

고해상도 위성영상의 지상위치 정확도 개선을 위한 다항식 보정 프로그램의 개발

Development of a Polynomial Correction Program for Accuracy Improvement of the Geopositioning of High Resolution Imagery

이진덕¹⁾·소재경²⁾

So, Jae Kyeong·Lee, Jin Duk

¹⁾ 금오공과대학교 토목환경공학부 교수 (E-mail:jdlee@kumoh.ac.kr)

²⁾ 범아엔지니어링연구소 연구원, 공학석사 (E-mail:sojk0070@hanmail.net)

Abstract

Due to the expensiveness of IKONOS Pro and Precision Products, it is attractive to use the low-cost IKONOS Geo Product with vendor-provided RPCs to produce highly accurate mapping products. The imaging geometry of IKONOS high-resolution imagery is described by RFs instead of rigorous sensor models. This paper presents four different models defined respectively in object space and image space to improve the accuracies of the RF-derived ground coordinates. The four models include the offset model, the scale & offset model, the affine model and the 2nd-order polynomial model. Different configurations of ground control points (GCPs) are carefully examined to evaluate the effect of the GCPs arrangement on the accuracy of ground coordinates. The experiment also evaluates the effect of different cartographic parameters such as the number, location, and accuracy of GCPs on the accuracy of geopositioning.

1. 서론

IKONOS, QuickBird와 같은 고해상도 상업위성의 등장으로 기존의 정성적인 판독은 물론 수치표고모형(DEM)의 생성 및 지형도 제작 등과 같은 정량적인 위치결정에 그 활용범위가 획기적으로 증대됨으로써 지구관측과 디지털 지도제작 분야에 새로운 지평을 열었다.

IKONOS Precision과 같은 높은 처리수준의 영상제품은 저처리 수준제품보다 훨씬 고가이기 때문에 사진측량기술자의 입장에서는 Geo(표준기하보정) 레벨의 영상을 처리하여 사용하는 편이 경제적이다. 그러나 IKONOS Geo 스테레오영상은 정밀센서모델이 제공되지 않아 3차원 위치의 정확도가 약 20m 내외이므로 대축척 수치지도 작성을 위하여 만족한 결과를 얻기 위해서는 종래에 제시되어 온 RPC(Rational Polynomial Coefficients) 계수들의 업데이트 등의 방법이 이용될 수 있다. 이 방법은 최소 39점 이상의 GCP와 최소제곱법을 통하여 RPC를 구해야 하므로 이론적으로는 가능하더라도 실용적일 수 없다.

본 연구에서는 RF(Rational Function) 모델에 의해 처리된 지상기준점의 정확도 향상을 위한 방법

으로서 이미 제시되어 온 RPC 계수들을 보정해주는 방법이 아닌, 대상물 공간과 상공간에서 각각 4가지 다항식 모델(선형이동, 축척변환 및 선형이동, Affine, 2차 다항식 등)을 적용하여 RF 모델로부터 계산된 지상좌표들을 정련시키고자 하였다. 적용 다항식 보정모델별 3차원 지상좌표의 정확도에 미치는 효과를 비교하고 아울러 기준점 수와 배치유형에 따른 정확도를 분석하고자 하였다.

2. 자료처리 및 분석

2.1 실험

2.1.1 실험데이터

본 연구에서는 적정 규모의 도시지역과 임야 및 농지를 포함하고 있으며 지형조사가 비교적 잘 되어있을 뿐 아니라 인근에 GPS 상시관측소가 고르게 배치되어 있어 지상데이터 구축에 있어서 적당하다고 판단되는 대전의 일부지역을 연구지역으로 선정하였다. 사용된 IKONOS 영상은 대전 일부 지역을 포함하는 2001년 11월 19일에 촬영된 IKONOS Geo 레벨의 영상으로서 크기는 W:13,816×H:13,824 픽셀의 좌측영상과 W:13,816×H:14,336 픽셀의 우측영상이다.(그림 1)

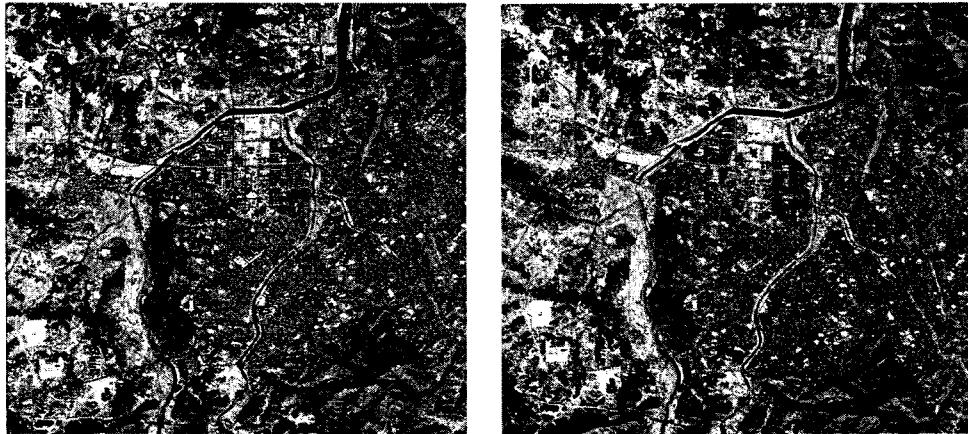


그림 1. 연구지역의 IKONOS 좌·우 영상

표 1. 스테레오 영상에 대한 Metadata

000	Product Image ID	001
IKONOS-2	Sensor	IKONOS-2
	Acquired Nominal GSD	
0.93 meter	Cross Scan	0.88 meters
0.93 meter	Along Scan	0.91 meters
179.96 degrees	Scan Azimuth	179.96 degrees
Reverse	Scan Direction	Reverse
46.0322 degrees	Nominal Collection Azimuth	151.8080 degrees
66.50039 degrees	Nominal Collection Elevation	36.55422 degrees
163.8771 degrees	Sun Angle Azimuth	164.1390 degrees
32.75480 degrees	Sun Angle Elevation	32.80824 degrees
2001-11-19 02:18 GMT	Acquisition Date/Time	2001-11-19 02:19 GMT

2.1.2 지상기준점 및 검사점의 GPS측량

우선 영상 위에서 지상기준점 및 검사점으로 사용할 51개의 지점들이 고르게 분포될 수 있도록 고려하여 영상에서 식별이 용이한 도로 교차로 모서리, 교량 및 교통섬 등의 지형지물을 선점하였다. 이렇게 선정된 총 51점에 대하여 30초의 로깅타임과 30

분의 수신시간으로 GPS측량기(Trimble 4700/4800/5700)를 이용하여 정지측량(static surveying)을 통해 좌표를 획득하였다.(그림 2)

GPS 측량을 통하여 획득한 자료의 처리는 GPS 상용 소프트웨어인 Trimble Geomatics Office 1.6 을 이용하였으며, GPS 상시관측소인 청주, 전주,

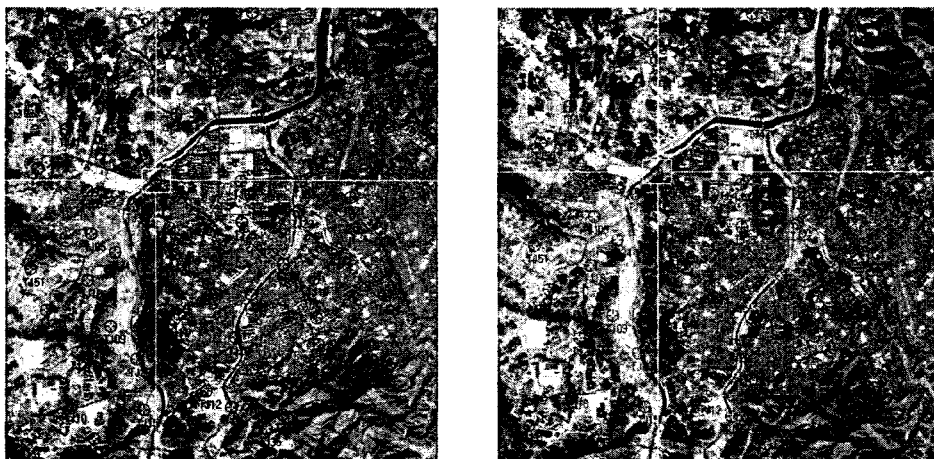


그림 2. 좌·우 영상에서 51점의 지상점

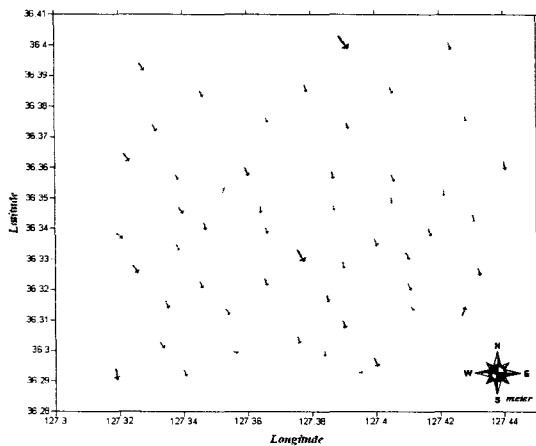
대전 및 상주 지역을 연결하여 기선해석과 망 조정을 통하여 지상점들에 대한 WGS84 좌표계상의 좌표를 획득하였다.

2.1.3 상좌표 획득

상좌표는 지상좌표와 동일한 위치에 해당하는 픽셀을 선택하여 각 영상마다 동일한 지점의 픽셀 좌표 (i, j) 를 텍스트 파일로 생성하였으며, 상좌표는 ERDAS IMAGINE 8.4를 이용하여 독취하였다. 픽셀 좌표는 영상의 좌상모서리를 $(0, 0)$ 으로 하여 각각의 지상점들에 대하여 좌·우 스테레오 영상에서 동일한 위치를 독취하였다. 상좌표와 지상기준점의 좌표 일치 여부를 위해 지상기준점은 WGS84 타원체 상의 경위도 좌표를 경도, 위도, 타원체고 $(Long, Lat, H)$ 순서로 정리하여 처리하였다.

2.2 자료의 처리 및 분석

2.2.1 Rational Functin 모델에 의한 정확도 분석



본 연구에서는 RF 모델의 두 가지 처리방식인 상향식과 하향식을 각각 사용하여 상좌표와 지상점에 대해 모델링하였다. 두 스테레오 영상의 상좌표와 계수만을 추출한 RPC 및 지상점 좌표를 입력 데이터로 사용하였다. 입·출력 좌표 차이를 통해 오차를 계산하였으며 기준점들에 대한 GPS와 RF 모델에 의해 유도된 지상점들의 평균수평 오차는 $10.628m$ 이었으며 평균수직오차는 $13.318m$ 를 보였다.(그림 3) 그림 3은 50배 과장하여 표현한 것으로서 수평오차는 정오차의 형태로 모든 점에서 남동방향으로 발생함을 확인할 수 있었다. Space Imaging사에서 제공하는 IKONOS Geo영상의 Product Level 원형오차(CE90일 때 15)와 그 크기가 유사함을 알 수 있다.

2.2.2 다항식 모델에 의한 정확도 개선

본 연구에서는 정확도 향상을 위해 다항식 보정을 이용하여 RF 모델로부터 계산된 지상좌표들을 정련시키는 방법을 사용하였다.(표 2) MathCAD 프로그래밍을 통해 처리된 3차원 좌표들을 4개의 다항식 모델에 적용하였다.(그림 4) 대상물 공간과 상

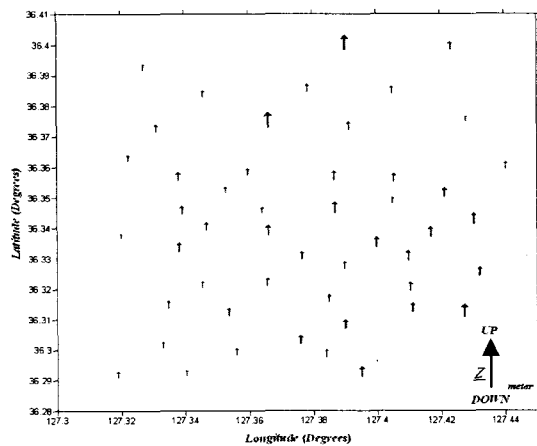


그림 3. RF 모델에 의한 지상점의 수평방향 오차와 수직방향 오차

표 2. 정확도 개선을 위한 다항식 모델

Space		Adjustment models			Minimum control Points
Object Space	Offset	$X' = X + a_0$	$Y' = Y + b_0$	$Z' = Z + c_0$	1
	Scale & Offset	$X' = a_0 + a_1 X$	$Y' = b_0 + b_1 Y$	$Z' = c_0 + c_1 Z$	2
	Affine	$X' = a_0 + a_1 X + a_2 Y + a_3 Z$	$Y' = b_0 + b_1 X + b_2 Y + b_3 Z$	$Z' = c_0 + c_1 X + c_2 Y + c_3 Z$	4
	2nd polynomial	$X' = a_0 + a_1 X + a_2 Y + a_3 Z + a_4 XY + a_5 XZ + a_6 YZ + a_7 X^2 + a_8 Y^2 + a_9 Z^2$ $Y' = b_0 + b_1 X + b_2 Y + b_3 Z + b_4 XY + b_5 XZ + b_6 YZ + b_7 X^2 + b_8 Y^2 + b_9 Z^2$ $Z' = c_0 + c_1 X + c_2 Y + c_3 Z + c_4 XY + c_5 XZ + c_6 YZ + c_7 X^2 + c_8 Y^2 + c_9 Z^2$			10
Image Space	Offset	$I' = I + a_0$	$J' = J + b_0$		1
	Scale & Offset	$I' = a_0 + a_1 I$	$J' = b_0 + b_1 I$		2
	Affine	$I' = a_0 + a_1 I + a_2 J$	$J' = b_0 + b_1 I + b_2 J$		3
	2nd polynomial	$I' = a_0 + a_1 I + a_2 J + a_3 IJ + a_4 I^2 + a_5 J^2$	$J' = b_0 + b_1 I + b_2 J + b_3 IJ + b_4 I^2 + b_5 J^2$		6

공간에서 선형이동 모델, 축척변환 및 선형이동 모델, Affine 모델, 2차 다항식 모델로 처리하였으며, GCP의 수와 배치유형에 따른 정확도 양상을 분석하기 위하여 그림 4에 나타낸 바와 같이 51점의 지상점 중 9점을 기준점으로 채택하였다.(그림 5)

GCP는 다항식의 매개변수 값들을 유도하기 위해 이용된다. 상좌표 및 지상기준점 좌표와 관련된 모든 입력 텍스트파일에서 동일한 기준점은 각각의 동일한 행으로 표현되며 GCP에 해당하는 행번호를 입력함으로써 GCP로 설정된다. 또한 GCP로 설정되었다더라도 프로그래밍 처리 중 GCP로 사용되지 않는 기준점은 검사점(CKP)으로 사용되어 정확도 분석에 이용되며 CKP와 GCP의 RMSE를 각각 계산할 수 있도록 하였다.

2.2.3 결과의 분석

4가지 모델별로 대상물 공간과 상공간에서 각각 처리하였으며 그 결과에 대해 RMSE를 계산하였다. 또한 GCP를 제외한 모든 지상점에 대해 상공간에서는 수정된 상좌표와 그에 따른 지상점의 좌표를 추출하였으며 대상물 공간과 상공간에서 4가지 모델의 적용 결과를 제시하였다. 여기서 N은 처리에 사용된 GCP의 수이다(표 3, 그림 6). 그리고 X, Y 방향의 RMSE는 WGS84 타원체에서 경도, 위도의 오차를 단위로 환산한 것이고, Z 방향의 RMSE는 타원체고(m)에 대한 RMSE이다.

선형이동 모델(translation model, offset model)은 RF모델 처리 후의 정확도 향상을 위한 4가지 다항식 모델 중 가장 간단한 방법이며 소요 GCP 수가 가장 적다. 한 점의 GCP만을 이용하더라도 대부분의 오차가 제거되어 정확도가 크게 향상되었음을 확인할 수 있었다.

축척변환 및 선형이동 모델(scale and translation model)에서는 궤도방향과 궤도의 직교방향에 따라 각각 8가지 유형의 GCP 배열로 처리하였다. 좌·우 스테레오 영상에 대하여 궤도방향의 GCP 배치의 경우 그와 동일한 방향인 Y방향의 정확도가 X방향에 비해 높게 나타났다. 대상물 공간에서 2점의 GCP를 사용한 경우 X, Y, Z, 방향의 RMSE는 각각 4.480m, 3.855m, 4.290m로 나타났고, 6점의 GCP를 사용한 경우 3.203m, 2.759m, 2.360m로 나타남으로써 X, Y, Z 방향에서 각각 28.5%, 28.4%, 45.0%의 정확도 향상을 보였다. 상공간에서 2점의 GCP를 사용한 경우 X, Y, Z, 방향의 RMSE는 각각 6.138m, 4.331m, 3.494m이었고 6점의 GCP를 사용한 경우 3.094m, 2.695m, 1.997m로서 X, Y, Z 방향에서 각각 49.6%, 53.9%, 42.8%의 정확도 향상을 나타내었다.

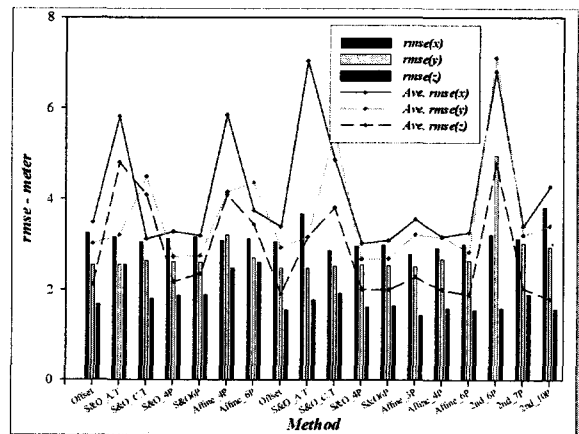


그림 6. 다항식 보정모델별 X,Y,Z 방향의 최소 및 평균 RMSE

```

Read Coefficients
p1 = READPRN("d:\m\tpc000.txt")
p2 = READPRN("d:\m\tpc001.txt")
vendor provided if coefficients

rows(p1) = 90
g_coef1 = (p1g p1j p1p)
           (p13 p12 p14)
g_coef2 = (p2g p2j p2p)
           (p23 p22 p24)
i_coef1 = (p16 p15)
           (p11 p10)
i_coef2 = (p26 p25)
           (p21 p20)
g_coef1_0 = 127.3805
g_coef2 = (0.0723 0.1206 166)
           (127.3805 36.288 219)
g_coef2 = (0.0685 0.1204 166)
           (127.3802 36.2864 219)
rpc1 = extract_rpc(p1)
rpc2 = extract_rpc(p2)
rpc1 = rpc_converting(rpc1)
rpc2 = rpc_converting(rpc2)
rows(rpc1) = 78
i_coef1 = (6.912 x 10^3 1.3985 x 10^4)
           (6.907 x 10^3 1.3847 x 10^4)
i_coef2 = (6.912 x 10^3 1.4313 x 10^4)
           (6.908 x 10^3 1.4175 x 10^4)

Read Data
paire = READPRN("d:\m\latereolNij.txt")
xylist(0) = paire(0)
xylist(1) = paire(1)
xylist(2) = paire(2)
xylist(3) = paire(3)
rows(paire) = 51
cols(paire) = 4
LPH = READPRN("d:\m\lNij.txt")
    
```

그림 4. MathCAD에 의한 RF모델의 프로그래밍

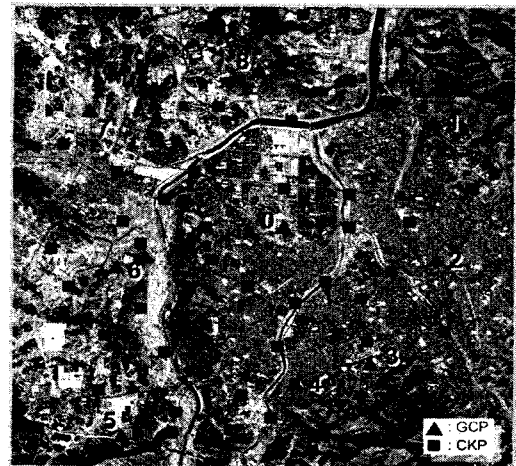


그림 5. 영상에서 GCP 및 CKP의 배열

표 3. 정확도 개선 모델의 적용결과 (unit: meter)

Space	Method	N	Pos	rmse(x)	rmse(y)	rmse(z)	Ave.(x)	Ave.(y)	Ave.(z)
Object Space	Offset	1		3.2554	2.5560	1.6903	3.4930	3.0181	2.1247
	Scale + Offset	2	along track	3.1763	2.5670	2.5596	5.8278	3.2145	4.8013
			across track	3.0586	2.6502	1.8104	3.1320	4.4954	4.0999
		4		3.1315	2.6210	1.8823	3.2792	2.7346	2.1773
			6	3.1707	2.6085	1.8919	3.2032	2.7509	2.3598
	Affine	4		3.0959	3.2157	2.4912	5.8592	4.1585	4.0950
		6		3.1288	2.7064	2.6156	3.7481	4.3681	3.4380
	2nd order	10		-	-	-	-	-	-
Image Space	Offset	1		3.0670	2.4944	1.5553	3.3942	2.9314	1.9226
	Scale + Offset	2	along track	3.6800	2.4777	1.7816	7.0442	3.1807	3.1709
			across track	2.8789	2.5340	1.9294	4.8708	5.4795	3.8155
		4		2.9732	2.5586	1.6269	3.0261	2.6866	2.0077
			6	3.0025	2.5463	1.6509	3.0939	2.6947	1.9972
	Affine	3		2.7912	2.5204	1.4412	3.5612	3.2201	2.2830
		4		2.9273	2.6909	1.5892	3.1712	3.1699	1.9976
		6		3.0139	2.6455	1.5603	3.2784	2.8427	1.8994
	2nd order	6		3.2250	4.9630	1.5930	6.8034	7.1041	4.7875
		7		3.1443	3.0286	1.9094	3.4021	3.2163	2.0329
		10		3.8289	2.9520	1.5870	4.2805	3.4100	1.7930

Affine 모델의 경우 대상물 공간과 상공간에서 4점의 GCP와 6점의 GCP만 사용하였다. 대상물 공간에 비하여 상공간에서 양호한 정확도를 보였고 수평정확도에 있어서 평균제곱근오차는 대상물 공간에서는 $rmse(x)$ 가 3.12m, $rmse(y)$ 가 3.17m이었고 상공간에서는 $rmse(x)$ 가 2.28m, $rmse(y)$ 가 2.84m이었다. 수직정확도에 있어서 대상물 공간에서는 $rmse(z)$ 가 2.0이었고 상공간에서 1.9로 유사한 값을 보였다. 또한 GCP의 수가 증가할수록 정확도 향상의 결과를 보였으며 대상물 공간의 경우 X, Y, Z 방향에서 각각 36.0%, 2.5%, 16.0%, 상공간의 경우 각각 7.9%, 11.7%, 16.8%까지 오차가 감소하였다.

2차 다항식모델의 경우 기준점 수의 증가가 정확도 증가를 가져오는 일반적인 양상과는 다른 경향을 나타내었다. 매개변수가 많은 다항식으로 처리할수록, GCP 수가 많을수록 어느 정도의 정확도 향상을 기대해 볼 수는 있으나 다항식 모델 간에 의미 있는 큰 차이는 발견할 수 없었다.

3. 결론

IKONOS Geo 레벨의 스테레오 팬크로매틱 영상으로부터 이용하여 RF 모델에 의해 유도되는 지상 3차원 좌표의 정확도를 향상시키고자 RF 모델에 의한 3차원 지상좌표 추출과 상향식과 하향

식의 다항식 모델에 의한 정확도 개선 알고리즘을 정립하고 MathCAD를 이용한 프로그램을 작성하였다. 4가지 다항식 모델 즉, 선형이동 모델, 축척변환 및 선형이동 모델, Affine 모델, 2차 다항식 모델 등을 적용하고 그 효과를 분석하였다.

RF 모델에 의한 3차원 지상좌표의 정확도는 X 방향에서 8.035m, Y 방향에서 10.020m, Z 방향에서 13.318m의 RMSE를 나타내었으며 수평오차는 남동 방향으로, 수직오차는 상향으로 일관성 있게 정오차의 양상으로 나타났다. 이것은 RF 모델에 의해 1차적으로 추출되는 3차원 좌표의 정확도를 개선해야 할 필요성을 시사한다.

다항식 보정모델을 적용함으로써 X 방향에서 2.791m, Y 방향에서 2.534m, Z에서 1.441m까지 크게 낮출 수 있었다. 한 점의 GCP를 선형이동 모델에 적용할 경우 수평오차 3~3.8m, 수직오차 2.2~3.2m를 나타냄으로써 오차의 대부분을 제거하고 양호한 정확도를 성취할 수 있었다. 이 부분은 기존의 다른 연구자들의 연구결과와도 일치한다.

축척변환 및 선형이동 모델을 적용할 경우 along track 방향의 GCP 배치에서는 Y 방향, across track 방향에서는 X 방향의 정확도가 높게 나타났다. 3차원 공간오차로 분석할 경우 along track 방향의 GCP 배치에서 8.207m로서 across track 방향의 5.691m 보다 높은 정확도를 성취할 수 있었다.

균등하게 분포된 4~6점의 GCP를 사용하여 축척변환 및 선형이동 모델 또는 Affine 모델을 적용할 경우 평면위치 2.5m~3m, 수직위치 1.5m의 정확도를 성취할 수 있었으며, 이는 IKONOS Precision 영상제품의 정확도 수준에 해당한다.

참고문헌

- 강준목, 이용욱, 박준규 (2003), "RPC와 GCP를 이용한 IKONOS 위성영상의 기하보정", 한국측량학회지, 제21권, 제2호, pp.165-172.
- 안기원, 임환철, 서두천 (2002), "고해상도 인공위성 영상데이터의 기하보정을 위한 RFM의 적용", 한국측량학회지 제20권, 제2호, pp.51-60.
- 이진덕 (2005), "QuickBird 영상으로부터 RF 모델 기반 지상위치 관측에 관한 연구", 한국측량학회 춘계학술발표회 논문집, pp.93-98.
- Di, K., R. Ma and R. Li (2003), "Rational Functions and Potential for Rigorous Sensor Model Recovery. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing", 69(1), pp.33-41.
- Xutong Niu, Jue Wang, Kaichang Di, Jin-Duk Lee and Ron Li (2004), "Geometric Modelling and Photogrammetric Processing of High-Resolution Satellite Imagery", The 7th Congress, International Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Istanbul, Turkey, pp.41-51.
- Fraser, C. S., and Hanley, K. B. (2003), "Bias compensation in rational functions for IKONOS satellite imagery." Photogrammetric Engineering & Remote Sensing.