

## Circular target을 이용한 무인항공영상의 해상도 평가

이재원, 성상민\*  
동아대학교 토목공학과

### Evaluation of Resolution of UAV-Image Using Circular Target

Jae-One Lee, Sang-Min Sung\*  
Dept. of Civil Engineering, Dong-A University

**요약** 본 연구에서는 무인항공영상의 품질 평가를 위해 공간해상도 검정 방법 중 하나인 MTF(Modulation Transfer Function)를 Circular target을 이용하여 평가하는 방안을 제시하고, MATLAB GUI 기반 해상도 분석 Tool을 제작하여 무인항공영상 품질의 신뢰도와 작업의 효율성을 높이고자 하였다. 이를 위해 무인항공기체인 DJI Phantom 4 Pro(FC 6310)기체는 80m, 120m, 150m, Matrice 600(iXM-100)기체는 150m, 200m, 400m의 서로 다른 고도에서 촬영하였으며, 유인항공영상과 비교를 위해 UltraCAM Eagle Mark 2 센서로 비행고도 1000m에서 영상을 촬영하여 MTF를 비교하였다. 연구 결과 DJI Phantom 4 Pro(FC 6310)기체의  $\sigma_{MTF}$ s 수치는 촬영고도에 따라 0.431, 0.524, 0.699, Matrice 600(iXM-100)기체의  $\sigma_{MTF}$ s 수치는 촬영고도에 따라 0.332, 0.393, 0.631의 결과를 나타내어 촬영 고도가 높아질수록 영상의 품질이 낮아짐을 알 수 있었다. 동일한 고도인 150m의 경우 탑재된 카메라의 성능이 높은 Matrice 600(iXM-100)기체의 영상품질이 매우 높은 결과를 나타내어 카메라의 성능이 영상의 품질에 미치는 영향을 확인할 수 있었다. 또한, UltraCAM Eagle Mark 2 센서를 탑재한 유인항공영상의  $\sigma_{MTF}$  수치는 높은 비행고도로 인하여 0.711의 결과를 나타내어 모든 무인항공영상의 품질보다 낮은 결과를 나타내었다. 하지만 DJI Phantom 4 Pro(FC 6310)기체의 150m 고도에서 촬영한 무인항공영상에서  $\sigma_{MTF}$  수치는 0.699의 결과를 나타내어 유인항공영상의 품질과 거의 비슷한 결과를 나타내었다.

**Abstract** We propose a method to evaluate a Modulation Transfer Function (MTF) using a circular target. In addition, a MATLAB GUI-based resolution analysis tool was developed to enhance the reliability of UAV image quality and the efficiency of the work. For this purpose, images were taken with an FC-6310 during flights at altitudes of 80 m, 120 m, and 150 m and by an iXM-100 at altitudes of 150 m, 200 m, and 400 m. The MTFs of UAV images were compared with traditional photogrammetry by measuring and analyzing MTFs on images taken by the UltraCAM Eagle Mark-2 sensor at a flight altitude of 1000 m. The results show that  $\sigma_{MTF}$  of the FC-6310 were 0.431(80 m), 0.524(120 m), and 0.699(150 m), and those of the iXM-100 were 0.332(150 m), 0.393(200 m), and 0.631(400 m), respectively. At the altitude of 150 m, the image quality of the iXM-100, which has a high-performance camera, was very high, and the effect of the camera performance on the image quality was confirmed. In addition, the  $\sigma_{MTF}$  of the UltraCAM Eagle Mark-2 was 0.711 due to the high flight altitude. This was the worst value among all UAV images. However, the  $\sigma_{MTF}$  of the FC-6310 at 150-m altitude was 0.699, which is almost the same as that of a manned aerial image.

**Keywords** : UAV-Photogrammetry, MTF, Circular Target, MATLAB GUI, Spatial Resolution

---

이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음.

(과제번호:NRF-2018R1D1A1A02085675)

이 논문은 교신저자 성상민의 박사논문 일부를 발췌한 것임.

\*Corresponding Author : Sang-Min Sung(Dong-A Univ.)

email: cantona777@naver.com

Received July 11, 2019

Revised August 20, 2019

Accepted September 6, 2019

Published September 30, 2019

## 1. 서론

무인항공사진측량(UAV-Photogrammetry)은 정사 영상, 3D Model과 같은 성과물을 제작하고 각종 수치지도 등의 최종 성과물을 제작하게 된다. 따라서 정사영상, 3D Model과 같은 성과물의 품질이 최종 측량 결과물의 품질에 직접적인 영향을 미치게 된다. 하지만 기상조건, 촬영고도, 비 측량용 카메라와 저가 항법장치(GPS, IMU)의 사용, 급격한 자세각의 변화, 흐림 현상(Blurring) 등에 따른 균질한 품질(해상도 및 정확도) 확보가 어려운 문제점이 있다. 또한, 무인항공사진과 성과물에 대한 품질 검증과 인증을 위한 자세한 절차와 규정이 미흡하여 품질의 신뢰성 확보가 어려운 실정이다. 한편, 항공영상의 품질 평가와 관련된 연구 동향을 살펴보면 2009년 Wang 등은 유인항공영상이나 인공위성영상에서 Hough 변환을 이용한 직선의 검출에 기초하여 높은 성공률과 허용 가능한 정확도로 MTF를 자동으로 측정하는 방법을 제시하였다[1]. 2003년 Baer는 기존의 Edge target과 Slanted edge target을 이용한 공간해상도 분석 방법의 단점을 보완할 수 있는 Circular target을 이용한 공간해상도 분석 방법을 제시하였다[2]. 2015년 Dabrowski는 무인항공영상의 품질을 검증하기 위해 PIQuAT라는 휴대용 영상품질평가 테스트 시트를 제작하였다. PIQuAT는 나무판 재질로 70×70 cm의 크기이며, 무인항공기체와 함께 운반하여 어떠한 현장 조건에서 설치가 가능하고, 분광해상도 및 방사해상도를 동시에 평가하여 다양한 무인항공기체에 탑재된 센서의 검증을 용이하게 하였다[3]. 이에 본 연구에서는 무인항공사진측량용 해상도 타겟인 Circular target을 제작하여 연구대상지에 설치 후, 영상의 해상도와 명암정보를 동시에 분석할 수 있는 MTF(Modulation Transfer Function) 분석을 실시하여 무인항공영상의 신뢰성을 확보하고자 하였으며, MATLAB GUI 기반 해상도 분석 Tool을 제작하여 작업자가 간편하게 무인항공영상의 품질을 검증하여 사용목적에 맞는 적절한 촬영고도와 증복도, 비행경로 등 촬영요소(flight parameters)의 최적화에 대한 판단을 가능하게 하여 작업의 효율성을 높이고자 하였다. 또한, 무인항공영상의 품질 저하 요소 중 가장 큰 변수인 촬영고도와 탑재된 카메라의 성능을 달리하여 품질 평가를 실시한 후, 유인항공영상과 품질을 비교하여 고 해상도의 무인항공영상을 얻기 위한 최소 조건을 제시하였다.

## 2. MTF 분석

### 2.1 MTF 분석 방법

MTF 그래프에서 횡축은 흑백 라인이 한 쌍(lp: line pair)을 이루었을 때, 1 pixel안에 몇 쌍의 lp가 들어가는지를 나타내는 단위인 공간주파수(spatial frequency), 종축은 MTF 수치로 표현한다. 종축인 MTF 수치는 피사체에 대하여 주어진 해상도에서 흑백의 대비를 얼마나 잘 구분할 수 있는지를 나타낸다. 즉, 밝은 부분과 어두운 부분의 강도 차이가 클수록 MTF 수치가 좋은 것이다. 만약 MTF 수치가 0이라면 영상에서 흑백의 대조 차이가 없어 피사체의 구분이 어려운 상태이며 수치가 1에 가깝다면 흑백의 구분이 뚜렷함을 나타낸다[4].

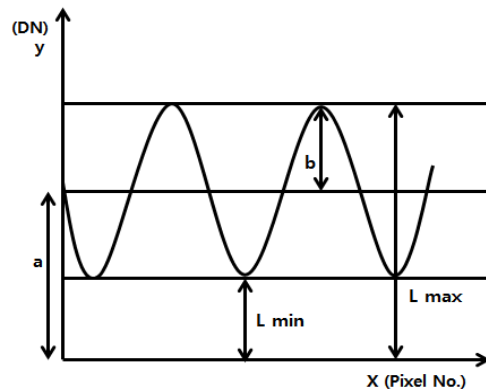


Fig. 1. DN of image with black and white linepairs

Fig. 1은 영상에 나타난 흑백선 쌍에서 추출된 DN(Digital number)를 나타내고 있다. 이 그래프에서 Modulation 값은 식 (1)로 나타낸다[5].

$$Modulation = \frac{l_{max} - l_{min}}{l_{max} + l_{min}} = \frac{a + b - (a - b)}{a + b + (a - b)} = \frac{2b}{2a} = \frac{b}{a} \quad (1)$$

MTF 수치는 식 (2)로 나타낼 수 있다[5].

$$MTF = \frac{Modulation_{image}}{Modulation_{object}} \quad (2)$$

Where,  $Modulation_{image}$  denotes Modulation values shown in the image,  $Modulation_{object}$  denotes Modulation value extracted from the actual

filmed shape

$$Spatial\ frequency = \frac{GSD(cm/Pixel)}{Width\ of\ black\ and\ white\ pair(cm/lp)} \quad (3)$$

흑백선 쌍의 공간주파수는 위의 식 (3)에 의해 계산되어진다[5]. 즉, 흑백선 쌍의 폭이 40 cm이고 GSD가 10 cm라면 공간주파수는 0.25 lp/pixel이다.

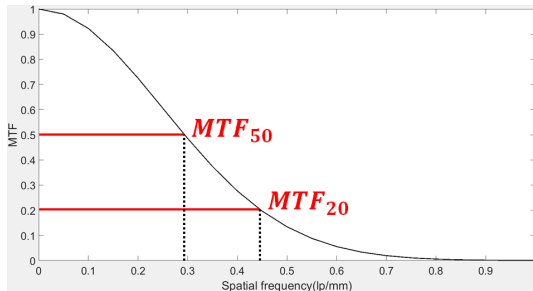


Fig. 2. MTF graph

MTF 수치의 표준편차인  $\sigma_{MTF}$ 를 계산하여 각각의 경우를 비교 분석하였다.  $\sigma_{MTF}$ 가 작을수록 영상의 품질이 좋은 영상이다. 또한, Fig. 2에 나타난 MTF 그래프의 MTF 수치 50%에 해당하는 공간주파수 수치인  $MTF_{50}$ , MTF 수치 20%에 해당하는 공간주파수 수치인  $MTF_{20}$ 을 계산하여 비교 분석하였다.  $MTF_{50}$ 이란 많은 연구를 통한 경험적인 기준으로 작업자의 육안으로 경계의 선명함이 흐려지기 시작할 때의 공간주파수 수치를 의미한다.  $MTF_{20}$ 은 작업자의 육안으로 경계를 구별할 수 있는 최소한의 공간주파수 수치를 말한다[6].

### 2.1.1 Circular target을 이용한 MTF 분석 방법

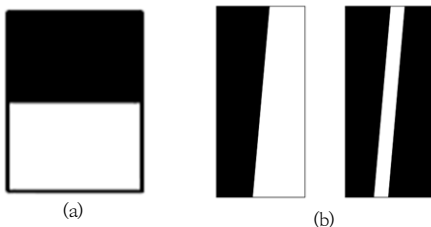


Fig. 3. (a) Edge target & (b) Slanted edge target

위의 Fig. 3과 같은 기존의 Edge target과 Slanted edge target을 이용한 MTF 분석 방법은 일정한 경계의

방향에 대해서만 분석이 가능한 문제점이 있다. 따라서 영상의 취득 시 미리 비행방향을 고려하여 해상도 타겟을 설치하여야 한다. 하지만 본래 CT(Computed Tomography) 영상과 같은 의료용 영상의 해상도 분석에 이용되는 해상도 타겟인 Circular target을 무인항공 영상용으로 제작한 본 연구의 Circular target 영상은 360° 회전이 가능하여 촬영방향과 경계의 각도에 관계없이 모든 방향에서 MTF 분석이 가능한 장점이 있다[2].

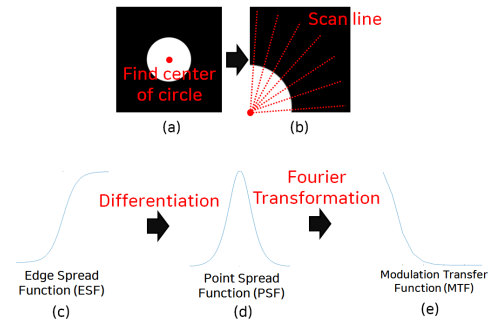


Fig. 4. MTF analysis using circular target

Fig. 4의 (a)와 같이 Circular target을 이용한 MTF 분석의 첫 번째 단계는 Circular target에 위치한 원의 중심점을 찾는 것이다[6]. 원의 중심점은 영상에서 Circular target이 정사각형의 형상이라면 영상에서 각각 행과 열을 이용하여 합계의 중간 값을 계산하여 결정된다. 하지만 무인항공영상에서는 흐림 현상의 발생과 명암대비의 저하 등으로 완벽한 정사각형 형태의 Circular target 영상을 생성하기가 어렵다. 따라서 GNSS(Global Navigation Satellite System) 네트워크 RTK-VRS(Real Time Kinematic Virtual Reference System) 방법으로 미리 Circular target의 중심을 측량하여 영상에서 원의 중심점을 찾아 분석하였다. GNSS 네트워크 RTK(VRS) 방법에 의한 원의 중심점 결정은 측량 오차와 영상의 특성으로 인하여 찾고자 하는 해당 픽셀의 중심에 정확히 위치하지 않는다[2]. 두 번째 단계(b)는 원의 중심점에서 방사형 주사선(scan line:래스터 방식을 사용하여 정보를 표현하는 영상면 출력 장치에서, 수평 방향으로 하나의 줄에 존재하는 픽셀들의 집합)을 사용하여 DN 수치를 추출한다. 주사선의 각도는 임의로 선택할 수 있어 모든 방향의 DN 수치를 획득할 수 있다. 앞에서 설명한 바와 같이 원의 중심이 해당 픽셀의 중심에 위치하지 않아 주사선 또한 픽셀의 중심과 교차하지 않는다. 이와 같은 이유로 균일한 간격을 갖는 주사선을 얻기 위하여 쌍1차 보

간법(bilinear interpolation)을 사용하여 픽셀 수치에서 가장 가까운 4 점으로부터 DN 수치를 결정한다. 세 번째 단계(c)는 (b)와 같이 각 라인에서 추출한 DN 수치를 평균값으로 계산하여 ESF를 생성한다. 네 번째 단계(d)는 ESF 그래프를 생성 후 미분하여 PSF 그래프를 생성한다. PSF 그래프 생성 단계에서 가우시안 함수로 그래프를 평활화 한다면 노이즈가 MTF 수치에 미치는 영향을 줄일 수 있다. 최종적으로 PSF 그래프에서 후리에 변환 공식을 사용하여 (e)와 같이 MTF 그래프를 생성하게 된다[6].

### 3. 해상도 분석 Tool 제작

#### 3.1 Circular target을 이용한 MTF 분석 Tool

작업자가 무인항공영상의 품질을 보다 간편하고 객관적으로 분석할 수 있도록 MATLAB GUI 기반 해상도 분석 Tool을 제작하였다.

분석 Tool의 흐름도는 아래의 Fig. 5와 같다. 첫째, 무인항공사진으로 제작한 정사영상에서 Circular target이 촬영된 영상을 불러와 target의 중심 좌표를 입력하거나 영상에서 중심 좌표를 추출한다. 둘째, 입력한 중심 좌표를 기준으로 반경 별 픽셀 수치를 추출하여 평균값을 계산한다. 셋째, 반경 별로 추출한 픽셀 수치의 평균값을 이용하여 ESF 그래프를 생성한다. 넷째, ESF 그래프의 1차 도함수인 PSF 그래프를 생성한다. 여기서 가우시안 함수로 그래프를 평활화하여 영상의 노이즈가 그래프에 미치는 영향을 줄였다. 마지막으로 PSF 그래프를 후리에 변환 공식을 사용하여 MTF 그래프를 생성하고  $\sigma_{MTF}$ 를 계산한다.

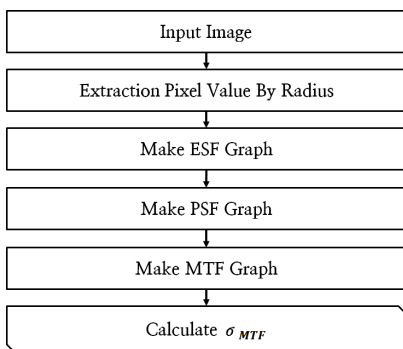
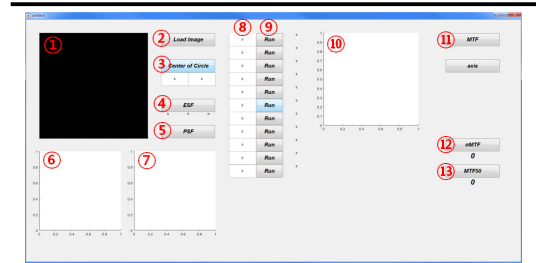


Fig. 5. Flow chart of MTF analysis tool using circular target

아래의 Table 1은 Circular target을 이용한 MTF 분석 Tool의 번호 별 기능을 나타내고 있다.

Table 1. Configuration of MTF analysis tool using circular target



①	Circular Target Representing Window
②	Circular Target Load Button
③	Center Coordinate Extraction Button
④	ESF Graph Generation Button
⑤	PSF Graph Generation Button
⑥	ESF Graph
⑦	PSF Graph
⑧	radial input window
⑨	DN Extract Button
⑩	MTF Graph
⑪	MTF Graph Generation Button
⑫	$\sigma_{MTF}$ Generation Button
⑬	$MTF_{50}$ Generation Button

### 4. 실험 및 자료처리

#### 4.1 해상도 타겟 설치

Circular target의 형태는 아래의 Fig. 6과 같이  $1 \times 1$  m 크기의 흑색 배경에 백색의 원으로 이루어져 있다. 타겟의 흑백 대비 규정은 4:1의 명암대비로 규정하고 있으며, 만약 대비가 너무 높으면 렌즈에서 빛이 산란되거나 반사되어 원래 상에 없는 허상이 나타나는 현상이 발생하여 가장자리에 왜곡이 발생할 수 있다[7].

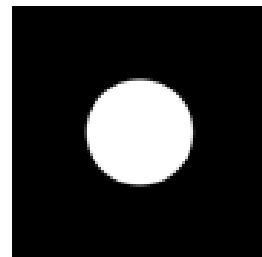





Fig. 6. Circular target

### 4.2 영상 취득 및 처리

Table 2. Specifications of cameras and Flight height

Appearance			
Camera model	iXM-100	FC 6310	UltraCAM Eagle Mark 2
Focal length	35 mm	8.8 mm	100 mm
Pixel size	3.76 × 3.76 μm	2.41 × 2.41 μm	6 × 6 μm
CCD Sensor size	11,664 × 8,750 (100 MP)	5,472 × 3,648 (20 MP)	17,310 × 11,310 (193 MP)
Flight height	150 m	80 m	1000 m
	200 m	100 m	
	400 m	150 m	








사용한 무인항공기체는 Phantom 4 Pro(FC 6310)기체와 Matrice 600(iXM-100)기체이며 모두 회전익 기체이다. 유인항공기체에는 UltraCAM Eagle Mark 2 센서를 탑재하였다. 항공영상의 품질은 기체에 탑재된 카메라의 성능과 촬영고도에 큰 영향을 받기에 위의 Table 2에 탑재한 카메라 센서의 성능과 촬영고도를 나타내었다. 촬영고도의 경우 Matrice 600(iXM-100)기체는 150, 200, 400m의 고도로 촬영하였으며, Phantom 4 Pro(FC 6310)기체는 80, 100, 150m의 고도로 촬영하였다.

### 5. 결과분석

Circular target을 이용하여 무인항공영상과 유인항공영상의 MTF를 분석하였다. 아래의 Table 3에는 각각의 센서와 고도별로 촬영된 Circular target과  $\sigma_{MTF}$ ,  $MTF_{50}$ ,  $MTF_{20}$  를 계산하여 나타내었다.

MTF 수치의 표준편차인  $\sigma_{MTF}$ 는 수치가 낮을수록 좋은 품질의 영상을 의미한다.  $\sigma_{MTF}$ 를 살펴보면 촬영고도가 높아질수록 FC 6310 센서(0.431, 0.524, 0.699), iXM-100 센서(0.332, 0.393, 0.631)로  $\sigma_{MTF}$  수치가 높아져 영상의 품질이 나빠지는 결과를 나타내었다. 또한, 동일한 150m 고도일 때, 햇빛의 방사량과 탐

Table 3. MTF analysis using circular target

Camera model	Flight height	Circular target	$\sigma_{MTF}$	$MTF_{50}$	$MTF_{20}$
FC 6310	80 m		0.431	0.434	0.663
	100 m		0.524	0.355	0.541
	150 m		0.699	0.267	0.407
iXM-100	150 m		0.332	0.563	0.857
	200 m		0.393	0.470	0.717
	400 m		0.631	0.294	0.448
UltraCAM Eagle Mark 2	1000 m		0.711	0.262	0.399

재된 카메라의 성능에 의하여 백색 피사체의 빛 번짐 현상이 발생한 FC 6310 센서의  $\sigma_{MTF}$  수치는 iXM-100 센서의  $\sigma_{MTF}$  수치보다 매우 나쁜 결과를 나타내고 있다. 이는 영상의 해상도뿐만 아니라 명암의 대비 정도도 측정하여 분석하는 MTF 분석의 특성 상 빛 번짐 현상이  $\sigma_{MTF}$  수치에 큰 영향을 미친 것으로 판단되어 탑재된 카메라의 성능이 영상의 품질에 큰 영향을 미침을 확인할 수 있다. 유인항공영상과의 비교에서는 무인항공영상의  $\sigma_{MTF}$  수치가 모든 기체와 고도에서 UltraCAM Eagle Mark 2 센서의 유인항공영상  $\sigma_{MTF}$  수치(0.711)보다 나은 결과를 나타내었으나, FC 6310 센서의 150m 고도에서는 0.699의 수치로 거의 차이가 없는 결과를 나타내었다. 이와 같은 결과는 무인항공영상 촬영시에 작업자가 촬영고도는 최대 150m, 탑재된 카메라의 성능은 최소 2000만 화소의 성능을 가진 카메라를 사용하여 중복도, 기체의 종류 등을 적절하게 판단하여 촬영을 실시하여야만 유인항공영상보다 나은 고품질의 무인항공영상을 획득할 수 있음을 나타낸다.

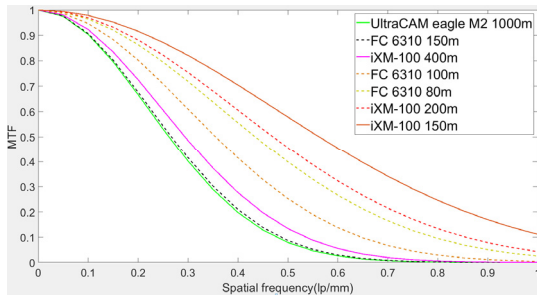


Fig. 7. Comparison of MTF curves by cameras using circular target

위의 Fig. 7은 각각의 Circular target을 이용하여 분석한 MTF 그래프이다. MTF 그래프에서는 x축의 공간주파수가 커질수록 y축의 MTF 수치가 1에 가까게 유지된다면 피사체를 자세히 구분하는 해상도가 뛰어난 성능이 우수한 카메라 센서라고 판단할 수 있다. 그래프의 범례 순서대로 나쁜 품질의 영상을 나타내고 있다. iXM-100 센서의 150 m 고도에서 작업자의 육안으로 경계의 선명함이 흐려지기 시작할 때의 공간주파수 수치인  $MTF_{50}$  0.563 lp/pixel, 작업자의 육안으로 경계를 구별할 수 있는 최소한의 공간주파수 수치인  $MTF_{20}$ 은 0.857 lp/pixel의 결과를 나타내었다. 즉, iXM-100 센서로 150 m 고도에서 촬영한 항공영상에 폭이 10 cm인 한 쌍의 흑백선이 존재할 때, 앞에서 설명한 공간주파수 공식인 식(3)을 이용하면 약 5.63 cm의 GSD일 때부터 흑백선의 경계가 흐려지기 시작하며 GSD가 8.57 cm 이상이 되면 흑백선의 경계를 인식할 수 없게 된다. 마찬가지로 150 m 고도의 FC 6310 센서의 경우 GSD 2.67 cm부터 흑백선의 경계가 흐려지기 시작하며 GSD 4.07 cm일 때, 흑백선의 경계를 인식할 수 없다고 판단할 수 있다. UltraCAM Eagle Mark 2 센서의 경우 GSD 2.62 cm부터 흑백선의 경계가 흐려지기 시작하며 GSD 3.99 cm일 때, 흑백선의 경계를 인식할 수 없다고 판단할 수 있다.

## 6. 결론

무인항공사진측량용 해상도 타겟인 Circular target을 이용한 MTF 분석을 실시하여 무인항공영상의 신뢰성을 확보하고자 하였으며, MATLAB GUI 기반 해상도 분석 Tool을 제작하여 작업의 효율성을 높이고자 하였다. 또한, 무인항공영상의 품질 저하 요소 중 가장 큰 변수인

촬영고도와 탑재된 카메라의 성능을 달리하여 품질 평가를 실시한 후, 유인항공영상과 품질을 비교하여 고 해상도의 무인항공영상을 얻기 위한 최소 조건을 제시하였다. 이와 같은 연구를 통해 아래와 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 기존의 해상도 타겟을 이용한 MTF 분석 방법이 가지고 있는 일정한 경계의 방향에 대해서만 분석이 가능한 문제점을 해결한 Circular target을 무인항공영상용으로 제작하여 MTF 분석이 가능함을 확인하였다. 또한 MATLAB GUI 기반 해상도 분석 Tool을 개발하여 작업자가 간편하게 무인항공영상의 품질을 검증하여 사용목적에 맞는 적절한 촬영고도와 중복도, 비행경로 등 촬영 요소의 최적화에 대한 판단을 가능하게 하여 작업의 효율성을 높였다.

둘째, FC 6310 센서의 경우 촬영고도가 높아질수록  $\sigma_{MTF}$  수치가 0.431, 0.524, 0.699, iXM-100 센서의 경우 촬영고도가 높아질수록  $\sigma_{MTF}$  수치가 0.332, 0.393, 0.631로 높아져 촬영고도가 높아질수록 영상의 품질이 나빠짐을 확인하였으며, 150m의 동일 고도로 촬영한 무인항공영상을 비교한 경우,  $\sigma_{MTF}$  수치가 FC 6310 센서는 0.699, iXM-100 센서는 0.332로 탑재된 센서의 성능이 좋은 iXM-100 센서가 매우 좋은 결과를 나타내었다. 이와 같은 결과로 촬영고도와 탑재된 카메라의 성능이 무인항공영상의 품질에 큰 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있었다.

셋째, MTF 그래프에서 MTF 수치 50%에 해당하는 공간주파수 수치인  $MTF_{50}$ 과 MTF 수치 20%에 해당하는 공간주파수 수치인  $MTF_{20}$ 을 계산하여 비교 분석하였다. iXM-100 센서의 경우 150 m 고도에서 촬영한 항공영상에 폭이 10 cm인 한 쌍의 흑백선이 존재할 때, 약 5.63 cm의 GSD일 때부터 흑백선의 경계가 흐려지기 시작하며 GSD가 8.57 cm 이상이 되면 흑백선의 경계를 인식할 수 없게 된다. 150 m 고도의 FC 6310 센서의 경우 GSD 2.67 cm부터 흑백선의 경계가 흐려지기 시작하며 GSD 4.07 cm일 때, 흑백선의 경계를 인식할 수 없다고 판단할 수 있다. UltraCAM Eagle Mark 2 센서의 경우 GSD 2.62 cm부터 흑백선의 경계가 흐려지기 시작하며 GSD 3.99 cm일 때, 흑백선의 경계를 인식할 수 없다고 판단할 수 있다.

넷째, 무인항공영상의 품질을 유인항공영상의 품질과 비교한 경우, 무인항공영상의 품질이 모든 기체와 촬영고도에서 유인항공영상의 품질보다 나은 결과를 나타내었다. 하지만 FC 6310 센서의 150m의 경우  $\sigma_{MTF}$  수치

가 0.699로 1000m 고도에서 촬영한 UltraCAM Eagle Mark 2 센서의  $\sigma_{MTF}$  수치 0.711과 크게 차이가 없는 결과를 나타내었다. 이와 같은 결과는 무인항공영상 촬영 시에 작업자가 촬영고도는 최대 150m 이하, 탑재된 카메라의 성능은 최소 2000만 화소의 성능을 가진 카메라를 사용하여 중복도, 기체의 종류 등을 적절하게 판단하여 촬영을 실시하여야만 무인항공영상보다 나은 고품질의 무인항공영상을 획득할 수 있음을 나타낸다.

하지만 본 연구에서는 무인항공영상의 품질을 촬영고도, 탑재된 카메라의 성능만 달리하여 비교한 결과이다. 비행체의 자세각, 기상조건 등 보다 다양한 조건에서 촬영된 영상의 품질을 분석한다면 무인항공영상의 품질의 신뢰도 향상에 큰 기여를 할 것으로 판단된다.

## References

- [1] T. Wang, S. Li, X. Li, "An automatic MTF measurement method for remote sensing cameras", 2nd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology, IEEE, Beijing, China, pp. 245-248, 2009.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/ICCSIT.2009.5234572>
- [2] L. R. Baer, "The Circular-edge spatial frequency response test", The International Society for Optical Engineering, SPIE, San Jose, California, United States, 2003.  
DOI: <https://doi.org/10.1117/12.524829>
- [3] R. Dabrowski, A. Jenerowicz, "Preliminary results form the portable image quality assessment test field(PIQuAT) of UAV imagery for imagery reconnaissance purposes", ISPRS Workshop, August - September, Toronto, Canada, pp.111-115, 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-1-W4-111-2015>
- [4] T. Y. Lee, Spatial Resolution Analysis of Aerial Digital Cameras, Ph.D dissertation, Dong-A University, Busan, Korea, pp.21-24. 2012.
- [5] A. Neumann, Verfahren zur Auflösungs-messung Digitaler Kameras, Diplomarbeit, University of Applied Sciences Cologne, Cologne, Germany, pp.4-5, 2003.
- [6] PetaPixel[cited 2014 May 05], Available From:<https://petapixel.com/2014/05/05/mtf-charts-english-translation>(accessed July., 11, 2019)
- [7] Y. Okano, "MTF analysis and its measurements for digital still camera", IS&T 50th Annual Conference, IS&T, Cambridge, Massachusetts, USA, pp.383-387, May 1997.

이 재 원(Jae-One Lee)

[정회원]



- 1984년 2월 : 동아대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 1996년 2월 : 독일 Hannover 대학교 (공학박사)
- 2000년 4월 ~ 2006년 2월 : 대한 측량협회(現:공간정보산업협회) 연구개발실장
- 2006년 3월 ~ 현재 : 동아대학교 공과대학 토목공학과 교수

<관심분야>

측량학, 사진측량

성 상 민(Sang-Min Sung)

[정회원]



- 2016년 2월 : 동아대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2019년 8월 : 동아대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)

<관심분야>

측량학, 사진측량