

수치정사투영영상 제작을 위한 폐색영역의 탐지와 복원 Detecting and Restoring Occlusion Area for Generating Digital Orthoimage

권오형* · 김형태** · 김용일***

Oh-Hyung Kwon · Hyung-Tae Kim · Yong-Il Kim

要 旨

레이저 프로파일링 시스템의 등장으로, 기존에는 얻을 수 없었던 도시 지역에 대한 DTM이 취득 가능해졌고, 더욱 정확한 정사투영영상 또한 제작할 수 있게 되었다. 하지만, 높이변화를 보이는 자연지물과 인공구조물이 있는 지역에 대해 기존의 정사투영사진 제작기법이 적용될 때, 폐색이나 이중매핑과 같은 문제가 발생하여 정사투영영상의 품질을 저해하는 주요한 원인이 된다. 따라서, 본 연구에서는 카메라의 외부표정요소와 DTM을 이용하여 폐색영역을 탐지하고, 폐색이 안된 다른 영상의 정보를 통해 폐색영역을 복원하여 더욱 완전한 정사투영영상을 제작할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘에 의해 자연지물이나 인공구조물에 의한 폐색영역을 탐지할 수 있었고 폐색영역의 많은 부분을 부가영상을 이용하여 복원하였다. 건물에 대한 사전지식을 이용하여 폐색영역을 탐지하는 국내 연구가 있지만, 본 연구는 건물에 대한 부가정보나 모델링을 사용하지 않고 DTM과 카메라 외부표정요소만을 이용하여 폐색영역을 탐지한다는 점에서 이러한 연구들과 차별성을 가진다.

ABSTRACT

With the emergence of laser mapping systems, higher resolution DTM of urban area can be acquired and can be used to generate precise orthoimage. But, when the conventional orthoimage generation methods are applied to the area containing features with height difference such as cliffs, bridges, banks, elevated highways and buildings, they cause problems such as occlusion and double mapping. Therefore, this study proposes a new algorithm by modifying and refining conventional orthoimage generation methods. With this algorithm, areas which have occlusion are detected from the base image using camera orientation parameters and DTM. Also, detected areas are restored using alternative images which does not have occlusion in that area. This study can be distinguished from the other studies in the aspects that the proposed algorithm in this paper doesn't need information on building and that uses DTM data and orientation parameters.

1. 서 론

1.1. 연구 배경 및 목적

정사투영사진은 지도가 가지고 있는 기하학적 특성과 사진이 가지고 있는 이미지적 특성을 동시에 가지고 있기 때문에 거리, 각, 그리고 면적 등을 직접 측정할 수 있을 뿐만 아니라 기존 지도보다 가독성이 높으며 세세한 정보를 담고 있다는 장점이 있다(이병길, 1991). 과거에는 정사투영사진이 사진의 형태로 만들어졌지만, 오늘

날에 와서는 고성능 스캐너, 고해상도 위성의 출현으로 자동동취(Scanning) 한 항공사진과 고해상도의 위성영상을 이용할 수 있게 되었고, 컴퓨터 기술의 발전으로 빠른 시간에 대용량의 영상을 처리하는 것이 가능해짐으로써 정사투영사진이 매체에 저장가능한 영상의 형태로 제작되고 있다.

정밀한 DTM을 얻을 수 있는 방법의 부재로 현재까지의 정사투영영상은 주로 비도시 지역을 대상으로 만들어졌고, 낮은 해상도의 정사투영영상을 제작하는데 적용되어왔다. 또한, 도시지역의 정사투영영상을 제작할 때 건물에 대한 DTM의 부재로 인해 건물은 미분원위수정의 대상에서 제외되어 불완전한 정사투영영상이 제작되어

*서울대학교 지구환경시스템공학부

**서울대학교 지구환경시스템공학부 박사과정

***서울대학교 지구환경시스템공학부 부교수

왔다.

그러나, 근래에 와서는 레이저 프로파일링 시스템(Laser Profiling System)의 등장으로 도시지역에 대한 정밀한 DTM 획득이 가능해졌다. 따라서, 도시지역에 대한 고해상도 정사투영영상의 제작 가능성이 커졌고, 정사사진지도(Orthophotomap) 제작, 수리지도의 갱신과 수정, 그리고 벡터지도의 배경 등의 목적으로 고해상도 정사투영영상에 대한 수요가 증가하고 있다.

그러나, 절벽이나 계곡과 같은 급격한 높이변화를 보이는 자연지물과 교량, 제방, 고가도로, 그리고 건물 등과 같은 인공구조물이 있는 지역에 대해 기존의 정사투영영상 제작기법이 적용될 때 폐색(Occlusion)이나 이중매핑(Double Mapping)과 같은 문제가 발생하게 된다. 특히 고층건물이 밀집되어 있는 도심지에서는 많은 부분에서 폐색이 발생하여 정사투영영상 제작이 더욱 어렵다. 현재의 상용소프트웨어들은 폐색이나 이중매핑을 제거할 수 있는 알고리즘을 채용하지 않고 있기 때문에 정사투영영상을 제작할 때 폐색과 이중매핑의 문제점이 발생하고, 이에 따라 폐색과 이중매핑을 제거하기 위한 부가적인 알고리즘이 요구되고 있다(그림 1, 2).

유복모와 유환희는 기존의 수치적 미분편위 수정방법에 의해 나타날 수 있는 문제점을 지적하였다(유복모 등, 1998, 유환희 등, 1999). 두 연구에서 기존의 수치적 미분편위 수정방법에 의해 폐색과 이중매핑의 문제가 발생한다는 것이 지적되었고(그림 3), 정사투영영상을 제작할 때 폐색을 탐지하고 보정할 수 있는 알고리즘이 제안되었다. 제안된 알고리즘은 기구측된 수치지도를 이용하여 정사투영영상을 제작할 수 있다는데 실용적 가치가 있으

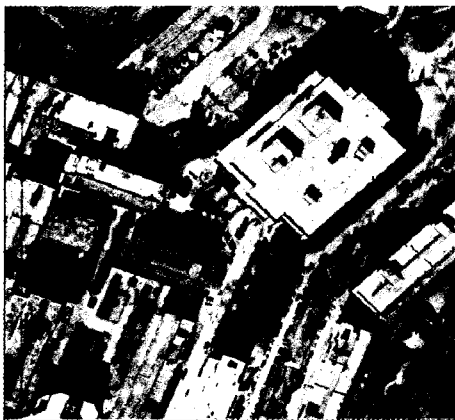


그림 1. ER-Mapper 6.0을 이용하여 제작한 정사투영영상

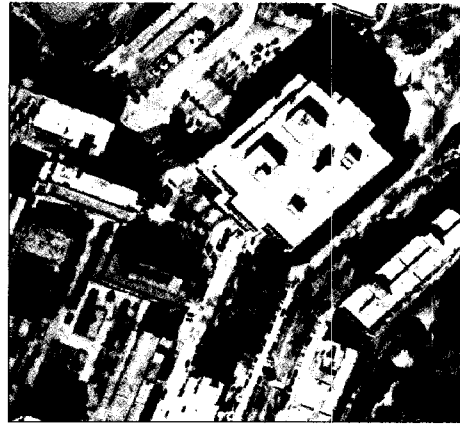


그림 2. ERDAS 8.3을 이용하여 제작한 정사투영영상

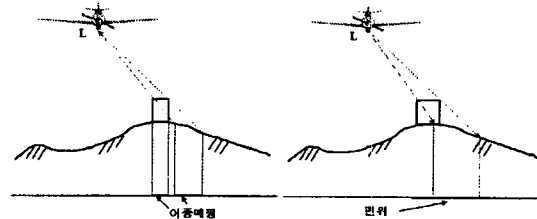


그림 3. 편위와 이중매핑이 발생하는 기하학적 모양

나, 기복편위가 발생하는 건물 반대쪽이 편평하지 않는 경우 폐색지역의 크기가 달라지는 것을 고려하지 못한다. 또, 이 알고리즘은 입력자료로 수치지도를 필요로 하기 때문에 항공사진에 촬영된 건물이 수치지도 상에 갱신되지 않았을 경우 해당 건물에 대해서는 폐색보정이 불가능하다. 아울러, 건물의 표고추출이 영상정합에 의존하기 때문에 건물에 대한 높이 정확도가 다소 낮다는 문제점을 가진다.

따라서 본 연구에서는 레이저 프로파일링 시스템에 의해 얻어질 수 있는 도시지역의 고해상도 DTM을 사용한다는 전제하에 정사투영영상을 제작하기 위해 폐색영역을 탐지하고, 다른 영상으로부터 얻을 수 있는 영상정보를 이용하여 폐색영역을 복원하는 방법을 제시하고자 한다.

1.2 연구방법 및 범위

본 연구에서는 고해상도 DTM과 카메라 외부표정요소를 이용하여 폐색지역을 탐지하고, 부가적인 영상을 통해 폐색영역을 보정하여 폐색영역을 최소화하는 알고리즘을 제안하였다. 연구는 두 부분으로 나누어지는데, 첫

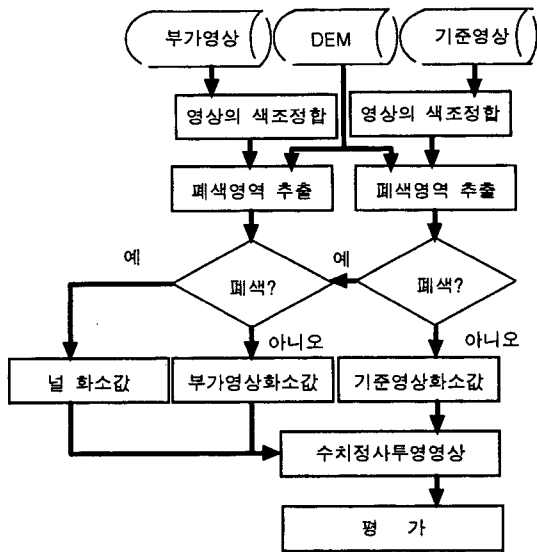


그림 4. 작업의 흐름도

째, 카메라 외부표정요소와 고해상도 DTM을 이용하여 인공구조물과 자연지물에 의해 나타나는 폐색영역을 탐지하고, 둘째, 탐지된 폐색영역에 대해 추가적인 영상으로부터 얻어진 정보를 이용해 폐색영역을 복원한다. 작업의 흐름도는 그림 4와 같다.

2. 폐색보정

2.1 폐색영역의 탐지

카메라의 외부표정요소와 DTM이 있다면 가시권 분석을 통해 각 출력화소의 폐색여부를 판단할 수 있고, 전체 출력영상에 대해 각 화소의 폐색여부를 판단하여 정사투영영상을 제작하게 된다. 그림 5와 6은 점 A와 G의 폐색여부를 판단하는 예를 보여준다. 그림 5는 A 점과 G 점의 폐색여부를 판단하기 위해 검색되어야 하는 탐색 방향이 나타나 있고, 그림 6은 선분 ALG에 대한 단면도를 나타낸다.

그림 5에서 L은 카메라의 수평위치이고 출력화소의 격자 간격과 DTM의 격자간격이 동일하다 가정한다. A와 G의 폐색여부를 판단할 때 탐색방향은 $A \rightarrow L$ 과 $G \rightarrow L$ 이다.

우선 A 점의 폐색여부를 알기 위해서는 $A \rightarrow L$ 방향으로의 화소 B, C, D, E, F에 대해 각도 $\alpha_B, \alpha_C, \alpha_D, \alpha_E, \alpha_F$ 를 계산한다. 그리고 대상화소 A에 대한 각도

출력화소 격자

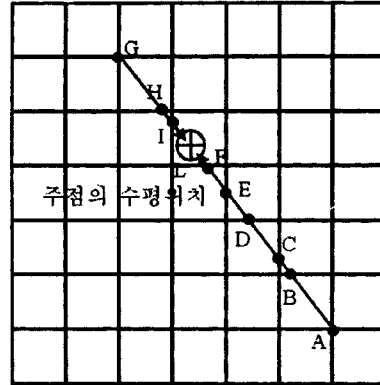


그림 5. 각 화소에 대한 폐색지역의 탐색방향

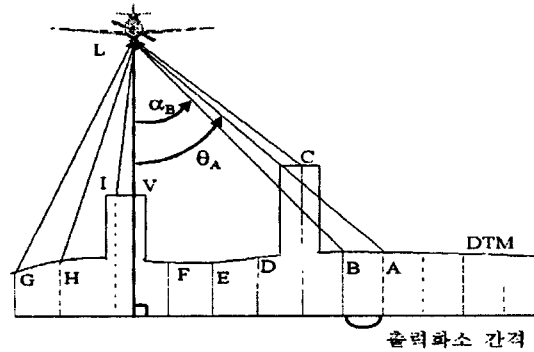


그림 6. 탐색방향에 대한 단면도

θ_A 와 비교하여 모든 각도가 θ_A 보다 작다면 A는 폐색이 아니다. 하지만 그림 6에서 $\theta_A < \alpha_C$ 이기 때문에 A는 폐색이다. G 화소에 대해서도 마찬가지로 α_H, α_I 와 θ_G 를 비교해보면 $\theta_G > \alpha_H, \alpha_I$ 이므로 G는 폐색이 아닌 것으로 판단할 수 있다.

2.2 폐색영역의 복원

2.1절에서 적용한 알고리즘에 의해 폐색된 지역에 대해서는 화소값을 배정하지 않으므로써 불완전한 형태의 정사투영영상이 제작된다. 이때 사용된 시점(Viewpoint)과 영상을 각각 기준시점과 기준영상(Base Photo)이라 한다. 하지만, 사진촬영은 상당량의 중복을 가지며 이루어지기 때문에 동일 촬영경로 내에서 혹은, 인접한 촬영경로 내에서 폐색지역이 촬영되는 시점이 생길 수 있다. 즉 기준시점에서 보이지 않는 지점이 다른 시점에서 보일 수 있고, 기준시점에서 폐색되는 지역을 다른 시점에서 촬영된 사진을 이용하여 보정할 수 있다. 폐색의 보

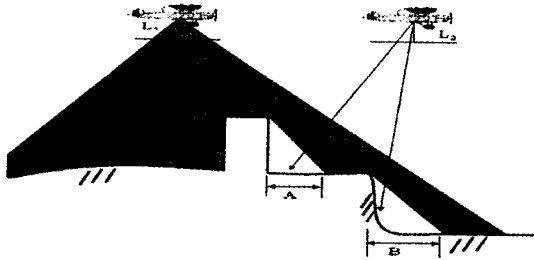


그림 7. L1에서 발생한 폐색과 폐색복원이 가능한 시점 L2

정에 사용되는 영상을 부가영상이라 한다.

그림 7에서 보듯이 기준시점 L_1 에서는 건물과 절벽으로 인해 A와 B의 폐색영역이 발생하지만 다음 촬영시점 L_2 에서는 A와 B가 촬영된다. 따라서 기준영상 외에 부가영상에 대한 폐색여부를 판단하여 폐색을 최소화한 정사투영영상을 제작할 수 있다. 본 연구에서는 같은 시간에 촬영된 입체항공사진쌍(Stereo-pair)을 이용하여 폐색보정을 실시하였다. 하지만, 적절한 색조정합을 통해 다른 시간에 얻어진 사진 혹은 고해상도 위성영상을 이용하여 본 연구에서 제안한 폐색보정 알고리즘을 적용할 수 있을 것으로 생각된다.

3. 정사투영 영상제작

3.1 사용 데이터

연구 대상지는 서울대학교 자연대학 지역과 중앙도서관 인근지역으로, 적당한 높이의 건물과 인공지물이 산재해 있으므로 상당한 양의 폐색이 발생하여, 도시지역의 특성을 비교적 잘 반영하고 있다. 도심지의 경우 고층건물이 많기 때문에 연구 대상지보다 더 넓은 폐색영역이 발생할 것으로 예상되지만, 촬영중복도를 높이거나 이단촬영, 고해상도 위성영상을 이용하면 본 연구에서 제시된 알고리즘을 효과적으로 적용할 수 있을 것으로 생각된다.

3.1.1 DTM 데이터

정사투영영상 제작에 가장 큰 영향을 미치는 DTM은 수치사진측량에 의한 방법과 레이저 프로파일러에 의해 얻어질 수 있다. 하지만, 수치사진측량에 의해 얻어진 DTM은 영상정합의 정확도가 상당히 떨어져 건물의 경계가 정확치 않았을 뿐 아니라(차영수, 1999, 행정자치부, 1999), 동일 건물 내의 높이가 다르게 나타나는 등 정밀 정사투영영상을 제작할 만큼 충분하지 않다.

따라서 정밀 정사투영영상을 제작하기 위해서는 거리 정확도가 5 cm 정도라고 알려진 레이저 프로파일링 시스템에 의한 DTM이 필요하지만 국내에서는 아직 이러한 자료의 활용이 어려운 실정이다.

따라서, 본 논문에서는 레이저 프로파일링 시스템에 의한 정밀 DTM이 이용 가능하다는 가정 하에, 1:1,000 수치지도를 이용해 등고선 DTM을 얻은 후, 건물에 대한 DTM을 따로 제작하고 건물 경계선 안의 높이값을 해석도화기에 의해 얻어진 건물에 대한 높이값으로 대체하는 방식을 통해 시뮬레이션(Simulation)하였다. DTM의 해상력은 10 cm로 DTM의 크기는 3287×3274 화소이다.

3.1.2 항공사진

사용된 영상은 초점거리 152.592 mm 인 Zeiss RMK 카메라에 의해 촬영된 23 cm×23 cm의 1:5,000 항공사진을 17.5 μ m로 자동독취한 자료로 지상해상력 8.75 cm에 해당한다. 두 영상은 같은 비행경로 상의 사진임에도 불구하고 전체적인 밝기값에서 많은 차이를 보였다. 따라서, 히스토그램 매칭을 통해 두 영상의 밝기값을 비슷하게 만든 후 대상지역을 절취하였다. 절취한 영상은 그림 8와 9와 같다.

3.2 폐색영역탐지 및 복원

항공사진에서 폐색은 렌즈중심의 수직 아래에서 방사방향으로 멀어질수록 많이 발생한다. 따라서, 전체사진의 왼쪽부분에서 절취한 그림 9가 전체사진의 중앙부분을 절취한 그림 8 보다 폐색영역이 많이 발생한다. 본 연구에서는 알고리즘의 유효성을 실험하기 위해 비교적 폐색

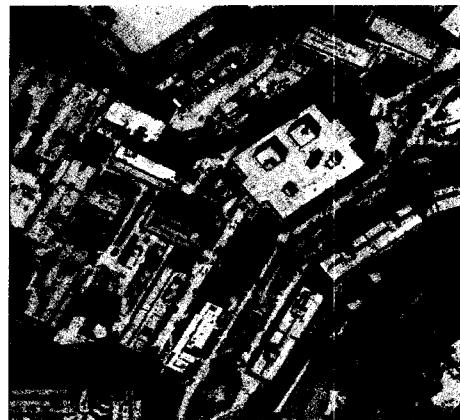


그림 8. 대상지의 좌측 절취영상

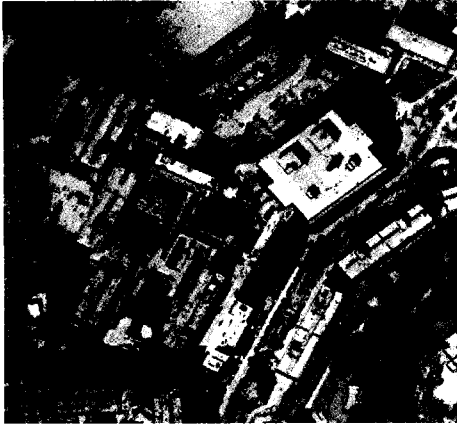


그림 9. 대상지의 우측 절취영상

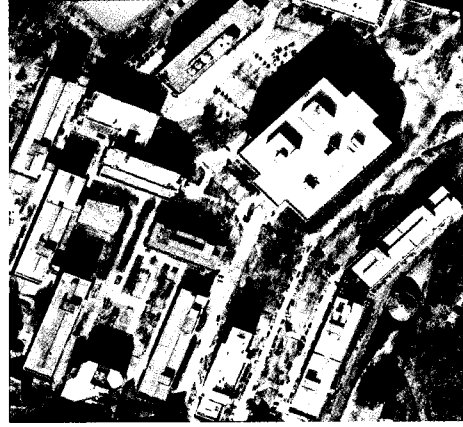


그림 12. 폐색영역의 탐지 및 복원 후의 영상

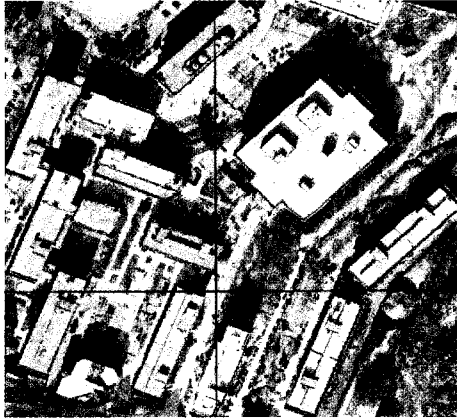


그림 10. 부가영상의 정사투영영상



그림 11. 기준영상의 정사투영영상

이 많이 발생할 그림 9를 기준영상으로 하고, 그림 8을 부가영상으로 하였다. 각각의 영상에 대해 폐색영역을 탐

지하고 정사투영영상을 제작해 본 결과는 그림 10, 11과 같다. 두 영상 모두 폐색영역을 보정하지 않은 영상이고, 전체 프로그램 상에서는 제작되지 않는 영상이지만, 폐색탐지 여부를 확인하기 위해 출력해 보았다.

그림 10에서 두 실선의 교차점은 주점의 수평위치를 나타내고 있으며 그림 11에서 주점은 사진의 오른쪽 외부(검은 이중 화살표 방향)에 위치한다. 그림에서 검게 나타난 부분은 폐색된 지역으로 화소값을 갖지 않는데, 주점을 중심으로 방사방향으로 나타남을 확인할 수 있다. 폐색영역의 가장자리에 건물의 잔류화소가 밝게 남아 있는 것을 확인할 수 있다. 예상한 것과 같이 기준영상은 전체사진의 좌측부분을 포함하고 있기 때문에 비교적 큰 폐색영역이 나타나는데 비해 부가 영상은 전체 사진에서 가운데 부분이기 때문에 폐색이 비교적 적게 나타나고 기준영상을 보정할 수 있는 정보를 많이 갖고 있다. 따라서, 제안된 알고리즘에 따라 기준영상의 폐색 지역을 복원하면 그림 12와 같다.

3.3 수지 정사투영영상의 평가

국내에서는 정사투영영상의 품질을 평가할 수 있는 명확한 기준이 아직 마련되지 않았고 미국에서는 정사투영영상을 평가하기 위해 일반적으로 지도의 검수에 사용되는 포인트샘플링(Point Sampling)에 의한 수평 위치 정확도 평가방법과 시각적 정확도 평가방법을 사용한다(USGS, 1992). 따라서, 본 연구에서는 포인트 샘플링에 의해 수평위치 정확도를 평가하였고, 향상된 부분과 문제점으로 드러난 부분을 시각적으로 평가하였다.

3.3.1 수평위치 정확도

제작된 정사투영영상은 DTM과 같은 수평위치를 갖고 있기 때문에 하나의 등록점(Registration Point)과 화소의 크기만을 이용해 좌표등록(Geo-coding) 하였다. 좌표등록에는 ER-Mapper 6.0이 사용되었다. 좌표등록을 마친 정사투영영상에서 식별 가능한 81개의 특징점의 좌표를 읽은 후 1:1,000 수치지도에서 동일점의 좌표를 읽은 후 두 좌표를 비교해 보았다. 81개의 좌표에 대해 평균위치 오차는 22.45 cm로 약 2-3화소 가량이고 최대오차는 1.1127 m 이다.

3.3.2 시각적 평가

영상전반에 걸쳐 건물에 가려져 보이지 않던 많은 부분들이 폐색보정에 의해 복원되었고 히스토그램 매칭을 통해 전반적으로 양호하게 색조정합이 이루어졌음을 확인할 수 있었다. 전체 정사투영영상 중 특징적인 4개의 절취영상(Sub-image)에 나타난 문제점을 시각적으로 평가해보았다. 그림 13~15까지의 좌측영상은 기준영상의 한 부분을 나타내고 우측영상은 폐색 보정 후 정사투영영상의 동일지역을 나타낸다.

그림 13은 21동 약학관 뒤쪽으로 사람들 옆으로 건물에 가려져 보이지 않던 지역이 복원되어 자동차들이 보이고 있다. 잔류화소(그림 15)가 발생하지 않았고, 주위 지역과 복원된 지역의 색조가 비교적 잘 맞고 있는 것을

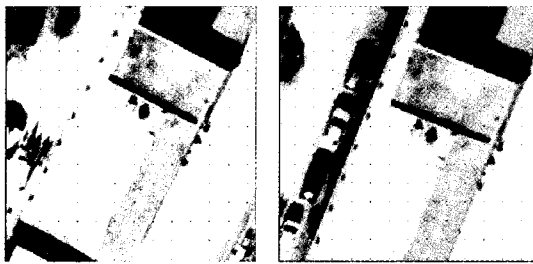


그림 13. 폐색보정이 잘된 영상



그림 14. 그림자의 편위가 발생한 영상

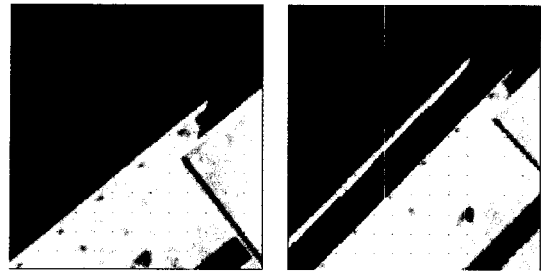


그림 15. 잔류화소가 발생한 영상

확인할 수 있다.

그림 14는 중앙도서관의 공대 쪽으로 향한 면이다. 중앙도서관 건물에 가려져 있던 나무 그림자가 복원되어 보인다. 약 두 화소 가량 그림자가 편위되어 나타나고 있고 복원된 부분과 기준 영상 간의 색조가 다소 이질적이다. 이러한 색조차이의 원인은 히스토그램 매칭을 이용한 색조정합이 두 영상의 전체적인 색조를 일치시키는 기법이기 때문이다. 폐색보정은 일종의 국지적인 사진 모자이크(Mosaicking)이기 때문에 전체적인 색조정합보다는 폐색보정지역을 중심으로 한 국지적인 색조정합기법이 사용되어야 함이 드러났다. 아울러, 편위를 제거하기 위해 국지적인 기하학적 보정도 함께 되어야 할 것으로 나타났다.

그림 15는 13동 앞쪽으로 약 5화소 가량의 건물 잔류화소가 발생하였다. 이러한 잔류화소는 항공사진의 자동독취오차, 지상기준점오차, 화면상에서 기준점의 좌표취득오차, 그리고 DTM 오차 등 정사투영영상을 제작할 때 발생하는 오차에 의해 발생한다. 자연지물에 대한 이러한 수평위치오차는 시각적으로 별로 문제되지 않지만, 밝은 인공 구조물의 잔류화소가 어두운 지물에 놓일 경우 높은 대비로 인해 잔류화소가 선명하게 드러나고 정사투영영상의 질을 저하시키는 가장 큰 요인이 된다. 본 연구에서는 렌즈왜곡에 대한 보정이 이루어지지 않았기 때문에 5-6화소 가량의 다소 큰 잔류화소가 발생하였지만, 카메라의 calibration 데이터를 알고리즘에 포함시킬 경우 잔류화소의 양을 감소시킬 수 있을 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 고해상도 DTM과 카메라의 외부표정요소를 이용하여 폐색영역을 탐지하고, 보조적인 영상을 통해 폐색영역을 복원하는 알고리즘을 제안하였다. 즉, 레

이저 프로파일링 시스템에 의한 고해상도 DTM의 이용이 가능하다면 건물을 모델링하고 기복변위량을 계산하는 추가적인 작업없이 폐색영역의 탐지가 가능하고 항공사진, 고해상도 위성영상을 이용해 폐색영역을 보정함으로써 더욱 완전한 정사투영영상을 제작할 수 있다는 점에 본 연구의 의의가 있다 하겠다.

본 연구를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

첫째, 시뮬레이션한 고해상도 DTM과 항공사진을 이용하여 제작된 정사투영영상은 22.45 cm의 RMSE를 보였다. 이는 우리 나라 국가 기본도 1:1,000에서 규정한 평면위치 오차 20 cm에 상응하는 정확도로 정밀한 DTM을 사용할 경우 본 알고리즘을 이용하여 1:1,000 정도의 정사투영영상을 제작할 수 있고, 제작된 정사투영영상이 1:1,000 수치지도와 중첩되어 사용되기에 충분하리라 예상된다.

둘째, 기준영상과 추가영상의 색조정합을 위해 히스토그램 매칭을 사용하였고 시각적으로 적은 색조차를 보였다. 하지만, 몇몇 지역에서는 다소 이질감이 나타나므로, 보다 완전한 색조정합을 위해서는 보정지역을 중심으로 한 색조정합기법이 연구되어야 할 것이다.

따라서 보다 완전한 정사투영영상을 제작하기 위해서는,

첫째, 정사투영영상을 제작하는데 유발되는 오차요인

을 공정별로 분석하여 정사투영영상에서 발생할 수 있는 잔류화소를 최소화하고 제거하는 연구,

둘째, 보정지역을 중심으로 한 국지적인 색조정합 알고리즘의 연구,

셋째, 항공사진과 위성영상 등 다양한 자료원으로부터 폐색영역을 복원하는 연구 등의 향후 연구가 계속되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 유복모, 이석균, 김의명, 민경훈, 1998, "항공사진을 이용한 정사투영영상생성 모듈 개발," 한국지형공간정보학회지, 제6권, 제2호, 12, pp. 45-58.
2. 유환희, 송영선, 성재열, 1999, "대축척 정사투영영상 생성을 위한 건물폐색보정," 대한토목학회논문집, 제19권, 제3-2호, 3, pp. 305-312.
3. 이병길, 1991, "인공위성 데이터를 이용한 정사투영사진 제작에 관한 연구," 서울대학교 대학원, 석사학위논문.
4. 차영수, 1999, "고해상도 DTM과 edge 정보를 이용한 건물추출에 관한 연구," 서울대학교 대학원, 석사학위논문.
5. 행정자치부, 1999, "수치정사사진 구축에 관한 연구".
6. U. S. Geological Survey National Mapping Division, 1992, "Standards for Digital Orthophotos".