

CORONA KH-4 영상을 이용한 3차원 지형정보 취득

Surface Reconstruction Using CORONA KH-4 Imagery

손홍규* · 유복모** · 김기홍*** · 최종현****

Sohn, Hong-Gyoo · Yeu Bock-Mo · Kim, Gi-Hong · Choi, Jong-Hyun

- * 연세대학교 사회환경시스템공학부 조교수 (T. 02-2123-2809; sohn1@yonsei.ac.kr)
** 석곡관측과학기술연구원 연구원장 (T. 02-3453-9800; yeubm@sog.or.kr)
*** 연세대학교 사회환경시스템공학부 박사과정 (T. 02-2123-2809; sfmacho@yonsei.ac.kr)
**** 연세대학교 사회환경시스템공학부 박사과정 (T. 02-2123-2809; jonghyun@yonsei.ac.kr)

要 旨

CORONA는 미국이 1960년에서 1972년까지 냉전시대 관심지역에 대한 첩보영상을 취득하기 위하여 운영한 영상취득시스템으로 1995년 일반에 자료가 공개됨에 따라 과거의 고해상도 영상자료를 이용할 수 있는 길이 열리게 되었다. 그러나 현재까지 CORONA 영상처리를 위한 모듈을 제공하는 원격탐측 소프트웨어가 개발되어 있지 않기 때문에 CORONA 영상을 이용하여 수치표고모형이나 정사영상을 제작하기 위해서는 적절한 모델링 방법이 필요하다.

CORONA 영상은 파노라마 영상으로 필름 가장자리로 갈수록 왜곡이 많이 생기며 사진기 지표가 없고 위성의 궤도와 위치, 자세, 속도, IMC(Image Motion Compensation)에 대한 자세한 자료를 제공하지 않는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 지형복원을 위하여 지상기준점을 이용하는 2가지 모델링 방법을 이용하였다. 첫 번째는 파노라마 왜곡과 촬영 비행체 이동에 의한 왜곡, IMC에 의한 왜곡을 보정하는 모형식을 구성하여 이용하였으며, 두 번째는 위성과 센서에 대한 정보를 필요로 하지 않는 다항식비례모형(RFM; Rational Function Model)을 이용하였다. 대상지역은 서울지역의 입체영상으로 대략 33km×26km 지역이다. 영상은 지상해상도 약 2.7m로 스캐닝하였고 1:1000 수치지도를 통해 20개의 기준점과 36개의 검사점을 관측하였다. 검사점의 위치정확도를 평가해 본 결과 첫 번째 방법은 수평방향으로 평균 3.9m(X), 2.8m(Y)의 오차를 보였으며 표고의 경우 4.2m의 오차를 보여 주었다. 두 번째 방법은 수평방향으로 평균 3.2m(X), 2.8m(Y)의 오차를 보였으며 표고의 경우 5.5m의 오차를 보여주었다. 지형복원 정확도를 검증하기 위하여 첫 번째 방법을 이용하여 대상지역 중 일부인 서울 남산지역에 대해 정사영상과 10m간격의 DEM을 제작하였으며 1:1000 수치지도를 통해 제작된 DEM과 비교한 결과 총 43990개 격자점의 표고 차이는 평균 5.98m였다.

1. 서론

1960년 8월 12일 우주의 Discoverer XIII에서 낙하된 캡슐이 하와이 북서쪽 330 마일 해상에서 훼손되지 않은 채 무사히 수거되었다. 캡슐 안에는 관독용 필름이 아닌

미국 국기가 들어 있었으나 이를 계기로 냉전시대를 위한 고해상도 정보 수집의 가능성이 확인됨 셈이었다. 이것을 계기로 Discoverer XIV를 통한 CORONA 계획 9009가 시작되었다. 처음으로 성공한 CORONA 영상 수집을 통해 1,650,000 제곱

마일의 소련 지역을 필름에 담을 수 있었으며 이것은 기존의 모든 U-2 정찰기를 이용해 취득한 필름의 양보다 많은 것이었다.

CORONA 위성영상은 과거 냉전시대 미국에 의해 수집된 영상으로 최대 지상해상도가 6ft에 이르는 고해상도 영상이다. CORONA 입체영상을 이용하여 각종 지형 정보를 취득하기 위해서는 영상이 가지는 왜곡을 고려하여야 정밀한 DEM 추출 및 정사영상 제작이 가능하다. CORONA 영상을 이용한 외국의 사례로는 2000년 중서부 세네갈 지역의 토지이용 변화에 대한 연구가 수행되었다(Tappan et al., 2000). 1963년의 CORONA, ARGON 영상과 1992년 Landsat 영상을 이용하여 수행하였으며 30년 동안의 인구증가, 농지증가, 강수량의 감소 등에 대한 내용을 연구 발표하였다. 또한 Goossens 등은 VirtuoZo 3.1 소프트웨어를 이용하여 영상의 기하보정이 거의 필요 없는 아주 좁은 지역(약 5km×5km)의 CORONA 입체영상을 상호표정한 후 이를 이용하여 대상지역의 30년 전 과거에 해당하는 정사영상과 DEM 제작에 관한 연구를 발표하였다(Goossens et al., 2001). 국내에서는 CORONA와 같이 개발된 ARGON 영상을 이용한 위치결정 정확도에 관한 논문이 발표되었다(Sohn and Kim, 2000).

2. CORONA 영상의 특성

냉전시대 미국은 CORONA와 더불어 ARGON, LANYARD 등 세 가지 영상취득 시스템을 가동하였는데 이 중 CORONA가 국가 안보상 가장 중요한 시스템이었다. ARGON은 CORONA와 동시에 개발한 매핑 용도의 영상취득 시스템으로 1961년 2월 17일부터 1964년 8월 21일까지 12개의 임무를 수행하였다. 초점거리가 76.2 mm (3 inch) 이고 매핑을 위해 파노라마 방식이 아닌 프레임 방식으로 영상을 취득하였으며 지상해상도는 약 138m이다. LANYARD는 고해상도 영상판독을 위해 개발된 것으로 소련 레

닌그라드 지역의 ABM(Anti-Ballistic Missile)시설을 감시하기 위하여 61 cm (2 ft)의 해상도를 계획하고 제작하였다. 그러나 실제로는 2 m (6 ft)의 해상도가 얻어졌기 때문에 단 한번의 임무만을 수행하고 종료하였다. CORONA 시스템은 CIA(Central Intelligence Agency)와 미공군이 공동으로 관리하였으며 1960년부터 1972년까지 적대 국가를 감시하는데 사용하였다. 탑재된 사진기는 KH-1, KH-2, KH-3, KH-4가 탑재되었다.

CORONA 프로그램의 후반부에 탑재된 KH-4사진기는 파노라마 방식의 사진기로 좌우로 35°, 총 70° 스캔이다. KH-4는 2개의 KH-3 사진기를 하나의 틀에 장착하였으며 각각 수직방향을 기분으로 15°전방과 15°후방을 촬영하도록 되어 있다. 촬영시간도 기존의 3~4 일에서 6~7 일로 늘어났다. CORONA KH-4의 경우 영상을 취득하는 방식은 그림 1과 같으며 특성은 표 1과 같다.

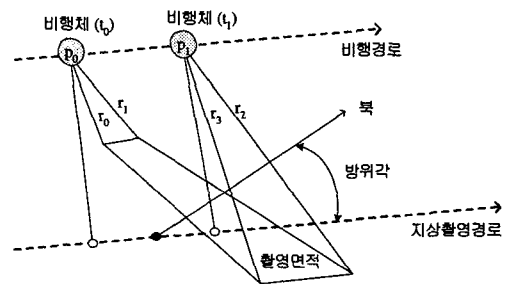


그림 1. KH-4의 영상취득 기하

표 1. CORONA KH-4 영상의 특성

초점거리	609.602mm
유효필름크기	29.323" × 2.147"
필름해상도	160lp/mm
입체각	30.46°
촬영고도	약 145.8km
지상촬영면적	15km×210km
사진축척	1:247,500

3. CORONA KH-4 영상 기하보정

CORONA KH-4 영상을 통해 대상물의 3차원 위치결정 과정을 수행하기 위하여 본 연구에서는 지상기준점을 통한 2가지 기하보정 기법을 사용하여 비교해 보았다. 첫 번째로 KH-4 사진기의 특성을 고려한 모형식을 사용하였으며 두 번째로 RFM(Rational Function Model)을 이용하였다.

CORONA KH-4 영상은 사진기 특성에 따른 여러 가지 변위를 영상에 포함한다. 이러한 변위들로 인해 중심투영에 의한 기하가 사진에 잘 들어맞지 않으며 따라서 이러한 변위를 왜곡이라고 간주할 수 있다. 그리고 이러한 왜곡은 기존의 프레임 사진기를 이용한 사진측량에서 고려하는 렌즈왜곡이나 대기굴절 등과는 다른 성질의 왜곡이다. KH-4 영상에 나타나는 왜곡은 크게 세 가지로 파노라마 방식에 의한 왜곡, 비행체 이동에 의한 왜곡, IMC에 의한 왜곡으로 표현할 수 있다.

KH-4 영상은 파노라마 사진으로 렌즈가 오목한 원통형 모양의 필름을 스캐닝 방식으로 진행하면서 제작하기 때문에 필름의 양쪽 끝 쪽으로 갈수록 왜곡이 매우 심해진다. 따라서 그림 2와 같은 왜곡이 영상에 나타난다.

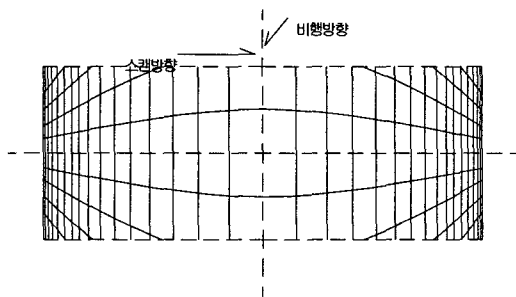


그림 2. 파노라마 방식에 의한 왜곡

렌즈를 통해 지상을 스캐닝하는 동안 비행체가 이동하기 때문에 촬영시간 동안 비행체가 이동한 만큼의 변위가 발생한다. 이러한 왜곡은 파노라마 방식의 영향을 받아 그림 3과 같이 cosine 함수 형태의 왜곡으

로 영상에 나타난다.

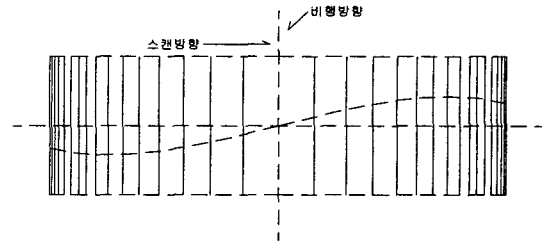


그림 3 비행체 이동에 의한 왜곡의 형태

빠르게 이동하는 비행체에서 영상을 취득하기 위해서는 IMC가 필수적이며 IMC는 촬영시간 동안 렌즈가 이동하거나 필름면이 이동하는 방식을 취한다. IMC에 의하여 대상공간의 임의의 점은 필름면 상에 예상되는 지점이 아닌 다른 점에 투영되며 이것을 IMC에 의한 왜곡으로 간주할 수 있으며 그림 4와 같이 sine 함수의 형태로 영상에 나타난다.

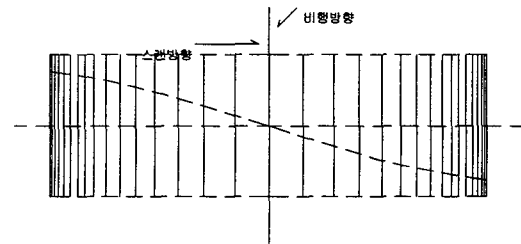


그림 4. IMC에 의한 왜곡의 형태

그림 5는 3가지 왜곡을 모두 고려한 왜곡의 형태이다. 횡방향축은 파노라마 왜곡의 영향만을 받으며 비행방향 종방향축은 파노라마 왜곡과 비행체 이동에 의한 왜곡과 IMC 3가지 왜곡의 합으로 표현된다.

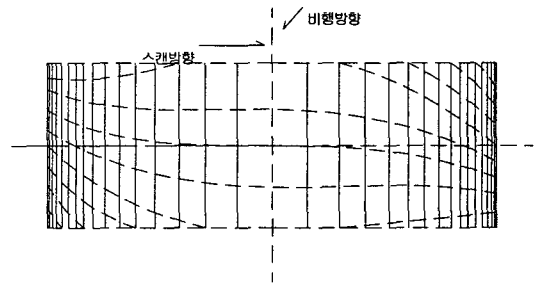


그림 5 통합된 왜곡의 형태

CORONA KH-4 사진기의 경우 수직촬영이 아닌 15도 경사 촬영이기 때문에 영상의 실제 왜곡은 그림 6과 같이 표현된다.

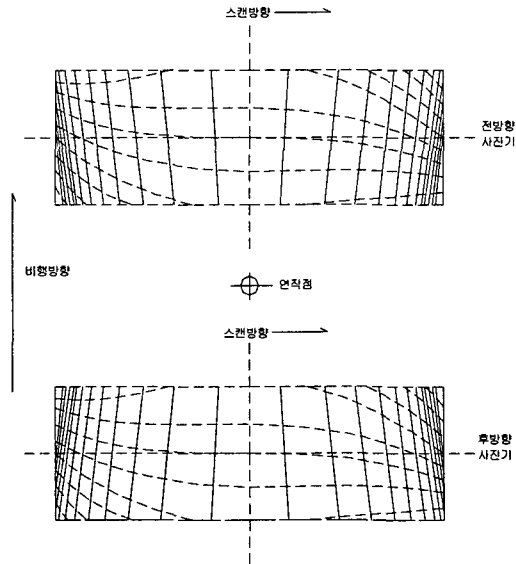


그림 6 KH-4 영상 왜곡의 형태

기하보정을 위해서는 이러한 왜곡들을 잘 고려하여야 하는데 CORONA KH-4 영상의 경우 위성의 위치, 자세, 속도, IMC 등에 관한 정보를 제공하지 않기 때문에 왜곡에 관한 변수들을 미지수로 설정하고 지상기준점을 통한 모델링과정을 수행하여야 한다.

두 번째 기하보정 방법인 RFM은 위성 센서의 특성과 종류에 상관없이 사용이 가능한 모델링 알고리즘으로 영상과 지상간의 기하학적인 관계를 여러 개의 다항식으로 표현하고 해석하는 방법이다. 전방 다항식 비례모형(Forward RFM)은 영상좌표 x_n, y_n 를 지상좌표 X, Y, Z 의 다항식 형태로 나타내며, 기본적으로 식 (1)과 같은 형태를 나타내고 있다.

$$\begin{aligned} x_n &= \frac{A(X_n, Y_n, Z_n)}{B(X_n, Y_n, Z_n)} \\ y_n &= \frac{C(X_n, Y_n, Z_n)}{D(X_n, Y_n, Z_n)} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, x_n, y_n 은 해당 영상좌표의 행, 열 값이며, X_n, Y_n, Z_n 은 영상좌표에 대응

하는 공간상의 3차원 지상좌표이다. 본 연구에서는 2차 다항식을 이용하였으며 x_n, y_n 의 분모항이 서로 다른 경우를 사용하였다.

두 가지 기하보정 방법에 대한 정확도를 평가하기 위하여 사용된 영상은 서울지역의 입체영상으로 대략 33km×26km 지역이다. 영상은 지상해상도 약 2.7m로 스캐닝하였고 1:1000 수치지도를 통해 20개의 기준점과 36개의 검사점을 관측하였다. 검사점의 위치정확도를 평가해 본 결과 첫 번째 방법은 수평방향으로 평균 3.9m(X), 2.8m(Y)의 오차를 보였으며 표고의 경우 4.2m의 오차를 보여주었다. 두 번째 방법은 수평방향으로 평균 3.2m(X), 2.8m(Y)의 오차를 보였으며 표고의 경우 5.5m의 오차를 보여주었다.

4. CORONA 영상을 이용한 지형 복원

2장의 중복된 CORONA KH-4 영상을 이용한 지형복원 정확도를 평가하기 위하여 DEM을 제작하였다. 3차원 위치결정을 위해 사용한 방법은 앞에서 언급한 두 가지 방법 중 첫 번째 방법을 사용하였다. 대상 지역은 서울 전체 영상의 일부인 남산지역으로 7×7 윈도우를 사용하여 정합하였으며 탐색영역은 27×3 영상소였다. DEM 간격은 10m로 제작하였다.



그림 7. 남산지역 CORONA 영상

지형복원 성과를 평가하기 위하여 그림 8과 같이 1: 1000 수치지도를 통해 10m 간격으로 기준 DEM을 제작하였다. 입체영상을 통해 제작된 그림 9의 DEM과 비교해보면 총 43990개의 격자점의 표고 차이는 평균 5.98m이고 표준편차는 3.96m이다. 영상소의 크기가 2.7m이고 3차원 위치결정 정확도가 4.2m임을 고려할 때 양호한 결과로 판단할 수 있다.

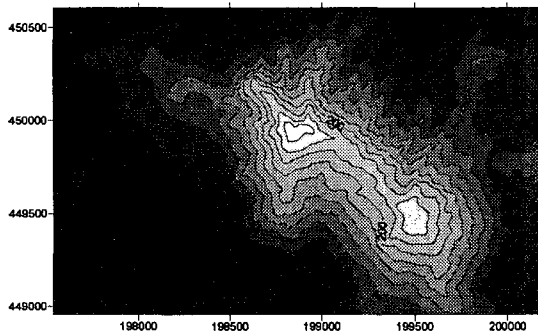


그림 8 남산지역 DEM(수치지도로 부터)

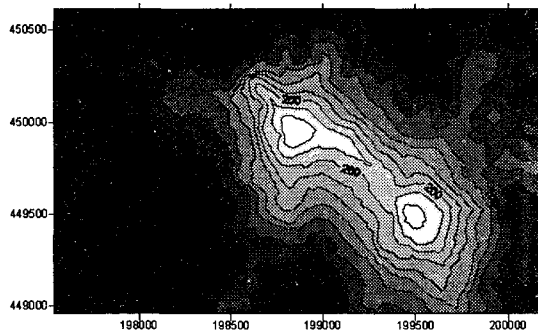


그림 9 남산지역 DEM(CORONA 영상)

5. 결론

고해상도의 CORONA 영상을 통하여 1970년대의 다양한 정보를 취득할 수 있으며 현재의 고해상도 영상과 함께 여러 분야에서 활용될 수 있다. CORONA 필름을 일반적인 항공사진필름처럼 처리하면 오차가 매우 크게 발생하기 때문에 적절한 모형을 통한 처리가 필요하며 본 연구에서는 CORONA 영상의 기하보정을 위해 두 가지

기법을 적용하고 정확도를 평가하였다. 또한 입체영상을 통해 DEM을 제작하고 수치지도로부터 제작한 DEM과 비교한 결과 평균 5.98m의 표고차를 보여주었다.

참고문헌

1. Sohn, H. and K. Kim, (2000), Horizontal Positional Accuracy Assessment of Historical ARGON Satellite Photography, KSCE, Vol. 4, pp. 59-65.
2. McDonald, R.A., (1995), Corona: Success for Space Reconnaissance, a Look into the Cold War, and Revolution for Intelligence, PE&RS, Vol. 61, pp.689-720.
3. Tappan, G. G., H. Amadou, C. W. Eric, and W. L. Ronald, (2000), Use of Argon, Corona, and Landsat Imagery to Assess 30 Years of Land Resource Changes in West-Central Senegal, PR&RS, Vol. 66, pp. 727-735.
4. Light, D.L., (1993), The National Aerial Photography Program as a Geographic Information System Resource, PE&RS, Vol. 59, pp. 61-65.
5. Goossens, R., M. Schmidt, A. Altmaier, F. Benoit, and G. Menz, (2001), Extraction of Digital Elevation Models and ortho-images from CORONA KH4B data, High Resolution Mapping from Space, ISPRS Working Groups I/2, I/5 and IV/7, pp. 69-76.
6. Tao, C. V. and Y. Hu, (2000), "Image Rectification Using a Generic Sensor Model-Rational Function Model", International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Amsterdam, part B3, pp. 874-881.