 검정한 후, 다차원 검정에서 기각된 부가매개변수항에 대해 t 검정을 통한 일차원 검정을 수행하여 유의한 부가매개변수항을 결정하였다. 본 연구에서 결정된 수준 1AP 및 수준 1A에 유의한 부가매개변수의 t 검정결과는 표 4와 같다.

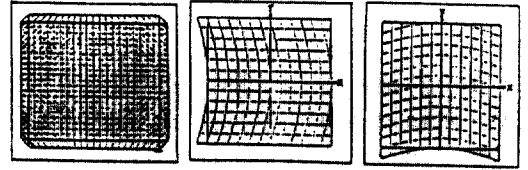
표 4의 유의성 검정 결과는 일차원 t 검정에 의해 유의수준 5%일 때의 자유도에 따른 검정기각값이 $t_{0.05,35} = 1.6905$ 보다 크게 나타나 귀무가설이 기각되는 항만을 설정한 것이다.

수준 1AP 위성사진에 유의한 부가매개변수항은 x 축에 대한 비등축사상 왜곡보정으로 인해 x 축의 ω 변화에 의한 영향인 $\Delta y = a_{10}x^2$, 지구곡률에 의한 영향을 보정하는 $\Delta x = a_{9y}^2$ 및 필름신축에 의한 부등각사상의 영향을 보정하는 $\Delta x = a_{2y}x$ 항으로 나타났다.

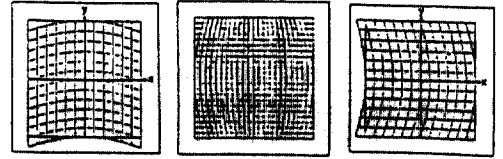
또한, 수준 1A 영상에서는 위성의 진동에 의해 탐측기의 ω , ϕ 가 변화하여 발생하는 기하학적 왜곡을 보정하는 $\Delta x = a_{7x}^2$, $\Delta x = a_{15}xy^2$ 항 및 지구곡률에 따른 영향을 보정하는 $\Delta x = a_{9y}^2$ 항과 같이 모두 x 축 상좌표를 보정하는 항이 유의한 부가매개변수로 결정되었다. 수준 1AP 및 수준 1A에 유의한 부가매개변수의 영향은 그림 5와 같다.

표 4. 수준 1A 및 수준 1AP의 t 검정 결과
(*는 유의한 부가매개변수 항)

전처리 수준	부가매개변수		최소제곱 추정량	표준오차	|t|
	번호	형태			
1AP	1	a_1	.200D-41	.234D-19	.852D-22
	2	a_2x	-.286D-04	.105D-04	.272D+01*
	3	a_3y	.834D-40	.234D-19	.355D-20
	4	a_4	-.871D-43	.234D-19	.370D-23
	5	a_5x	.383D-40	.234D-19	.163D-20
	6	a_6y	-.373D-39	.234D-19	.158D-19
	7	a_7x^2	-.213D-35	.234D-19	.910D-16
	8	a_8xy	.179D-36	.234D-19	.765D-17
	9	a_9y^2	-.107D-04	.285D-05	.375D+01*
	10	$a_{10}x^2$	.640D-05	.120D-05	.531D+01*
	11	$a_{11}xy$	.291D-38	.234D-19	.124D-18
	12	$a_{12}y^2$	-.945D-36	.234D-19	.402D-16
	13	$a_{13}x^3$	-.862D-34	.234D-19	.366D-14
	14	$a_{14}x^2y$	-.308D-34	.234D-19	.131D-14
	15	$a_{15}xy^2$	-.350D-33	.234D-19	.149D-13
	16	$a_{16}x^3$	.164D-34	.234D-19	.699D-15
	17	$a_{17}x^2y$	-.837D-34	.234D-19	.356D-14
	18	$a_{18}xy^2$	-.116D-32	.234D-19	.497D-13
1A	1	a_1	.489D-43	.160D-19	.305D-23
	2	a_2x	-.731D-38	.160D-19	.456D-18
	3	a_3y	-.474D-40	.160D-19	.295D-20
	4	a_4	-.500D-44	.160D-19	.311D-24
	5	a_5x	.442D-39	.160D-19	.276D-19
	6	a_6y	.361D-41	.160D-19	.225D-21
	7	a_7x^2	-.522D-04	.120D-04	.431D+01*
	8	a_8xy	-.132D-36	.160D-19	.829D-17
	9	a_9y^2	.134D-04	.641D-05	.210D+01*
	10	$a_{10}x^2$	.117D-34	.160D-19	.730D-15
	11	$a_{11}xy$	-.128D-37	.160D-19	.799D-18
	12	$a_{12}y^2$	.769D-36	.160D-19	.479D-16
	13	$a_{13}x^3$	-.866D-34	.160D-19	.540D-14
	14	$a_{14}x^2y$	.573D-34	.160D-19	.357D-14
	15	$a_{15}xy^2$	-.276D-05	.630D-06	.438D+01*
	16	$a_{16}x^3$	-.794D-34	.160D-19	.495D-14
	17	$a_{17}x^2y$	-.885D-34	.160D-19	.552D-14
	18	$a_{18}xy^2$	-.567D-33	.160D-19	.353D-13



(a) 수준 1AP에 유의한 부가매개변수의 영향



(b) 수준 1A에 유의한 부가매개변수의 영향

그림 5. 전처리수준에 유의한 부가매개변수의 영향

5. 결 론

본 연구는 SPOT 위성영상을 이용한 3차원 위치 결정의 정확도를 향상시키기 위해 위성영상의 정오차를 보정하기 위한 연구로 위성사진 및 수치영상 자료에 대해 본 연구에서 개발한 자체검정 광속조정을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 유의성검정에 의해 조정체계에 유의한 부가매개변수를 도입하는 자체검정 광속조정법 알고리즘을 확립하고 프로그램을 개발하였다.

둘째, 부가매개변수의 결정력 검토 및 유의성검정을 통해 각 자료형태의 정오차 보정에 유의한 부가매개변수항을 결정할 수 있었다.

셋째, 지상기준점의 정확도가 양호한 경우에는 자체검정 광속조정만으로도 10m 미만의 양호한 결과를 얻은 반면, 지상기준점의 정확도가 불량한 경우에는 지상기준점의 오차가 과대오차로 작용하여 조정체계에 과대오차 소거이론이 포함되어야 함을 알 수 있었다.

넷째, 본 연구를 통해 확립된 SPOT 위성영상의 자체검정 광속조정 알고리즘은 위치결정의 정확도 향상에 유용함을 알 수 있었다.

감사의 말

본 연구는 1991년도 한국학술진흥재단의 자유공모과제 연구비에 의해 수행된 연구로 한국학술진흥재단에 심심한 사의를 표하는 바입니다.

참 고 문 헌

1. Kubik, K., "A Note on Photogrammetric Block Adjustment with additional Parameters", *P.E. & R.S.*, Vol. 53, No. 11, 1987, pp. 1531-1542.
2. Förstner, W., "The Reliability of Block Triangulation", *P.E. & R.S.*, Vol. 51, No. 6, 1985, pp. 1137-1149.
3. Madani, M. S., "Accuracy Potential of Non-Metric Cameras in Close Range Photogrammetry", Ph. D Dissertation, The Ohio State Univ., 1987.
4. 유복모, 조기성, 이현직, "SPOT 위성영상을 이용한 3차원위치결정의 정확도 향상에 관한 연구", *대한토목학회논문집*, 제 11권 제 4호, 1991, pp. 163-170.
5. Amer, F. A. A. F., "Theoretical Reliability of Elementary Photogrammetric Procedures: part 1", *ITC Journal*, 1981-3, pp. 278-307.
6. Amer, F. A. A. F., "Theoretical Reliability of Elementary Photogrammetric Procedures: part 2", *ITC Journal*, 1981-4, pp. 435-459.
7. 이현직, "SPOT 위성영상을 이용한 3차원 위치결정에 관한 연구", 박사학위논문, 연세대학교 대학원, 1992.
8. 유복모, 이현직, 박흥기, "SPOT 위성영상용 변형 조정에서 지상기준점 획득 방법에 따른 정확도 분석", *대한토목학회논문집*, 제 11권 제 4호, 1991, pp. 151-162.
9. 유복모, 이현직, "전처리수준에 따른 SPOT 위성사진의 정확도분석에 관한 연구", *한국측지학회지*, 제 9권 제 1호, 1991, pp. 71-84.
10. 유복모, 조기성, 권 현, "SPOT 위성영상의 외부표정요소 결정에 관한 연구", *대한토목학회논문집*, 제 10권 제 4호, 1990, pp. 77-85.

(接受 : 1992. 8. 28)