

## SPOT 衛星映像의 外部標定要素 決定에 관한 研究

A Study on the Determination of Exterior Orientation of SPOT Imagery

유 복 모\* · 조 기 성\*\* · 권 현\*\*\*  
 Yeu, Bock Mo · Cho Gi Sung · Kwon, Hyon

### Abstract

The application of remote sensing in small scale mapping has recently been widened to various fields such as information analysis of landuse, environmental conservation and natural resources. SPOT imagery, in particular, offers data which can be processed for 3-dimensional point determination. This is made possible by its high resolution, appropriate swatch width/altitude ratio and stereo imaging capabilities.

This study aims to develop a suitable polynomial and an algorithm in the determination of exterior orientation which is essential in the 3-dimensional point determination of SPOT imagery. An algorithm is presented in this study to determine the exterior orientation of a preprocessed level 1B film of the satellite image. It was found that a polynomial of 15 parameters is the best fit polynomial for exterior orientation determination, where 1st order line function is used for position ( $X_0, Y_0, Z_0$ ) and 2nd order line function is used for orientation ( $\kappa_0, \phi_0, \omega_0$ ).

### 要 旨

최근 遠隔探測의 이용분야가 小縮尺地圖製作 뿐만 아니라 土地, 環境 및 資源에 대한 情報解析에 까지 확대되고 있다. 특히, SPOT 衛星映像은 높은 解像力과 적합한 基線高度比 및 立體映像의 獲得이 가능하며 3次元 位置決定 등에 필요한 資料를 提供한다. 本 研究에서는 이와같이 SPOT 衛星映像을 이용한 3次元 位置決定에 있어서 중요한 要素인 外部標定要素決定에 관한 알고리즘 開發 및 最適多項式決定에 目的을 두고 있다. 따라서 本 研究結果 前處理 level 1B 寫眞필름의 衛星映像의 外部標定要素決定 알고리즘을 提示하였으며, 外部標定要素의 多項式 決定에 있어서는 衛星位置要素( $X_0, Y_0, Z_0$ )는 1次 line 函數, 衛星姿勢要素( $\kappa_0, \phi_0, \omega_0$ )는 2次 line 函數式으로 표현되는 未知數가 15個인 경우가 最適多項式임을 알 수 있었다.

\* 正會員 · 延世大學校 工科學 土木工學科 教授

\*\* 正會員 · 延世大學校 工科學 土木工學科 博士과정

\*\*\* 正會員 · 延世大學校 產業技術研究所 客員研究員

# 1. 서론

遠隔探測(remoto sensing)은 地上, 航空機 및 人工衛星 등의 搭載機(platform)에 설치된 探測機를 이용하여 地表, 地上, 地下, 大氣圈 및 宇宙空間에 對象物에서 反射 또는 放射되는 電磁波를 探知하고, 이들 資料로 부터 土地, 環境 및 資源에 대한 情報를 解析하는 技法으로 搭載機 및 探測機의 急速한 發展에 의해 解像力이 향상되고 資料獲得 時間이 단축됨에 따라 최근 이용분야가 擴大되고 있다<sup>(1)</sup>. 특히, 1986년 2월 SPOT-1호와 1990년 1월 SPOT-2호를 쏘아올려 얻어진 SPOT 위성영상은 높은 解像力과 적합한 基線高度比 및 立體映像의 獲得이 가능하여<sup>(2)</sup> 小縮尺, 또는 中縮尺地圖 製作<sup>(3)</sup>, 農林<sup>(4)</sup>, 水産, 海洋<sup>(5)</sup>, 環境, 地質 등에서 從來에는 얻을 수 없었던 새로운 資料를 提供하고 있으며, 또한, 接近 不可能한 地域에 대한 3次元 位置決定 등 필요한 資料를 提供하는데 重要한 도구가 되고 있다.

SPOT 衛星映像은 push broom 走査方式인 CCD linear array 探測機에 의해 얻어지므로 幾何學의 인 特徵를 考慮할 때 현재 寫眞測量分野에서 航空三角測量에 의한 3次元 位置決定 方式으로 研究되고 있는 변들조정법을 수정해석하면 SPOT 衛星映像으로 부터 解析의 3次元 位置解析을 할 수 있으므로 최근 이 分野에 대한 研究가 활발히 進行되고 있다.

本 研究는 SPOT 衛星을 이용한 小縮尺, 또는 中縮尺地圖 製作의 正確度를 向上 시키기 위해 3次元 位置決定에 필요한 外部標定要素 決定 알고리즘과 프로그램을 開發하는데 目的을 두고 있다.

## 2. SPOT 衛星映像의 변들조정법 理論

### 2.1 SPOT 衛星映像의 外部標定要素결정 알고리즘

한 映像線의 外部標定要素는 航空寫眞과 마찬가지로 6개의 標定要素( $\kappa, \phi, \omega, X_0, Y_0, Z_0$ )가 존재하며 각 선에서는 中心投影이다. 따라서 그림 1과 같이 SPOT 映像 좌표축을 선택하면 임의의  $i$ 선의 映像에서의 標定點에 대한 共線 條件式은 다음과 같다<sup>(6,7,8,9)</sup>.

$$\begin{bmatrix} x_i \\ 0 \\ -f \end{bmatrix} = \lambda R_i^T \begin{bmatrix} X_i - X_0 \\ Y_i - Y_0 \\ Z_i - Z_0 \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

이다. 식 (2.1)을 다시 쓰면

$$\left. \begin{aligned} x_i &= -f \frac{m_{11}(X_i - X_0) + m_{12}(Y_i - Y_0) + m_{13}(Z_i - Z_0)}{m_{31}(X_i - X_0) + m_{32}(Y_i - Y_0) + m_{33}(Z_i - Z_0)} \\ 0 &= -f \frac{m_{21}(X_i - X_0) + m_{22}(Y_i - Y_0) + m_{23}(Z_i - Z_0)}{m_{31}(X_i - X_0) + m_{32}(Y_i - Y_0) + m_{33}(Z_i - Z_0)} \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$

이 된다.

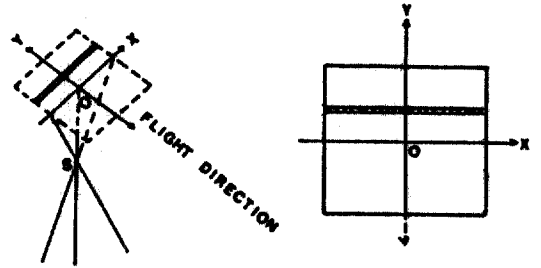


그림 1. 像 座標系

SPOT 映像의 外部標定要素는 航空寫眞의 中心投影과는 다르게 각 선에 대한 函數로써 표시되므로 따라서 한 映像이 얻어지는 동안에 探測機(sensor)가 線型 非加速運動(line non-accelerated movement)을 한다고 假定하면 다음과 같은 近似式이 얻어진다.

$$\left. \begin{aligned} K_i &= K_0 + K_1 L_i + K_2 L_i^2 \\ \phi &= \phi_0 + K_3 L_i + K_4 L_i^2 \\ \omega &= \omega_0 + K_5 L_i + K_6 L_i^2 \\ X_0 &= X_0 + K_7 L_i + K_8 L_i^2 + K_9 L_i^3 \\ Y_0 &= Y_0 + K_{10} L_i + K_{11} L_i^2 + K_{12} L_i^3 \\ Z_0 &= Z_0 + K_{13} L_i + K_{14} L_i^2 + K_{15} L_i^3 \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

式 (2.2)을 Taylor 展開에 의해 線型化하여 2次元以上을 무시하고 式 (2.3)을 고려하면 다음과 같은 像座標의 觀測方程式이 얻어진다.

$$\begin{aligned} V_{xi} &= a_{11} \Delta K_0 + a_{12} \Delta \phi_0 + a_{13} \Delta \omega_0 + a_{14} \Delta X_0 + a_{15} \Delta Y_0 \\ &+ a_{16} \Delta Z_0 + a_{11} L_i \Delta K_1 + a_{12} L_i \Delta K_2 + a_{13} L_i \Delta K_3 + a_{14} L_i \Delta K_4 \\ &+ a_{15} L_i \Delta K_5 + a_{16} L_i \Delta K_6 + a_{11} L_i^2 \Delta K_7 + a_{12} L_i^2 \Delta K_8 + \\ &+ a_{13} L_i^2 \Delta K_9 + a_{14} L_i^2 \Delta K_{10} + a_{15} L_i^2 \Delta K_{11} + a_{16} L_i^2 \Delta K_{12} + \\ &+ a_{14} L_i^3 \Delta K_{13} + a_{15} L_i^3 \Delta K_{14} + a_{16} L_i^3 \Delta K_{15} - a_{14} \Delta X_i - a_{15} \Delta Y_i \\ &- a_{16} \Delta Z_i - L_{xi} \\ V_{yi} &= a_{21} \Delta K_0 + a_{22} \Delta \phi_0 + a_{23} \Delta \omega_0 + a_{24} \Delta X_0 + a_{25} \Delta Y_0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &+ a_{26} \Delta Z_0 + a_{21} L \Delta K_1 + a_{22} L^2 \Delta K_2 + a_{23} L \Delta K_3 + a_{24} L \Delta K_4 \\
 &+ a_{25} L \Delta K_5 + a_{26} L \Delta K_6 + a_{21} L^2 \Delta K_7 + a_{22} L^2 \Delta K_8 + \\
 &+ a_{23} L^2 \Delta K_9 + a_{24} L^2 \Delta K_{10} + a_{25} L^2 \Delta K_{11} + a_{26} L^2 \Delta K_{12} + a_2 \\
 &+ a_{27} L^3 \Delta K_{13} + a_{28} L^3 \Delta K_{14} + a_{29} L^3 \Delta K_{15} - a_{24} \Delta X_i - a_{25} \Delta Y_i \\
 &- a_{26} \Delta Z_i - L_{y_i} \quad (2.4)
 \end{aligned}$$

여기서

$$\begin{aligned}
 L_{xi} &= x + f \frac{m_{11}(X_i - X_0) + m_{12}(Y_i - Y_0) + m_{13}(Z_i - Z_0)}{m_{31}(X_i - X_0) + m_{32}(Y_i - Y_0) + m_{33}(Z_i - Z_0)} \\
 L_{yi} &= f \frac{m_{21}(X_i - X_0) + m_{22}(Y_i - Y_0) + m_{23}(Z_i - Z_0)}{m_{31}(X_i - X_0) + m_{32}(Y_i - Y_0) + m_{33}(Z_i - Z_0)} \quad (2.5)
 \end{aligned}$$

이며, 또한 각 계수  $a_{11} - a_{26}$ 은 각 外部標定要素로 편미 분한 값을 나타낸다. 式 (2.4)을 matrix 形態로 쓰면

$$\begin{matrix} V & + & B & \cdot & \delta & + & A & \cdot & \Delta & = & \epsilon \\ (2p1) & & (2q2ln) & & (2ln1) & & (2q3m) & & (3n1) & & (2p1) \end{matrix} \quad (2.6)$$

이며, 또한 外部標定要素와 地上 絶對座標에 대한 觀測方程式의 分類式은 다음과 같다<sup>(10)</sup>.

$$\begin{bmatrix} V \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B & A \\ -I & 0 \\ 0 & -I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta \\ \Delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \epsilon \\ \epsilon_1 \\ \epsilon_2 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

또한 式 (2.7)을 正規方程式으로 표시하면

$$\begin{bmatrix} B^T W_p B + W_e & B^T W_p A \\ A^T W_p B & A^T W_p A + W_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta \\ \Delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B^T W_p \epsilon - W_e \epsilon_1 \\ A^T W_p \epsilon - W_z \epsilon_2 \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

이며, 이를 간단히 나타내면 다음 式과 같다.

$$\begin{bmatrix} \bar{N} & \bar{N} \\ \bar{N}^T & \bar{N} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta \\ \Delta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{C} \\ \bar{C} \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

式 (2.9)의 解를 쉽게 구하기 위한 縮約 正規方程式 (reduction normal equation)으로 나타내면

$$(\bar{N} - \bar{N} \bar{N}^{-1} \bar{N}^T) \delta = \bar{C} - \bar{N} \bar{N}^{-1} \bar{C} \quad (2.10)$$

이며, 外部標定要素의  $\delta$  및 地上座標의  $\Delta$ 는

$$\delta = (\bar{N} - \bar{N} \bar{N}^{-1} \bar{N}^T)^{-1} (\bar{C} - \bar{N} \bar{N}^{-1} \bar{C}) \quad (2.11)$$

$$\Delta = \bar{N}^{-1} (\bar{C} - \bar{N}^T \delta) \quad (2.12)$$

로서 구해진다.

## 2.2 SPOT 衛星映像에 대한 변동조정법의 正確度

觀測값 調整의 正確度(accuracy) 및 조정성과의 良好與否는 참값에 對한 調整 推定값의 近接與否로써 나타내며, 일반적으로 最小二乘調整에 의한 結果값의 正確度는 조정된 값의 精密度(precision)로써 나타낸다.

寫眞測量에서 分散-共分散 行列은 중요한 의미를 가지며, 스칼라 값이 理論的인 精密度의 尺度로 이용된다. 이와같은 스칼라값은 조정된 對象點座標의 分散값에 대한 平均값으로 다음과 같이 計算된다<sup>(11)</sup>.

$$\begin{aligned}
 \bar{\sigma}_x^2 &= \frac{\text{tr}(\Sigma X_{XX})}{n_{xy}}, & \bar{\sigma}_y^2 &= \frac{\text{tr}(\Sigma Y_{XX})}{n_{xy}} \\
 \bar{\sigma}_{xy}^2 &= \frac{\bar{\sigma}_x^2 + \bar{\sigma}_y^2}{2}, & \bar{\sigma}_z &= \frac{\text{tr}(\Sigma Z_{XX})}{n_z} \quad (2.13)
 \end{aligned}$$

여기서,

$\Sigma X_{XX}, \Sigma Y_{XX}, \Sigma Z_{XX}$ : 未知數의 共分散 行列

$n_x, n_z$ : 平面과 높이 觀測點數

觀測값을 이용한 變動조정법에 있어서 檢査點에 대한 正確度는 調整값과 絶對값의 차이인 평균제곱근 오차(root mean square error; RMSE)를 이용하며, 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned}
 \mu_x^2 &= \frac{\Delta X^T \Delta X}{n_p}, & \mu_y^2 &= \frac{\Delta Y^T \Delta Y}{n_p} \\
 \mu_{xy}^2 &= \frac{\mu_x^2 + \mu_y^2}{2}, & \mu_z^2 &= \frac{\Delta Z^T \Delta Z}{n_h} \quad (2.14)
 \end{aligned}$$

여기서,

$\Delta X = X_{ij} - X_{0j}, i=1, 2, \dots, n_p$

$\Delta Y = Y_{ij} - Y_{0j}, i=1, 2, \dots, n_p$

$\Delta Z = Z_{ij} - Z_{0j}, i=1, 2, \dots, n_p$

(2.15)

이며,  $X_{0j}, Y_{0j}, Z_{0j}$ 는 絶對座標값이며,  $X_{ij}, Y_{ij}, Z_{ij}$ 는 變動 조정에 의해 調整計算된 結果로 얻은 값이다. 그리고  $n_p, n_h$ 는 檢査點의 平面 및 높이 觀測點數이다.

## 3. 觀測 및 結果分析

SPOT 衛星映像의 解析的인 3次元 位置決定에 있어서 正確度에 가장 밀접한 관계를 가지는 것은 資料觀測의 正確度, 基準點 配置狀態 및 外部標定要素의 決定方法 등이 있다.

따라서 이와같이 正確度에 影響을 주는 外部標定要素 결정에 요구되는 觀測 및 結果값을 比較分析한 結果는 다음과 같다.

### 3.1 SPOT 衛星映像 座標 觀測 및 基準點測量



SPOT 衛星映像是 高度 약 832km 상공에서 얻어지며 焦點距離가 1,082mm, 각각의 映像素 크기는  $13\mu\text{m} \times 13\mu\text{m}$ 로써  $6,000 \times 6,000$ 의 映像素로 구성되어 있으며 SPOT 衛星映像의 特性上 橫重複만 이용이 가능하며 基線高度比 (swatch width/altitude) 가 약 0.074로써 매우작아 外部標定要素간의 相關性이 매우 크게 나타나고 있다.

또한 두개의 CCD line array 探測機에 의해 얻어지므로 投影中心 및 回轉角은 時間과 走査線數 또는 寫眞座標 y의 函數로 표시된다.

本 研究에서는 이와같이 多項式으로 표시되는 外部標定要素를 決定할 수 있는 프로그램을 개발하고 그 信賴性을 分析하였다.

SPOT 衛星映像을 이용한 번들조정에 있어서 寫眞測量과 마찬가지로 外部標定要素의 초기값을 入力하여야 한다. 이와같은 SPOT 衛星映像의 外部標定要素를 다음과 같이 決定하였다.

SPOT 衛星映像의 header file에는 피사시의 衛星位置를 WGS 84 座標系로 개략적인 값이 주어져 있다. 따라서 基準點 測量 값이 橫 메르카토르(TM)座標값이므로 座標系를 통일하기 위해 WGS84 값을 相互座標變換을 통하여 Besse 1 橢圓體上의 測地座標로 換算하였으며, 다시 Besse 1 橢圓體上의 測地座標를 橫 메르카토르(TM)座標로 變換하여 초기값으로 이용하였다. 계산한 값은 다음 표 2와 같다. 또한, 衛星의 높이는 개략값으로 829km로 주어져 있으나 地球曲率을 고려하여 계산하였으며,  $\kappa_0$ 는 映像標定( $\alpha$ )를 이용하였고  $\phi_0$ 는 피사각값을 이용하여 계산하였다.

SPOT 衛星의 映像資料體系는 寫眞의 中心投影과는 다르게 각 走査線에서는 中心投影이지만 衛星이 이동함에 따라 外部標定要素가 각 走査線의 函數形態로 變化하기 때문에 航空寫眞의 경우는 投影中心이 각 寫眞當 하나이지만 SPOT 衛星映像의 경우는 寫眞當 각 line의 수 만큼의 많은 投影中心이

존재하게 된다. 따라서 本 研究에서는 각 映像에 가장 적합한 外部標定要素의 多項式을 決定하기 위해 식 (2.4)의 각 항 중에서 다음 표 3과 같은 多項式을 適用시켜 分析하였으며, 각 경우에 따라 얻은 外部標定要素는 다음 표 4와 같다.

外部標定要素결정 信賴度를 分析하기 위해 SPOT 衛星映像의 번들조정법의 조정결과 값에 대한  $Q_v$  행렬로부터 구한 幾何學的 誤差인 정밀도와 檢査點의 잔차로부터 구한 正確度를 표

표 2.  $X_0, Y_0$ 의 초기값

사 진		WAS 84	측지좌표	T.M.좌표
왼 쪽	$X_0$	36° 33'	36° 33' 12"	-90415.
	$Y_0$	126° 40'	126° 40' 40" 07	-221467.
오른쪽	$X_0$	35° 53'	35° 53' 16"	360442.
	$Y_0$	131° 19'	131° 19' 09"	-214535.

표 3. 外部標定要素의 多項式 形態

case		case1	case2	case3	case4	case5	case6
1	$X_0$ $K_1$	○	○	○	○	○	○
	$Y_0$ $K_2$	○	○	○	○	○	○
	$Z_0$ $K_3$	○	○	○	○	○	○
	$\kappa_0$ $K_4$	○	○	○	○	○	○
	$\phi_0$ $K_5$	○	○	○	○	○	○
	$\omega_0$ $K_6$	○	○	○	○	○	○
2	$X_0$ $K_7$		○	○	○		
	$Y_0$ $K_8$		○	○	○		
	$Z_0$ $K_9$		○	○	○		
	$\kappa_0$ $K_{10}$			○	○	○	○
	$\phi_0$ $K_{11}$			○	○	○	○
	$\omega_0$ $K_{12}$			○	○	○	○
3	$X_0$ $K_{13}$				○		○
	$Y_0$ $K_{14}$				○		○
	$Z_0$ $K_{15}$				○		○
미지수 총수		12	15	18	21	15	18

표 4. 각 case에 따른 外部標定要素

case	항 목	外部標定要素 결과값	
c a s e 1	$X_0$	37393.81573764	+ 367.85072885Y
	$Y_0$	-238975.61865157	+ 710.56987337Y
	$Z_0$	830839.75290000	- 39.30952621Y
	$\kappa_0$	-19368470	- .00000781Y
	$\phi_0$	.00141075	- .00032366Y
	$\omega_0$	-.06886920	+ .00038932Y

case		항 목	外部標定要素 결과값					
c a s e 1	R	$X_0$	-44954.22730057	-	228.90892440 Y			
		$Y_0$	-769316.51327259	+	749.08818125 Y			
		$Z_0$	818569.97550000	-	230.81254204 Y			
		$\kappa_0$	-.11134649	-	.00002735 Y			
		$\phi_0$	.08104105	+	.00030471 Y			
		$\omega_0$	-.62274116	+	.00042179 Y			
		c a s e 2	L	$X_0$	48876.71445475	+	245.79178074 Y	-
$Y_0$	-200225.02357982			-	820.45616971 Y	-	.00832105 Y2	
$Z_0$	832158.18800000			+	33.87905506 Y	+	.03441967 Y2	
$\kappa_0$	-.19408201			+	.00001259 Y			
$\phi_0$	-.01238610				.00017718 Y			
$\omega_0$	-.02230746			-	.00145320 Y			
R	$X_0$			-28040.68288191	+	523.56635084 Y	+	.01659981 Y2
	$Y_0$		-71751.58565380	+	743.51569121 Y	+	.15188628 Y2	
	$Z_0$		818471.43690000	-	284.77224864 Y	+	.17544008 Y2	
	$\kappa_0$		-.11103890	-	.00003148 Y	+		
	$\phi_0$		.06426275	-	.00044070 Y	+		
	$\omega_0$		-.62475837	+	.00044841 Y	+		
	c a s e 3		L	$X_0$	51649.65206796	+	261.83473426 Y	-
$Y_0$				-248522.53876924	+	224.54403300 Y	+	7.66768454 Y2
$Z_0$		829188.39310000		+	11.11868811 Y	-	.45062484 Y2	
$\kappa_0$		-.19377174		+	.00000692 Y	+	.00000004 Y2	
$\phi_0$		-.01572723		-	.00019633 Y	+	.00000233 Y2	
$\omega_0$		-.08046938		-	.00019789 Y	+	.00000924 Y2	
R		$X_0$		-11512.79117362	+	306.48976023 Y	-	4.41004014 Y2
		$Y_0$	-772349.58619515	+	1486.83340364 Y	+	.50398834 Y2	
		$Z_0$	818359.38560000	-	827.82927029 Y	+	.71701540 Y2	
		$\kappa_0$	-.11177750	-	.00010864 Y	+	.00000042 Y2	
		$\phi_0$	.04795628	-	.00022669 Y	+	.00000435 Y2	
		$\omega_0$	-.62531156	+	.00135944 Y	-	.00000006 Y2	
		c a s e 4	L	$X_0$	48573.19745723	+	795.68946975 Y	-
$Y_0$				-249979.60851473	+	1005.05940789 Y	-	4.46121485 Y2
$Z_0$	829193.45480000			-	36.30386864 Y	+	1.30252449 Y2	
$\kappa_0$	-.19380671			-	.00000585 Y	+	.00000027 Y2	-.00000001 Y3
$\phi_0$	-.01202433			-	.00083746 Y	+	.00000098 Y2	+.00000001 Y3
$\omega_0$	-.08221938			+	.00074182 Y	-	.00000545 Y2	+.00000001 Y3
R	$X_0$			-11496.16789214	+	716.78744477 Y		

case	항 목	外部測定要素 결과값					
c a s e 4	R	$Y_0$	-772871.65835878	+	716.78744477 Y	4.64537682 Y2	
		$Z_0$	818155.74610000	-	3679.71987160 Y	+4.44816495 Y2	
		$\kappa_0$	-.11183985	-	.00032963 Y	.00000106 Y2	-.00000001 Y3
		$\phi_0$	.04790643	-	.00063314 Y	.00000462 Y2	+.00000001 Y3
		$\omega_0$	-.62584684	+	.00405741 Y	.00000001 Y2	+.00000001 Y3
c a s e 5	L	$X_0$	32571.59830086	+	262.43710012 Y		
		$Y_0$	-263367.09490130	+	824.20142148 Y		
		$Z_0$	827961.67640000	-	40.12757758 Y		
		$\kappa_0$	-.19312012	-	.00000790 Y	+.00000015 Y2	
		$\phi_0$	.00720461	-	.00019718 Y	+.00000001 Y2	
	R	$\omega_0$	-.09837476	+	.00052578 Y	+.00000001 Y2	
		$X_0$	-33069.73242933	+	239.31357560 Y		
		$Y_0$	-771047.37575196	+	621.17349328 Y		
		$Z_0$	818467.82590000	-	146.76135220 Y		
		$\kappa_0$	-.11189863	-	.00001461 Y	+.00000029 Y2	
c a s e 6	L	$\phi_0$	.06925211	+	.00031463 Y	+.00000001 Y2	
		$\omega_0$	-.62419519	+	.00026972 Y	-.00000001 Y2	
		$X_0$	41648.60276205	+	623.53161955 Y		
		$Y_0$	-24407.29566427	+	549.53890891 Y		
		$Z_0$	830093.65900000	+	10.34415444 Y		
	R	$\kappa_0$	-.19372221	+	.00000233 Y	+.00000001 Y2	-.00000001 Y3
		$\phi_0$	-.00370349	-	.00063046 Y	-.00000002 Y2	+.00000001 Y3
		$\omega_0$	-.0754545	+	.00019160 Y	+.00000002 Y2	+.00000001 Y3
		$X_0$	-33070.10846620	+	385.48317103 Y		
		$Y_0$	-771411.87628914	+	624.06089602 Y		
R	$Z_0$	818253.52750000	+	197.44692748 Y			
	$\kappa_0$	-.11179563	-	.00001210 Y	+.00000035 Y2	-.00000001 Y3	
	$\phi_0$	.06924827	-	.00030429 Y	+.00000001 Y2	+.00000001 Y3	
	$\omega_0$	-.26461434	+	.00030183 Y	-.00000002 Y2	+.00000001 Y3	

표 5. 각 case에 따른 조정결과값의 오차

(단위 : m)

		case 1	case 2	case 3	case 4	case 5	case 6
정밀도	$\sigma_x$	20.602	65.633	30.948	235.829	10.163	67.256
	$\sigma_y$	29.404	81.283	39.03	281.642	14.467	86.658
	$\sigma_{xy}$	25.388	73.874	35.221	259.747	12.502	77.566
	$\sigma_z$	69.801	194.921	92.595	655.110	19.588	206.459
검사점의 평균	$\mu_x$	20.124	25.711	27.356	31.754	18.809	25.149
	$\mu_y$	12.988	9.902	12.113	14.065	11.300	12.372
제곱근 오차	$\mu_{xy}$	16.936	19.482	21.155	24.588	15.516	19.818
	$\mu_z$	25.052	21.012	16.457	20.176	16.753	20.563
사진좌표 잔차	$V_x(\text{mm})$	0.0722	0.1926	0.0493	0.4998	0.0253	0.1001
	$V_y(\text{mm})$	0.0627	0.2602	0.1289	0.3588	0.0270	0.1879
No. of Inter.		10	11	11	10	11	9

外部標定要素 결정 信賴度를 分析하기 위해 SPOT 衛星映像의 번들조정법의 조정결과 값에 대한  $Q_w$  행렬로부터 구한 幾何學的 誤差인 正밀도와 檢査點의 잔차로부터 구한 正確度를 표 5와 그림 3에 나타내었다.

SPOT 寫眞映像을 이용한 外部標定要素 결정에 있어서 표 5 및 그림 3에 나타낸 바와같이 平面位置決定에 대한 幾何學的인 誤差는 case에 따라 큰 차이값을 보이며 case 5가 다른 경우에 비해 가장 작게 나타났다. 따라서 精密度 면에서는 case 5가 平面精密度  $\sigma_{xy}$ 는 1250m, 높이 正밀도  $\sigma_h$ 는 19.59m로서 가장 正밀한 값을 나타냄을 알 수 있었다.

그리고 檢査點에 대한 平均제곱근 오차로 볼때 平面位置誤差는 15.50~24.59m, 높이위치오차는 16.46~25.05m로 거의 비슷한 값으로 나타났다. 그러나 case 5는 다른 경우에 비해 檢査點의 平面位置誤差 및 높이위치오차가 18.81m, 16.75m로써 가장 작게 나타났으며 모든 觀測點의 精密度면에도 가장 높은 精密度를 유지하고 있다. 또한, 사진좌표잔차  $V_x, V_y$ 도 case 5의 경우에 25.3 $\mu$ m, 27.0 $\mu$ m로서 가장 작게 나타났다.

한편, 조건은 서로 상이하지만 키프러스 섬을 대상으로 하여 D. J. Gagan<sup>(8)</sup>에 의해 해석된 level 1B의 결과값 平均위치오차 31.6m 및 높이위치오차 18.9m와 case 5의 결과값을 비교하여 볼때 높이위치오차는 비슷한 결과를 보이나 平均위치오차는 현저하게 적게 나타났다.

그러므로 本 研究에서 對象으로 한 前處理에 있어서 level 1B의 경우에는 case 1과 같은 일반적인 1차 선형 線 함수보다도 外部標定要素중 衛星位置 ( $X_0, Y_0, Z_0$ )는 1차 線 函數, 衛星姿勢 ( $\kappa_0, \phi_0, \omega_0$ )는 2차 線 函數式으로 나타낸 case 5의 경우가

外部標定要素의 多項式 形態와 3次元 位置決定에 가장 바람직한 多項式 形態임을 알 수 있었다.

#### 4. 結 論

SPOT 衛星映像을 이용한 3次元 位置決定에 있어서 중요한 요소 중의 하나인 外部標定要素의 결정에 관한 알고리즘 개발 및 最適多項式決定에 대하여 연구한 結果는 다음과 같다.

첫째, SPOT 衛星映像을 解析하기 위한 外部標定要素 決定에 관한 알고리즘을 提示하고 프로그램을 개발하였다. 둘째, 本 研究에서 對象으로 한 level 1B 사진필름의 위성영상에 外部標定要素의 다항식은 위성위치( $X_0, Y_0, Z_0$ )는 1차 線 函數, 衛星姿勢 ( $\kappa_0, \phi_0, \omega_0$ )는 2차 line 函數式으로 표시되는 外部標定要素의 未知數가 15개인 경우가 가장 적합함을 알 수 있었다.

本 研究을 수행한 결과 나타난 精密度 및 正確度가 다소 낮게 나타나는 경향을 보이고 있으나, 이와같은 이유는 本 研究에서 대상으로 한 觀測對象地域이 廣域化됨에 따른 座標間의 誤差 및 地上基準點探索의 어려움 등이 正確度에 커다란 영향을 미치고 있다고 思料된다.

따라서 이와같이 발생된 문제점을 해결하기 위하여 統一된 SPOT 衛星映像 座標系에 대한 研究 및 基準點 探索에 대한 지속적인 연구가 요구된다.

#### 참 고 문 헌

1. 유복모, "측량학 원론(II)", 개문사, 1989, pp 551-557.
2. CNES, "SPOT user's HANDBOOK", refernce manual ( I ), ( II ), 1987.
3. 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.
4. Ryosuke Shibasaki, Shunji Murai, Tsutomu Okuda, "SPOT Imagery Orientation with Auxiliary Satellite Position and Attitude Data", *ISPRS Vol. 27, B9*, 1988, pp. III 125-132.
5. Osamu Uchida, Sukit Biseshsin, "Comparisons of Orientation Accuracy between Types of Control Data for SPOT Imagery", *ISPRS, Vol. 27, Commission III*, 1988, pp. III-227~III-236.
6. Rodriguez, V., P. Gigord, A. C. de Gaujac, p. Munier, "Evaluation of the Stereoscopic

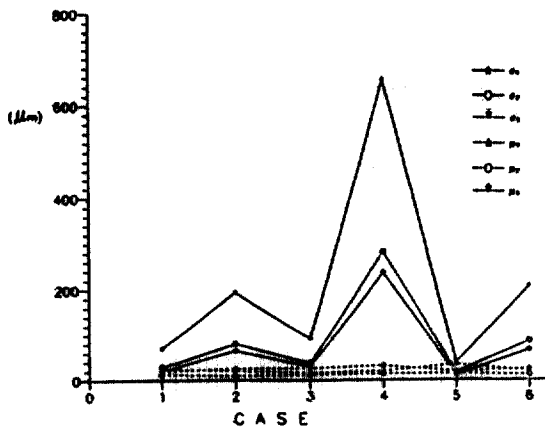


그림 3. 각 case에 따른 調整結果값의 誤差比較



- Accuracy of the SPOT Satellite", *P. E. & R. S.*, Vol. 54, No. 2, 1988, pp. 217-221.
7. Kratky, V., "Universal Photogrammetric Approach to Geometric Processing of SPOT Images", *ISPRS, Commission IV*, Vol. 27, 1988, pp. 180-189.
  8. Gagan, D. J., I. J. Dowman, "Accuracy and Completeness of Topographic Mapping from SPOT Imagery", *Photogrammetric Record*, 12(72), 1988, pp. 787-796.
  9. Salmonowicz, P. H., "Satellite Orientation and Position for Geometric Correction of Scanner Imagery", *P. E. & R. S.*, Vol. 52, No. 4, 1986, pp. 491-499.
  10. Fraser, C. S., "Simultaneous Multiple Camera and Multiple Focal Setting Self-Calibration in Photogrammetry", Ph. D. Dissertation, University of Washington, 1979.
  11. Mostafa s. Madani, "Accuracy Potential of Non-metric Camera in close-range photogrammetry", Ph. D. Dissertation, Ohio state University.

(接受: 1990. 8. 31)