

IKONOS 정사영상제작을 위한 폐색 영역의 탐지와 복원

서민호* · 한동엽*† · 이병길** · 김용일*

서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부*, 한경대학교 토목공학과**

Detecting and Restoring the Occlusion Area for Generating the True Orthoimage Using IKONOS Image

Min Ho Seo*, Dong Yeob Han*†, Byoung Kil Lee**, and Yong Il Kim*

School of Civil, Urban & Geosystem Engineering, Seoul National University*

Civil Engineering, Hankyong National University**

Abstract : IKONOS images have the perspective geometry in CCD sensor line like aerial images with central perspective geometry. So the occlusion by buildings, terrain or other objects exist in the image. It is difficult to detect the occlusion with RPCs(rational polynomial coefficients) for orthorectification of image. Therefore, in this study, we detected the occlusion areas in IKONOS images using the nominal collection elevation/azimuth angle and restored the hidden areas using another stereo images, from which the true ortho image could be produced. The algorithm's validity was evaluated using the geometric accuracy of the generated ortho image.

Key Words : orthorectification, LiDAR DSM, Z-buffer, IKONOS.

요약 : 중심투영 기하를 가진 항공사진과 마찬가지로 IKONOS 위성 영상도 CCD 라인에서 중심투영 기하를 갖는다. 이로 인해 건물, 지형 등에 의한 영상 폐색이 존재하지만, IKONOS 영상의 정사보정을 위해 RPC 표정정보를 이용하여 폐색을 감지하는 것은 쉽지 않다. 따라서 본 연구에서는 영상 취득시의 위성 고도각과 방향각을 이용하여 폐색 영역을 탐지하고 중복 영상을 활용한 폐색 영역의 영상복원을 수행하여, 실제적인 IKONOS 정사 영상을 제작하였다. 그리고, 생성된 정사 영상의 위치정확도로부터 폐색 탐지 알고리즘의 적합성을 평가하였다.

1. 서론

최근 지형 공간 정보의 자료 기반 구축에 있어서 신속한 영상 취득 및 갱신의 중요성은 급속한 정보화 사회에서 중요한 요소가 되고 있다. 따라서 빠른 갱신 능력과 넓은 수용 범위의 자료 취득원의 요구가 절실하며,

근래 고해상도 위성 영상의 출현과 함께 이러한 여건을 만족시킬 수 있게 되었다. 하지만, 기존 항공사진에 비해 기술적인 부분에서 아직까지 항공사진이 가지는 효용성에는 미치지 못하고 있으며, 특히 주요한 지형 공간 자료인 정사 영상의 자료원으로써 항공사진이 차지하는 비중에 비해 부족한 것은 사실이다.

2006년 3월 21일 접수 ; 2006년 4월 22일 수리.

† 교신저자: 한동엽(hkyon@hanmail.net)

한편 고해상도 영상에 대한 기술적인 부분이나 질적인 부분에서의 연구가 꾸준히 진행되고 있고, 고해상도 영상이 가지는 큰 잠재력에 비추어 볼 때 머지않아 항공사진과 더불어 지형 공간 정보의 주요 자료원으로써 영상의 수요는 급증하리라 예상하고 있으며, 본 연구에서는 이러한 고해상도 위성 영상 활용의 일환으로 IKONOS 위성 영상을 이용한 정사 영상 제작에 관한 연구를 수행하였다.

IKONOS 영상을 이용하여 정사 영상을 생성할 경우 항공사진에서와 마찬가지로 경사 방향 영상 취득 방식에 의하여 영상 내 폐색이 발생하며 일반적인 정사 영상 제작방법으로는 이러한 영역에 대한 처리가 이루어지지 않는다. 따라서 실제적인 정사 영상을 제작하기 위해선 폐색 영역에 대한 처리를 추가적으로 수행해야 하며 이 경우 기존 항공사진에서 사용한 방법을 직접적으로 적용하기는 어렵다. 본 연구에서는 이러한 폐색영역 처리를 포함한 IKONOS 영상의 정사 영상을 생성하고자 하였으며, 자체 구현한 폐색 탐지 알고리즘을 영상에 적용하여 결과를 평가하였다.

1) 연구 동향

카메라의 중심 투영 성질과 비연직(off-nadir) 방향에서의 촬영에 의해 영상에는 기복 변위가 발생하고, 특히 건물, 교량 등의 비지면 개체를 많이 포함하는 도시 지역의 경우 개체의 편위로 인해 영상의 많은 부분에 폐색이 존재하게 된다. 따라서 실질적인 정사 영상을 생성하기 위해선 폐색 영역에 대한 처리를 포함한 정사 보정이 이루어져야 한다. 이러한 정사 영상에 관한 연구는 1990년말~2000년대 초에 항공사진을 이용한 정사 영상 제작에 있어 활발히 진행되었으며, 현재는 영상내 모든 정보의 복원이 가능한 수준까지 도달해 있다.

우선 항공사진에 적용된 방법을 살펴보면, 국외의 경우 Amhar *et al.* (1998)과 Rau *et al.* (2002)이 컴퓨터 그래픽 분야에서 3차원 물체의 가시권 분석을 위해 주로 사용되었던 Z-buffer 알고리즘을 응용하여 항공사진에 나타나는 폐색 영역을 탐지하였으며 중복 영상을 이용한 영상 복원을 통해 폐색 영역의 문제를 해결하였고 Sheng *et al.* (2003)는 LiDAR (Light Detection and Ranging) 시스템에 의해 획득된 정밀한 DSM (Digital Surface Model)과 Z-buffer 알고리즘을 이용하여 산림 지역에

대해 적용함으로써 수목에 의해 나타나는 폐색 영역을 처리한 산림 지역의 정사 영상을 제작하였다. 국내에서는 유환희 등(1999)이 처음으로 항공사진의 정사 영상 제작시 폐색 영역에 대한 잔류 영상(ghost image)의 문제를 언급하였고, 폐색 처리에 대한 알고리즘을 제시한 바 있었다. 유환희가 제안한 방법을 간단히 살펴보면, 우선 수치 지도의 등고선과 매칭을 이용, DEM(Digital Elevation Model)을 생성하였고, DEM과 카메라의 투영 중심 정보를 이용해 기복 변위량을 계산하여 폐색 영역을 탐지 하였으며, 중복 영상을 활용하여 대수 연산을 통해 영상 모자익을 수행함으로써 폐색 영역에 대한 처리가 이루어진 정사 영상을 생성하였다. 이외에 권오형(2000)은 LiDAR DSM과 카메라의 외부 표정 요소를 이용하여 카메라의 중심 위치로부터 대상점간의 각을 비교하여 폐색 영역을 탐지하였으며 마찬가지로 중복 영상을 활용하여 영상 복원을 수행한 바 있다.

앞서 제안된 방법은 모두 영상 취득시의 외부 표정 정보를 이용한 알고리즘으로써 센서의 정확한 물리 정보의 사용이 가능한 경우 적용할 수 있는 반면, IKONOS 영상과 같이 영상 업체의 물리 정보 미공개로 인해 표정 정보의 사용이 어려운 경우 직접적인 활용이 어려운 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 IKONOS 영상에 나타나는 폐색 영역을 탐지하기 위해 정확한 물리 정보 대신 헤더 정보에 포함된 위성의 고도각과 방향각을 이용하여 폐색 영역을 탐지하였다.

2) 연구 방법 및 범위

연구 방법은 다음과 같다. 우선 LiDAR 포인트 데이터를 보간하여 격자 형태의 DSM을 생성하고 RPC (Rational Polynomial Camera) 모델을 이용하여 IKONOS 위성 영상의 정사 영상을 생성하였다. 다음 자체 구현한 폐색 탐지 알고리즘을 적용하여 영상에 나타나는 폐색 영역을 탐지하였으며, 중복 영상을 이용하여 탐지된 영역의 영상 복원을 수행하였다. 마지막으로 적용된 폐색 탐지 알고리즘의 적합성을 평가하였으며, 최종 결론을 도출하였다. 전체적인 흐름도는 Fig. 1과 같다.

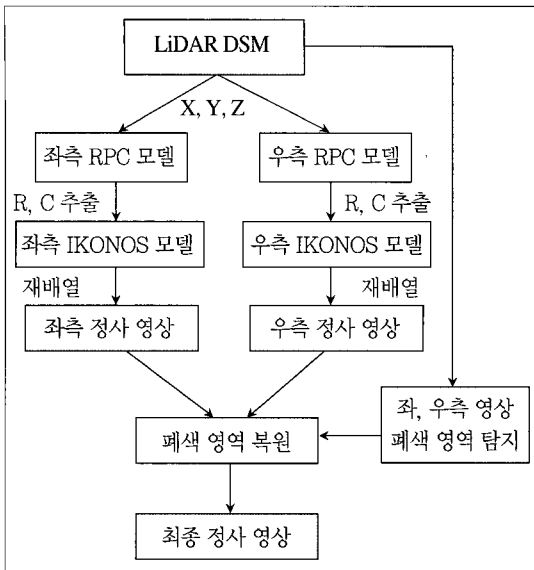


Fig. 1. Flow chart of the orthorectification.

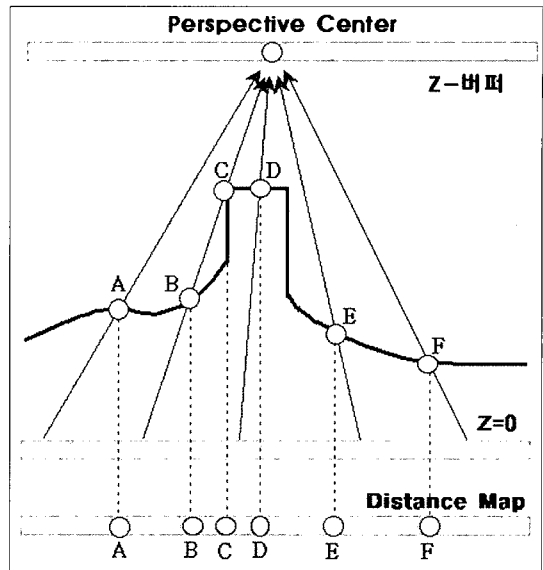


Fig. 2. Z-buffer algorithm for the perspective projection.

2. IKONOS 위성 영상의 폐색 탐지

본 연구에서 적용되는 IKONOS 위성 영상의 폐색 탐지 알고리즘은 앞서 Amhar *et al.* (1998)과 Rau *et al.* (2002)가 사용한 Z-Buffer 알고리즘을 응용한 방법으로 기본적인 알고리즘의 구조에 있어서 많은 유사점을 가진다. 따라서 항공사진에 적용된 Z-Buffer 알고리즘에 대한 내용을 간단히 정리하였으며, 이후 IKONOS 위성 영상에 사용될 폐색 탐지 알고리즘에 대한 내용을 설명하였다.

1) Z-Buffer 알고리즘

Z-buffer 알고리즘은 가시권 분석을 위해 컴퓨터 그래픽 분야에서 주로 사용되는 방법으로 1998년 Amhar가 항공사진의 정사 영상 제작시 폐색 탐지를 위해 적용하였다. 국내외적으로 폐색 탐지에 관련된 알고리즘이 제시된 바 있지만 현재는 Z-buffer 알고리즘을 이용한 폐색 탐지 방법이 가장 널리 이용되고 있다. Z-buffer 알고리즘을 이용한 가시권 분석을 위해선 카메라 중심 위치 (X, Y, Z) 와 자세 정보 (ω, κ, ϕ) , DSM이 필요하다. 카메라의 중심 위치로부터 DSM까지의 거리를 비교하여 폐색을 탐지하는 것이 알고리즘의 요지이며, 기하적인 구조 (Fig. 2)와 세부적인 알고리즘의 내용은 다음과 같다.

우선 DSM과 동일한 좌표 체계와 크기를 가지는 가

상 격자를 생성한다(거리영상). 카메라의 중심위치로부터 대상 공간(DSM)의 모든 점들간의 거리를 구한 후, 생성된 거리 영상의 해당 좌표에 거리를 저장한다. 다음, 영상 취득시의 카메라의 자세 정보 (ω, κ, ϕ) 와 중심 위치 (X, Y, Z) 를 이용하여 DSM을 대상으로 중심 투영 변환을 수행하며, 투영 변환된 격자(Z-buffer)에는 DSM의 높이값 대신 원 DSM의 좌표값을 참조하여 거리 영상에 저장된 거리값을 할당한다. 이 때 Z-buffer에 저장된 거리를 비교하여 폐색을 결정할 수 있다.

Fig. 2에서 점 A는 카메라의 중심으로부터 DSM이 이루는 시준선상에 하나의 교차점을 가지며 중심투영 변환 후에도 Z-buffer 상에 하나의 좌표를 가지므로 폐색이 아니다. 반면, 지점 B와 C는 동일 시준선상 위에 나타나며 이 점들은 각각 DSM에서 다른 위치이지만 Z-buffer 상에서는 동일 좌표로 투영된다. 최종적으로 이러한 교차점 중에서 가장 작은 값(거리 영상 참조)을 제외한 점들은 폐색으로 결정할 수 있다. 따라서 이 방법은 카메라의 정확한 3차원 위치와 Z-Buffer 상으로 중심 투영 변환을 위해 촬영시 카메라의 회전 성분을 필요로 한다.

2) Z-Buffer 알고리즘의 IKONOS 위성 영상에의 적용

2.1절에서 설명하였듯이 IKONOS 영상의 폐색 영역 탐지를 위해 Z-buffer 알고리즘을 적용하려면 영상 취

특시의 센서의 위치 정보와 자세 정보를 필요로 한다. 하지만, IKONOS 위성 영상은 업체의 물리 정보 미공개로 인해 이러한 정보의 사용이 어려운 실정이다. 따라서, 본 연구에서는 영상 취득시의 센서의 방향각(nominal collection azimuth angle)과 고도각(nominal collection elevation angle)을 이용하여 Z-buffer 알고리즘에 응용 적용함으로써 폐색을 탐지하였다.

(1) 영상 취득 방식에 대한 가정

IKONOS 위성의 영상 취득 방식에 따른 기하적인 특성을 고려하여 두 가지 가정을 할 수 있다.

① 영상 취득 순간 동안 위성의 자세 및 방향은 변화가 없다: Valadan and Sadeghian (2003)에 의하면, IKONOS 위성은 reverse mode와 forward mode의 두 가지 방식으로 영상을 취득한다. reverse mode가 일반적인 영상 취득 방식이며 이것은 실제로 영상 취득 동안 센서의 지면에 대한 주사 방향의 변동이 없는 방식이다. 물론 forward mode의 경우 센서의 자세 변동이 발생하지만, 특정 목적에 의해 취하는 방식이며 일반적인 형태의 영상 취득방식이라 보기 어렵다. 또한 진공 상태의 우주 공간에서 7 km/s의 빠른 궤도 속도로 위성이 이동할 때 영상 취득 순간동안 센서 요동에 의한 영향은 적어진다. 이러한 가정을 통해 Valadan and Sadeghian (2003)은 IKONOS 위성의 센서 모델링에 관한 연구를 수행하였다.

② 평행 투영 방식으로 영상을 취득한다: IKONOS 위성은 linear pushbroom 방식으로 위성의 진행 방향에 대해서 경사 평행 투영 방식으로 영상을 취득한다. 즉, 영상의 종 방향으로는 평행 투영인 반면, 횡 방향에 대해서만 중심 투영 방식으로 취득한다. 여기서 위성의 기계적인 문제에 대해서 살펴보면, IKONOS 영상의 시야각은 0.93° (θ_{fov})로 매우 협소하다. 이것은 중심 투영이지만 중심과 측면에서의 편위차가 매우 적음을 대략적으로 알 수 있다. 물론 경사 방향으로 취득할 경우 고도각에 따라 많은 차이를 나타내고 대상물의 높이(H)에 따라 다르지만, 반대의 경우 그 차이는 미미하다 볼 수 있다. IKONOS 위성에서 평행투영과 중심투영의 편위량 차이(dH)는 식 (1)과 같다.

$$dH = H \times \{ \tan(\theta_{elevation} + \theta_{fov}) - \tan(\theta_{elevation}) \} \quad (1)$$

예를 들어, 경사 평행 투영 방식으로 취득된 IKONOS

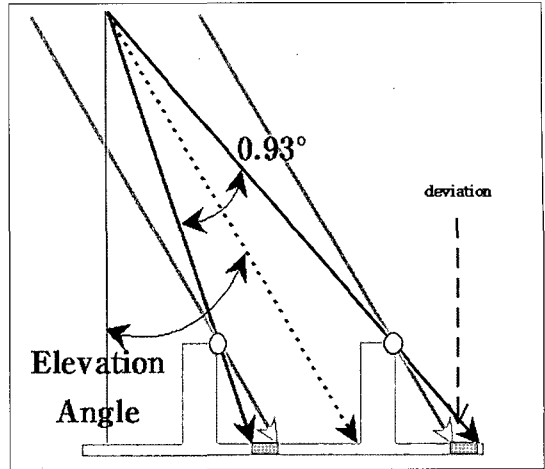


Fig. 3. The deviation between the perspective projection and parallel projection.

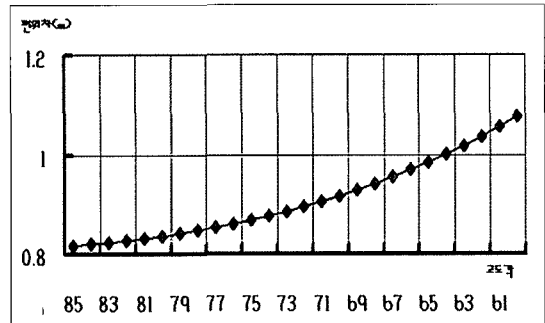


Fig. 4. Building height distortion according to the nominal elevation angle in the IKONOS image.

위성의 고도각($\theta_{elevation}$)이 75° 일 때 100m 높이 대상물에 대한 최대 편위량을 계산하면 26.7949m 이고, 이와 시야각이 0.93° 인 중심 투영 방식으로 취득했을 때 건물의 최대 편위량과의 차이를 계산하면 $\pm 0.8718m$ 이다. 이 값은 IKONOS 위성 영상의 해상도(1m) 보다 작음을 알 수 있다. IKONOS 위성 영상의 실제 촬영 고도각($60^\circ \sim 85^\circ$)을 고려하여 편위차를 계산하면 Fig. 4와 같다.

그래프에서 보면 고도각이 약 65° 일 때, 1m 정도의 오차를 가지며 1m 해상도의 IKONOS 영상을 고려할 때 무시할 수 있는 수준이다. 즉, 고도각이 65° 이상의 경우 100m 높이 건물에 대해서 평행투영 방식과 중심 투영 방식에 의한 영상이 가지는 기하적인 왜곡은 미터 이하로 나타난다 볼 수 있다. 이와 더불어 Fraser and Yamakawa(2004)은 RPC 모델과 별도로 IKONOS 영상의 일반 센서 모델링인 부등각 투영 모델(affine projection model)에서 평행 투영 가정을 전제하였으

며, RPC 모델과 비교를 수행하여 거의 동일한 수준의 정확도를 얻을 수 있었다고 하였다.

이상의 두 가지 가정을 전제함으로써 다음의 결론을 낼 수 있다. 즉, 영상내의 모든 대상물의 편위는 동일한 방향으로 나타나며 이것은 Z-buffer 알고리즘에 적용할 경우 정확한 위성의 위치 정보를 요구하지 않는다. 또한 편위량 변화가 일정하기 때문에 알고리즘에서 Z-Buffer 구성시 필요했던 중심 투영 변환 대신 경사 투영 변환을 적용할 수 있으며, 최종적으로 위성의 고도각과 방향각만을 이용하여 폐색 영역을 탐지할 수 있다. 거리 계산에 있어서도 앞서 중심 투영 방식에서는 카메라의 중심 위치에서 대상 공간까지의 거리를 이용하여 폐색을 탐지한 반면, 평행 투영 방식은 평균 해수면을 기준으로 대상 공간까지의 거리를 이용함으로써 영상에 나타나는 폐색 영역을 탐지할 수 있었다.

(2) 평행 투영 가정시의 Z-buffer 알고리즘의 기하적인 구조

Fig. 5는 평행 투영 가정시의 Z-buffer 알고리즘의 기하적인 구조이다. 중심 투영에서와 기본적인 구조는 비슷하며, 차이점은 DSM이 Z-Buffer상으로 투영될 때 중심 투영 변환 대신 경사 투영 변환이 수행되며, 거리값 계산은 카메라의 중심위치까지가 아닌 평균 해수면까지의 거리를 이용하였다.

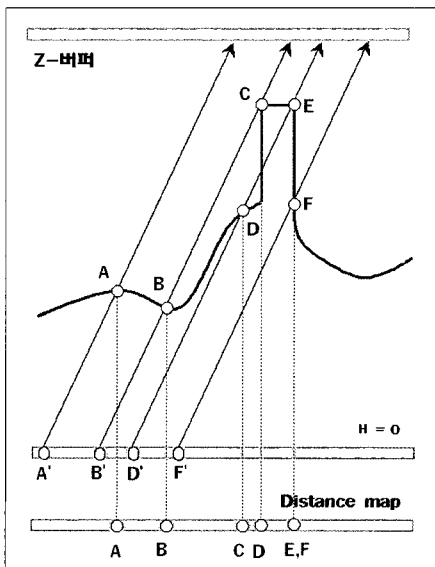


Fig. 5. Z-buffer algorithm for the parallel projection.

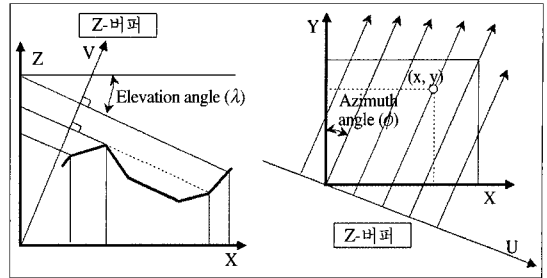


Fig. 6. Parallel projection for elevation angle and azimuth angle.

즉, Fig. 5에서 지점 A, F의 경우는 폐색이 아니며, 경사 투영 변환시에 Z-buffer 상에 하나의 좌표를 가진다. 하지만, 지점 B와 D의 경우는 폐색 영역이며 변환시 폐색이 아닌 지점 C, E와 Z-buffer 상에서 동일한 좌표(동일 시준선상에 위치)를 가지게 된다. 따라서, 앞서 계산된 DSM으로부터 평균 해수면까지의 거리 B'B, B'C 및 D'D, D'E를 비교하여 가장 큰 값을 제외한 지점을 폐색 영역으로 결정할 수 있었으며, 탐지된 영역에 빈값(null)을 부여하여 결과를 나타낼 수 있었다.

경사 투영 변환 좌표는 다음의 식으로 구할 수 있었다.

$$u = x \sin(90 - \phi) - y \cos(90 - \phi) \tag{2}$$

$$v = z \cos \lambda + x \cos(90 - \phi) \sin \lambda + y \sin(90 - \phi) \sin \lambda \tag{3}$$

여기서, ϕ : 위성의 방향각(Azimuth angle)

λ : 위성의 고도각(Elevation angle)

u, v : 투영 평면상의 좌표

x, y, z : 지형점

3. 실험

1) 사용 데이터

(1) DSM 데이터

대전 지역의 LiDAR 데이터를 이용하여 1m 격자를 가지는 DSM을 생성하였으며, 보간은 ArcGIS 9.0 3D Analyst 모듈의 IDW(Inverse Distance Weight) 기법을 적용하였다.

(2) IKONOS 영상

IKONOS 영상은 대전 지역의 입체 영상으로 1m panchromatic 영상이며, 1분 간격으로 좌, 우 영상이 취득되었고, 두 영상 모두 reverse mode로 획득되었

Table 1. The specification of the IKONOS Daejeon right image.

Characteristics	IKONOS (left)
Nominal collection azimuth(deg)	46.0332
Nominal collection elevation(deg)	66.50039
Sun angle azimuth(deg)	163.8771
Sun angle elevation(deg)	32.75480

Table 2. The specification of the IKONOS Daejeon left image.

Characteristics	IKONOS (right)
Nominal collection azimuth(deg)	151.8080
Nominal collection elevation(deg)	69.55422
Sun angle azimuth(deg)	164.1390
Sun angle elevation(deg)	32.80824

다. 헤더정보 내에 RPC 계수와 메타데이터를 포함하며 LiDAR 데이터와의 취득 시기 차이로 인하여 지형지물이 변화된 영역이 존재하였다.

2) IKONOS 정사 영상 생성

Matlab 7.0을 이용하여 정사 보정 프로그램을 제작하였으며, RPC 계수는 업체에서 제공된 정보를 이용하였다. 이때 제공된 계수가 가지는 위성의 기계적 오차로 인해 생성된 정사 영상에는 화소값의 편위가 발생하였으며, affine 변환을 통해 오차를 줄일 수 있었다(Tao and Hu, 2001).

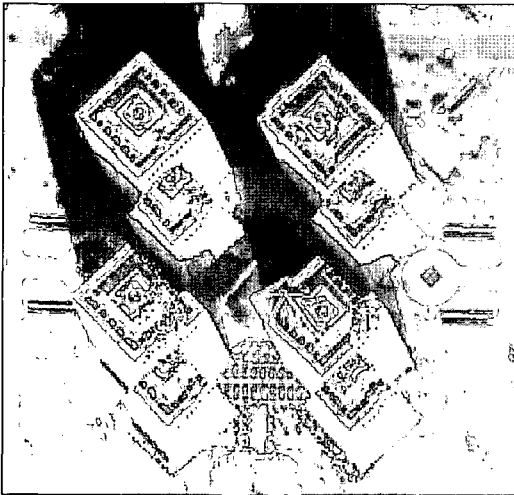


Fig. 7. Orthorectified image (left) before the geometric adjustment.

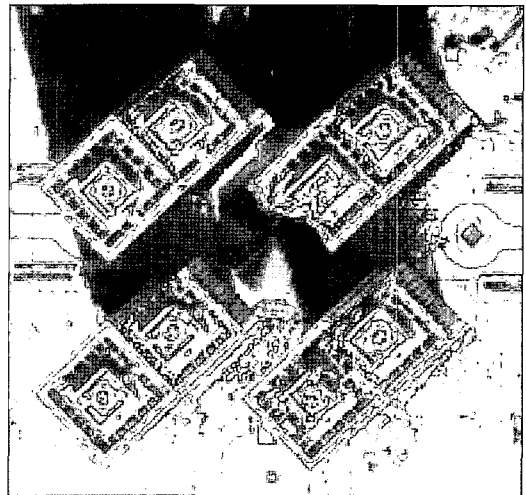


Fig. 8. Orthorectified image (right) before the geometric adjustment.

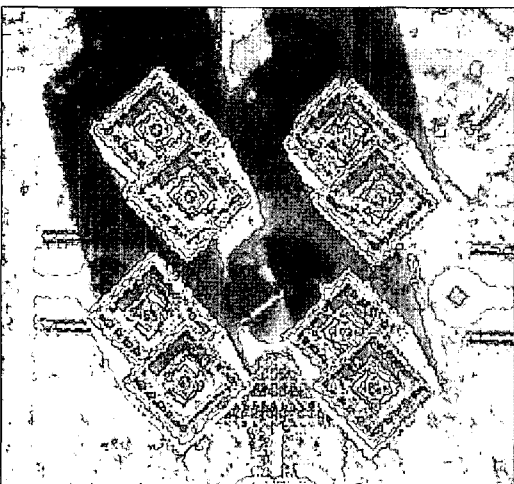


Fig. 9. Orthorectified image (left) after the geometric adjustment.

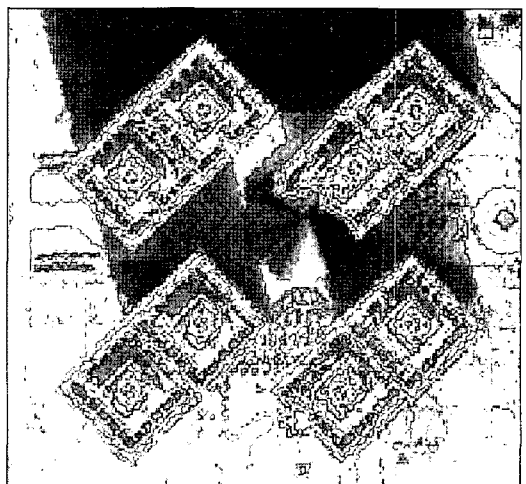


Fig. 10. Orthorectified image (right) after the geometric adjustment.

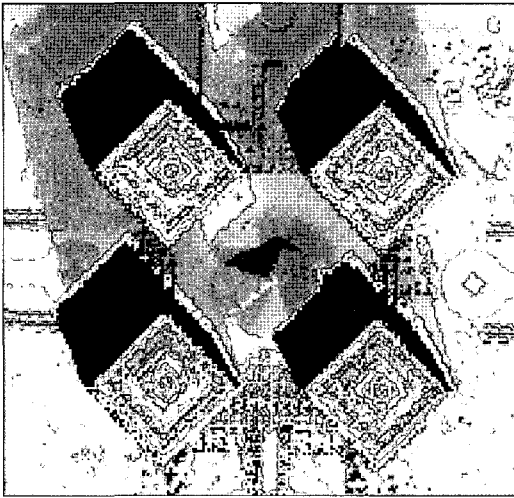


Fig. 11. Occlusion of the left image.

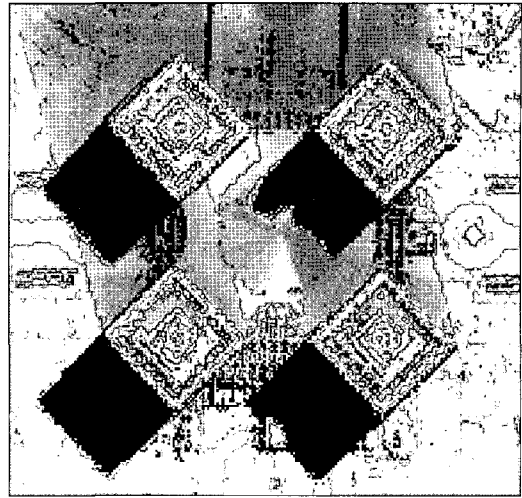


Fig. 12. Occlusion of the right image.

3) 폐색 영역 처리

(1) 폐색 영역 탐지

3.2절의 결과에서 보듯이 생성된 정사 영상의 폐색 영역에 이중 도화(double mapping)가 발생하였으며, 이를 제거하기 위해 2절에서 설명한 알고리즘을 적용하여 폐색 영역을 탐지 하였으며, 탐지된 영역에 빈값을 부여하여 결과를 나타내었다.

(2) 폐색 영역의 영상 복원

좌우 영상에 대해 동일한 DSM을 이용하여 각각 정사 보정을 수행하였으며, 우측 영상을 주 영상으로 하여 래스터 대수 연산을 통해 폐색 영역의 영상 복원을 수행하였다.

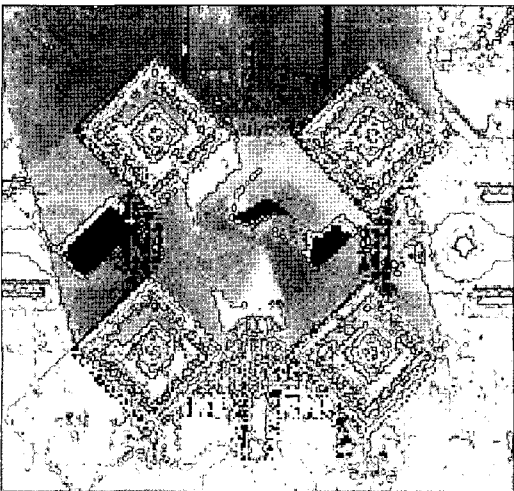


Figure 13. Restored image from the occlusion.

4. 평가

적용된 폐색 탐지 알고리즘의 적합성을 평가 하기 위해 우선 DSM의 위치 정확도 및 RPC 계수 오차에 의한 정사 영상 편위량을 평가 하였으며, 이를 토대로 최종 폐색 탐지 결과를 분석하였다.

1) LiDAR DSM의 위치 정확도

Trimble GPS를 이용하여 관측된 5개의 지상 기준점을 통해 DSM의 수평 위치 오차를 계산하였다. X방향의 오차($dX = XD_{SM} - XG_{GPS}$), Y방향의 오차($dY = YD_{SM} - YG_{GPS}$)를 계산한 후 전체 수평 위치 오차(S)를 계산하였으며 약 1m정도의 정확도를 보였다. 이론적인 LiDAR 데이터의 수평 위치 정확도가 60cm임을 감안할 때 다소 높은 위치 오차를 보이는데, 이것은 생성된 DSM이 1m의 낮은 공간해상도로 제작된 결과로 보여진다.

Table 3. Geometric error of the DSM (m).

	dX	dY	S
1	-0.907	-1.602	1.841
2	1.006	0.704	1.228
3	0.458	-1.282	1.362
4	0.119	0.714	0.724
5	0.449	-0.008	0.449
계	0.225	-0.295	1.121

Table 4. Accuracy of RPC model.

	왼쪽 영상			오른쪽 영상		
	dX (m)	dY (m)	S (m)	dX (m)	dY (m)	S (m)
1	-23.69	7.45	24.83	1.71	8.40	8.57
2	-20.21	8.59	21.96	5.41	8.49	10.07
3	-22.03	7.97	23.43	3.53	7.50	8.29
4	-23.95	8.51	25.41	2.03	8.28	8.53
5	-24.83	10.38	26.92	5.27	10.60	11.84
6	-21.89	10.78	24.40	6.20	10.18	11.92
7	-21.54	7.07	22.67	2.03	8.76	9.01
8	-21.89	8.45	23.46	3.74	8.49	9.28
9	-21.17	8.67	22.88	3.82	8.82	9.62
10	-20.59	10.00	22.89	5.60	8.13	9.87
	-22.18 ± 1.52	8.79 ± 1.23	23.86 ± 1.50	3.93 ± 1.64	8.76 ± 0.94	9.61 ± 1.29

Table 5. Accuracy of RPC and an affine model.

	왼쪽 영상			오른쪽 영상		
	dX (m)	dY (m)	S (m)	dX (m)	dY (m)	S (m)
1	-1.64	-1.80	2.44	-0.50	0.44	0.64
2	0.70	-0.17	0.72	2.07	0.24	2.09
3	0.07	-1.37	1.37	0.09	0.58	0.59
4	-1.17	-1.10	1.61	-1.01	1.28	1.63
5	-1.79	0.67	1.91	2.74	3.47	4.42
6	-2.28	2.82	3.63	2.78	-2.51	3.74
7	-5.79	0.78	5.84	2.13	-3.89	4.44
8	0.38	-1.07	1.13	-2.04	2.77	3.44
9	-1.32	0.36	1.37	1.32	0.51	1.42
10	-1.66	2.33	2.86	2.03	-3.71	4.23
	-1.45 ± 1.83	0.14 ± 1.56	2.29 ± 1.52	1.46 ± 1.70	-0.18 ± 2.52	2.67 ± 1.56

2) RPC 계수 오차에 의한 정사 영상의 편위 제거

제공된 원 RPC 계수의 위치 정확도를 평가하기 위해 DSM으로부터 10개의 기준점을 선택하였다. 원 RPC 모델을 이용하여 생성된 정사 영상에서 위 기준점의 위치 정확도는 약 24m, 10m로 나타났으며, affine 변환이 적용된 정사 영상의 정확도는 각각 2.3m, 2.7m 였다.

3) 폐색 탐지 결과 분석

Fig. 11과 Fig. 12에서 보듯이 좌측 영상은 건물의 경계부분에 해당하는 잔류 영상이 온전히 제거되지 못했으며, 탐지된 폐색 영역의 경계보다 최고 4 화소 정도 적게 검지되는 결과를 나타냈다. 오차 원인을 유추해보면 우선 DSM의 정확도와 평행 투영 가정에 적용된 폐색 탐지알고리즘의 특성, RPC 계수의 정확도 및

RPC 모델 조정 과정 등으로 들 수 있다. 한편 우측 영상은 비교적 정확한 폐색 탐지 결과를 보여주었다. 좌측 영상과 동일한 DSM을 사용하여 폐색을 탐지하였음에도 불구하고 더 나은 결과를 보였는데 이것은 폐색 탐지 결과에 DSM이 미치는 영향이 적다 볼 수 있었다. 두 번째, 알고리즘의 자체적인 문제가 될 수 있으며, 가장 큰 원인으로 위성의 취득 방식에 대한 가정(평행 투영, 자세 일정)으로 들 수 있었다. 하지만 평행 투영 가정에 있어서 문제시되는 중심 투영과의 편위차는 위성의 고도 각이 클수록 적게 나타나는데 Fig. 11과 Fig. 12의 영상은 상반된 결과를 보였다. 즉, 좌, 우측 영상의 고도각은 각각 69.55°, 66.50°로써 우측 영상에서 평행 투영 가정에 의한 오차가 더 크게 발생해야 하지만 영상에선 상반된 결과를 나타냈으며, 결국 이러한 가정이 미치는 영

향 또한 적음을 알 수 있었다. 따라서 폐색 탐지 결과에 있어서 원 RPC 계수의 부정확으로 인한 영향이 가장 크다고 볼 수 있었다.

5. 결론

본 연구에서는 IKONOS 위성 영상 취득시의 기하적인 특성을 고려한 2가지 가정을 통해 위성의 물리적인 부가 정보 없이 영상과 함께 제공되는 헤더 정보 내의 방향각과 고도각만을 이용함으로써 영상에 나타나는 폐색 영역을 탐지하였다. 특히 실험에 적용된 대전 청사 건물과 같이 높은 지상 대상물의 경우에도 알고리즘이 가지는 평행 투영 가정의 영향이 크게 작용하지 않았음을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서 사용된 폐색 탐지 알고리즘을 IKONOS 영상의 폐색 탐지에 효과적으로 활용할 수 있을 것으로 예상하며, 중복 영상을 활용하여 탐지된 폐색 영역의 영상 복원을 수행함으로써 IKONOS 위성 영상을 이용한 실질적인 정사 영상의 제작이 가능할 것으로 기대한다.

한편 기복면위 및 폐색탐지에 사용된 LiDAR DSM은 지역적으로 높이변화가 심하여 정사영상에서 부자연스러운 화소들, 많은 빈값으로 나타나고 있다. adaptive median 필터와 같은 노이즈 제거 필터가 적용된 평탄한 LiDAR DSM을 사용하면 자연스러운 정사영상을 생성할 수 있다. 그리고 정사영상 생성에서 고려되는 주영상지역과 복원영상지역의 화소값 차이, 그림자 지역의 어두운 화소 문제도 지역적 히스토그램 매칭, 영상강조 기법을 이용하여 제거될 필요가 있다.

참고문헌

- 권오형, 2000. 수치 정사 투영 영상 제작을 위한 폐색 영역의 탐지와 복원, 서울대학교 대학원 석사 학위논문.
- 김상우, 안충현, 이재원, 허 민, 2002. 공간정보 공학, 대한측량협회.
- 유환희, 송영선, 성재열, 1999. 대축척 정사 투영 영상 생성을 위한 건물폐색보정, 대한토목학회논문집, 19(Ⅲ-2): 305-312.
- 이재빈, 2002. 고해상도 위성영상의 RPC 모델을 이용한 3차원 지형자료 추출에 관한 연구, 서울대학교 대학원 석사 학위논문.
- Amhar, F., J. Josef, and C. Ries, 1998. The generation of true orthophotos using a 3D building model in conjunction with a conventional DTM, *Int. Archives. Photogram. Remote Sensing, GIS-Between Vision and Applications, Stuttgart*, 32(4): 16-22.
- Büyüksalih, G. and K. Jacobsen, 2005. Optimized geometric handling of high resolution space images, *ASPRS annual Conference, Baltimore, Maryland, March*, 7-11.
- Fraser, C. S. and T. Yamakawa, 2004. Insights into the affine model for high-resolution satellite sensor orientation, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 58(5-6): 275-288.
- Gupta, R. and R. I. Hartley, 1997. Linear pushbroom cameras, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 19(9): 963-975.
- Rau, J. Y., N. Y. Chen, and L. C. Chen, 2002. True orthophoto generation of built-up areas using multi-view images, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68(6): 581-588.
- Sheng, Y., P. Gong, and G.S. Biging, 2003. True orthoimage production for forested areas from large-scale aerial photographs, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69(3): 259-266.
- Tao, C. V. and Y. Hu, 2001. A comprehensive study of the rational function model for photogrammetric processing, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 67(12): 1347-1357.
- Valadan, M. J. and S. Sadeghian, 2003. Rigorous and non-rigorous photogrammetric processing of IKONOS geo image, *Joint Workshop of ISPRS, High Resolution Mapping from space*, 6-8 Oct., Hannover, Germany.
- Wolf, P. R. and B. A. Dewitt, 2000. *Elements of Photogrammetry, Third Edition*, McGraw-Hill, USA.