

Bar 타겟을 이용한 DMC 영상의 공간해상력 검증 Verification of Spatial Resolution in DMC Imagery using Bar Target

이태윤¹⁾ · 이재원²⁾ · 윤부열³⁾
Lee, Tae Yun · Lee, Jae One · Yun, Bu Yeol

Abstract

Today, a digital airborne imaging sensor plays an important role in construction of the numerous National Spatial Data Infrastructure. However, an appropriate quality assessment procedure for the acquired digital images should be preceded to make them useful data with high precision and reliability. A lot of studies therefore have been conducted in attempt to assess quality of digital images at home and abroad. In this regard, many test fields have been already established and operated to calibrate digital photogrammetric airborne imaging systems in Europe and America. These test fields contain not only GCPs(Ground Control Points) to test geometric performance of a digital camera but also various types of targets to evaluate its spatial and radiometric resolution. The purpose of this paper is to present a method to verify the spatial resolution of the Intergraph DMC digital camera and its results based on an experimental field testing. In field test, a simple bar target to be easily identified in image is used to check the spatial resolution. Images, theoretically designed to 12cm GSD(Ground Sample Distance), were used to calculate the actual resolution for all sub-images and virtual images in flight direction as well as in cross flight direction. The results showed that the actual image resolution was about 0.6cm worse than theoretically expected resolution. In addition, the greatest difference of 1.5cm between them was found in the image of block edge.

Keywords : Digital Imaging Sensor, DMC, Spatial resolution, Ground Sample Distance

초 록

최근 디지털 항공영상 센서는 다양한 국가 공간정보기반구축에 큰 역할을 하고 있다. 하지만 고정밀의 신뢰성 있는 자료를 확보하기 위해서는 취득된 디지털영상에 대한 적절한 품질 평가 작업이 선행되어야 한다. 따라서 현재 관련분야의 연구가 국내외적으로 크게 주목을 받고 있다. 디지털카메라의 성능을 테스트하기 위한 영상해상력 검증용 테스트필드가 유럽과 미국 등에서 이미 설치 및 활용되고 있다. 이러한 테스트필드에는 카메라의 기하학적 성능분석을 위한 대공표지를 비롯하여 공간해상력 및 방사해상력 분석을 위한 다양한 형태의 타겟 역시 설치되어 있다. 본 연구에서는 DMC 카메라의 공간해상력을 검증하기 위하여 영상에서 인식 가능한 크기의 바 타겟(bar target)을 제작 설치 후 항공촬영을 수행하였다. 연구에 사용된 DMC 영상의 이론적인 지상표본거리(GSD ; Ground Sample Distance)는 12cm 급으로, 촬영 비행방향과 비행방향의 직각방향에 대하여 보조영상과 집성영상에 대하여 각각 실제 해상력을 분석하였다. 연구결과 이론적인 해상력과 영상의 실제 해상력간의 차이는 약 0.6cm로 나타났으며, 블록의 가장자리에 위치한 영상에서 최대 1.5cm 정도로 나타났다.

핵심어 : 디지털 영상센서, DMC, 공간해상력, 지상표본거리

1. 서 론

항공측카메라의 주요 품질평가 요소 중의 하나는 공간해

상력이다. 디지털 카메라의 경우, 제작 가능한 픽셀 크기의 제한으로 인하여 실제 획득 가능한 공간해상력에도 한계가 있다. 하지만, 실제로 다양한 요인에 의해 발생하는

1) 정희원 · 동아대학교 토목공학부 박사수료(E-mail: ldmching@hanmail.net)
2) 교신저자 · 정희원 · 동아대학교 토목공학부 교수(E-mail: leejo@dau.ac.kr)
3) 정희원 · 동아대학교 토목공학과 박사(E-mail: yby915@nate.com)

blur 현상과 노이즈로 인해 이론적인 해상력과 동일한 해상력을 얻기에는 어려움이 있다(Honkavaara, 2008).

DMC 카메라와 해상력 분석에 관한 연구 동향을 살펴 보면, Tang 등(2000)은 DMC 카메라의 기하학적 정확도를 분석하였으며, Heier (2001)는 DMC 카메라의 개발로 인한 항공디지털카메라의 작업흐름에 대한 고찰을 수행하였다. Honkavaara 등(2006)은 항공디지털카메라의 해상도를 분석하기 위해 DMC 카메라에 대한 MTF를 분석하였다. Honkavaara (2008)는 항공사진측량용으로 구축된 Test Field를 이용하여 디지털카메라에 대한 기하, 공간 및 방사 해상력 검정을 수행하였다.

국내에서는 이재원 등(2011)이 Siemens star 도형을 이용하여 항공카메라의 공간해상력 검증에 관한 연구를 수행하였으며, 이태운 등(2012)은 항공디지털카메라의 해상력 검증용 시트의 국내적용방안에 관한 연구를 수행하였다. 하지만 카메라 해상력 관련 분야의 국내 연구현황은 외국과 비교하여 아직도 매우 미흡한 실정이다.

이에 본 연구에서는 면형방식의 DMC 카메라로 촬영된 영상에 대한 공간해상력을 분석하기 위하여 이론적으로 계산된 GSD와 실제 촬영된 영상의 GSD를 측정하여 비교 분석하였다. 그림 1은 본 논문의 연구흐름도이다.

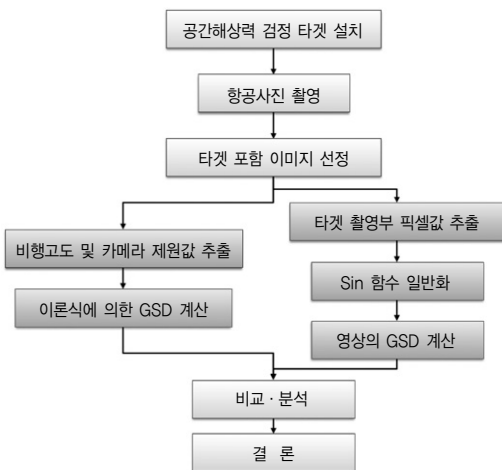


그림 1. 연구흐름도

먼저 공간해상력 검증을 위한 바 타겟(bar target)을 제작하여 연구지역에 설치 후 항공사진 촬영을 수행한다. 촬영된 영상들 중에서 타겟이 인식된 영상을 선별하여 비행고도 및 카메라 제원값을 이용하여 이론적인 GSD를 계산하고 영상에서 픽셀값을 추출하여 함수로 일반화하여 영상에서 결정된 GSD와 비교 분석 후 결론을 도출하였다.

2. DMC 디지털 카메라

DMC는 Intergraph Z/I-imaging 사에서 제작한 디지털 항공 카메라로 기존의 아날로그 카메라와 동일한 원리인 면형방식의 기법을 사용하고 있다. DMC 카메라에는 4개의 흑백 모듈(7k x 4k CCD)과 4개의 다중분광 모듈(3k x 2k CCD), 총 8개의 카메라 헤드가 장착되어 있으며, 센서의 픽셀크기는 12 μ m이다. 초점거리는 흑백 모듈이 120mm이며, 다중분광 모듈은 25mm이다. 컬러영상은 다중분광의 해상력을 높이기 위하여 네 개의 고해상도 흑백영상을 집성(mosaic)하여 Pan-sharpening 과정을 거쳐 제작하게 된다(Heier, 2001).

DMC 카메라의 기하학적 특성은 흑백영상이 촬영방향으로 8,000화소, 촬영과 직각방향으로 13,000화소로 구성된 점이다. 이는 4개의 개별 센서에 의하여 획득된 보조영상(sub-images)을 그림 2와 같이 기하학적으로 보정하여 한 장의 직사각형 영상으로 집성하게 된다(Madani 등, 2004). 이렇게 집성된 영상은 면형방식의 후처리 과정을 통하여 AT(Aerial Triangulation) 작업을 수행한다. 이 때, 각 보조영상에 대한 중심투영을 하나의 중심투영으로 변환하는 기하보정이 필요하며, 이는 보조영상에 대한 상대표정요소의 활용이 가능해야 하며 지상기준점과 접합점을 이용하여 수행한다(Doerstel 등, 2002).

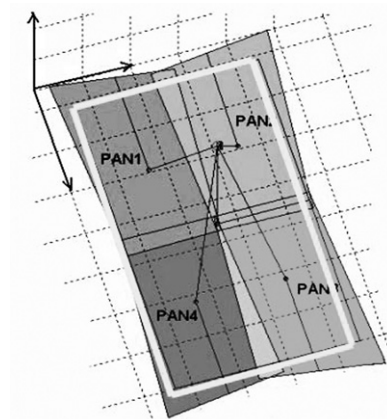


그림 2. 보조영상을 집성한 DMC의 Footprint

한편, 보조영상의 경사각은 비행방향(x-방향)으로는 10° 이고, 비행방향과 직각방향(y-방향)으로는 20° 이다. 그리고 12 μ m의 픽셀 크기는 84 lp/mm의 해상력을 의미한다. 하지만 실제로 경사영상으로 구성된 집성영상부에서는 해상력이 일정하지 않으며, 그림 3과 같이 영상의 해상도는 영상 중심에서 멀어질수록 저하된다(Honkavaara, 2006).

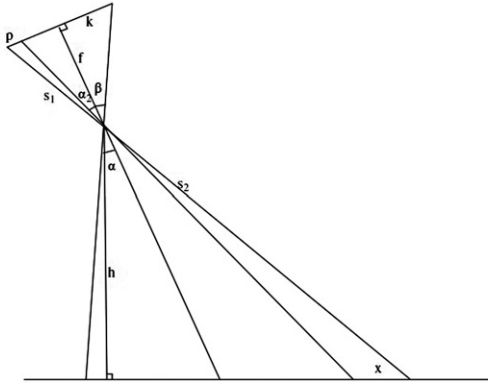


그림 3. 경사진 보조영상의 기하

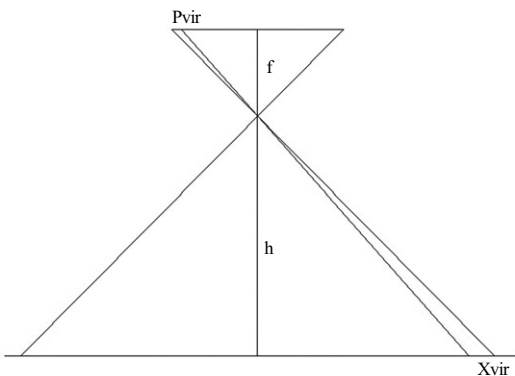


그림 4. 집성영상의 기하

그림 3에서 한 축에 대한 경사만을 가정했을 때, 영상의 가장자리에 해당하는 지상(x)의 대응되는 픽셀의 크기는 다음 식 (1)에 의해서 구해진다(Honkavaara, 2006).

$$x = \frac{h}{f} \frac{\cos \beta}{\cos(\alpha + \beta)} s_1 \frac{\sin(\beta - \alpha_2)}{\sin(90 - \alpha - \alpha_2)} \quad (1)$$

$$= h \{ \tan(\alpha + \beta) - \tan(\alpha + \alpha_2) \}$$

여기서, $\alpha_2 = \tan^{-1}(\frac{k-p}{f})$, $\beta = \tan^{-1}(\frac{k}{f})$ 이고

$s_1 = \frac{f}{\cos \beta}$ 이다. 또한, 위의 식에서 각 변수들은 다음과 같다.

α : 경사 각

h : 비행고도

p : 영상의 픽셀 크기

f : 초점 거리

k : 영상 옆면 거리/2

x : 지상에서 한 픽셀의 거리

식(1)을 참조로 하여 공간해상력을 고찰하여 보면 보조 영상의 GSD는 센서의 경사로 인하여 영상의 중심에서 멀어질수록 해상력이 확연히 낮아지며 동시에 비행방향과 비행방향의 직각방향에 대하여도 해상력의 차이가 발생한다. 하지만 그림 4와 같이 집성영상은 4개의 보조영상에 대한 중심투영이 하나의 중심투영으로 재배열되어 비행고도의 영향만을 받으며 모든 픽셀에 대하여 거의 동일한 해상력을 가지게 된다.

이에 다음에서는 실제 항공사진 촬영 시 현장에서 적용되는 카메라의 해상력을 파악하기 위하여 이론적으로 계산되어진 GSD와 촬영된 영상의 GSD를 비교 분석하였다.

3. 실험 및 분석방법

3.1 타겟 제작 및 테스트지역

본 연구에서는 부산광역시 사하구 하단동에 위치한 동아대학교 공대 4호관 옥상에 바 타겟을 설치하였다. 바 타겟은 미군용으로 사용되는 표준규격을 참조로 설계하여 제작하였다(Earl, 1998). 바 타겟은 그림 5와 같이 영상에서 인식 가능한 크기로 (1) 번부터 (6)번까지 총 6 단계의 크기로 신축이 적고 명암대비가 뚜렷한 방수천위에 일정한 간격의 흑백 선을 인쇄하였다. 각 단계별로 모두 세 쌍의 흑백선들이 상호 수직이 되도록 배치하여 비행방향(flight direction)과 비행방향의 직각방향(cross flight direction)에 대한 공간해상력 검증이 가능하도록 하였다. 그림 5에서

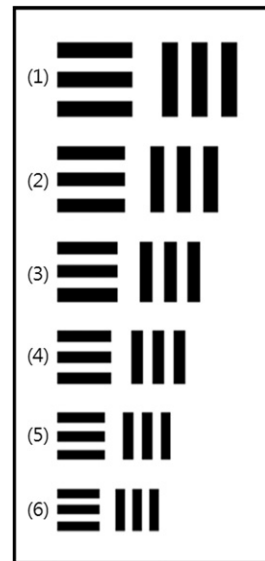


그림 5. 바 타겟 설계도면

가장 큰 1번 바의 크기는 $1m \times 0.2m$ 이며, 단계별로 $1/\sqrt{2}$ 배의 크기로 길이와 폭이 동시에 감소한다. 그림 6은 동아대학교에 설치된 바 타겟을 나타내고 있다.

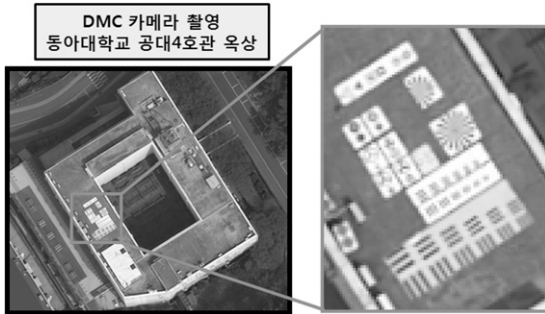


그림 6. 설치된 바 타겟

3.2 분석방법

분석방법은 바 타겟이 집성영상의 가장자리에 위치한 A코스의 영상과 중심부에 위치한 B코스의 영상에 대하여 보조영상과 집성영상의 GSD를 분석하였다. 그림 7은 A, B코스에 대한 영상을 나타내고 있다.

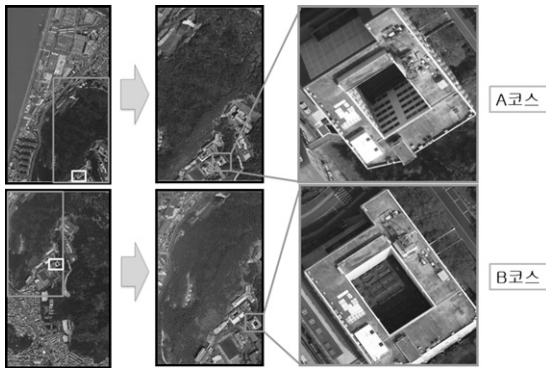


그림 7. A, B코스에 대한 영상

촬영된 영상의 공간 해상력 검증을 위하여 그림 8과 같이 1번과 2번 바에 대하여 각각 비행방향과 비행방향의 직각방향으로 구분하여 4가지 경우에 대한 픽셀값을 추출하여 분석을 수행하였다. 따라서 A코스와 B코스의 경우를 고려하면 총 8개의 바에 대한 해상력을 분석하였다.

그림 9는 공간 해상력 분석원리를 나타내고 있다. 그림 9의 (1)은 타겟의 실제 형상을 나타내고 있으며, (2)는 물체의 변조함수를 나타내고 있다. (3)은 타겟이 촬영된 영상의 변조함수로서 \sin 파형으로 나타난다(Wolf 등, 2000 ; Neuman, 2003).

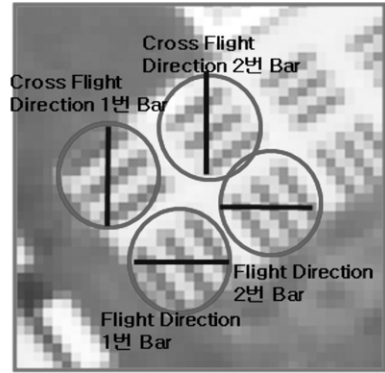


그림 8. 영상에서 추출된 픽셀값 위치

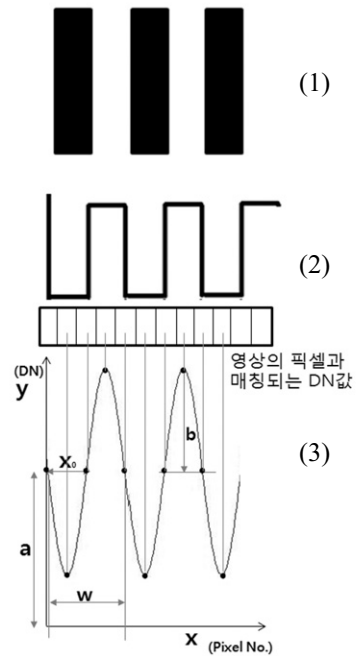


그림 9. 픽셀값 분석원리

영상의 변조전달함수는 원래 연속된 픽셀에서 해당 픽셀의 중심점들에 대해서만 샘플링하기 때문에 다음 픽셀의 중심점과의 거리간격으로 인하여 불연속적인 점으로 표현된다. 이러한 불연속적인 점들의 수치를 최소제곱법을 이용하여 일반화 하면 식 (2)와 같다(Neuman, 2003).

$$y = a + b \sin w(x - x_0) \quad (2)$$

여기서, a 는 y 축의 절편으로 곡선이 시작되는 픽셀의 DN(Digital Number)값을 나타내는 계수이고, b 는 곡선의

진폭, 즉 최대값과 최소값의 크기를 결정하는 계수이다. 그리고 w 는 \sin 함수의 주기를 결정하는 계수로 영상의 해상력 측정과 직접 관련이 있다. 또한, x 는 픽셀의 순서를 나타내는 번호이고, x_0 는 함수의 형태를 결정하는 위상변화를 일으키는 x 축 방향으로 평행 이동되는 거리를 나타내는 계수이다. 따라서 촬영된 타겟의 정확한 흑백선의 크기를 측정하고 식 (2)에서 계산된 계수들을 이용하여 측정된 타겟의 크기를 \sin 함수의 주기로 나누어서 정확한 GSD를 측정할 수 있다.

4. 결과분석 및 고찰

우선 앞에서 설명한 이론적인 해상력을 구하는 식 (1)을 적용하여 보조영상과 집성영상에 대한 비행방향과 이의 직각방향에 대한 GSD를 계산하였다. 그 다음으로는 식 (2)를 바탕으로 선형화된 \sin 함수로 실제 영상의 해상력을 계산하였다. 그리고 마지막으로 두 결과를 비교 분석 및 고찰하였다.

4.1 이론적 해상력 분석

앞에서 설명한 바와 같이 DMC 카메라의 보조영상은 센서의 기하학적 특성상 경사지게 촬영된다. 따라서 보조영상의 이론적 공간해상력은 비행방향과 촬영 중심에서의 거리에 따라 공간해상력이 저하되는 반면 집성영상은 이러한 경향을 덜 받는다. 이러한 해상력의 변화를 식 (1)을 근거로 계산식에 의한 이론적인 GSD를 구하면 표 1과 같다.

표 1. 이론식에 의한 GSD (단위: cm)

| Direction | A코스 | | B코스 | |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|
| | 보조 영상 | 집성 영상 | 보조 영상 | 집성 영상 |
| Flight direction | 12.5 | 12.0 | 11.9 | 12.0 |
| Cross flight direction | 16.9 | 12.0 | 11.7 | 12.0 |

4.2 영상의 해상력 분석

촬영된 영상의 공간해상력을 분석하기 위하여 A, B코스의 보조영상과 집성영상을 대상으로 각각 4개의 바에 대한 총 16개의 픽셀값을 추출하여 식 (2)에 의하여 \sin 함

수로 선형화 하였다. 그림 10은 보조영상에 대한 선형화된 그래프를, 그림 11은 집성영상에 대한 선형화된 그래프를 각각 비행방향에 대하여서만 도시한 것이다. 또한 표 2는 이로부터 계산된 16개의 모든 픽셀에 대한 선형화된 계수들을 수록한 결과이다.

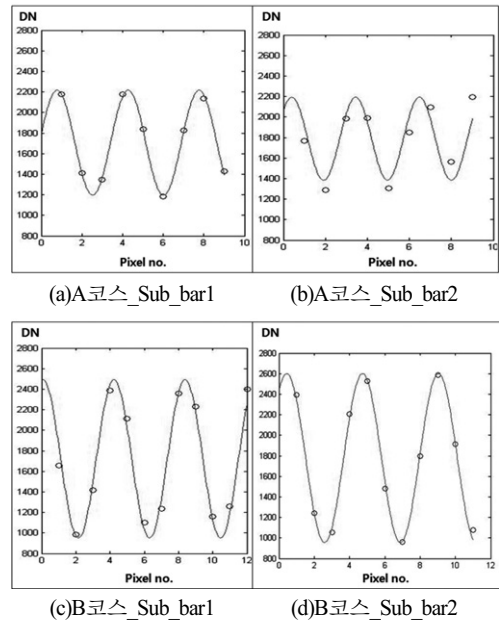


그림 10. 보조영상의 비행방향에 대한 선형화된 sin그래프

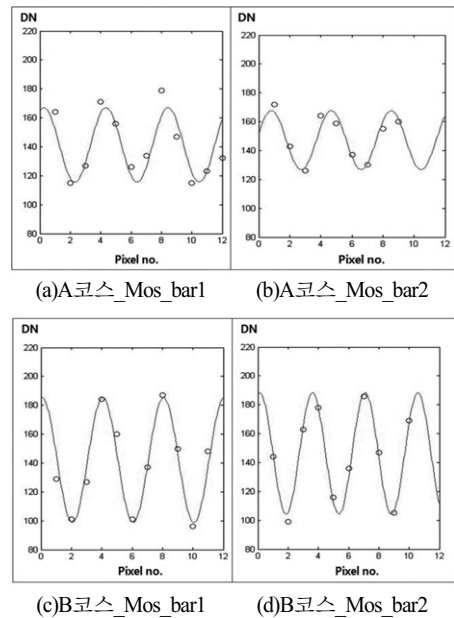


그림 11. 집성영상의 비행방향에 대한 선형화된 sin그래프

표 2. sin함수의 계수

| 코스 | A코스 | | | | B코스 | | | | |
|---------|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | F | | CF | | F | | CF | | |
| Bar No. | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | |
| 보조 영상 | a | 1706 | 1789 | 1741 | 1856 | 1722 | 1780 | 1779 | 1829 |
| | b | 509 | 405 | 357 | 305 | 771 | 688 | 822 | 726 |
| | w | 1.8 | 2.1 | 2.3 | 2.5 | 1.5 | 1.7 | 1.5 | 1.7 |
| | x ₀ | -0.1 | -0.4 | -0.1 | 2.3 | -1.0 | -0.4 | -0.6 | -0.7 |
| 집성 영상 | a | 141 | 150 | 147 | 150 | 142 | 146 | 145 | 145 |
| | b | 25 | 23 | -20 | 12 | 43 | 42 | 61 | 54 |
| | w | 1.5 | 1.8 | 1.6 | 1.9 | 1.6 | 1.8 | -1.5 | 1.8 |
| | x ₀ | -0.8 | -0.6 | 1.8 | -0.4 | -0.9 | -0.7 | 0.0 | -0.1 |

*)방향: F(Flight-), CF(Cross Flight direction)

그림 10의 보조영상에 대한 sin 그래프의 결과를 살펴보면 바 타겟의 위치가 영상의 중심에 위치한 B코스의 진폭이 가장자리에 위치한 A코스의 진폭에 비하여 확실히 크게 나타남을 알 수 있다. 이는 공간해상력이 높은 영상일수록 밝은 영역과 어두운 영역의 구분이 되는 색의 대비가 더 좋다는 것을 의미하며, 따라서 B코스의 영상이 더욱 선명하게 나타남을 알 수 있다.

그림 11의 집성영상에서도 보조영상의 경우와 마찬가지로 바 타겟의 위치가 영상의 중심에 위치한 B코스의 진폭이 가장자리에 위치한 A코스의 진폭에 비하여 두드러지게 나타나고 있어 B코스 영상의 공간해상력이 높음을 입증하고 있다.

앞에서 산출된 선형화된 계수값을 이용하여 sin함수의 주기를 구하여 실제 타겟의 흑백선의 폭을 sin함수의 주기로 나누어 영상의 GSD를 계산한 결과는 표3에 나타내었다.

표 3. 영상의 GSD (단위: cm)

| Direction | Bar No. | A코스 | | B코스 | |
|------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|
| | | 보조 영상 | 집성 영상 | 보조 영상 | 집성 영상 |
| Flight direction | 1 | 13.6 | 11.6 | 11.5 | 11.9 |
| | 2 | 14.0 | 12.4 | 11.7 | 12.2 |
| Cross flight direction | 1 | 17.5 | 12.4 | 11.1 | 11.7 |
| | 2 | 17.1 | 12.6 | 11.3 | 12.1 |

4.3 이론적 해상력과 영상의 해상력 비교

이론적인 해상력(A)과 촬영된 영상의 해상력(B)간의 차

이(A-B)를 계산한 결과는 표 4와 같다. 따라서 표 4에 주어진 수치값이 음수이면 이론적인 해상력보다 낮음을 의미하고, 양수이면 해상력이 높음을 의미한다. 그림 12에 표 4의 수치를 그래프로 나타내었다.

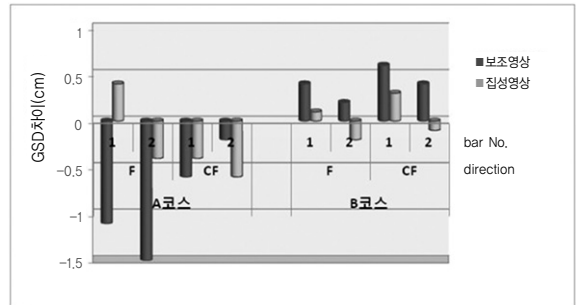


그림 12. 이론적 해상력과 영상의 해상력 차이

표 4. 이론적 해상력과 영상의 해상력 차이 (단위: cm)

| Direction | Bar No. | A코스 | | B코스 | |
|------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|
| | | 보조 영상 | 집성 영상 | 보조 영상 | 집성 영상 |
| Flight direction | 1 | -1.1 | 0.4 | 0.4 | 0.1 |
| | 2 | -1.5 | -0.4 | 0.2 | -0.2 |
| Cross flight direction | 1 | -0.6 | -0.4 | 0.6 | 0.3 |
| | 2 | -0.2 | -0.6 | 0.4 | -0.1 |

표 4에서 보듯이 촬영위치를 기준으로 가장자리에 위치한 A코스의 해상력이 중심에 위치한 B코스에 비하여 전반적으로 떨어지고 있음을 쉽게 알 수 있다. 이는 아날로그 항공사진과 같은 원리를 채택하고 있는 면형방식의 디지털카메라의 기하학적특성에 기인하고 있다. 또한 집성영상의 해상력이 보조영상에 비하여 A, B코스에서 공히 높음을 알 수 있다. 이 또한 보조영상을 모자이크하여 집성영상으로 만드는 과정에서 영상 재배열 시 해상력의 차이가 최소가 되도록 설계한 DMC 카메라의 기술적 특징에 의한 것이다.

이 결과들 중에서 가장 특징적인 사실 하나는 A코스의 보조영상에서 가장 큰 1.5cm의 해상력차이가 발생함을 알 수 있다. 이는 보조영상에서는 카메라의 기하학적 특성이 복잡하게 작용하여 이론적인 공간해상력과 실제 촬영된 영상의 공간해상력간에 더 큰 차이가 나타난 것으로 판단된다. 그리고 표 5는 이론적인 해상력에 대한 영상의 상대오차를 백분율로 계산한 결과이다.

표 5. 이론적 해상력에 대한 상대 오차(%)

| Direction | Bar No. | A코스 | | B코스 | |
|------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|
| | | 보조 영상 | 집성 영상 | 보조 영상 | 집성 영상 |
| Flight direction | 1 | -8.8 | 3.3 | 3.4 | 0.8 |
| | 2 | -12.0 | -3.3 | 1.7 | -1.7 |
| Cross flight direction | 1 | -3.6 | -3.3 | 5.1 | 2.5 |
| | 2 | -1.2 | -5.0 | 3.4 | -0.8 |

5. 결론

본 연구에서는 4개의 보조영상을 모자이크하여 한 장의 집성영상을 제작하는 DMC 카메라의 실제 촬영된 영상의 공간해상력을 검증하고자 촬영 시 바 타겟을 설치하여 이론식에 의한 공간해상력과 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, DMC 카메라의 공간해상력을 실제 촬영된 영상을 이용하여 경험적으로 측정하여 본 결과 이론적인 기대치에 비하여 평균 5%(이론적인 해상력 12cm 대비 0.6cm) 내외인 영상을 얻을 수 있음을 입증하였다.

둘째, 보조영상과 집성영상을 각각의 이론적인 기대 해상력과 비교 분석한 결과 보조영상의 해상력이 일반적으로 기대치에 미치지 못함을 알 수 있었다. 하지만 모자이크된 집성영상의 결과는 이론적인 기대치에 매우 근접하는 매우 우수한 공간해상력을 가지고 있어 DMC 카메라의 기술적 특징을 잘 반영하고 있음을 확인할 수 있었다.

셋째, 촬영점의 위치를 기준으로 외곽에 위치한 코스의 해상력이 중심에 위치한 코스에 비하여 전반적으로 낮아지는 것을 확인하였다. 특히, 외곽에 해당하는 A코스의 보조영상에서 가장 큰 1.5cm의 해상력차이가 나타나고 있어 촬영조건에 기인하는 오차인지 영상처리 과정에서 발생한 오차인지에 대한 자세한 원인규명이 필요하다.

마지막으로, 외곽에 해당하는 A코스의 비행방향의 직각방향에서 GSD가 약 17cm로 가장 크게 나타났다. 이러한 영향으로 집성영상의 제작 시 영상재배열을 통하여 GSD 12cm로의 변환 과정에서 영상의 질이 저하됨을 시각적으로 알 수 있었다. 이에 대한 정확한 판단을 위해서는 경계반응(Edge Response) 분석이 수반되어야 할 것이다.

이상의 연구 결과는 국내에 도입된 특정 DMC 카메라에 대한 단지 일희의 결과이므로 향후 다양한 현장 조건을 고려하고 선형방식의 카메라에 대한 자료의 축적으로

보다 자세한 분석이 뒤따라야 할 것이다. 또한, Bar target 뿐만이 아니라 다방향으로 연속적인 공간해상력 분석이 가능한 Siemens star를 설치한 영상에 대한 연구도 필요한 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 동아대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

이재원, 이동민, 윤부열, 박치영 (2011), 디지털 항공 카메라 공간해상력 검증에 관한 연구, *춘계학술발표회 논문집*, 한국지형공간정보학회, pp. 117-118.

이태윤, 이재원, 이동락, 백기석 (2012), 항공디지털카메라 해상력 검증용 시트의 국내적용방안에 관한 연구, *춘계학술발표회 논문집*, 한국측량학회, pp. 239-240.

Doerstel, C., Zeitler, W., and Jacobsen, K. (2002), Geometric calibration of the DMC: method and result, *ISPRS*, ISPRS, Denver, IAPRS Vol. 34, Part I, Com. I, pp. 324-333.

Earl, F. G. (1998), USAF 1951 and microcopy resolution test charts and pixel profiles, efg's Computer Lab, Kansas, USA, <http://www.efg2.com/Lab/ImageProcessing/TestTargets>.

Heier H. (2001), Deploying DMC in today's Workflow, *Photogrammetric Week 01'*, Wichmann Verlag, Heidelberg, pp. 35-45.

Honkavaara, E., Jaakkola, J., Markelin, L. and Becker, S. (2006), Evaluation of resolving power and MTF of DMC, *ISPRS*, ISPRS, IAPRS Vol. 36(A1), unpaginated CD-ROM, 6 pages.

Honkavaara, E. (2008), *Calibrating Digital Photogrammetric Airborne Imageing Systems using a Test Field*, Ph.D. Dissertation, Helsinki University of Technology, Espoo, Finland.

Leberl F., Grube M., Ponticelli M., Bernogegger S. and Perko R. (2003), The UltraCam large format aerial digital camera system, *Proceedings of The American Society For Photogrammetry & Remote Sensing*, Anchorage, Alaska, 5-9 May, 2003.

Madani R., Dörstel C., Heipke C. and Sciences, Jacobsen K. (2004), DMC practical experience and accuracy assessment,

ISPRS, ISPRS, Istanbul, IAPRS Vol. 35, Part B2, Com. II, pp. 396-401.

Tang, L., Dörstel, C., Jacobsen, K., Heipke, C. and Hinz, A. (2000), Geometric accuracy potential of the digital modular camera, *ISPRS*, Vol XXXIII, Amsterdam.

Wolf, P. R. and Dewitt, B. A. (2000), *Elements of Photogrammetry with Application in GIS 3th*, McGraw-Hill, USA, pp. 70-74.

Neuman, A. (2003), Verfahren zur Auflösung- smessung digitaler Kameras, Diplomarbeit, Fachhochschule Köln, Deutschland.

(접수일 2012. 09. 27, 심사일 2012. 10. 26, 심사완료일 2012. 10. 30)