

UAV 기반 TIR 영상의 융합 기법 정확도 평가

Accuracy Assessment of Sharpening Algorithms of Thermal Infrared Image Based on UAV

박상욱¹⁾ · 최석근²⁾ · 최재완³⁾ · 이승기⁴⁾

Park, Sang Wook · Choi, Seok Keun · Choi, Jae Wan · Lee, Seung Ki

Abstract

Thermal infrared images have the characteristic of being able to detect objects that can not be seen with the naked eye and have the advantage of easily obtaining information of inaccessible areas. However, TIR (Thermal InfraRed) images have a relatively low spatial resolution. In this study, the applicability of the pansharpening algorithm used for satellite imagery on images acquired by the UAV (Unmanned Aerial Vehicle) was tested. RGB image have higher spatial resolution than TIR images. In this study, pansharpening algorithm was applied to TIR image to create the images which have similar spatial resolution as RGB images and have temperature information in it. Experimental results show that the pansharpening algorithm using the PCI band and the average of RGB band shows better results for the quantitative evaluation than the other bands, and it has been confirmed that pansharpening results by ATWT (À Trouse Wavelet Transform) exhibit superior spectral resolution and spatial resolution than those by HPF (High-Pass Filter) and SFIM (Smoothing Filter-based Intensity Modulation) pansharpening algorithm.

Keywords : Pansharpening Algorithm, Thermal Infrared Images, Unmanned Aerial Vehicle, Spatial Resolution

초 록

열적외선 영상은 육안으로 식별 할 수 없는 물체를 감지할 수 있는 특성을 가지고 있으며, 접근 불가지역의 정보를 쉽게 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 열적외선 영상은 상대적으로 낮은 공간 해상도를 지니는 한계점이 있다. 본 연구에서는 무인 항공기를 활용하여 취득한 영상에 대하여 위성영상에 적용되는 영상융합 알고리즘의 적용 가능성을 연구하였다. RGB 영상은 TIR (Thermal InfraRed) 영상보다 높은 공간 해상도를 가지고 있다. 본 연구에서는 상대적으로 낮은 공간 해상도를 갖는 TIR 영상에 영상융합 알고리즘을 적용하여 RGB 영상과 같은 공간 해상도를 가지며 온도정보를 가지는 융합영상을 생성하고자 한다. 실험결과, PCI 밴드와 RGB 밴드의 평균값을 이용하여 영상융합 알고리즘을 수행한 경우, 다른 밴드를 활용하여 연구를 수행한 경우보다 정량적 평가에 대해서 더 좋은 결과가 나타났으며, ATWT (À Trouse Wavelet Transform) 기법에 의한 융합영상이 HPF (High-Pass Filter) 및 SFIM (Smoothing Filter-based Intensity Modulation) 기법에 의한 융합영상보다 더 뛰어난 분광해상도 및 공간 해상도를 나타냈다.

핵심어 : 영상융합 알고리즘, 열적외선 영상, 무인 항공기, 공간 해상도

Received 2018. 11. 20, Revised 2018. 12. 04, Accepted 2018. 12. 11

1) Dept. of Civil Engineering, Chungbuk National University (E-mail: psw5384@chungbuk.ac.kr)

2) Corresponding Author, Member, Dept. of Civil Engineering, Chungbuk National University (E-mail: skchoi@chungbuk.ac.kr)

3) Member, Dept. of Civil Engineering, Chungbuk National University (E-mail: jaewanchoi@chungbuk.ac.kr)

4) Member, Terrapix (E-mail: iruril@chungbuk.ac.kr)

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

적외선은 파장대역에 따라 크게 근적외선(near-infrared), 중적외선(medium wave infrared), 장적외선(long wave infrared)으로 분류되고, 일반적으로 3 ~ 8 μ m 대역의 파장을 중적외선이라 한다.

육안으로 식별이 불가능한 물체, 에너지 효율관리, 안전 시설물 진단 및 농업분야 등에 대하여 열적외선 열화상분석(thermography) 기술이 많이 활용되고 있다. 대표적으로 가스 성분의 검출, 예측정비, 공정과 건축분야의 에너지절감, 농작물 성장도검사 등 다양한 분야에서 적용되고 있다. Yu *et al.* (2016)은 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)에 열화상카메라를 탑재하여 저수지에서 발생하는 복사열을 가지고 일반 저수지와 누수가 있는 저수지를 구분하였으며, Ryu *et al.* (2013)은 원격 열화상으로 관측된 지붕표면의 온도분포 자료를 활용하여 쿨 루프(cool roof)에 기인한 겨울철 난방부하에 대한 근거자료를 확보하였다.

무인 항공기 사진측량은 일반 RGB 영상 외에도, TIR(Thermal InfraRed)영상, NIR(Near InfraRed)영상 등 다양한 영상을 취득할 수 있어 영상처리에 대한 연구가 많이 수행되고 있다. Grand *et al.* (2016)은 UAV에 열화상 카메라를 장착하여 취득한 열화상 데이터를 이용하여 농작물의 수분상태를 측정하고, 농작물 상태를 확인하는 연구를 수행하였으며, Ishimwe *et al.* (2014)은 열화상 이미지를 활용하여 식물의 질병탐지, 과일수확량 산정 및 채소의 성숙도 등을 정량적으로 평가하여 전체적인 상태를 확인하였다.

무인 항공기는 다양한 센서를 활용하여 많은 정보를 취득할 수 있는 장점이 있지만, 취득된 모든 영상을 활용하기에는 시간과 비용에 대하여 비효율적이기 때문에 필요한 정보만을 취득하여 하나의 영상에 그 정보를 담게 되면 시간 및 비용에 대한 문제를 해결할 수 있다. 특정 알고리즘의 사용하여 두 개 혹은, 그 이상의 서로 다른 영상을 조합하여 새로운 영상을 만들어내는 것을 영상융합이라 한다. Choi (2015)는 RGB 영상 및 초분광 영상을 효과적으로 융합하기 위하여 6종류의 CS(Component Substitution) 및 MRA(Multi-Resolution Analysis) 기반의 융합기법을 선정하고, 일반 융합기법과 블록기반 융합기법을 적용하여 생성된 융합영상을 시각적으로 분석하였으며, Vivone *et al.* (2015)은 CS 기반 융합기법과 MRA 기반 융합기법의 알고리즘과 사용되는 계수 및 필터에 대하여 분석하였다. Jung and Park (2014)는 위성의 TIR 영상의 공간 해상도 증대를 위하여 고해상도 위성영상과 TIR 영상에 대하여 영상융합을 수행하였다.

본 연구에서는 많은 분야에서 활용할 수 있는 TIR 영상의 효율성을 높이기 위해 위성영상에서 활용된 영상융합 기법의 적용 가능성 여부와 이에 따른 품질에 대한 평가를 수행하고자 하였다. RGB 영상과 TIR 영상의 영상융합을 위하여 CS 기반의 영상융합 방법과 MRA 기반의 영상융합 방법을 수행하였다. 그러나 TIR 영상의 경우 단일밴드를 가지고 있는 특성상 CS 기반의 영상을 융합하는데 한계가 있기 때문에 MRA 기반의 대표적 3가지 기법인 HPF(High-Pass Filter), ATWT(\hat{A} Trous Wavelet Transform), SFIM(Smoothing Filter-Based Intensity Modulation) 융합기법 등을 활용하여 영상융합을 수행하였다. 최종적으로 융합영상의 정량적·정성적 평가를 수행함으로써 TIR 영상의 효과적인 영상융합 방법을 제시하는데 그 목적이 있다.

2. 기본이론

2.1 영상 융합

본 연구에서 RGB 영상과 TIR 영상의 영상융합을 위하여 CS 기반의 영상융합 방법과 MRA 기반의 영상융합 방법을 수행하였다. 그러나 TIR 영상의 밴드적 특성상 CS 기반의 영상을 융합하는데 한계가 있기 때문에 MRA 기반의 대표적 3가지 기법인 HPF, ATWT, SFIM 융합기법 등을 활용하여 영상융합을 수행하였다.

MRA 기반의 융합기법은 고해상도 흑백영상을 활용하여 가상의 저해상도 I_L 을 생성하여 영상융합을 수행하는 기법으로 이는 Eq. (1)과 같다(Aiazzi *et al.*, 2006).

$$\widehat{MS}_n = \overline{MS}_n + g_n(P - I_L), n = 1, \dots, N \quad (1)$$

where \widehat{MS}_n represents the pansharpening result, \overline{MS}_n is an original multispectral image with low spatial resolution, g_n is the injection gain for pansharpening, P is a panchromatic image with high spatial resolution and I_L is the synthetic low spatial resolution image by using P .

HPF 융합기법은 위의 Eq. (1)에서 계수 g_n 을 1로 하고, I_L 은 저역통과필터(low-pass filter)를 적용하여 추출된 가상의 저해상도 영상을 P 와 차분을 통하여 고주파 정보를 생성한다. 차분을 통하여 최종적으로 생성되어 주입된 공간정보는 P 에 고역통과필터(high-pass filter)를 적용한 결과와 동일하며, 고역통과필터는 지형지물의 경계선 및 모서리 부분 등과 같이 영상의 공간적 특성을 강조하여 융합된 결과를 통해 판독이 용이하게 해주는 특성을 가지고 있다.

ATWT 기반의 융합기법에서 활용되는 à trous 웨이블릿 변환은 영상의 크기를 변환하지 않으며, 저역통과 필터를 활용하여 해상도가 저하되는 영상 I_L 을 생성한다. 영상에 대하여 1:4의 해상도 차이를 가지는 고해상도 위성영상을 2단계의 à trous 필터링 과정을 수행하여 각 $\frac{1}{2}$ 씩 총 $\frac{1}{4}$ 의 해상도가 저하되는 흑백영상 P_L 을 생성한다(Gonzalez-Audicana *et al.*, 2005). ATWT 기반의 융합기법은 Eq. (1)에서 계수 g_n 을 1로 사용하며, à trous 필터링 과정을 수행하여 얻은 저해상도 흑백영상 P_L 을 I_L 로 활용한다.

SFIM 기반의 융합기법은 고해상도영상과 저역통과 필터링을 거친 가상의 저해상도영상의 비율을 사용하여 계수 g_n 을 산출하고, 흑백영상에 평활화 필터(smoothing filter)를 사용하여 생성한 I_{mean} 을 이용하여 Eq. (2)와 같이 융합영상을 생성하는 기법이다(Vivone *et al.*, 2015). 평활화 필터는 낮은 공간 해상도를 갖는 영상과 동일한 공간 해상도 및 영상의 크기를 가진 평균필터를 높은 공간 해상도의 영상에 적용하여 높은 공간 해상도의 영상으로부터 추출된 값을 활용한 것이다.

$$\widehat{MS}_n = \frac{\widehat{MS}_n P}{I_{mean}} \quad (2)$$

where \widehat{MS}_n represents the pansharpening result, \widehat{MS}_n is an original multispectral image with low spatial resolution, g_n is the injection gain for pansharpening, P is a panchromatic image with high spatial resolution and I_{mean} is a simulated low resolution image by using an averaging filter to P .

2.2 융합 영상의 평가

융합영상의 평가는 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 융합영상과 참조영상(reference image)간의 절대적인 화소차를 측정하고, 이를 정량화하여 지수로 표현하는 분광정보 평가지수와 융합영상과 참조영상간의 예지정보의 상관도를 평가하여 지수로 표현한 공간정보 평가지수이다.

대표적으로 활용되는 분광정보 평가지수의 경우 ERGAS (Erreur Relative Globale Adimensionnelle de Synthèse), UIQI (Universal Image Quality Index)가 있으며, 공간정보 평가지수의 경우 sCC (spatial Correlation Coefficient)가 대표적으로 활용된다.

ERGAS 평가지수는 RMSE (Root Mean Square Error)의 경우 영상간의 화소차를 계산하는 가장 간편한 방법이지만, 화소값의 전체적인 차이를 반영하기 힘든 단점을 가지고 있기 때문에, 이를 보완한 평가지수이다. 융합된 영상의 전역적인 분광정

보의 질을 측정할 수 있으며, Eq. (3)과 같다(Ranchin and Wald, 2000). ERGAS 지수의 경우 그 척도가 0에 근접할수록 융합영상의 분광보존력이 뛰어나다는 것을 의미한다.

$$ERGAS = 100 \times \frac{h}{l} \times \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \frac{RMSE^2(B_n)}{M_n^2}} \quad (3)$$

where h represent spatial resolution of pansharpened image, l is spatial resolution of reference image, M is mean value of nth image and B is RMSE of pansharpened image and reference image.

UIQI 평가지수는 융합영상과 참조영상의 분광왜곡지수를 평가하는 측정치로 Eq. (4)와 같다(Wang *et al.*, 2002). UIQI 지수는 그 값이 1에 근접할수록 융합영상의 분광정보의 품질이 높음을 의미한다.

$$UIQI = \frac{4\sigma_{xy}\overline{\overline{xy}}}{(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)[(\overline{x})^2 + (\overline{y})^2]} = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x\sigma_y} \cdot \frac{2\sigma_x\sigma_y}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \cdot \frac{2\overline{\overline{xy}}}{(\overline{x})^2 + (\overline{y})^2} \quad (4)$$

where σ_x represent standard deviation of pansharpened image, σ_y is standard deviation of reference image σ_{x,y_i} is covariance between pansharpened image and reference image, $\overline{x_i}$ means average of pansharpened image, and $\overline{y_i}$ means average of reference image.

sCC 지수는 융합영상과 참조영상의 통계적 유사성을 평가하는 지수로 라플라시안 필터가 적용된 두 영상의 상관도를 활용하여 융합영상의 품질을 평가하며 Eq. (5)와 같다(Zhou *et al.*, 1998). sCC 지수가 1에 가까울수록 융합영상과 원본 다중분광영상의 공간정보가 유사함을 의미한다.

$$sCC_i = \frac{E[(F_i(p) - F_i(m))(MS_i(p) - MS_i(m))]}{\sigma_{F_i}\sigma_{MS_i}}, i = 1, \dots, M \quad (5)$$

where $F_i(p)$ is pansharpened image of ith band by Laplacian filtering, $MS_i(p)$ is reference image of ith band by Laplacian filtering, $F_i(m)$, mean value of pansharpened image of ith band, $MS_i(m)$ is mean value of reference image of ith band, σ_{F_i} is standard deviation of pansharpened image of ith band, σ_{MS_i} is standard deviation of reference image of ith band, M is the band number of reference image.

3. 영상융합 및 결과분석

3.1 대상지 선정 및 현황

본 연구는 논, 밭, 건물 등 다양한 온도정보를 얻을 수 있는 경상남도 합천군을 대상지로 선정하여 연구하였다. 실험에 사용된 무인 항공기는 DJI사의 Inspire 1이며, 무인 항공기용 카메라는 DJI 사의 Zenmuse X3 와 FLIR사의 Zenmuse XT이다.

Inspire 1은 측량에 활용할 수 있는 대표적인 회전익(rotary-wing) 무인항공기로, 기체의 정확한 위치를 나타내어주는 GNSS (Global Navigation Satellite System)와 기체의 기울어짐이나 움직임에 감지하여 균형을 잃지 않도록 도와주는 IMU (Inertial Measurement Unit) 시스템이 장착되어 있어 촬영경로 및 세부사항을 입력하여 자동비행 시스템도 사용할 수 있다.

본 연구에 활용된 카메라의 세부적인 제원은 Table 1과 같다. 위에서 소개하였던 무인 항공기 및 두 가지 종류의 카메라를 활용하여 2017년 6월 16일에 격자방향으로 촬영을 수행 하였으며, 촬영된 영상에서 두 지역을 선정하였다. 연구에 활용된 촬영 지역 및 촬영계획은 각각 Fig. 1과 Table 2와 같다.

Table 1. Characteristics of camera

Content	Specification
Sensor Resolution	12 mega pixel (DJI Zenmuse X3)/ 0.32 mega pixel (FLIR Zenmuse XT)
Band info	R,G,B (DJI Zenmuse X3) TIR (FLIR Zenmuse XT)
Weight	150g (DJI Zenmuse X3), 270g (FLIR Zenmuse XT)

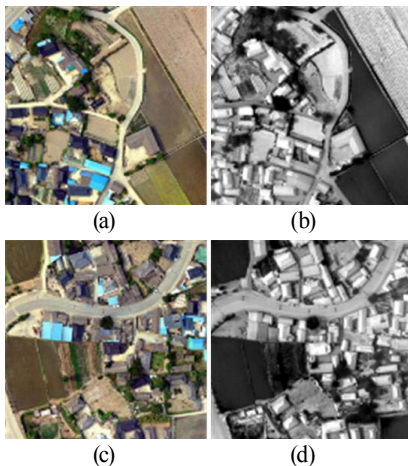


Fig. 1. Input data: (a) RGB Image of Site 1, (b) TIR Image of Site 1, (c) RGB Image of Site 2, (d) TIR Image of Site 2

Table 2. Specification of flight plan

Content	Information
Altitude above ground	148m
GSD(Ground sampling distance)	5 cm/pixel (DJI Zenmuse X3) 15 cm/pixel (FLIR Zenmuse XT)
Area	0.51km ²
End lap	80%
Side lap	90%

3.2 전처리 및 밴드정보

3.2.1 렌즈 왜곡 보정

무인 항공기를 활용하여 취득한 영상을 정합하기 위해서는 카메라 왜곡에 대한 검정이 필요하다. 영상의 중심부에서 멀어질수록 발생하는 방사왜곡과 카메라 자체의 수평이 맞지 않거나 렌즈 자체의 중심이 맞지 않아 발생하는 접선 왜곡에 대하여 검정하였다. 방사왜곡 및 접선왜곡은 카메라의 내부표정요소를 활용하여 제거할 수 있으며, Pix4D 소프트웨어를 활용하여 렌즈왜곡에 대하여 보정 및 정합을 수행하였다. Fig. 2(a)은 렌즈왜곡 보정 전 영상이며, Fig. 2(b)는 렌즈왜곡 보정 후의 영상이다(Kim, 2017).

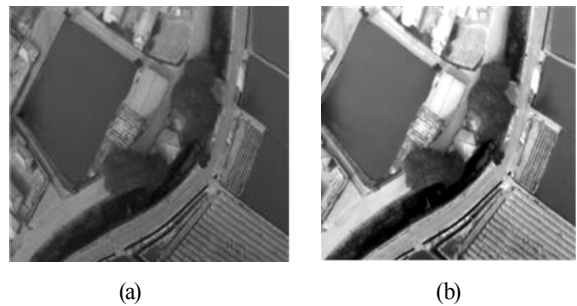


Fig. 2. Example of lens distortion : (a) Before remove lens distortion, (b) After remove lens distortion

3.2.2 영상융합을 위한 고해상도 흑백영상의 생성

위성영상의 영상융합기법의 경우 고해상도 흑백영상을 활용하여 영상융합을 수행함으로써 영상의 공간 해상도를 증대시키지만, 본 연구의 경우 무인 항공기를 활용하여 영상을 취득하였기 때문에 고해상도 흑백영상으로 활용할 수 있는 RGB 영상이 존재한다. Eq. (1)과 같이 영상융합을 위해서는 단일밴드로 이루어진 고해상도 영상이 필요하기 때문에, 고해상도 흑백영상을 대신하여 RGB 밴드의 평균, PC1 밴드, 회귀모델에 의한 밴드의 세 가지 영상을 활용하여 P부분에 들어갈 고해

상도 흑백영상을 생성하였다. RGB 밴드의 평균은 Red, Green, Blue 밴드의 평균값을 활용하였다. PC1 밴드는 원 영상에 있는 정보를 서로 상관성이 적은 변수들의 집합으로 변환하는 기법인 PCA (Principal Component Analysis) 기법을 통하여 생성하였다. PCA 기법을 RGB 영상에 적용하고, 이를 통해 생성된 주성분 밴드 중 첫 번째 밴드를 PC1 밴드로 나타내었다. 이는 일반적으로 PCA 분석을 통하여 생성된 영상 중에서 첫 번째 밴드가 전반적인 정보에 대해 가장 많은 정보를 담고 있기 때문이다. 회귀모델에 의한 밴드는 Eq. (6)과 같이 TIR 영상과 해상도 차이만큼 각 밴드에 저역통과 필터를 활용하여 해상도를 저하시킨 RGB 영상과 TIR 밴드 간의 회귀분석을 수행하고, 이를 통해 생성된 상관계수를 Eq. (7)에 적용하여 생성된 영상을 나타낸다.

$$I_{Tir} = \sum_{n=1}^3 \alpha_n \widehat{MS}_n + \beta \quad (6)$$

where α_n and β represent regression coefficient of nth band, and \widehat{MS}_n low spatial resolution multispectral image by using low-pass filter.

$$I_{Regression} = \sum_{n=1}^3 \alpha_n MS_n + \beta \quad (7)$$

where MS_n is original multispectral image with high spatial resolution.

위에서 언급한 바와 같이 본 연구에서는 무인 항공기를 활용하여 취득한 영상을 활용하여 실험을 수행하였기 때문에 영상융합에서 활용되는 고해상도 흑백영상을 대체하기 위하여 RGB 밴드의 평균, PC1 밴드, 회귀모델 등을 활용하여 연구를 수행하였다. 따라서, Eq. (1)과 같이 전통적인 영상융합 기법에서 사용되는 고해상도 흑백영상 P 는 RGB 밴드의 평균, PC1 밴드, 회귀모델로 대체하였으며, 저해상도 다중분광영상은 무인 항공기를 통하여 취득된 저해상도 TIR 영상으로 가정하였다.

3.3 시각적·정량적 평가

3.3.1 입력자료

취득한 영상중 대표적인 두 실험지역을 선정하여 영상융합을 수행하였고, 각 실험지역의 RGB 영상과 TIR 영상의 크기는 각각 4096×4096 , 1024×1024 이다. 영상융합을 수행하기 위해 Fig. 3와 같이 4배의 upsampling을 수행하여 동일한 크기의 영

상으로 일치시켰다(Park, 2018).

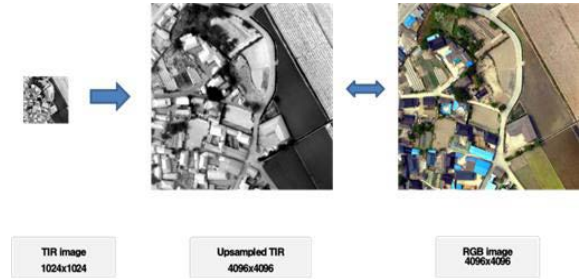


Fig. 3. Upsampling for pansharpening

3.3.2 시각적 평가

상대적으로 낮은 공간 해상도의 다중분광영상이 높은 공간 해상도의 영상으로 변환되는 영상융합의 특성상 시각적 평가는 정량적 평가와 더불어 중요한 평가 방법이다. 실험영상의 특징적인 부분을 선정하여 활용된 밴드 및 융합기법에 대하여 비교평가를 수행하였다. 실험지역 1과 실험지역 2에 대해서 전체적으로 비슷한 경향이 나타나 실험지역 1의 영상을 활용하여

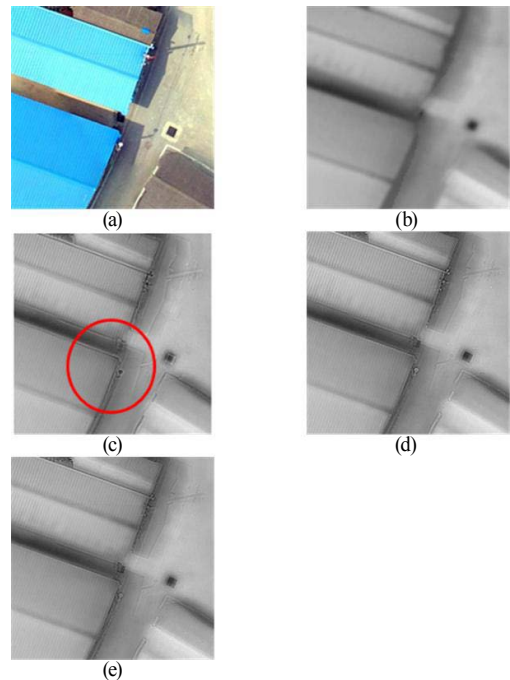


Fig. 4. Pansharpening result by using PC1 band in urban area: (a) RGB image, (b) TIR image, (c) Pansharpening result by ATWT, (d) Pansharpening result by HPF, (e) Pansharpening result by SFIM

시각적 평가를 수행하였다. RGB 밴드의 평균, PC1 밴드, 회귀 모델 등을 활용하여 건물에 대한 영상과 식생에 대한 영상으로 구분하여 비교 평가하였다.

건물에 대한 영상을 육안 판독한 결과, PC1 밴드를 활용하여 ATWT 융합기법에 적용했을 경우 Fig. 4와 같이 HPF, SFIM 기법을 활용했을 경우와 다르게 영상자체에서 화소값의 차이가 발생하였고, RGB 밴드의 평균을 활용한 Fig. 5는 시각적 차이가 없음을 확인하였다. 또한, 회귀모델을 활용하여 영상융합을 수행했을 경우 Fig. 6과 같이 다른 밴드를 활용한 경우와 다르게 노이즈가 발생하는 것을 알 수 있었다.

식생에 대한 육안판독은 회귀모델을 활용하여 ATWT 융합 기법을 적용한 결과의 경우 HPF, SFIM 기법과 다르게 식생분류가 Fig. 7과 같이 명확히 나타났고, RGB 밴드의 평균을 활용한 Fig. 8의 경우 건물과 유사하게 시각적 차이가 없었으며, SFIM 융합기법을 활용했을 경우에는 Fig. 9과 같이 화소값의 반전이 많이 나타난 것을 알 수 있었다.

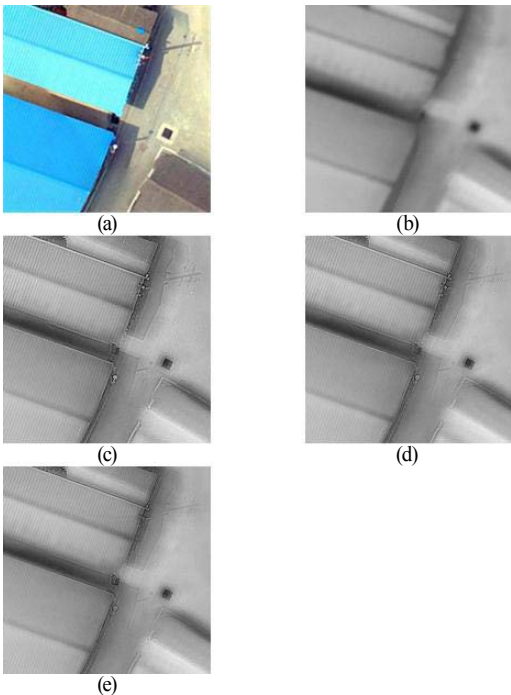


Fig. 5. Pan-sharpening result by using average of RGB band in urban area: (a) RGB image, (b) TIR image, (c) Pan-sharpening result by ATWT, (d) Pan-sharpening result by HPF, (e) Pan-sharpening result by SFIM

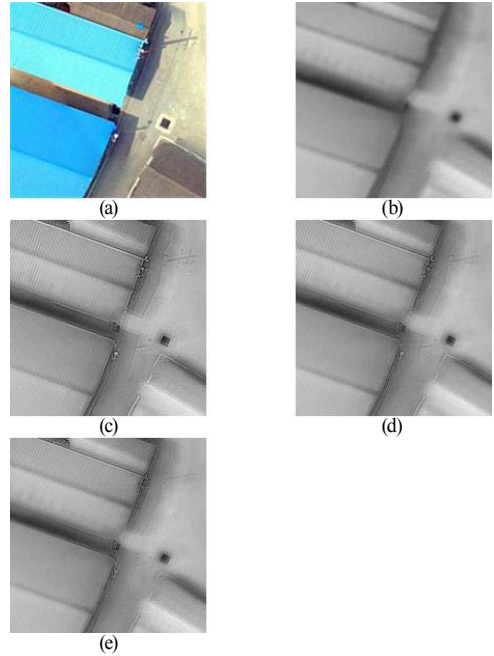


Fig. 6. Pan-sharpening result by using regression band in urban area: (a) RGB image, (b) TIR image, (c) Pan-sharpening result by ATWT, (d) Pan-sharpening result by HPF, (e) Pan-sharpening result by SFIM

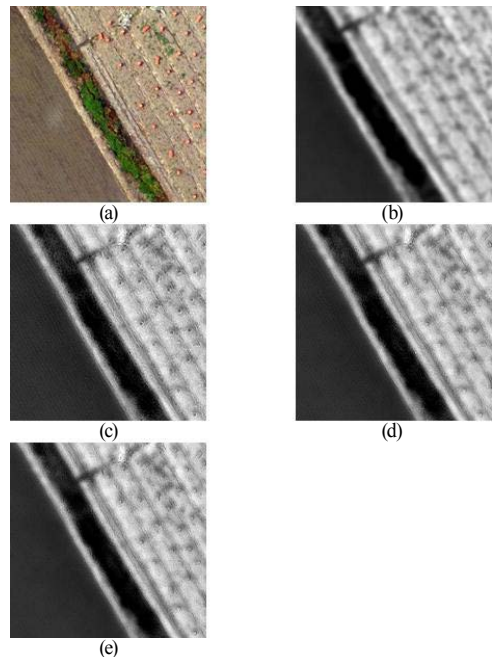


Fig. 7. Pan-sharpening result by using PC1 band in paddy field: (a) RGB image, (b) TIR image, (c) Pan-sharpening result by ATWT, (d) Pan-sharpening result by HPF, (e) Pan-sharpening result by SFIM

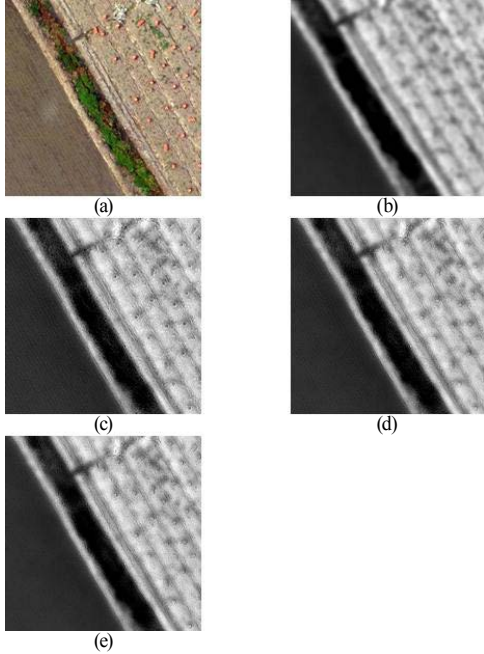


Fig. 8. Pansharpening result by using average of RGB band in paddy field: (a) RGB image, (b) TIR image, (c) Pansharpening result by ATWT, (d) Pansharpening result by HPF, (e) Pansharpening result by SFIM

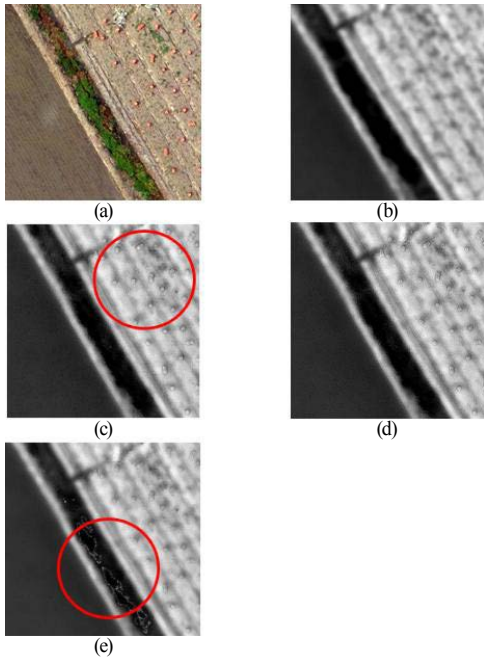


Fig. 9. Pansharpening result by using regression band in paddy field: (a) RGB image, (b) TIR image, (c) Pansharpening result by ATWT, (d) Pansharpening result by HPF, (e) Pansharpening result by SFIM

3.4 정량적 평가

시각적 평가 외에도 객관적 지표가 주어지는 정량적 평가를 추가적으로 수행하였다. 정량적 평가에서 사용할 참조자료의 경우, ERGAS 및 UIQI 지수를 이용한 분광평가에 있어서는 원 TIR 영상을 참조자료로 활용하였다. sCC 지수의 경우 RGB 밴드의 평균, PC1 밴드, 회귀모델 중 영상융합시에 사용된 고해상도 영상과의 비교평가를 통하여 계산하였다. 또한, 일반적인 경우에 있어서 RGB 영상의 평균값을 고해상도 흑백영상으로 대체하여 사용하기 때문에, RGB 영상의 평균을 참조자료로 활용하여 sCC 지수를 산출하였다. 또한, 사용된 고해상도 흑백영상의 공간정보가 이미 왜곡된 경우에는 이를 이용하여 평가가 수행될 수 있기 때문에, RGB 영상의 평균을 추가적인 참조자료로 사용하였다.

실험지역 1과 2에 대한 정량적 평가지수는 Tables 3~8과 같이 나타났다. ERGAS 지수는 전체적으로 HPF를 활용한 경우 평가지수가 낮기 때문에 분광정보의 왜곡이 다른 기법에 비하여 적게 발생하였고, 그 중 회귀모델을 활용한 경우가 0.7558로 가장 낮은 지수를 나타냈다. UIQI 지수의 경우 SFIM을 활용한 방법이 분광정보에 대하여 왜곡이 가장 적게 발생한 것을 알 수 있었고, PC1밴드를 활용한 경우가 0.9689로 가장 우수하였으며, 다음으로 RGB밴드의 평균을 활용한 경우가 0.9688로 좋은 결과를 나타냈다.

공간적 평가지수인 sCC 및 RGB 밴드의 평균을 기준으로 평가한 sCC 모두 ATWT를 활용한 경우의 평가지수가 1에 근사하기 때문에 공간정보에 대한 왜곡이 가장 적게 나타났고, sCC의 경우 회귀모델을 활용했을 경우 0.9921로 가장 우수하였다. 그러나 RGB 밴드의 평균을 기준으로 한 sCC 지수를 살펴보면 앞선 결과와 다르게 RGB 밴드 평균을 활용한 경우가 0.985로 가장 우수하였고, 다음으로 PC1 밴드를 활용한 경우가 0.9849로 우수하였다. 전체적으로 회귀모델을 활용한 경우가 우수한 지표를 나타냈지만, 색의 반전에 의한 왜곡이 심하다는 것을 반영하였을 경우 RGB 밴드의 평균을 활용한 경우가 가장 좋은 결과를 나타낸 것으로 분석되었다(Park, 2018).

Table 3. Quantitative evaluation results of Site 1 (ATWT)

	ERGAS	UIQI	sCC	sCC using average of RGB band
average of RGB band	0.9097	0.9478	0.9478	0.9478
PC1 band	0.9091	0.9479	0.9479	0.9849
band by regression model	0.821	0.9563	0.9563	0.4511

Table 4. Quantitative evaluation results of Site 2 (ATWT)

	ERGAS	UIQI	sCC	sCC using average of RGB band
average of RGB band	1.3278	0.9051	0.9892	0.9892
PC1 band	1.3273	0.9053	0.9892	0.9892
band by regression model	1.2651	0.9229	0.9931	0.5729

Table 5. Quantitative evaluation results of Site 1 (HPF)

	ERGAS	UIQI	sCC	sCC using average of RGB band
average of RGB band	0.7953	0.9658	0.966	0.966
PC1 band	0.795	0.9658	0.966	0.966
band by regression model	0.7558	0.9702	0.9832	0.4414

Table 6. Quantitative evaluation results of Site 2 (HPF)

	ERGAS	UIQI	sCC	sCC using average of RGB band
average of RGB band	1.2489	0.9265	0.9707	0.966
PC1 band	1.2487	0.9265	0.9707	0.9707
band by regression model	1.2237	0.9367	0.9828	0.5619

Table 7. Quantitative evaluation results of Site 1 (SFIM)

	ERGAS	UIQI	sCC	sCC using average of RGB band
average of RGB band	0.8497	0.9688	0.8782	0.8782
PC1 band	0.8486	0.9689	0.8789	0.8782
band by regression model	1.1059	0.9497	0.4268	0.4009

Table 8. Quantitative evaluation results of Site 2 (SFIM)

	ERGAS	UIQI	sCC	sCC using average of RGB band
average of RGB band	1.2806	0.9312	0.9061	0.9061
PC1 band	1.2798	0.9312	0.9068	0.9061
band by regression model	1.336	0.9315	0.5722	0.5239

4. 결론

본 연구에서 수행한 위성영상에 활용되는 영상융합 기법을 무인 항공기 영상에 적용하여 시각적 및 정량적 평가를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 무인 항공기를 이용하여 취득한 TIR 및 RGB 영상을 융합하기 위하여 RGB 밴드의 평균, PC1 밴드, 회귀모델에 의한 밴드를 활용하고, 각 ATWT, HPF, SFIM 융합기법을 적용한 결과 위성영상의 융합기법이 무인 항공기를 이용한 영상융합에 적용 가능함을 알 수 있었다.

둘째, ERGAS 지수 평가결과에 있어서 HPF 융합기법에 회귀모델을 활용한 경우가 0.7558, UIQI 지수는 ATWT 융합기법에 PC1 밴드를 활용한 경우가 0.9689, sCC 지수는 ATWT 융합기법에 PC1 밴드를 활용한 경우에 0.9892 등으로 각각 좋은 결과를 나타냈다.

셋째, PC1 밴드를 활용할 경우, RGB 밴드의 평균을 활용한 것 보다 건물 및 사물의 경계 정보에 대하여 구분이 더 명확하게 나타났고, 회귀모델을 활용한 경우는 전체적으로 화소값의 반전이 발생하여 융합영상에 노이즈가 발생하는 것을 알 있었다.

넷째, 식생의 경우 ATWT 기법으로 영상융합한 결과 식생 종류에 따른 판별이 용이하였고, 열화상영상과 RGB 영상을 융합하기 위한 가상의 고해상도 흑백영상은 RGB 밴드의 평균 혹은 PC1 밴드를 활용하는 것이 효율적이며, 영상융합의 경우 ATWT 기법의 결과가 가장 좋은 결과를 나타냈다.

감사의 글

이 논문은 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행되었음(NRF-2018R1D1A1B07048841).

References

- Choi, J.W. (2015), Comparison of image sharpening algorithm for fusion of the airborne hyperspectral and RGB imagery, *Journal of the Institute of Construction Technology*, Vol. 34, No. 1, pp. 73-80. (in Korean with English abstract)
- Dalla Mura, M., Vivone, G., Restaino, R., Addesso, P., and Chanussot, J. (2015). Global and local Gram-Schmidt methods for hyperspectral pansharpening, *International*

- Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, IEEE, 26-31 July, Milan, Italy, pp. 37-40.
- González Audicana, M., Otazu, X., Fors, O., and Seco, A. (2005), Comparison between Mallat's and the à trous discrete wavelet transform based algorithms for the fusion of multispectral and panchromatic images, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 26, No. 3, pp. 595-614.
- Grand, O.M., Ochagavia, H., Baluja, J., Diago, M.P., and Tardáguila, J. (2016), Thermal imaging to detect spatial and temporal variation in the water status of grapevine, *The Journal of Horticultural Science and Bio technology*, Vol. 91, No. 1, pp. 43-54.
- Hanif, M. and Ali, U. (2006), Optimized visual and thermal image fusion for efficient face recognition, *International Conference on Information Fusion-2006*, IEEE, 10-13 July, Florence, Italy, pp. 1-6.
- Ishimwe, R., Abutalen, K., and Ahmed, F. (2014), Applications of thermal imaging in agriculture-A review, *Advances in Remote Sensing*, Vol. 3, No. 3, pp. 128-140.
- Jung, H.S, and Park, S.W. (2014) Multi-sensor fusion of Landsat 8 thermal infrared(TIR) and panchromatic(PAN) images, *Sensors*, Vol. 14, No. 12, pp. 24425-24440.
- Kim, G.H. (2017), *Generation of Land Cover Map Using Orthophoto and DSM Based on Fixed-wing Drone*, Master's thesis, Chungbuk National University, Cheongju, Korea, 65p. (in Korean with English abstract)
- Kim, Y.H., Choi, J.W., Kim, H.J., and Kim, Y.I. (2009), Modified à trous algorithm based wavelet pan-sharpening method using IKONOS image, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol. 29, No. 2D, pp. 305-309. (in Korean with English abstract)
- Ku C.Y. (2002), The study of image fusion for the analysis of satellite imagery data, *The Journal of GIS Association of Korea*, Vol. 10, No. 2, pp. 345-363. (in Korean with English abstract)
- Park, S.W. (2018), *Comparison Among Sharpening Algorithms of Thermal Image Based on UAV*, Master's thesis, Chungbuk National University, Cheongju, Korea, 43p.
- Ranchin, T. and Wald, L. (2000), Fusion of high spatial and spectral resolution images: the ARSIS concept and its implementation, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 66, No. 1, pp. 49-61.
- Ryu, T.H. and Um, J.S. (2013), Evaluating changing trends of surface temperature in winter according to rooftop color using remotely sensed thermal infrared, *The Journal of GIS Association of Korea*, Vol. 21, No. 1, pp. 345-363. (in Korean with English abstract)
- Vivone, G., Alparone, L., Chanussot, J., Dalla Mura, M., Garzelli, A., Licciardi, G.A., and Wald, L. (2015), A critical comparison among pansharpening algorithms, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 53, No. 5, pp. 2565-2586.
- Wang, Z. and Bovik, A.C. (2002), A universal image quality index, *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 9, No. 3, pp. 81-84.
- Weinmann, M., Leitloff, J., Hoegner, L., Jutzi, B., Stilla, U., and Hinz, S. (2014), Thermal 3D mapping for object detection in dynamic scenes, *ISPRS, Technical Commission Symposium*, 17-20 November, Denver, USA, Vol. 2, No. 1, pp. 53-60.
- Yu, Y.C., Im, K.M., Seoung, N.H., Kim, D.H., Lee, K.H., and Kang, S.J. (2016), Study on utilization for reservoir diagnosis through thermal image UAV, *Proceedings of KSEG 2016 Spring Conference*, The Korean Society of Engineering Geology, 7-8 April, Jeju, Korea, pp. 203-204.
- Zhang, Y. (2015), A new merging method and its spectral and spacial effects, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 20, No. 10, pp. 2003-2014.
- Zhou, J., Civco, D.L., and Silander, J.A.(1998), A wavelet transform method to merge Landsat TM and SPOT panchromatic data, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 19, No. 4, pp. 747-757.