

연구논문

수정된 영상 유도 기법을 통한 융합영상의 분광정보 향상 알고리즘 Spectral Quality Enhancement of Pan-Sharpned Satellite Image by Using Modified Induction Technique

최재완* · 김형태**

Choi, Jae Wan · Kim, Hyung Tae

要 旨

IKONOS-2, QuickBird, KOMPSAT-2와 같은 고해상도 위성영상은 높은 공간해상도의 흑백영상과 멀티스펙트럴 영상을 동시에 제공하고 있다. 영상융합은 서로 다른 공간, 분광해상도를 가지는 영상을 이용하여 두 개의 장점을 모두 가지는 영상으로 재구성하는 것을 의미하며 위성영상을 영상의 시각화, 개체 추출 등에 더욱 효과적으로 사용할 수 있도록 한다는 점에서 중요한 연구분야이다. 이를 위해 많은 영상융합 알고리즘이 제안되었지만, 대부분의 알고리즘들은 융합 후에 원 멀티스펙트럴 영상의 분광정보를 효과적으로 보존하지 못하는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 수정된 영상 유도 기법을 통하여 융합영상의 분광왜곡량을 줄이는 알고리즘을 제안하였다. 원 멀티스펙트럴 영상과 해상도를 낮춘 융합영상과의 비교 분석을 통하여 융합영상의 분광 정보 왜곡량을 보정하도록 유도기법을 조정하였다. QuickBird 영상에 적용한 결과, 다양한 융합영상들이 본 알고리즘을 적용할 경우에 분광왜곡량이 줄어드는 것을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 영상융합, 영상 유도 기법, 분광왜곡, QuickBird

Abstract

High-spatial resolution remote sensing satellites (IKONOS-2, QuickBird and KOMPSAT-2) have provided low-spatial resolution multispectral images and high-spatial resolution panchromatic images. Image fusion or Pan-sharpening is a very important in that it aims at using a satellite image with various applications such as visualization and feature extraction through combining images that have a different spectral and spatial resolution. Many image fusion algorithms are proposed, most methods could not preserve the spectral information of original multispectral image after image fusion. In order to solve this problem, modified induction technique which reduce the spectral distortion of fused image is developed. The spectral distortion is adjusted by the comparison between the spatially degraded pan-sharpened image and original multispectral image and our algorithm is evaluated by QuickBird satellite imagery. In the experiment, pan-sharpened image by various methods can reduce spectral distortion when our algorithm is applied to the fused images.

Keywords : Image fusion, induction technique, spectral distortion, QuickBird

1. 서 론

IKONOS-2, QuickBird, KOMPSAT-2와 같은 고해상도 위성들은 높은 공간해상도의 흑백영상과 다양한 분광대의 멀티스펙트럴 영상들을 동시에 제공하고 있다. 고해상도 위성영상은 높은 공간해상도를 이용하여 개체 추출 및 분석, 영상판독 등에 장점을 갖고 있고, 멀티스펙트럴

영상은 토지 피복의 분류에 높은 활용성을 가지고 있다. 하지만, 위성센서의 기술적인 한계로 인해 높은 공간해상도를 가지는 멀티스펙트럴 영상을 생성하기는 어려운 실정이다 (Y. Zhang, 2004). 따라서, 멀티스펙트럴 영상과 흑백영상을 합성하여 높은 공간해상도의 멀티스펙트럴 영상을 생성하는 영상융합기술은 원격탐사에서 중요한 연구주제이며, 다양한 분야에서 위성영상을 활용하는

2008년 7월 14일 접수, 2008년 8월 12일 채택

* 정희원 · 서울대학교 공과대학 지구환경시스템공학부 공간정보연구실 박사과정 (choijw11@snu.ac.kr)

** 교신저자 · 정희원 · 한국토지공사 국토도시연구원 책임연구원 (kht@iklc.co.kr)

데에 필수적인 과정이라 할 수 있다. 영상융합은 멀티스펙트럴 영상을 흑백영상의 공간해상도와 동일하게 조정하여 위성영상을 선명하게 한다는 점에서 pan-sharpening이라는 용어로도 쓰이고 있다 (L. Alparone 등, 2007). 최근 들어 다양한 영상융합기법들이 제안되고 있으며, 이에 따라 상용소프트웨어에서도 다양한 방법들이 탑재되고 있다. 대표적인 영상융합기법으로는 CS(Component - Substitution) 기반 기법, 웨이블릿 융합기법 등을 들 수 있다. CS기반 융합기법은 흑백영상에서 고주파수의 공간 정보를 추출한 후, 이를 멀티스펙트럴 영상의 각 밴드에 주입하는 기법으로 대용량 위성영상에 적합한 빠른 처리 속도와 흑백영상의 공간해상도를 효과적으로 보존할 수 있는 장점을 지니고 있다 (W. Dou 등, 2007). 최근에는 각 위성 센서에 적합한 CS 기반 융합 알고리즘들과 융합 영상의 분광왜곡을 줄이기 위한 다양한 알고리즘들이 개발되고 있다 (W. Dou 등, 2007; M. Gonzalez-Audicana 등, 2005). 웨이블릿 융합기법은 이산 웨이블릿 변환에 기반을 둔 대표적인 다중해상도 분석방법으로 Mallat 변환을 기반으로 한 방법과 a'trous 기반의 방법으로 나눌 수 있다. 특히, 최근의 연구에서 Mallat기반의 방법보다 a'trous 기반의 웨이블릿 융합기법이 분광, 공간 해상도의 보존 측면에서 더욱 효과적인 것으로 검증되었다 (M. Gonzalez-Audicana 등, 2005). 하지만, 대부분의 융합기법들은 융합과정에서 발생하는 정보의 손실로 인하여 분광정보가 원 멀티스펙트럴 영상과 동일하지 못하고 왜곡되는 문제점을 지니며, 최근의 융합연구들도 이러한 문제점을 해결하기 위하여 이루어지고 있다. 따라서 본 연구에서는 영상처리 기법 중의 하나인 영상 유도(image induction) 기술을 이용하여 융합영상의 분광정보 왜곡량을 줄이는 기술을 제안하였다. 융합영상과 원 멀티스펙트럴 영상 간의 관계를 분석하여 융합영상의 분광왜곡량을 최소화하였으며, 대표적인 고해상도 위성인 QuickBird 영상에 적용을 하였다. 다양한 영상융합 기법에 본 알고리즘을 적용하여 융합영상의 분광정보 향상을 정량적, 시각적으로 평가하였다.

2. 수정된 영상유도 기법

1) 영상 유도

영상유도 기술은 영상처리 중 디스플레이를 위한 영상의 확대에 적용되는 대표적인 기술이다 (L. Condat 등, 2005). 일반적으로 영상의 확대는 보간법을 사용하여 이루어지는데, 스플라인 보간이나 선형보간법을 이용하여 영상을 확대하는 경우, 영상의 에지정보와 같은 영상 내의 일부 정보들이 손실되는 문제가 발생한다. 이러한 정

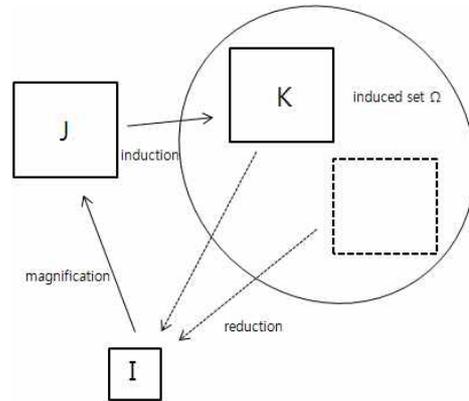


그림 1. Induction 원리

보의 손실을 최소화시키기 위해 유도 기법을 적용하여 효과적으로 영상을 확대를 하는 방법이 제안되었다 (L. Condat 등, 2005). 영상유도는 특정 알고리즘을 이용하여 영상의 크기를 확대시켰을 경우, 이를 다시 원영상의 크기로 복원하였을 때, 원 영상과 동일한 정보를 가지고 있어야 한다는 점을 이용하며, 원리는 그림 1과 같다. 원 영상 I 와 보간기법을 통해 업스케일링된 영상 J 가 있다고 가정하면, 영상 J 는 유도를 통하여 에지등의 정보 손실이 없는 영상 그룹 Ω 내의 영상 K 를 생성할 수 있어야 하며, 영상 K 는 환원(reduction)을 통하여 원래의 영상 I 로 변환이 가능하여야 한다. 이를 영상처리에 적용하기 위하여 영상 K 는 식 (1)을 이용하여 구할 수 있다.

$$K = J + [I - [J * R] \downarrow a] \uparrow a * A \quad (1)$$

여기서, a 는 영상 I 와 J 간의 스케일링 차를 의미하는 스케일링 요소이며, \downarrow , \uparrow 는 a 만큼의 영상 확대, 축소를, R , A 는 영상의 확대, 축소를 위한 Cohen-Daubechies-Fauveau (CDF) 9/7 tap 쌍직교 필터를 의미하며 $*$ 는 특정 필터를 이용한 convolution 연산을 의미한다(L. Condat 등, 2005). 수식 (1)은 업스케일된 영상 J 를 원영상 I 로 복원할 경우 발생하는 차이를 업스케일링하여 영상 J 에 주입하여 정보손실이 없는 영상 K 를 만들 수 있음을 설명한다. 영상 유도를 통해 얻은 확대된 영상 K 는 영상 I 와 같은 정보를 포함하고 있으며, reduction을 통해서도 기존의 보간법과는 달리 영상 I 와 동일한 영상으로 복원시킬 수 있다. 원격탐사 분야에서는 영상융합에 이러한 유도기술을 직접적으로 적용하기도 하였는데, 멀티스펙트럴 영상을 확대하면 흑백영상으로, 융합영상을 축소하면 멀티스펙트럴 영상으로 변환될 것이라는 가정에 식 (2)와 같은 융합식을 제안하였다 (M. M. Khan 등, 2008).

$$K = PAN - [(PAN * R) \downarrow a] \uparrow a * A + [I \uparrow a * A] \quad (2)$$

여기서, PAN 은 흑백영상을 의미하며, I 는 흑백영상보다 a 만큼 공간해상도가 낮은 멀티스펙트럴 영상의 한 밴드를 의미한다. 식 (2)는 유도과정을 이용한 영상 융합 시, 멀티스펙트럴 영상에 주입된 PAN 영상의 에지 정보를 추출하고 이를 업스케일된 각각의 멀티스펙트럴 영상에 주입하여 융합영상 K 를 만드는 방법으로 해석할 수 있다.

2) 제안한 알고리즘

본 연구에서 제안한 수정된 영상 유도 기법은 영상유도 기법을 이용한 영상융합 기법이 아닌, 영상 확대에 사용하는 유도 기법을 직접적으로 수정하여 융합된 영상의 분광왜곡량을 줄이는 후처리 기법이다. 기존의 영상 확대를 위한 유도기법이 업스케일된 영상을 이용하여 에지 정보가 보존된 확대 영상을 생성하는 반면에 본 연구에서 사용한 알고리즘은 융합 영상과 원 영상을 이용하여 두 영상 사이의 분광차를 분석하게 된다. 따라서 기존의 유도기법의 변수인 영상 I, J, K 는 각각 원 멀티스펙트럴 영상, 초기융합영상, 최종융합영상으로 대체되게 되며 이는 식 (3)과 같다. 일반적인 영상유도기법은 원 영상을 이용하여 업스케일된 영상을 수정하지만, 식 (3)에서는 융합영상 F 를 업스케일된 영상으로 가정하여 영상 F 를 원영상으로 복원할 경우 발생하는 분광차를 다시 업스케일링하여 영상 F 에 주입하는 방법을 선택하였다. 본 알고리즘은 일반적인 영상유도기법과는 달리 분광정보의 보존에만 초점을 맞추었기 때문에 공간정보의 변형은 최소화시키고자 하였다. 융합영상과 원 멀티스펙트럴 영상은 유도기법 후에 최종 융합영상의 공간정보가 일부 훼손되는 것을 방지하기 위하여 a trous 필터를 각각의 영상에 적용하여 공간해상도를 낮춘 영상을 알고리즘에 적용하였다.

$$K = F + [I - [F * R] \downarrow a] \uparrow a * A \quad (3)$$

여기서, I 는 원 멀티스펙트럴 영상의 특정 밴드 영상을, F 는 특정융합기법을 적용하여 얻어낸 융합영상, K 는 유도기법을 적용한 후의 최종융합영상이다. 기존의 융합 영상에 존재하는 분광왜곡량은 영상 축소를 거칠 경우 원 멀티스펙트럴 영상과의 차를 통해 얻을 수 있으며, 이 차이를 원 융합영상에 주입하게 되면 최종적으로 유도된 융합영상을 얻을 수 있다. 일반적으로 유도기법을 적용할 때 Cohen-Daubechies-Fauveau (CDF) 9/7 tap 쌍직교 필터를 이용하여 영상을 확대/축소를 하는데, 일반적인

고해상도 위성영상의 흑백영상과 멀티스펙트럴 영상의 공간해상도 차이를 직접적으로 스케일링할 수 없고 2단계에 걸쳐서 확대/축소 과정을 거치게 된다. 본 논문에서는 유도기법을 통하여 융합영상의 분광왜곡을 줄이는 데에 초점을 맞추고 있기 때문에 기존의 유도기법에 사용된 필터를 사용하지 않고 bi-cubic spline 보간법을 이용하여 직접적으로 영상의 스케일링을 수행하였다.

3. 알고리즘 적용

1) 연구 방법

위성영상의 융합결과를 평가하기 위해서는 흑백영상과 동일한 공간해상도를 가지는 멀티스펙트럴 영상이 존재하여야 한다. 그러나, 기준이 될 자료는 실제 존재하지 않기 때문에, 본 논문에서는 원 QuickBird 영상(멀티 2.8m, 흑백 0.7m)의 공간해상도를 강제적으로 멀티 11.2m, 흑백 2.8m로 낮춘 후, 이를 융합하여 2.8m 공간해상도의 멀티융합영상을 생성하고 이를 이용하여 원 멀티스펙트럴 영상과의 정량적인 비교평가를 수행하였다. 제안한 알고리즘의 적용을 위해서는 초기 융합영상이 필요하며, 각각의 융합기법에 대해서 유도기법의 성능을 평가하기 위해 다양한 영상융합기법을 사용하였다. 널리 알려진 CS 기반 융합기법중 하나인 FIHS 기법과 상용소프트웨어 Envi 4.1에 탑재되어 있는 GS(Gram-Schmidt) spectral sharpening 기법, 대표적인 웨이블릿 융합기법인 WPCA (Wavelet-based Principle Component Analysis) 융합기법을 사용하여 융합영상을 생성하고 각각의 융합영상에 본 논문의 알고리즘을 적용하여 분광왜곡의 감소량을 평가하였다. 분광왜곡량을 평가하는 척도로는 ERGAS(Erreur Globale Adimensionnelle de Synthèse)와 Q4 지수를 사용하였다 (L. Alparone 등, 2007). ERGAS는 융합영상의 전역적인 분광왜곡량을 정량화하는 척도로서 식 (4)와 같다.

$$ERGAS = 100 \frac{h}{l} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{RMSE^2(B_i)}{M_i^2}} \quad (4)$$

여기서, h 는 흑백영상의 공간해상도, l 은 멀티스펙트럴 영상의 공간해상도, B_i 는 i 번째 멀티스펙트럴 영상, $RMSE$ 는 융합영상과 원 멀티스펙트럴 영상간의 제곱근 오차, M_i 는 융합영상 각각의 스펙트럴 영상 밴드의 평균 복사휘도이다. ERGAS는 값이 작을수록 융합영상의 품질이 뛰어나다는 것을 의미하며, 융합영상과 원 멀티스펙트럴 영상이 동일할 경우 0의 값을 가진다. Q4 지수는 효율적인 영상융합평가지수로 알려진 Q지수를 멀티스펙



그림 2. 대상 지역

표 1. 영상융합 결과 및 유도기법 적용후의 융합 결과 평가

	초기 융합영상 결과		유도기법 적용 후	
	ERGAS	Q4	ERGAS	Q4
FIHS	1.6317	0.9265	1.3738	0.9353
WPCA	1.3179	0.9190	1.24	0.9326
GS	1.5961	0.9395	1.3255	0.9438

트릴 영상에 대하여 일반화되도록 수정한 지수이다. 멀티스펙트럴 영상의 한 화소를 다차원수(hypercomplex number)로 가정하여 융합영상과 원 멀티스펙트럴영상간의 벡터차를 이용하여 분광유사도를 측정하는 방법이며 계산식은 다음과 같다 (L. Alparone 등, 2004).

$$Q4 = \frac{|\sigma_{z_1 z_2}|}{\sigma_{z_1} \sigma_{z_2}} \frac{2\sigma_{z_1} \sigma_{z_2}}{\sigma_{z_1}^2 + \sigma_{z_2}^2} \frac{2|\bar{z}_1| |\bar{z}_2|}{|\bar{z}_1|^2 + |\bar{z}_2|^2} \quad (5)$$

여기서, z_1 은 융합영상 화소의 다차원수 벡터, z_2 는 원 멀티스펙트럴 영상 화소의 다차원수 벡터, $\sigma_{z_1 z_2}$ 는 z_1 과 z_2 의 공분산, σ_{z_1} 은 융합영상 다차원수 벡터의 표준편차, \bar{z} 는 다차원수 벡터의 최확값을 의미한다. Q4지수는 N×N 크기의 윈도우 내의 화소에 대해서 구한 후, 이들의 최확값을 이용하여 얻는 수치이며, 1에 가까울수록 융합영상의 질이 좋음을 의미한다. 본 연구에서는 가장 효과적으로 Q4지수를 판단할 수 있는 N=32를 이용하였다.

2) 사용데이터

본 실험에서는 2006년 5월 25일에 취득한 대전지역의 QuickBird 영상을 사용하였다. 영상 중 도심지와 수목지역이 혼재한 800×800 화소지역을 추출하여 융합대상으로 설정하였다. QuickBird 영상은 화소값이 0~2048의 범

위를 가지는 11bit 영상을 사용하였으며, 노이즈 제거나 스트레칭을 통해 화소값이 변화되지 않은 원영상을 그대로 융합에 사용하였다. 대상지역은 그림 2와 같다.

4. 결 과

1) 정량적 평가

초기 융합영상의 ERGAS 값과 Q4지수 및 유도기법 적용후의 융합영상의 ERGAS 및 Q4지수의 결과는 표 1과 같다. 융합결과, FIHS, WPCA, GS융합기법 모두에 대하여 유도기법을 적용한 결과, ERGAS, Q4지수 모두 향상된 결과를 보임을 확인할 수 있으며 WPCA융합기법이 ERGAS, Q4지수 모두 가장 적은 분광왜곡을 나타남을 볼 수 있다. 3가지 융합방법에 대하여 유도기법 적용후의 융합결과가 각기 다른 것은 초기 융합기법의 차이에 의하여 흑백영상에서 멀티스펙트럴 영상으로 주입된 예지 정보 등의 차이가 유도기법 적용 후에도 남아있기 때문에, 동일한 유도된 영상이 생성되지 않은 것으로 판단된다. 따라서 본 유도기법의 결과는 초기 영상융합 방법에 영향을 받는다는 것을 확인할 수 있으며, 3가지 융합방법에 대하여 유도기법 적용 후에 모두 개선된 결과를 보임에 따라 영상융합 방법에 관계없이 영상왜곡량을 효과적으로 줄일 수 있음을 알 수 있다.

2) 시각적 평가

영상 융합결과 및 유도기법 적용 결과를 시각적으로 평가하기 위한 결과영상은 그림 3과 같다. 그림 3에서 볼 수 있듯이, FIHS를 이용한 융합영상이 원 멀티스펙트럴 영상과 가장 상이한 색상을 나타남을 확인할 수 있다. 모든 지역에 대하여 화소값이 과도하게 설정되어 원 영상보다 너무 밝은 결과를 나타내고 있다. WPCA를 이용한 융합영상이 가장 원멀티스펙트럴 영상과 가장 유사한 색상을 가지고 있다. 하지만, 흑백영상 내의 산림 지역은 수목지역의 산림분포를 명확히 인지할 수 있는 반면 가장 낮은 분광왜곡량을 가지고 있는 WPCA기법의 경우, 이러한 흑백영상의 공간해상도 표현을 명확하게 못하고 있으며, GS융합기법은 원 멀티스펙트럴 영상의 왜곡은 존재하지만, 흑백영상의 공간해상도를 충실히 표현하고 있다. 3가지 융합기법에 대하여 유도기법을 적용한 결과, 3가지 영상융합 기법에 대하여 모두 좀 더 원 멀티스펙트럴 영상의 색감과 유사하게 수정된 것을 확인할 수 있다. FIHS기법의 경우, 멀티스펙트럴 영상과 유사한 톤으로 색상이 변화하였으며, GS기법은 일부 산림지역의 색이 기존의 녹색에서 원 멀티스펙트럴 영상에 가까운 색으로 변한 것을 확인해볼 수 있다. WPCA 융합기법의 경우에

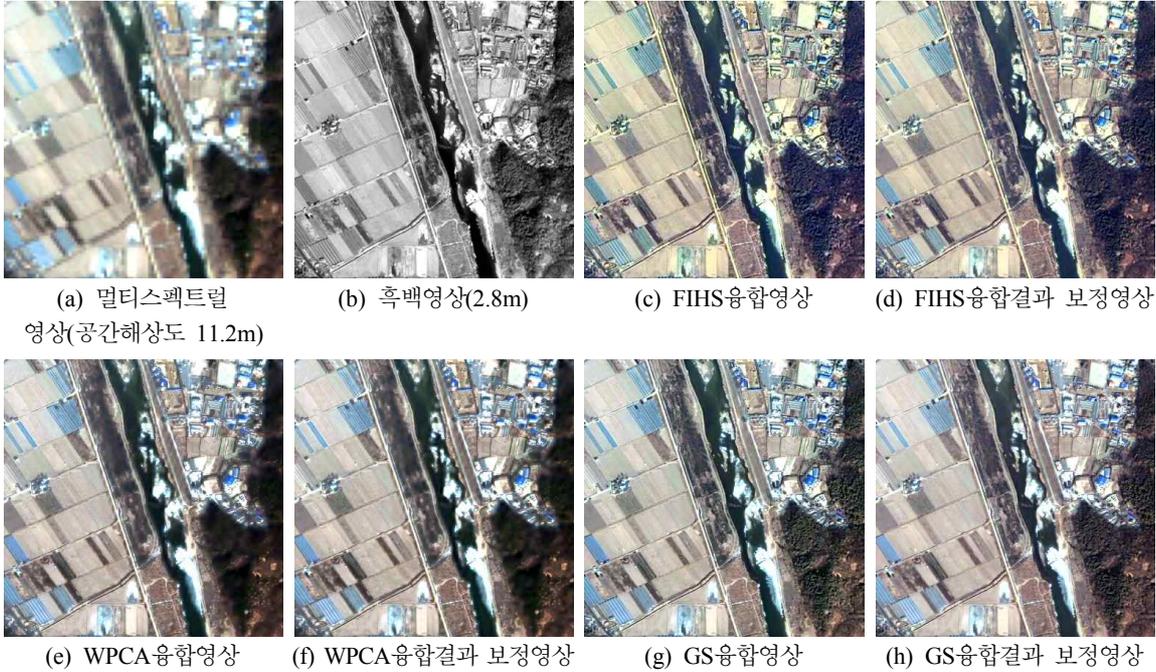


그림 3. 실험결과

는 시각적으로 큰 차이는 확인할 수 없었으나, 이는 원 WPCA를 사용한 융합결과가 시각적으로는 뛰어난 결과를 보이기 때문으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 고해상도 위성영상의 융합과정에서 발생하는 분광해상도의 왜곡을 최소화하기 위한 수정된 유도기법을 제안하였다. 유도기법을 통하여 원 멀티스펙트럴영상과 융합영상간의 분광차를 구하고 이를 융합영상에 주입하여 분광왜곡도를 줄일 수 있었다. 기존의 영상 유도 기법이 확대된 영상의 에지정보의 보존에 초점을 맞춘 반면, 제한한 알고리즘은 융합영상의 에지정보는 변화시키지 않고 분광왜곡량을 줄이고자 하였다. 특히, a'trous 웨이블릿 알고리즘을 적용하여 유도기법 중에 발생할 수 있는 공간해상도의 저해 현상을 최소화하였다. QuickBird 영상에 대하여 3가지 융합결과를 적용하고, 이에 대해 수정된 유도기법을 적용한 결과, 유도기법을 적용한 융합영상이 정량적 평가와 정성적 평가 모든 점에서 우수한 결과를 보임을 확인할 수 있었다. 향후 연구로는 알고리즘의 성능 개선 및 다양한 위성영상에 알고리즘을 적용하여 정량적 평가를 더 수행할 것이다. 본 논문의 기법을 바탕으로 고해상도 위성영상의 융합시, 분

광왜곡을 최소화함으로써, 융합영상을 다양한 분야에 확장하여 효율적으로 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Y. Zhang, 2004, "Understanding image fusion", Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 70, No. 6, pp. 653-660.
2. L. Alparone, L. Wald, J. Chanussot, C. Thomas, P. Gamba and L. M. Bruce, 2007, "Comparison of Pansharpening Algorithms: Outcome of the 2006 GRS-S Data-Fusion Contest", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, IEEE, Vol. 45, No. 10, pp. 3012-3021.
3. W. Dou, Y. Chen, X. Li and D. Z. Sui, 2007, "A general framework for component substitution image fusion: An implementation using the fast image fusion method", Computers & Geosciences, Vol. 33, pp. 219-228.
4. M. Gonzalez-Audicana, X. Otazu, O. Fors and J. Alvarez-Mozos, 2005, "A low computational-cost method to fuse IKONOS image using the spectral response function of its sensors", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, IEEE, Vol. 44, No. 6, pp. 1683-1691.
5. M. Gonzalez-Audicana, X. Otazu, O. Fors and A. Seco, 2005, "Comparison between Mallat's and the a'trous discrete wavelet transformation based algorithms for the fusion of multispectral and panchromatic images", International Journal

- of Remote Sensing, Vol. 26, No. 3, pp. 595–614.
6. L. Condat and A. Montanvert, 2005, "A framework for image magnification: Induction revisited", ICASSP 2005, IEEE.
 7. M. M. Khan, J. Chanussot, L. Condat and A. Montanvert, 2008, "Indusion: Fusion of Multispectral and Panchromatic Images Using the Induction Scaling Technique", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE, Vol. 5, No. 1, pp. 98–102.
 8. L. Alparone, S. Baronti, A. Garzelli and F. Nencini, "A global quality measurement of pan-sharpened multispectral imagery", IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE, Vol. 1, No. 4, pp. 313–317.