

## 해상도 타겟을 이용한 무인항공영상의 품질 평가\*

이재원<sup>1</sup> · 성상민<sup>1\*</sup>

### Quality Evaluation of UAV Images Using Resolution Target\*

Jae-One LEE<sup>1</sup> · Sang-Min SUNG<sup>1\*</sup>

#### 요 약

공간해상도는 영상품질을 평가하는 매우 중요한 파라미터들 중의 하나이다. 본 연구에서는 무인항공영상의 품질평가 방안의 일환으로 bar target과 Siemens star 도형을 이용하여 공간해상도와 MTF(Modulation Transfer Function)를 평가하는 방안을 제시하였다. 이를 위하여 고정익 eBee(Canon IXUS)로는 비행고도 130m와 260m로 촬영하고, 회전익 GD-800(SONY NEX-5N)으로는 130m, Phantom 4 pro(FC 6310)는 90m 고도에서 각각 촬영하여 정사영상을 제작하여 공간해상도를 측정하였다. 실험결과 공간해상도는 Siemens star와 Bar target 모두에서 카메라에 관계없이 정확히 비행고도에 비례하여 낮아짐을 알 수 있었다. 즉, 서로 상이한 카메라가 탑재된 Canon IXUS(eBee)와 SONY NEX-5N(GD-800)으로 130m의 동일 고도에서 촬영한 영상의 공간해상도는 4.1cm로 동일하였으며, eBee 260m의 경우에는 공간해상도가 8.0cm이었다. 아울러 Siemens star로 측정한 해상도가 Bar target에 비하여 모든 고도에서 1~2cm 가량 낮았다. 영상의 해상도와 명암 정보를 동시에 나타내는 MTF의  $\sigma_{MTF}$  측정에서도 비행고도에 비례하는 일반적인 경향을 알 수 있었다. 하지만 130m 동일고도에서 SONY NEX-5N(GD-800)의  $\sigma_{MTF}$ 는 0.36이고, Canon IXUS(eBee)는 0.59로 카메라 성능이 더 좋은 SONY NEX-5N(GD-800)이 우수함을 알 수 있었다. 본 연구의 결과는 무인항공영상의 공간해상도 분석과 품질의 신뢰도 향상에 기여할 것으로 기대한다.

주요어 : 공간해상도, 정사영상, 변조전달함수, 시멘스타

#### ABSTRACT

Spatial resolution is still one of the most important parameters for evaluating image quality. In this study, we propose an approach to evaluate spatial resolution and MTF(Modulation Transfer Function) using bar target and Siemens star chart as a part of

2019년 03월 08일 접수 Received on March 08, 2019 / 2019년 03월 23일 수정 Revised on March 23, 2019 /  
2019년 03월 25일 심사완료 Accepted on March 25, 2019

\* 이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음.  
(과제번호:NRF-2018R1D1A1A02085675)

<sup>1</sup> 동아대학교 토목공학과 Dept. of Civil Engineering, Dong-A University

\* Corresponding Author E-mail : cantona777@naver.com

quality evaluation for UAV images. To this end, images were taken with a fixed-wing eBee(Canon IXUS) at the flight height of 130m and 260m, and with a rotary-wing GD-800(SONY NEX-5N) at flight height of 130m, with a Phantom 4 pro(FC 6310) at flight height of 90m, respectively. Spatial resolution was measured on orthoimages produced from this data. Results show that the resolution measured on the Siemens star and bar target was accurately degraded in proportion to the flight height regardless of the cameras. In the words, the spatial resolution of images taken at the same altitude of 130m with the eBee(Canon IXUS) and the GD-800(SONY NEX-5N) equipped with different cameras was the same as 4.1cm, and that of the eBee(Canon IXUS) at 260m was 8.0cm. In addition, the resolution measured on the Siemens star was about 1~2cm lower than that of the bar target at every flight height. The general tendency was also found to be proportional to the flight height in the measurement of the  $\sigma_{MTF}$  from MTF, which simultaneously represents the resolution and contrast information of the image. However, at the same altitude of 130m, the  $\sigma_{MTF}$  of the GD-800(SONY NEX-5N) is 0.36 and the eBee(Canon IXUS) is 0.59, which shows that the GD-800(SONY NEX-5N) has better camera performance. It is expected that study results will contribute to the analysis of spatial resolution of UAV images and to improve the reliability of quality.

**KEYWORDS** : *Spatial Resolution, Orthoimages, Modulation Transfer Function, Siemens star*

## 서 론

무인항공사진측량(UAV-Photogrammetry)은 저비용, 고효율의 장점으로 고정밀의 공간정보 데이터 취득 기술로 주목받고 있다. 현재 이 기법은 지형도제작을 위한 공공측량과 같은 실무에 적용되고 있을 뿐만 아니라 국가기본도의 제작과 지적경계 설정 등에도 활용방안을 모색 중이다. 또한, 지상기준점을 최소로 하거나 무기준점으로도 비행체의 정밀위치결정이 가능한 RTK(Real Time Kinematic) 혹은 PPK(Post Processing Kinematic) 기반의 무인항공사진측량이 실용화되고 있다(Lee and Sung, 2018). 하지만 저가의 항법장치와 비 측량용 카메라의 사용 및 촬영 시 기체의 심한 흔들림 등으로 인해 균질한 품질의 영상 데이터 확보가 어렵다. 반면 무인항공기를 이용한 공간정보 데이터 구축 시 필요한 정량적인 품질검증 및 인증을 위한 구체적인 절차와 방법이 없어 영상품질에 대한 신뢰성 확보가 필요하다. 한편 영상의 품질검증 방법과 관련된 실무와 연구 동향을

살펴보면 유인항공사진측량의 경우, 국토지리정보원이 고시한 항공사진측량 작업규정에서는 해상도 분석 도형으로 공간해상도와 시각적 해상도(Visual Resolution)를 분석해 영상의 품질을 검증하고 있다(NGII, 2016). 그리고 Jiang (2010) 등은 항공영상의 품질요소를 픽셀크기와 같은 영상의 해상도, 색상의 밝기와 대비, 선명도, 위치 정확도 등으로 제시하였다(Jiang *et al.*, 2010). 또한, Liang(2012) 등은 중국의 항공사진 관련 규정을 참고하여 영상의 품질을 분석하는 방법을 주관적인 방법과 객관적인 방법으로 나누어 제시하였다. 주관적인 방법은 인간의 눈으로 항공사진에 구름이나 구름의 그림자가 있는지 판단하고 면적을 계산하는 방법, 이미지의 밝기나 노이즈의 유무를 시각적으로 판단하는 방법이 있다. 하지만 이와 같은 분석은 신뢰도가 떨어져 컴퓨터를 이용하여 분석하는 객관적인 방법을 제시하였다. 객관적인 방법으로는 픽셀값을 이용한 공간주파수, 선명도, 명암, 균등한 밝기 분포의 계산 등의 방법을 제시하였다(Liang *et al.*, 2012).

이에 본 연구에서는 해상도 타겟을 이용해 영

상의 해상도와 명암 정보를 동시에 나타내 디지털 카메라의 성능을 비교하는데 사용할 수 있는 MTF 분석과 객관적인 공간해상도 분석을 통해 무인항공영상의 품질을 평가하고자 하였다. 무인항공영상의 품질 분석을 위해 해상도 타겟을 연구대상지에 설치하였으며, 서로 다른 카메라를 탑재한 무인비행장치를 이용하여 영상 촬영 후 공간해상도와 MTF를 분석하여 영상의 품질을 비교하였다.

## 무인항공영상 품질 평가

항공영상의 품질은 영상을 취득하는 센서의 특성에 크게 의존한다. 일반적으로 항공사진측량의 센서인 카메라 검정(Calibration)을 위한 방법으로는 주로 영상의 품질에 대한 방사(Radiometry), 기하(Geometry) 및 공간해상도(Spatial Resolution)를 검증하는 방법을 사용하고 있다. 기하검정은 항공사진측량의 수학적 원리인 공선조건의 만족여부를 결정하는 항공삼각측량(AT)의 정확도 결과를 이용하고 있다. 반면 방사검정은 지상에 분광계를 설치하여 영상의 방사특성을 분석하여야 하므로 특정한 장비와 소프트웨어가 필요하여 사용자가 수행하기 쉽지 않다. 하지만 공간해상도는 지상에 간단한 검증용 타겟을 설치하여 촬영된 영상으로부터 비교적 쉽게 측정이 가능한 장점이 있다. 공간해상도란 영상에서 보이는 미세한 세부사항(Fine Detail)을 포착할 수 있는 영상취득 시스템의 능력을 나타낸다(Honkavaara, 2008). 아래는 해상도 타겟을 이용해 공간해상도를 분석하는 방법과 영상의 해상도와 명암정보를 동시에 분석할 수 있어 널리 사용되고 있는 MTF 분석 방법으로 나누어 설명하였다.

### 1. 공간해상도 분석

#### 1) Siemens star 이용

Siemens star를 이용해 영상의 공간 해상도 분석이 가능하다. 본 연구에 사용된 Siemens star는 그림 1과 같이 직경 2m의 크기의 원형

으로 중심으로부터 방사 각도가 11.25°로 일정한 간격으로 배열된 흑백선의 개수가 총 32개로 구성되도록 제작하였다.

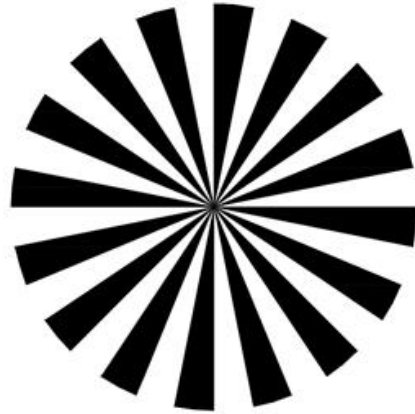


FIGURE 1. Design of Siemens star

해상도 분석방법은 식 1과 같이 Siemens star의 외곽 직경(D)에 비하여 흑백선의 경계 구분이 불가능한 중심부의 흐릿해지는 경계까지의 직경(d)을 측정하여 수행할 수 있다(Lee, 2012).

$$l = \frac{\pi d}{n} \quad (1)$$

하지만 흑백선의 경계 구분이 불가능한 중심부의 흐릿해지는 경계까지의 직경 d는 작업자의 육안으로 분석할 경우에 주관적인 판단이 이루어져 객관적인 분석이 불가능하다. 이에 본 연구에서는 Siemens star를 촬영한 정사영상을 문턱치(Thresholding)처리를 하여 흐릿해지는 경계까지의 직경 d를 객관적으로 판단하여 분석하고자 하였다. 문턱치 처리란 RGB로 이루어진 정사영상을 그레이스케일 영상으로 변환한 후 2진(흑백) 영상으로 바꾸는 방법이다. 즉 원본 영상에서 그레이 레벨 T를 선정하고, 아래의 식 (2)와 같이 화소의 값이 T보다 큰지 작은지에 따라 모든 화소를 흰색 혹은 흑색으로 변경하는

방법이다(Linda and George, 2000).

$$A \text{ Pixel becomes } \begin{cases} \text{white if Its graylevel is } > T, \\ \text{black if Its graylevel is } \leq T. \end{cases} \quad (2)$$

하지만 문턱치 처리의 문제점은 문턱치 레벨을 너무 낮게 설정하면 어떤 물체의 크기를 감소시킬 수 있고, 반대로 너무 높게 선택하면 너무 많은 배경 정보를 포함하게 된다. 이와 같은 문제점의 해결을 위해 최적의 문턱치를 선택하기 위한 방법으로 Otsu 방법을 이용하였다. Otsu 방법이란 영상의 히스토그램을 이용해서 영상을 두 개의 흑백개체로 나눌 수 있는 최적의 문턱치를 찾는 방법으로 아래의 식 3과 같이 나타낼 수 있다(Otsu, 1979).

$$P_i = n_i/N \quad (3)$$

여기서  $n_i$ 는 그레이 레벨  $i$ 를 가지는 화소의 수이고,  $N$ 은 총 화소 수이며,  $P_i$ 는 그레이 레벨이  $i$ 인 화소의 확률이다. 만약  $k$ 라는 레벨에서 문턱치 처리를 하면 아래의 식 4와 같이 정의할 수 있다.

$$w(k) = \sum_{i=0}^k p_i, \quad \mu(k) = \sum_{i=k+1}^{L-1} p_i \quad (4)$$

여기서  $L$ 은 그레이스케일의 개수이고, 따라서  $L-1$ 은 그레이스케일의 최대값이다. 정의에 의해 아래의 식 5가 성립된다.

$$w(k) + \mu(k) = \sum_{i=0}^{L-1} p_i = 1 \quad (5)$$

여기서  $w(k)$ 와  $\mu(k)$ 를 최대화하는  $k$ 를 구해야한다.  $k$ 를 구하는 것은 먼저 아래의 식(6)과 같이 영상 평균을 정의하고,

$$\mu_T = \sum_{i=0}^{L-1} i p_i \quad (6)$$

아래의 식 7에서 최대화하는  $k$ 값을 구하면 된다(McAndrew, 2004).

$$\frac{(\mu_T w(k) - \mu(k))^2}{w(k)\mu(k)} \quad (7)$$

## 2) Bar target 이용

아래의 그림 2처럼 영상의 변조함수는 원래 영상의 각 픽셀에 해당하는 불연속적인 수치인 DN(Digital Number)으로 나타난다. 수치가 불연속적인 이유는 각 픽셀의 중심점에 대해서만 수치를 추출하므로 픽셀간의 중심점의 간격으로 인하여 발생하게 된다(Lee, 2012).

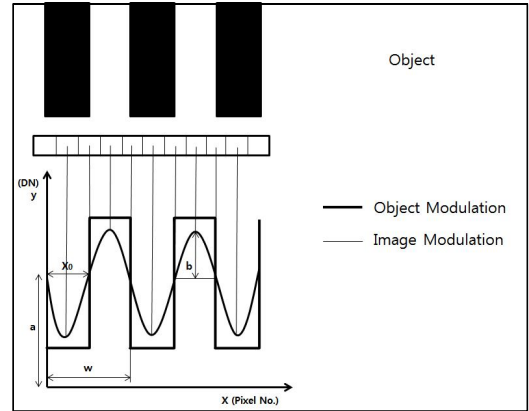


FIGURE 2. Concept of modulation value analysis

이러한 불연속적인 점들의 수치를 최소제곱법을 이용하여 평활화(fitting)하면 주기적인 형태의 식 8과 같은 사인함수로 나타내게 된다.

$$y = a + b \sin w(x - x_0) \quad (8)$$

여기서,  $a$ 는 Y축의 절편으로 곡선이 시작되는 픽셀의 DN값을 나타내는 계수이고,  $b$ 는 sin 곡선의 진폭, 즉 최대값과 최소값의 크기를 결정하는 계수이다. 그리고  $w$ 는 sin함수의 주기를

결정하는 계수로 영상의 GSD(Ground Sample Distance) 측정과 직접 관련이 있다. 또한,  $x$ 는 픽셀의 순서를 나타내는 번호이고,  $x_0$ 는 sin함수의 형태를 결정하는 위상변화를 일으키는 X축 방향으로 평행 이동되는 거리를 나타내는 계수이다. 따라서 촬영된 타겟의 정확한 흑백선의 크기를 측정하고 식 8에서 계산된 계수들을 이용하여 측정된 타겟의 크기를 사인함수로 나타나는 공간주파수로 나누면 영상의 정확한 GSD를 측정할 수 있다(Lee, 2012).

### 2. MTF 분석

MTF, 즉 변조전달함수는 공간해상도를 평가하는 하나의 기법으로 위에서 설명한 영상의 해상도와 명암정보를 동시에 분석하여 영상의 품질을 객관적이며 정량적으로 측정할 수 있다. 공간주파수와 Modulation을 측정할 수 있는 Bar target 또는 Siemens star를 촬영하여 분석할 수 있다.

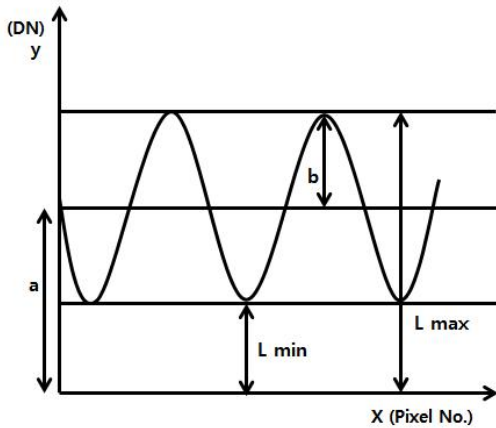


FIGURE 3. DN of image with black and white linepairs (Neumann, 2003)

그림 3은 흑백선쌍으로 이루어진 영상에서 추출된 DN(Digital number)를 나타내고 있다. 이 그래프에서 Modulation 값은 식 9로 나타난다.

$$Modulation = \frac{l_{max} - l_{min}}{l_{max} + l_{min}} = \frac{a + b - (a - b)}{a + b + (a - b)} \quad (9)$$

$$= \frac{2b}{2a} = \frac{a}{b}$$

MTF 값은 식 10으로 나타낼수 있다.

$$MTF = \frac{Modulation_{Image}}{Modulation_{object}} \quad (10)$$

중축은 MTF이며, 횡축은 공간주파수(lp/pixel 또는 lp/mm)로 하는 수치값으로 표현되어 진다. 이렇게 구해진 MTF에 대해 MATLAB 프로그램에서 아래의 식 11을 이용해 Curve Fitting을 수행하였다. 여기서 MTF에 대한 표준편차인  $\sigma_{MTF}$ 를 계산하여 수치를 비교 및 분석하였다.  $\sigma_{MTF}$ 의 값이 작을수록 영상의 품질이 좋다는 의미이다(Lee, 2012).

$$MTF = e^{-2\pi\sigma_{MTF}^2 K^2} \quad (11)$$

#### 1) Siemens Star을 이용한 MTF 분석

Siemens star는 Bar 타겟보다 연속적인 MTF 수치를 이용할 수 있다는 장점이 있다. Siemens star 도형에서 MTF를 계산하기 전에 그 수치에 맞는 공간주파수부터 계산한다. 공간주파수를 계산하기 위하여 Siemens star의 중심을 선정 후 중심으로부터 떨어진 반경(pixel 단위)에 대한 동심원을 결정한다. 결정된 동심원에 대한 반경( $r$ )을 이용하여 계산된 원주를 Siemens star에 존재하는 16개의 흑백선쌍에서 나누어 공간주파수를 구하게 되며, 식 12로 계산된다.

$$공간주파수 = \frac{16lp}{2 \times \pi \times r(Pixel)} \quad (12)$$

영상에서 촬영된 Siemens star의 픽셀 수만큼의 동심원이 생성되며, 동심원의 수만큼 MTF의 수치가 분석가능하다. Siemens star 도형의 크기가 커지거나 비행고도를 낮춰 GSD의 수치



FIGURE 4. Design of Bar target

가 감소한다면 더 낮은 공간주파수에 대한 MTF 분석 역시 가능할 것이다(Lee, 2012).

#### 2) Bar target를 이용한 MTF 분석

Bar target의 제원은 그림 4와 같으며, 타겟 오른쪽의 가장 큰 Bar의 크기는  $1 \times 0.2\text{m}$  이며, 그 크기는  $1/\sqrt{2}$  (약 12%)의 크기로 줄어든다. Bar target의 공간주파수는 Siemens star의 공간주파수보다 쉽게 계산되어지지만 Siemens star와 같이 연속적이지 못하다. Bar target의 공간주파수는 아래의 식 13에 의해 계산되어진다.

$$\text{공간주파수} = \frac{GSD(\text{cm}/\pi \cdot \text{pixel})}{\text{흑백선쌍의 폭}(\text{cm}/lp)} \quad (13)$$

즉, 가장 큰 Bar의 흑백선쌍의 폭이 40cm이고, GSD가 8cm라면 공간주파수는 0.2lp/pixel이 된다.

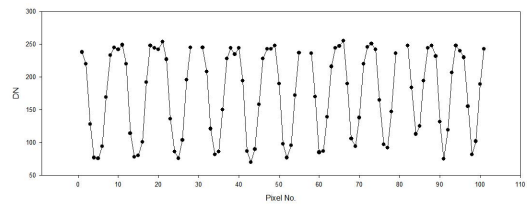


FIGURE 5. DN value of Bar Number

그림 5는 Bar target에서 추출한 DN 수치를 나타내고 있으며, 추출된 DN 수치의 최대값과 최소값을 이용하여 MTF를 분석하게 된다(Lee, 2012).

## 실험 및 결과

### 1. 해상도 타겟 설치

무인항공영상의 공간해상도와 MTF를 분석하기 위해 촬영지역의 중심지에 아래의 그림 6과



FIGURE 6. Siemens star and Bar target in study area

같이 Siemens star와 Bar target을 설치하였다. 촬영지역의 중심지에 해상도 타겟을 설치한 이유는 정사영상 외곽에서 발생하는 왜곡과 흐림 현상을 방지하기 위함이다.

## 2. 영상 취득 및 처리

본 연구에 사용한 무인항공기체는 고정익은 senseFly사의 eBee모델이며, 회전익은 (주)공간정보사의 GD-800 모델과 DJI사의 Phantom 4 pro 이다. MTF와 공간해상도는 기체에 탑재된 카메라의 사양에 큰 영향을 받기 때문에 두

기체에 탑재된 카메라의 모델명, 초점거리, 픽셀 사이즈, CCD 센서의 사이즈, 사용한 기체별 촬영고도, 중복도를 표 1에 나타내었다. 촬영고도는 고정익의 경우 130m와 260m로 촬영하였으며, 회전익은 130m와 90m로 촬영하였다.

영상의 처리는 Agisoft사의 Photoscan을 사용하여 AT 작업과 dense image 매칭 과정을 거쳐 정사영상을 제작하였다. 아래의 표 2는 서로 다른 조건에서 촬영되어 제작된 정사영상에서의 Siemens star와 Bar target을 나타내고 있다(Agisoft, 2018).

TABLE 1. Specifications of UAVs and the cameras and Flight parameters for UAV image




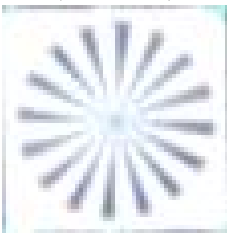
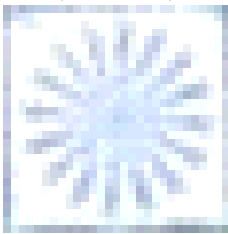
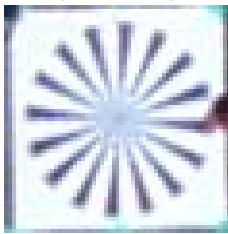





UAV model	SenseFly eBee		GD-800	DJI Phantom 4 pro
Appearance				
Camera model	Canon IXUS 127 HS		SONY NEX-5N	FC 6310
Focal length	4.3mm		16mm	8.8mm
Pixel size	1.3um		4.9um	2.41um
CCD Sensor size	4,608 × 3,456 pixel		4,912 × 3,264 pixel	5,472 × 3,648 pixel
Flight height	130m	260m	130m	90m
Overlap	end lap=75% side lap=65%	end lap=75% side lap=65%	end lap=75% side lap=65%	end lap=75% side lap=65%
Case by case	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4

TABLE 2. Siemens star and Bar target appeared in orthoimages

	Canon IXUS (ebee 130m) (diameter=2m)	Canon IXUS (ebee 260m) (diameter=2m)	SONY NEX-5N (GD-800) (diameter=2m)	FC 6310 (Phantom 4 pro) (diameter=1m)
Siemens star				
Bar target				

## 결과 분석

### 1. 공간해상도 분석결과

영상의 품질을 평가하는 요소들 중에서 가장 중요한 파라미터가 되는 공간해상도를 분석하였다. Bar target과 Siemens star를 이용해 분석하였으며, Siemens star는 앞에서 설명한 문턱치 처리를 이용하여 정사영상에 촬영된 Siemens star를 이진영상으로 변환하여 공간해상도를 분석하였다. 아래의 표 3은 이진영상으로 변환된 Siemens star를 나타내고 있다. FC 6310(Phantom 4 pro)로 촬영한 영상의 Siemens star의 직경은 1m이며, 나머지 기체의 촬영 영상은 직경 2m의 Siemens star를 사용하였다. Siemens star와 Bar target으로 분석한 해상도 결과는 표 4에 나타내었다. 또한 촬영고도와 픽셀의 크기, 카메라의 초점거리로 이론적 공간해상도를 계산하여 비교분석을 실시하였다.

분석결과 Bar target의 경우 이론적 공간해상도와 거의 동일한 결과를 나타내었다. 하지만 Siemens star의 경우 이론적 공간해상도와 비교해 약 2cm가량 저하된 결과를 나타내었다. 이와 같은 결과는 Bar target을 이용한 공간해상도 분석 방법은 영상의 불연속적인 그레이 레벨 간격을 계산하여 분석하게 된다. 하지만 Siemens star를 이용한 공간해상도 분석 방법은 앞서 제시한 문턱치 처리 방법의 경우 영상의 그레이 레벨 수치를 이용하여 분석을 실시하므로 영상의 명암대비 정도가 Bar target의 공간해상도 분석결과에 비해 Siemens star의 공간해상도 분석결과에 좀 더 큰 영향을 미친 결과로 판단된다. 또한, Canon IXUS(eBee)의 경우 촬영고도 130m, 260m의 공간해상도는 Bar target과 Siemens star 모두 촬영고도에 정확하게 비례하여 낮아짐을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 무인항공영상의 공간해상도가 촬영고도에 밀접한 영향을 받음을 알 수 있다.

TABLE 3. Analysis of Resolution Using Siemens star

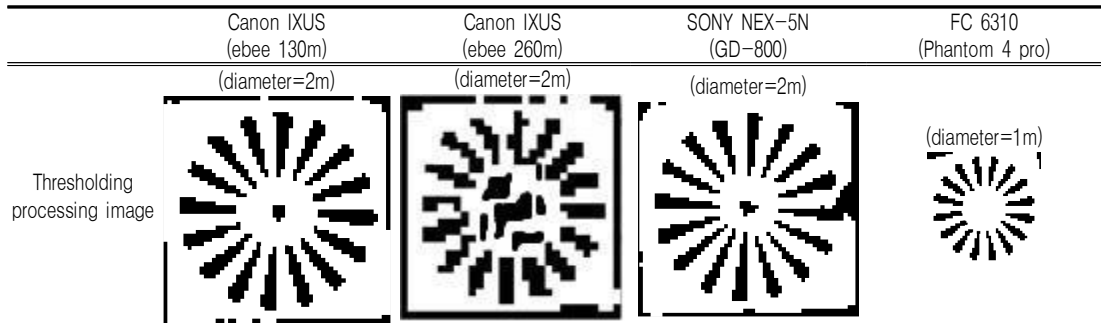


TABLE 4. Spatial Resolutions Measured By Different Targets

	Theoretical Resolution	Resolution (Siemens star)	Resolution (Bar target)
Canon IXUS (ebee 130m)	3.9cm	6.6cm	4.1cm
Canon IXUS (ebee 260m)	7.9cm	9.8cm	8.0cm
SONY NEX-5N (GD-800)	4.0cm	6.3cm	4.1cm
FC 6310 (Phantom 4 pro)	2.5cm	4.3cm	3.5cm



## 2. MTF 분석결과

아래의 그림 7은 Siemens star와 Bar target을 이용하여 MTF를 분석한 그래프이다. X축은 공간주파수를 나타내고, Y축은 MTF를 나타내고 있다. 즉, 공간주파수가 변함에 따라서 MTF가 어떻게 변화하는가를 나타내는 그래프이다. Y축인 MTF는 비율(%)을 나타내므로 1을 넘을 수 없다. 만약 높은 공간주파수의 타겟이 손실 없이 영상으로 출력이 가능하다면 MTF는 1에 가까운 상태가 된다. 이와 같은 상태일 때, 좋은 품질의 영상이라 할 수 있다. 아래의 그래프에서는 서로 다른 카메라를 사용한 기체를 비교하기 위해 X축 공간주파수의 단위를 lp/mm로 나타내었다. 또한, MTF에 대한 표준편차인  $\sigma_{MTF}$ 를 계산하였다.  $\sigma_{MTF}$ 의 값이 작을수록 영상의 품질이 좋다는 의미이다.  $\sigma_{MTF}$ 는 아래의 표 5에 나타내었다.

그림 7의 MTF 그래프를 보면 FC 6310 (Phantom 4 pro)의 그래프의 MTF가 1에 가장 가까운 결과를 나타내어 가장 좋은 품질의 영상이라고 할 수 있으며, SONY NEX-5N(GD-800), Canon IXUS(eBee 130m), Canon IXUS(eBee 260m)의 순서로 영상 품질 결과를 나타내었다.

Canon IXUS(eBee)의 경우 촬영고도 130m, 260m의  $\sigma_{MTF}$ 는 Siemens star와 Bar target 모두 촬영고도에 정확하게 비례하여 낮아지는 결과를 나타내어 공간해상도 분석과 마찬가지로 촬영고도가 영상의 품질에 미치는 영향을 확인하였다. 또한 같은 130m 고도로 촬영한 SONY NEX-5N(GD-800)와 Canon IXUS(eBee)의 경우 공간해상도는 큰 차이가 없지만, 영상의 해상도와 명암 정보를 동시에 나타내는  $\sigma_{MTF}$ 는 카메라 성능이 더 좋은 SONY NEX-5N(GD-800)가 더 나은 결과를 나타내어 무인항공기에

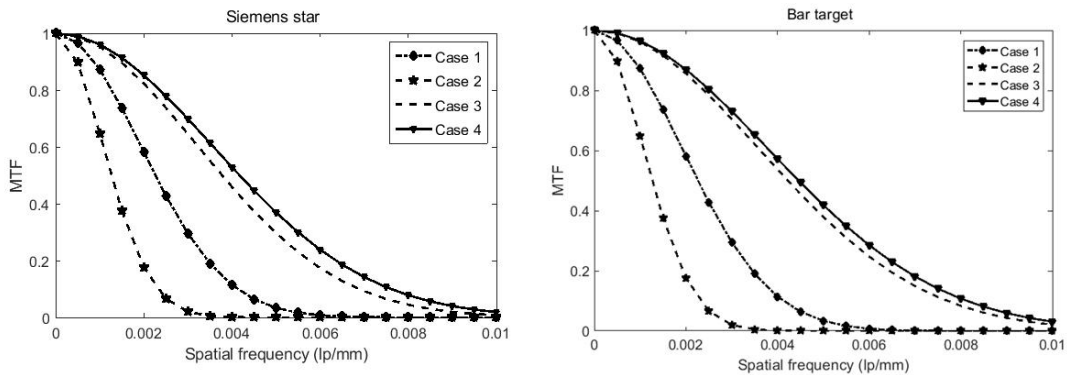


FIGURE 7. MTF graph

TABLE 5.  $\sigma_{MTF}$  Analysis Results

	$\sigma_{MTF}$ (Siemens star)	$\sigma_{MTF}$ (Bar target)
Canon IXUS (ebee 130m)	0.5321	0.5895
Canon IXUS (ebee 260m)	0.9347	0.9223
SONY NEX-5N (GD-800)	0.3565	0.3632
FC 6310 (Phantom 4 pro)	0.3159	0.3213

탑재된 카메라의 성능이 영상품질에 미치는 영향을 확인함과 동시에 MTF 분석 방법이 영상 품질 검증에 유용함을 확인하였다. 하지만 본 실험에 사용된 영상들은 촬영시기와 시간이 서로 달라 촬영 당시의 기상조건에 따른 태양광량에 의한 영상품질에 미치는 영향을 정확히 반영하기 어려운 한계점으로 인하여 더 다양한 실험 자료의 구축이 필요한 것으로 판단된다.

## 결론

본 연구에서는 비행체의 심한 거동, 카메라 성능의 한계 및 기상조건 등의 영향으로 균질한 품질의 영상 확보가 어려운 무인항공영상에 대해 객관적인 평가를 수행하여 영상 품질에 대한 신뢰도 확보하고자 하였다. 이에 해상도 타겟을 이용한 공간해상도 분석과 MTF 분석을 통한 영상 품질 검증을 통해 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

첫째, 모든 경우에 카메라의 해상도와  $\sigma_{MTF}$ 는 Siemens star와 Bar target에서 대체로 촬영고도에 정비례하여 낮아지고 있어, 촬영고도가 영상 품질에 큰 영향을 주고 있음을 확인할 수 있다.

둘째, 130m 동일고도로 촬영한 SONY NEX-5N(GD-800)와 Canon IXUS(eBee)의 경우 영상의 해상도와 명암 정보를 동시에 나타내는  $\sigma_{MTF}$ 가 카메라 성능이 좋은 SONY NEX-5N가 더 나은 결과를 나타내었다.

셋째, 공간해상도 분석 시 Bar target의 경우는 이론적인 공간해상도와 거의 동일한 결과를 나타내었다. 하지만 Siemens star의 경우 이론적 공간해상도와 비교해 약 2cm가량 저하된 결과를 나타내었다. 이는 Bar target을 이용한 공간해상도는 영상의 불연속적인 그레이 레벨 간격을 계산하여 분석한 반면, Siemens star는 문턱치 처리 시 영상의 그레이 레벨 수치를 이용하여 분석을 실시하게 된다. 따라서 영상의 명암대비 정도가 Bar target의 공간해상도 분석 결과에 미치는 영향에 비해 Siemens star의 공

간해상도 분석결과에 좀 더 큰 영향을 미쳐 위와 같은 결과가 나타난 것으로 판단된다.

넷째, 본 연구에서 실행한 Siemens star를 이용한 공간해상도 분석은 기존 방법인 작업자의 육안에 의해 판단하는 주관적인 방법과 달리 문턱치 처리를 이용해 객관적인 방법으로 분석하여 영상 품질 평가의 신뢰성을 향상시켰다. 또한 MTF는 영상의 해상도와 명암의 대비를 고려할 수 있어 보다 객관적인 기법임을 알 수 있었다.

하지만 영상품질 저하에 미치는 정확한 원인을 분석하기 위해서는 촬영 기체에 의한 영향인지 카메라에 의한 영향인지를 판별하여야만 한다. 따라서 동일 기체에 서로 다른 카메라를 탑재하거나, 반대로 서로 다른 기체에 동일 카메라로 촬영한 영상을 분석하는 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다. 또한, 본 연구에서는 Siemens star와 Bar target만을 이용하여 분석하였으므로 slant edge target, circular target 등 여러 가지 해상도 타겟과 비행체의 거동, 기상조건 등 다양한 조건에서 촬영된 영상으로 분석을 하게 된다면 무인항공영상 품질의 신뢰성 향상에 큰 기여를 할 것으로 사료된다. **KAGIS**

## REFERENCES

- Agisoft, 2018. Photoscan User Manual: Professional Edition. Ver 1.4. St. Petersburg. 118p.
- Honkavaara, E. 2008. Calibrating digital photogrammetric airborne imaging systems using a test field. Ph. D. Thesis. Helsinki University of Technology, Helsinki, Finland. 62p.
- Jiang W., Y. Li., Y. Liang., and Y. Zeng. 2010. Research on quality index system of digital aerial photography results. Computer and Computing Technologies in Agriculture IV. pp. 381-391.

- Lee, J.O. and S.M. Sung. 2018. Assessment of positioning accuracy of UAV photogrammetry based on RTK-GPS. *Journal of the Korea Academia-Industrial*. 19(4):63-68. (이재원, 성상민. 2018. RTK-GPS 무인항공사진측량의 위치 결정 정확도 평가. *한국산학기술학회지* 19(4):63-68).
- Lee, T.Y. 2012. Spatial resolution analysis of aerial digital camera. Ph.D. thesis. Dong-A University, Busan, Korea. 153p. (이태윤. 2012. 항공디지털카메라의 공간해상도 분석에 관한 연구. 동아대학교 대학원 박사학위논문. 153쪽).
- Liang Y., Y. Zeng., W. Jiang. and X. Wang. 2012. Research on automatic inspection methods of image quality of digital aerial photography results. *Computer and Computing Technologies in Agriculture V*. pp.320-331.
- Linda, S. and S. George. 2000. *Computer Vision*. Prentice Hall. pp.97-105.
- McAndrew, A. 2004. *Introduction to digital image processing with MATLAB*. CENGAGE Learning Publishing Co., pp.241-249. (김태호, 권영만, 전명권 옮김. 2011. 매트랩을 이용한 영상처리의 기초. pp.241-249. 한티미디어. 서울)
- Neuman, A. 2003. Methods to measure resolution of digital cameras. Master Thesis. University of Applied Sciences, Cologne, Germany. 5p. (Verfahren zur Aufloesungsmessung digitaler Kameras. Diplomarbeit. University of Applied Sciences, Cologne, Germany. 5p.)
- NGII. 2016. *Airborne Photogrammetry Work Regulations*, National Geographic Information Institute. Suwon. p.55.
- Otsu, N. 1979. A Threshold selection method from gray-level histograms, *IEEE Transaction on Systems*. pp. 62-66. 