

## 경사 타겟을 이용한 무인항공영상의 경계반응 분석 Edge Response Analysis of UAV-Images Using a Slanted Target

이재원<sup>1)</sup> · 성상민<sup>2)</sup>

Lee, Jae One · Sung, Sang Min

### Abstract

UAV (Unmanned Aerial Vehicle) photogrammetry has recently emerged as a means of obtaining highly precise and rapid spatial information due to its cost-effectiveness and high efficiency. However, current procedures or regulations for quantitative quality verification methods and certification processes for UAV-images are insufficient. In addition, the current verification method for image quality is not evaluated by an MTF (Modulation Transfer Function) analysis or edge response analysis, which can analyze the degree of contrast including image resolution, and only relies on the GSD (Ground Sample Distance) analysis. Therefore, in this study, the edge response analysis using a Slanted edge target was performed along with GSD analysis to confirm the necessity of analyzing edge response analysis in UAV-images quality analysis. Furthermore, a Matlab GUI-based software tool was developed to help streamline the edge response analysis. As a result, we confirmed the need for edge response analysis since the outputs of the edge response analysis from the same GSD had significantly different outcomes. Additionally, we found that the quality of the edge response analysis of UAV-images is proportional to the performance of the camera mounted on the UAV.

Keywords : UAV Photogrammetry, Ground Sample Distance, Edge Response, Image Quality

### 초 록

무인항공사진측량은 저비용, 고효율의 장점으로 최근 고정밀의 신속 공간정보 데이터 취득 수단으로 떠오르고 있다. 하지만 무인항공영상의 정량적인 품질 검증 방법이나 인증에 대한 구체적인 절차와 세부규정이 미흡하다. 또한, 영상 품질에 대한 검증 수단이 영상의 해상도와 함께 명암의 대비 정도를 분석 할 수 있는 MTF (Modulation Transfer Function) 분석이나 경계반응 분석이 아니라 단순히 GSD (Ground Sample Distance) 만으로 품질을 평가 하는 실정이다. 이에 본 연구에서는 무인항공영상 품질 분석에서 경계반응 분석의 필요성을 확인하기 위해 GSD 분석과 함께 Slanted edge target을 이용한 경계반응 분석을 실시하였다. 또한, 작업자가 간편하게 경계반응을 분석할 수 있도록 Matlab GUI 기반 tool을 제작하였다. 연구 결과, 동일한 GSD 임에도 불구하고 경계 반응 분석 결과는 상이하게 나타나 경계반응 분석의 필요성을 확인할 수 있었다. 아울러, 무인항공영상의 경계반응 분석 수치는 무인항공기에 탑재한 카메라의 성능에 비례함을 알 수 있었다.

핵심어 : 무인항공사진측량, 지상표본거리, 경계반응, 영상 품질

Received 2020. 07. 17, Revised 2020. 08. 04, Accepted 2020. 08. 20

1) Member, Professor, Dept. of Civil Engineering, Dong-A University (Email: leejo@dau.ac.kr)

2) Corresponding Author, Member, Researcher, Dept. of Civil Engineering, Dong-A University (Email: cantona777@naver.com)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서론

무인항공영상은 유인항공영상에 비하여 저고도에서 촬영되어 대개 높은 해상력을 가지고 있으며, 취득 시간과 장소에 구애를 받지 않고 촬영을 진행할 수 있다. 이외에도 저비용, 고효율의 장점으로 최근 고정밀의 신속 공간정보 데이터 취득 수단으로 떠오르고 있다. 또한, 현재 공공기관이나 민간분야에서 토목 및 건설현장의 측량, BIM (Building Information System) 데이터 구축, 토공물량 산정, 경사도 분석과 같은 업무에 활발하게 활용되고 있으며, 공공측량과 같은 실무에 적용되는 작업규정과 품셈이 제정되었다. 하지만 저가의 항법장치, 촬영 당시 기체의 흔들림, 기상조건(광량, 풍속, 안개 등) 등으로 인해 균질한 품질의 데이터 확보가 어려우며 무인항공영상의 정량적인 품질 검증 방법이나 인증에 대한 구체적인 절차와 방법이 없어 실무 적용이 어려운 문제점이 있다. 또한, 현재 영상 품질에 대한 검증 수단은 GSD (Ground Sample Distance) 분석으로만 품질을 평가하는 실정이다(Sung, 2019).

항공영상 품질 검증에 대한 연구 동향을 살펴보면 Baer (2003)는 기존의 Edge target과 Slanted edge target을 이용한 공간해상도 분석 방법의 단점을 보완할 수 있는 Circular target을 이용한 공간해상도 분석 방법을 제시하였다. Wang *et al.* (2009)은 유인항공영상이나 인공위성영상에서 Hough 변환을 이용한 직선의 검출에 기초하여 높은 성공률과 허용 가능한 정확도로 MTF (Modulation Transfer Function)를 자동으로 측정하는 방법을 제시하였다. Sieberth *et al.* (2016)은 강한 바람, 난기류, 조종자의 갑작스런 조작 등으로 인한 카메라의 움직임에 의해 발생한 무인항공영상의 흐림 현상을 자동으로 필터링하는 기법을 개발하였다. 개발된 기법은 무인항공영상의 흐림 현상을 자동으로 감지하여 제거할 수 있어 영상의 품질을 향상시키고 기존의 작업자가 수동으로 감지하는 방법보다 시간과 비용이 절감되고 객관적인 분석이 가능한 방법이다. Orych (2015)는 무인항공영상의 공간해상도를 측정하기 위해 Siemens star를 이용하였다. Siemens star를 이용한 해상도 분석은 특정 비행 방향에 구애받지 않아 모든 방향에서 빠르고 객관적으로 분석이 가능하다. 또한 유인항공영상에 흔히 사용되는 Bar target에 비하여 크기와 치수가 작아 저고도로 비행하는 무인항공사진측량 시스템에 이상적인 해상도 타겟임을 증명하였다.

국내에서는 Lee (2012)가 프레임 카메라와 선형 스캔방식의 카메라로 제작한 유인항공영상을 Bar target과 Siemens star의 해상도 타겟을 이용하여, GSD, 경계반응, MTF 분석을 실시하였다. Lim *et al.* (2018)은 지상식별도인 GRD (Ground Resolved Distance)의 개념을 도입하여 경계 타겟 분석을 통해 무인항공

기 영상의 선명도 지표를 추출하고 이의 적정성을 평가하였다. Lee *et al.* (2019)은 비행체의 심한 거동, 카메라 성능의 한계 및 기상조건 등의 영향으로 균질한 품질의 영상 확보가 어려운 무인항공영상에 대해 Bar target과 Siemens star를 이용하여 공간 해상도와 MTF를 평가하는 방안을 제시하여 영상 품질에 대한 신뢰도를 확보하고자 하였다.

이와 같이 무인항공영상의 품질 검증 방법은 GSD 분석뿐만 아니라 MTF 분석, 경계반응 분석과 같이 다양한 방법이 있다. 이에 본 연구에서는 무인항공영상 품질 검증에서 경계반응 분석의 필요성과 촬영요소로 따른 경계반응의 변화를 객관적으로 비교 분석하기 위하여 동일한 GSD를 나타낸 case를 실험대상으로 선정하여 기존의 수직 수평 방향의 Edge target과는 달리 pixel 값을 추출할 때, 영상에서 발생하는 노이즈가 결과 수치에 미치는 영향을 줄일 수 있는 Slanted edge target을 이용하여 경계반응 분석을 실시하였다. 또한, 작업자가 간편하게 경계반응 분석을 실시할 수 있도록 Matlab GUI 기반 tool을 제작하고자 하였다.

## 2. Siemens star를 이용한 GSD 분석

GSD는 영상에서 하나의 pixel 범위가 실제 지상에서 나타내는 거리를 의미한다. Siemens star를 이용한 영상의 GSD 분석은 Siemens star가 촬영된 영상에서 Siemens star의 직경과 중심부의 흐릿해지는 경계부분까지의 직경을 이용하여 분석을 수행한다. Fig. 1에서 공간해상도는 식 (1)로 계산할 수 있다.

$$l = \frac{\pi d}{n} \tag{1}$$

where,  $l$  represents the spatial resolution, and  $d$  is mean of the diameter to the blurring border of the center,  $n$  is the number of black and white lines in the Siemens star.

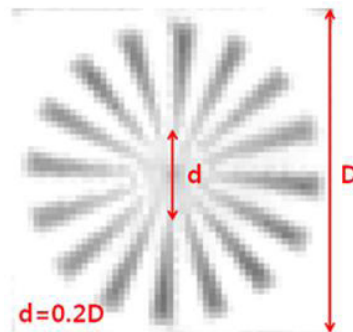


Fig. 1. Resolution analysis using Siemens star

GSD는 중심부의 흐릿해지는 경계부분까지의 직경( $d$ )에 비례하며 Siemens star에 존재하는 흑백선의 개수( $n$ )에 반비례하게 된다(Sung, 2019).

### 3. Slanted edge target을 이용한 경계반응 분석

Slanted edge target은 아래의 Fig. 2와 같이 흰색 바탕에 수직의 모양에서 일정한 각도로 회전한 흑색 사각형의 형태로 간단한 형상을 가지며 현재 상용되고 있는 소프트웨어 tool을 이용하여 영상의 품질을 객관적으로 판단할 수 있어 유인 항공 디지털 센서의 해상도를 평가하는데 매우 유용한 해상도 타겟이다.

본 연구에서 Slanted edge target의 경사진 경계의 각도는 ISO 12233에서와 같이 5°의 각도로 기울어지게 설계하여 제작하였다. 또한 Slanted edge target의 흑백의 명암대비는 ISO 12233에서 최소 40:1로 규정하였다. 하지만 최근 개정된 흑백 명암대비는 4:1의 명암대비로 규정하고 있다. 이와 같은 변화는 Slanted edge target을 이용한 영상 품질 검증 방법의 발전을 보여주고 있다. 이 규정의 내용에 따르면 너무 높은 대비의 타겟을 사용하면 대비에 따른 해상도의 오차가 발생하게 된다(Roland, 2015).



Fig. 2. Slanted edge target

Slanted edge target의 장점은 기존의 수직 수평 방향의 Edge target과는 달리 pixel 값을 추출할 때, 경사진 경계의 좌우로 연속적으로 좁은 pixel 값을 추출할 수 있어 영상에서 발생하는 노이즈나 앨리어싱(노이즈가 발생하여 영상에서 경계가 계단처럼 나타나는 현상)효과가 ESF (Edge Spread Function) 그래프 생성 시에 미치는 영향을 줄일 수 있다(Sung, 2019).

아래의 Fig. 3은 분석되는 영역의 선명도가 일정하지 않은 Slanted edge target을 나타내고 있다. 만약 선명하지 않은 Slanted edge target으로 해상도 분석을 하게 되면 PSF (Point Spread Function)는 Fig. 3과 같이 나타난다. 그래프의 중심이 실제 PSF와 선명하지 않은 Slanted edge target의 PSF가 차이가 나게 된다(Baer, 2003).

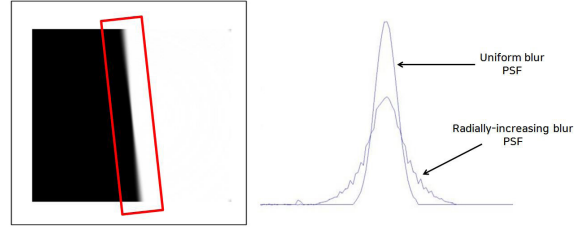


Fig. 3. Slanted edge with radially-increasing blur and PSF for slanted edges with uniform and radially-increasing blur(Baer, 2003)

#### 3.1 경계반응 분석

영상의 경계반응 분석은 영상의 어두운 지역과 밝은 지역의 경계의 선명도를 평가하기 위한 방법이다. 경계반응 분석은 해상도 타겟 또는 흑백의 경계 구분이 뚜렷한 지형지물에서도 쉽게 측정할 수 있어 객관적이고 단순한 분석이 가능하다(Orych, 2015). 흑백의 경계가 흐려지는 원인은 CCD의 특성, 빛의 회절 및 렌즈수차 등과 상의 운동, 렌즈의 비 초점화, 플랫폼의 진동 및 대기의 영향 등으로 인한 흐림 현상 때문이다(Jacobsen, 2008).

동일한 객체를 촬영하여 동일한 GSD 값을 나타내어도 아래의 Fig. 4와 같이 PSF의 50%에 해당하는 pixel 거리가 다를 경우 영상 선명도에서 차이를 나타낸다(Pagnutti et al., 2011).

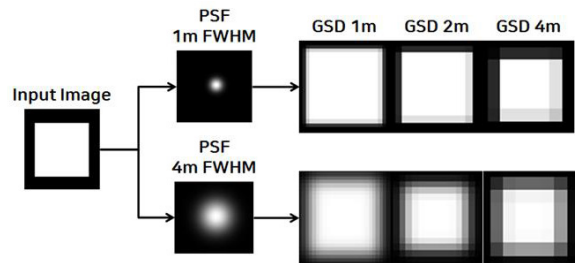


Fig. 4. Difference in sharpness of image by PSF

경계반응 분석에는 Blonski edge response 기법과 Luxen edge response 기법이 있다. 본 연구에서는 Blonski edge response 기법을 이용하여 분석을 진행하였다. Blonski edge response 기법의 순서는 우선 분석할 지점의 DN (Digital Number) 수치를 추출하여 경계확산함수로 불리는 ESF를 추정하게 된다. 추정된 ESF를 미분하여 그 도함수에 해당하는 PSF를 결정하여 50%에 해당하는 pixel 거리(FWHM: Full Width at Half Maximum)로 선명도를 판단하게 된다(Perko et al., 2003). Blonski edge response 기법을 보다 자세히 설명하면 아래와 같다.

### 3.2 ESF의 추정 방법

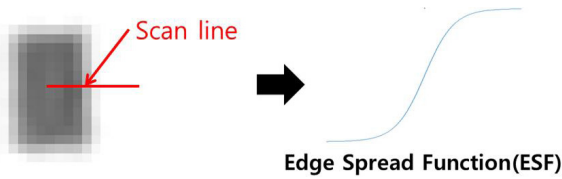


Fig. 5. Creation of edge spread function

Blonski Edge Response 방법의 첫 단계는 ESF 추정이다. 위의 Fig. 5와 같이 ESF를 추정하기 위하여 Edge target이나 흑백의 경계가 확연한 지형지물에서 DN 값을 추출할 수 있다. 이와 같이 추출된 DN 값을 이용하여 다음 식 (2)에 의하여 선형화하여 ESF를 추정하였다. 아래의 식 (2)에서  $a$ 는  $x$ 의 수치가  $-\infty$ 로 갈 때 최소값을 결정하는 계수이며,  $b$ 는 최대값과 최소값의 범위를 결정하는 계수이다.  $\lambda$ 는 그래프의 기울기를 결정하는 계수로  $\lambda$ 의 수치가 커질수록 기울기가 급하게 나타나며 수치가 적을수록 기울기가 완만하게 나타난다. 여기서  $x$ 는 영상패치의  $x$ 좌표이다(Perko *et al.*, 2003).

$$ESF = a + b \frac{1}{1 + e^{-\lambda x}} \quad (2)$$

where,  $a$  represents the coefficient that determines the minimum value when the value of  $x$  goes to  $-\infty$ , and  $b$  is mean of the factor that determines the range of maximum and minimum values,  $\lambda$  is mean of the coefficient that determines the slope of the graph,  $x$  is mean of the  $x$  coordinates of image patch.

### 3.3 PSF의 추정 방법

ESF를  $x$ 에 대하여 편미분한 1차 도함수인 PSF는 식 (3)과 같다.

$$PSF = \frac{b\lambda e^{-\lambda x}}{(1 + e^{-\lambda x})^2} \quad (3)$$

where,  $b$  is mean of the factor that determines the range of maximum and minimum values,  $\lambda$  is mean of the coefficient that determines the slope of the graph,  $x$  is mean of the  $x$  coordinate of image patch.

Fig. 6의 좌측은 ESF, 우측은 PSF를 나타낸 것이다. PSF는 영상에서 점의 확산 정도를 나타내며 영상의 선명도를 평가하는데 이용된다. 즉 Fig. 6의 우측에 도시된 PSF에서 최대 진폭의

절반인 50%에서의 폭에 해당하는 FWHM 크기로 선명도를 평가한다(Perko *et al.*, 2003). FWHM가 작을수록 선명한 영상이며 넓을수록 경계가 불분명하여 흐림 현상이 나타난 영상이므로 볼 수 있다(Sung, 2019).

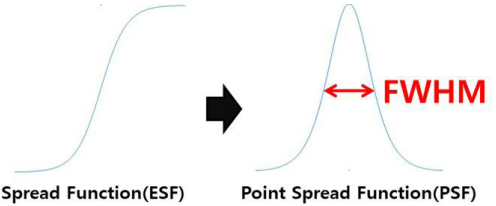
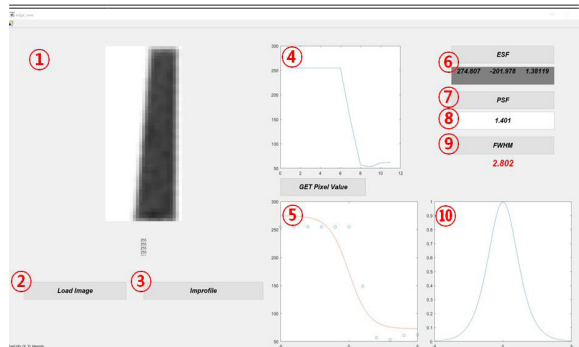


Fig. 6. ESF (left) and PSF (right) for edge response analysis

## 4. 경계반응 분석 tool 제작

아래의 Table 1은 Slanted edge target을 이용한 경계반응 분석 tool의 각 번호별로 해당하는 기능을 나타내고 있다.


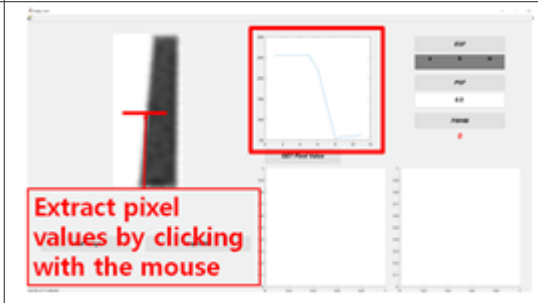
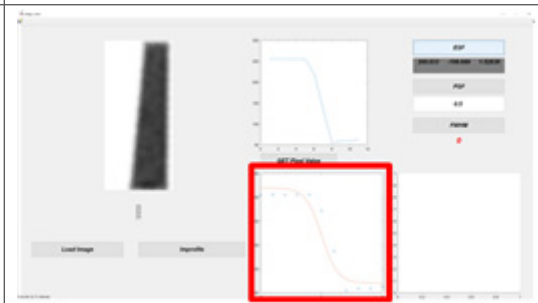
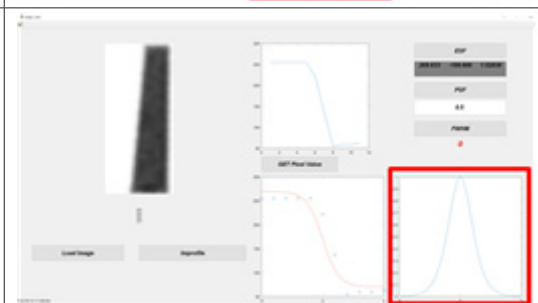
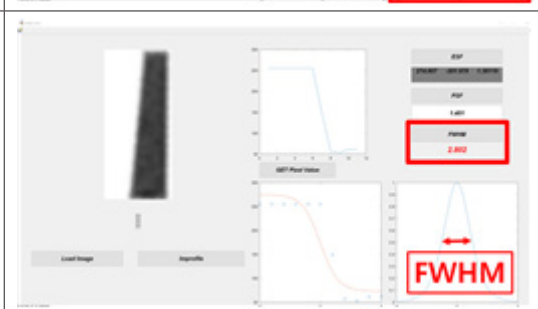
Table 1. Configuration of edge response analysis tool using slanted edge target



①	Window representing slanted edge target
②	Loading button for slanted edge target
③	Extracting button for DN values
④	DN Graph
⑤	ESF Graph
⑥	ESF Graph Generation Button
⑦	PSF Graph Generation Button
⑧	FWHM input window
⑨	FWHM DN input window
⑩	PSF Graph

Slanted edge target을 이용한 경계반응 분석 순서는 아래의 Table 2와 같다.

Table 2. Sequence of edge response analysis tool using slanted edge target

<p>①</p>		<p>Loading the slanted edge target from orthoimages.</p>
<p>②</p>		<p>Pixel extraction from the loaded slanted edge target image.</p>
<p>③</p>		<p>ESF graph is generated using the extracted pixel values.</p>
<p>④</p>		<p>Creating a PSF graph, which is the first derivative of the ESF graph.</p>
<p>⑤</p>		<p>Calculating the FWHM value in the PSF graph.</p>

분석 순서는 무인항공사진으로 제작한 정사영상에서 Slanted edge target이 촬영된 영상을 불러온다. 불러온 Slanted edge target 영상에서 흑백의 경계가 명확한 지점의 pixel 값을 추출한다. 그리고 추출한 pixel 값을 이용하여 ESF 그래프와 PSF 그래프를 순서대로 생성한다. 마지막으로 PSF 그래프에서 최대 진폭의 절반인 50%에서의 폭에 해당하는 FWHM 크기를 계산하여 경계반응 분석을 실시할 수 있다.

## 5. 실험 및 자료처리

### 5.1 영상 취득 및 처리

자료취득에 사용한 무인항공기는 아래의 Table 3과 같이 고

정의 기체인 FireFly 6 pro, 회전익 기체인 Inspire 2 및 Phantom pro 4 이다. 그리고 각 기체별로 탑재된 카메라의 성능을 함께 수록하였다. 초점거리, pixel 사이즈, CCD 센서 크기 등을 고려하여 카메라 성능을 비교하여 보면 FireFly 6 pro 기체에 탑재된 a6000 센서가 가장 뛰어나며, Inspire2 기체에 탑재된 FC 6520 센서, Phantom pro 4 기체에 탑재된 FC 6310 센서의 순서이다.

본 연구에서는 경계반응 분석의 필요성과 촬영요소에 따른 경계반응의 변화를 객관적으로 비교하기 위하여 동일한 GSD 로 촬영한 case를 분석대상으로 하였다. Table 4에는 각각의 무인항공기체별 촬영고도와 촬영일자, 촬영 당시의 풍속, 촬영 장소를 수록하였다. 그리고 a6000 센서는 case 1, FC 6520 센서는 촬영일자별로 case 2와 case 3으로 나누었다. FC 6310 센서도

Table 3. Specifications of UAVs and the cameras











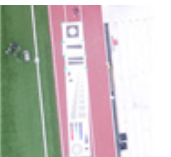


UAV model	FireFLY 6 PRO	Inspire 2	Phantom pro 4
Appearance			
Camera model	a6000	FC 6520	FC 6310
Focal length	20mm	15mm	8.8mm
Pixel size	4×4 $\mu$ m	3.28×3.28 $\mu$ m	2.41×2.41 $\mu$ m
CCD Sensor size	6000×4000 (24MP)	5280×3956 (21MP)	5472×3648 (20MP)

Table 4. Imaging conditions and flight parameters case by case

Number of case	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5
UAV model (sensor)	FireFLY 6 PRO (a6000)	Inspire 2 (FC 6520)	Inspire 2 (FC 6520)	Phantom 4 pro (FC 6310)	Phantom 4 pro (FC 6310)
Flight height	150m	100m	100m	80m	80m
Flight date	19.04.11	19.08.03	19.07.24	19.12.28	18.12.14
Wind velocity	0.9m/s	2.8m/s	2.6m/s	1.0m/s	1.3m/s
Flight location	Miryang	Gimhae	Busan	Busan	Miryang
Ortho images					
Resolution target					

촬영일자별로 case 4와 case 5로 구분하였다. 촬영 영상의 처리는 Agisoft사의 Metashape를 사용하여 항공삼각측량 작업과 dense image매칭 과정을 거쳐 고해상도 정사영상을 제작하여 정사영상과 정사영상에서 추출한 해상도 타겟이 촬영된 영상을 case 별로 수록하였다(Agisoft, 2020).

## 5.2 경계반응 분석 결과

아래의 Table 5에는 각 case 별로 정사영상으로부터 추출한 Siemens star와 Edge target이 촬영된 영상을 나타내었다. 모든 촬영 시 사용한 Siemens star의 직경은 1m이며, Edge target은 보다 정확한 분석을 위하여 5°의 각도로 기울어진 Slanted edge target을 사용하였다.











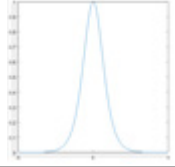
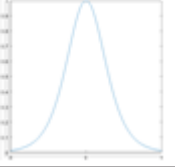
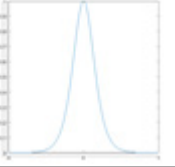
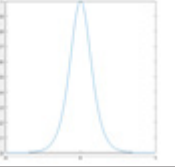
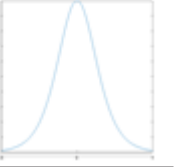
경계반응 분석의 필요성과 촬영요소에 따른 경계반응의 변화를 객관적으로 비교 분석하기 위하여 동일한 GSD를 나타낸 case를 실험대상으로 선정하였다. 따라서 Table 5에서 보는 바와 같이 Siemens star를 이용한 GSD 분석 결과는 모두 3.5cm로 동일하다. 한편 경계반응 분석 결과 case 1은 1.6 pixel의 FWHM을 나타내었다. 그리고 case 2와 3은 같은 기체를 사용하여 같은 고도에서 촬영하였음에도 불구하고, FWHM은 각각 2.9 pixel, 1.8 pixel로 다른 결과를 나타내었다. case 4와 5 또한, 같은 기체와 고도에서 촬영하였으나, FWHM은 각각 1.9 pixel, 2.8 pixel의 결과를 나타내었다. 이와 같은 결과로부터 무인항

공영상의 품질 특성의 평가 시, GSD 뿐만 아니라 경계반응 분석도 함께 실시하여 영상의 품질을 분석할 필요성을 확인하였다. 또한, FWHM을 각 카메라별로 자세히 살펴보면 a 6000센서(case 1)는 1.6 pixel, FC 6520 센서(case 3)는 1.8 pixel, FC 6310 센서(case 4)는 1.9 pixel로 미소하지만 카메라의 성능에 무인항공영상의 FWHM가 비례하는 결과를 나타내었다. 마지막으로 동일한 기체와 카메라를 사용한 case 2와 3은 각각 2.9 pixel, 1.8 pixel, case 4와 5는 각각 1.9 pixel, 2.8 pixel의 FWHM을 나타내었다. 이 같은 결과로 동일한 기체와 카메라를 사용하여 동일한 GSD로 영상을 취득하더라도 촬영 당시의 기상조건이나 기체의 자세각 등 여러 가지 촬영 요소에 의해 무인항공영상의 품질이 변화될 수 있음을 알 수 있다.

## 6. 결론

본 연구에서는 무인항공영상 품질 검증에서 경계반응 분석의 필요성과 촬영요소에 따른 경계반응의 변화를 객관적으로 비교 분석하기 위하여 동일한 GSD를 나타낸 case를 실험대상으로 선정하여 Slanted edge target을 이용한 경계반응 분석을 실시하였다. 또한, 작업자가 간편하게 경계반응 분석을 실시할 수 있도록 Matlab GUI 기반 tool을 제작하였다. 연구 결과 아래와 같은 결론을 도출하였다.

Table 5. Results of GSD measurements and edge response analysis

Number of case	case 1	case 2	case 3	case 4	case 5
Siemens star					
GSD	3.5cm	3.5cm	3.5cm	3.5cm	3.5cm
Edge target					
PSF Graph					
FWHM	1.6pixel	2.9pixel	1.8pixel	1.9pixel	2.8pixel

첫째, 영상의 어두운 지역과 밝은 지역의 경계 선명도를 평가하기 위해 객관적이고 단순한 분석이 가능한 경계반응 분석을 실시하고, 작업자가 용이하게 실시할 수 있는 Matlab GUI 기반 경계반응 분석 tool을 제작하였다. 이 tool을 이용하여 경계반응 분석의 중요성과 촬영요소에 따른 경계반응 분석 결과를 비교하기 위해 동일한 GSD를 나타낸 case를 실험대상으로 경계반응 분석을 실시하였다.

둘째, 동일한 GSD를 나타낸 case를 분석 대상으로 선정하여 경계반응 분석을 실시한 결과, case 1의 FWHM은 1.6 pixel, case 2는 2.9pixel, case 3은 1.8pixel, case 4는 1.9pixel, case 5는 2.8pixel의 FWHM으로 서로 상이한 결과를 나타냈다. 이와 같은 결과로 무인항공영상의 품질을 분석할 때, GSD 뿐만 아니라 경계반응 분석도 실시하여 영상의 품질을 다양하게 분석할 필요성을 확인하였다.

셋째, GSD가 3.5cm로 모두 동일할 때 탑재된 카메라의 성능이 가장 좋은 a 6000센서(case 1)의 FWHM은 1.6 pixel, FC 6520 센서(case 3)는 1.8pixel, FC 6310 센서(case 4)는 1.9pixel로 카메라의 성능에 무인항공영상의 경계반응 분석 수치인 FWHM이 비례함을 알 수 있었다. 또한, 동일한 기체와 카메라를 사용하고 같은 고도에서 촬영한 case 2와 3은 각각 2.9pixel, 1.8pixel, case 4와 5는 각각 1.9pixel, 2.8pixel의 FWHM을 나타내었다. 이 같은 결과로 동일한 기체와 카메라 및 촬영고도로 촬영하더라도 촬영의 기상조건이나 기체의 자세각 등 여러 가지 촬영 요소에 의해 무인항공영상의 품질이 변화될 수 있음을 판단할 수 있다.

본 연구에서는 무인항공영상의 품질 분석에서 일반적으로 활용되는 GSD 분석이 아닌 경계반응 분석을 실시하여 경계반응 분석의 필요성을 확인하였다. 또한, Matlab GUI 기반 tool을 제작하여 작업자의 편의성을 높이고자 하였으며 촬영고도, 탑재된 센서의 성능이 동일하여 GSD가 동일하게 나타나더라도 풍속, 광량과 같은 촬영요소가 다르면 경계반응 분석 결과가 달라질 수 있음을 확인할 수 있었다. 하지만 본 연구에서는 촬영요소가 무인항공영상의 품질에 미치는 정확한 정량적인 결과의 도출과 분석은 미흡한 실정이다. 이에 향후 연구에서는 풍속, 햇빛의 광량 및 기체의 자세각을 달리하여 실험을 진행하고 또한, 날장사진과 정사영상의 품질 비교를 통하여 성과물 제작 소프트웨어가 영상의 품질에 어떠한 영향을 미치는지 정량적인 분석이 필요할 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 연구는 동아대학교 연구비 지원을 받아 수행되었음.

### References

Agisoft, (2020), Metashape user manual: Professional edition, ver 1.5.

Baer, L.R. (2003), The circular-edge spatial frequency response test, *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 30 December, 2003, San Jose, California, United States.

Jacobsen, K. (2008), Tells the number of pixels the truth?—Effective resolution of large size digital frame cameras, *ASPRS 2008 Annual Conference, 28 April–2 May*, 2008, Portland, United States.

Lee, J.O. and Sung, S.M. (2019), Quality evaluation of UAV images using resolution target, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, Vol.22 No.1, pp.103-113. (in Korean with English abstract)

Lee, T.Y. (2012), *Spatial Resolution Analysis of Aerial Digital Camera*, Ph.D. dissertation, Dong-A University, Busan, Korea, 50p. (in Korean with English abstract)

Lim, P.C., Seo, J.H., and Kim, T.J. (2018), Extraction of UAV image sharpness index using edge target analysis, *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol.34, No.6-1, pp.905-923. (in Korean with English abstract)

Orych, A. (2015), Review of methods for determining the spatial resolution of UAV sensors, *ISPRS, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 30 August-02 September, 2015, Toronto, Canada, pp.391-395.

Pagnutti, M., Robert, R., Holekamp, K. (2011), The importance of spatial quality, *William T. Pecora Memorial Remote Sensing Symposium*, 14-17 November, 2011, Herdon, Virginia, United States.

Perko, R., Klaus, A., and Gruber, M. (2004), Quality comparison of digital and film-based images for photogrammetric purposes, *ISPRS Commission III: Theory and Algorithms*, Volume XXXV(B3), pp.1136-1140.

Roland, K. M. J. (2015), A study of slanted-edge MTF stability and repeatability, *SPIE 9396-Image Quality and System Performance*, 8-12 February, 2015, San Francisco, California, United States.

Sieberth, T., Wackrow, R., and Chandler, J. (2016), Automatic detection of blurred images in UAV image sets, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol 122, pp.1-16.



- Sung, S.M. (2019), *A Study on Spatial Resolution Analysis Methods of UAV Images*, Ph.D.dissertation, Dong-A University, Busan, Korea, 49p. (in Korean with English abstract)
- Wang, T., Li, S., and Li, X. (2009), An automatic MTF measurement method for remote sensing cameras, *2nd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology*, 8-11 August, 2009, Beijing, China, pp. 245-248.