

위성영상지도 제작을 위한 영상융합기법비교 분석

Analysis of Image Fusion Methods for the Satellite Image Map Generation

진경혁* · 유복모** · 조형진*** · 유환희****

Jin, Kyeong Hyeok · Yeu, Bock Mo · Zo, Hyung Zin · Yoo, Hwan Hee

요 지

서로 다른 공간해상도와 분광해상도를 가진 영상들을 이용하여 영상지도를 제작할 때 공간해상도를 향상시킬 수 있는 영상융합기법에 대해 연구하였다. 사용된 영상은 IKONOS panchromatic 영상과 multispectral 위성영상, KOMPSAT-1호 위성영상과 SPOT XS 위성영상에 대해 Brovey, IHS, PCA, HPF, CN, MWD 융합기법을 적용하여 시각적 분석, 공간정보의 분포특성, 통계적 특성을 기준으로 분석하였으며, 시각적 분석에서는 IHS, PCA 융합기법이, 통계적 분석에서는 HPF, MWD 융합기법이 좋은 결과를 보여주었으며, 종합적인 결과분석을 고려할 때 MWD 융합기법이 원 영상의 분광정보를 가장 작게 왜곡시킴을 알 수 있었다.

1. 서 론

다양한 사양의 위성영상자료의 획득이 가능하게 되면서 서로 다른 공간해상도와 분광해상도를 지닌 영상들을 융합하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 지금까지 영상융합을 위한 몇몇 기법들이 개발되었으며, 이들 대부분은 영상의 공간해상도를 높여 영상분류, 영상분할 등의 분석을 용이하게 하는 것이 목적이다.

영상융합에 관한 연구로는 Pradines(1986)가 4개의 panchromatic 영상 픽셀과 일치하는 SPOT XS 영상의 픽셀을 융합하는 방법을 제안하였으며, Chavez 등(1991)은 SPOT PAN과 Landsat TM 영상에 대해 IHS, PCA, HPF 기법을 적용하여 비교하였다. 그리고 Pellemans 등(1993)은 IHS 융합기법의 단점을 보완하고자 위성센서의 분광특성을 고려한 영상융합기법을 제안하였다. 기존의 영상융합 기법들은 IHS, PCA, HPF, Brovey, CN 등이 있으며, 최근 wavelet을 이용한 영상융합 기법이 연구되고 있다. Wavelet 기반의 영상융합에 관한 연구로는 Bruno 등(1996)이 SPOT PAN과 SPOT XS 데이터를 이용하여 wavelet 융합기법을 제안하였으며, Yocky(1996)는 SPOT PAN과 Landsat TM 데이터를 이용하여 wavelet 영상융합 기법을 적용하였으며, Ranchin 등(2000)은 ARSIS 개념의 wavelet을 이용한 영상융합기법을 제안하여 기존의 영상융합 기법보다 좋은 결과를 제시하였다.

* 석곡 관측과학기술연구원 연구원

** 석곡 관측과학기술연구원 원장

*** 경상대학교 건설공학부 도시공학과 석사과정

**** 경상대학교 건설공학부 도시공학전공 교수

Blanc는 SPOT panchromatic 위성영상과 Landsat TM 위성영상에 대해 다해상도 wavelet 변환을 위해 논리필터(rational filter)를 사용하여 영상을 융합하였다.

본 연구에서는 기존의 영상융합기법들, IHS, PCA, HPF, CN, Wavelet 융합기법을 Kompsat-1 위성영상과 SPOT XS 위성영상, 그리고 고해상 IKONOS panchromatic 위성영상과 multispectral 위성영상에 적용하여 각 위성영상에 적합한 최적의 융합기법을 제시하고 모든 융합기능과 부가적인 영상처리 기능을 포함한 영상융합처리 시스템을 개발하고자 한다.

2. 영상등록 및 영상융합

2.1 영상등록

영상등록은 동일하거나 서로 다른 센서로부터 같은 시간 혹은 다른 시간에 취득된 다중영상들 간에 정확한 상호표정을 결정하는 과정이며, 또한 영상과 수치지형도간의 절대표정의 과정으로서 동일한 물리적인 영역을 가진 두 영상에서 동일점의 좌표를 획득하기 위해 두 영상을 정합하는 처리과정이다.

영상등록은 두 가지 범주로 나눌 수 있는데 첫째, 두 영상에 대해 하나의 영상을 기준으로 다른 영상을 정합하여 동일한 픽셀크기와 동일한 영역을 나타내도록 하나의 영상을 재배열하는 것이다. 두 번째, DEM 혹은 지상기준점(GCP)을 이용하여 영상을 실제의 지상에 등록하는 개념의 기하보정(rectification)이다. 영상융합을 수행하기 위해서는 이 두 가지 중 한가지가 선행되어야 하는데, 본 논문에서는 고해상 위성영상을 기준으로 저해상 위성영상을 등록하여 영상 재배열 처리과정을 거쳤다.

2.2 영상융합

영상융합은 일반적으로 둘 혹은 그 이상의 서로 다른 영상들을 이용하여 새로운 영상을 생성하여 각 영상의 효과를 극대화하는 것이다. 특성이 다른 영상 즉, 고해상의 공간해상도는 panchromatic 영상과 저해상의 공간해상도를 가진 multispectral 영상을 이용하여 각각의 장점들을 취합하여 고해상의 multispectral 영상을 생성하는 것이 주목적이다.

2.2.1 Brovey 융합기법

Brovey 융합기법은 다른 융합기법들에 비해 매우 간단한 수식에 의해 수행된다. 이 방법은 주로 Landsat TM와 SPOT panchromatic 위성영상을 이용하여 융합하지만 다른 위성영상에도 적용이 가능하다. 또한 융합결과는 IHS 융합결과와 비슷하지만 IHS 융합기법과 수학적으로 다른 형태의 기법을 사용한다.

2.2.2 CN 융합기법

CN(Color Normalized)융합기법은 IHS나 PCA 융합기법과 달리 단순한 수학적 모델에 의해 이루어지며, CN 융합기법을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$CN_i = \left[\frac{(MS_i + 1.0) \times (PAN + 1.0) \times 3.0}{\sum MS_i + 3.0} \right] - 1.0 \quad (1)$$

여기서, CN_i : i 번째 저해상도 영상과 고해상도 영상의 융합영상

MS_i : 저해상 영상의 i 분광밴드

PAN : 고해상 panchromatic 영상

2.2.3 HPF 융합기법

영상처리 응용분야에서 영상의 특정 부분을 강조 또는 억제하는 방법으로 필터링기법이 자주 사용되고 있다. 일반적으로 low pass filter는 영상의 잡음을 제거하거나 지형지물의 경계선을 흐리게 하여 영상을 전체적으로 부드럽게 만들며, 결과적으로 공간해상도를 떨어뜨리는 효과를 가지고 있다. 반면에 high pass filter는 모서리나 경계선 등과 같은 영상의 세부적인 내용을 강조하는 효과를 가지고 있다.

HPF 융합기법은 저해상도 multispectral 영상의 각 분광밴드에 low pass filter를 적용시켜 분광해상도를 유지하면서 저주파 성분을 추출하고, 고해상도 panchromatic 영상에 대해서는 high pass filter를 적용시켜 공간해상도 정보를 강조하면서 고주파 성분을 추출한다.

HPF 융합기법에 있어서 융합된 영상의 질을 결정하는 가장 중요한 인자로는 저해상도 영상과 고해상도 영상에 사용되는 필터의 경중률과 필터의 크기이다. 본 연구에서 저해상도 영상에 적용된 low pass filter는 7×7 크기를 가지는 필터를 사용하였고, 고해상도 영상에 적용한 high pass filter는 7×7 크기를 가지는 필터를 사용하였다.

2.2.4 IHS 융합기법

IHS 색채 모델을 이용한 영상융합기법은 1982년 Hydan에 의해서 처음으로 사용된 이후 가장 일반적으로 사용되고 있는 융합기법이다. IHS 색채 모델의 유용성은 첫째, 밝기 성분인 명암은 영상에서 색 정보로부터 분리되어 있고 둘째, 색상과 채도 성분은 사람이 색을 인지하는 방식과 깊은 관계를 가지고 있는 것이다. 이러한 특성은 IHS 모델이 인간 시각 시스템의 색채 감지 특성에 기초한 영상처리 알고리즘 개발을 위한 이상적인 도구가 되게 한다.

우선 RGB 색채 모델의 저해상 multispectral 영상을 IHS 색채 모델로 변환한 후 고해상 panchromatic 영상과 IHS 변환에 의해 생성된 성분들 중 명암(intensity)성분을 서로 교환하게 된다. IHS 변환에 의해 multispectral 영상을 RGB 색채 모델에서 IHS 색채 모델로 변

환하게 되면 분광해상도는 색조와 채도영상에 존재하게 되고 공간해상도와 관련된 정보는 명암영상에 존재하게 된다. IHS 융합기법의 두 번째 단계는 저해상 multispectral 위성영상의 명암성분과 고해상 panchromatic 위성영상을 서로 대체하는 작업이다. 이 과정에서 유의해야 할 점은 두 영상의 평균과 표준편차를 비슷하게 조정하는 것이다. 이는 두 영상의 분광해상도가 다르기 때문에 panchromatic 영상의 분광해상도를 명암영상의 분광해상도와 유사하게 조정하는 작업을 수행하지 않는다면 panchromatic 영상의 분광해상도에 의해서 융합영상의 분광해상도에 왜곡이 발생할 수 있게 된다. 따라서 본 논문에서는 panchromatic 영상의 평균과 표준편차가 명암영상과 유사한 값을 가지도록 normalized stretching을 수행하였다. IHS 융합기법의 마지막 단계에서는 저해상도 multispectral 위성영상의 색조성분 영상과 채도성분 영상, 그리고 분광해상도가 보정된 고해상 panchromatic 영상을 이용해서 IHS 색채 모델에서 RGB 색채 모델로 역 변환을 하여 최종적으로 고해상 multispectral 영상을 생성하게 된다.

2.2.5 PCA 융합기법

PCA 변환은 주로 영상부호화 및 영상압축, 영상향상에 사용되는 기법으로서 변량 사이의 상관관계에 주목해서 가능한 정보를 상실하지 않고 많은 변량 측정치를 적은 개수의 종합지표로 집약하여 나타내는 방법이다. Multispectral 영상에서 각 분광밴드간의 상관관계가 높은 경우가 많기 때문에 PCA 변환을 이용하여 현재의 영상들에 포함되어 있는 대부분의 정보를 가상의 소수 분광밴드로 나타낼 수 있다. PCA 융합기법은 IHS 융합기법과 유사한데 IHS 융합기법에서는 단지 3개의 분광밴드로 구성된 영상만을 이용하여 명암, 색조, 채도 성분으로 변환할 수 있는 반면에, PCA 융합기법은 3개 이상의 분광밴드로 구성된 영상에 적용할 수 있는 장점이 있다. Landsat TM 위성영상의 경우 7개 분광밴드를 가지고 있는데, PCA 변환을 통해 3개의 주성분으로 압축하여 자료의 양을 줄이거나 특정 지표물을 강조하는 목적으로 사용된다.

2.2.6 Wavelet 융합기법

다해상도 Wavelet 변환은 최근에 연구되고 있는 기법으로서 신호처리 및 영상처리분야에서 다양하게 적용되고 있으며, 특히 영상처리 분야에서는 영상압축, 경계선 추출 및 물체 인식, 영상융합에 많이 이용되고 있다. 영상을 wavelet 변환하여 다해상도로 분해하면 2×2 픽셀의 값들이 평균되는 근사영상과 인접한 두 픽셀값의 차이를 나타내는 세부영상으로 구분되어 생성된다. 세부영상은 원 영상의 가로방향, 세로방향, 그리고 대각 방향의 세부영상으로 구성된다. 1단계 wavelet 변환을 통해 영상을 분해하게 되면 근사영상과 세부영상은 모두 원 영상(m열, n행)보다 1/2만큼 축소된 크기(m/2열, n/2행)로 변환된다. 첫 단계에서 생성된 근사영상을 다시 wavelet 변환하면 두 번째 단계의 근사영상과 세부영상들이 생성되는데, 이 영상들은 원 영상보다 가로 세로가 각각 1/4만큼 축소된 크기를 갖는다. 이와 같이 분해된 영상은 역 wavelet 변환을 통해 정보의 손실 없이 원래의 자료값으로 정확하게 복원된다.

Wavelet 융합기법은 일반적으로 고해상 panchromatic 영상을 저해상 multispectral 영상의 공간해상도와 일치하는 단계까지 다해상도 wavelet 변환을 적용하여 근사영상과 세부영상으로 나눈 후, 근사영상을 저해상도 영상의 각 분광밴드로 대체한 뒤 역 변환함으로써 영상을 융합하게 된다. 예를 들어, 고해상 영상이 5m의 공간해상도를 가지고 저해상도 영상이 20m의 공간해상도를 가진다고 할 때, 고해상도 영상에 2 단계 wavelet 변환을 적용하면 20m의 공간해상도를 가지는 근사영상과 세부영상들이 생성된다. 그런 다음 고해상 영상의 근사영상을 저해상 위성영상으로 대체한 뒤 역 변환하여 영상을 융합한다.

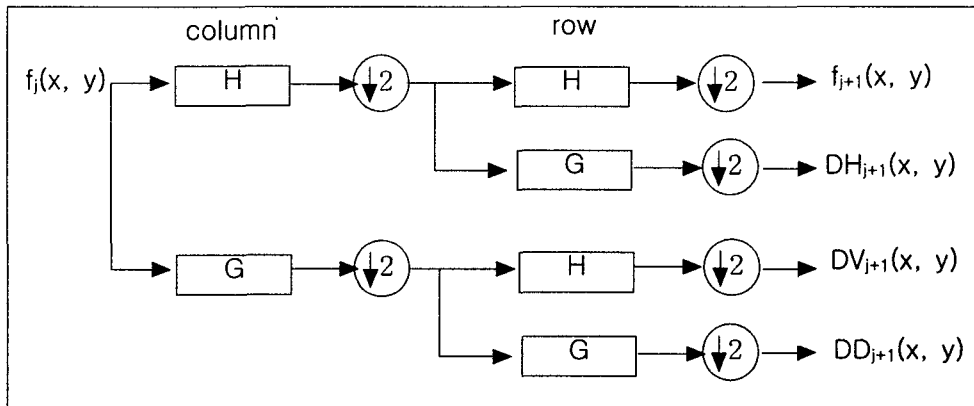


그림 1. 다해상도 wavelet 분해

그림 1은 H와 G filter를 이용하여 근사영상과 세부영상을 생성하는 과정을 설명하고 있으며 그림 2는 분해된 근사영상과 세부영상을 이용하여 영상복원을 수행하는 과정을 설명하고 있다.

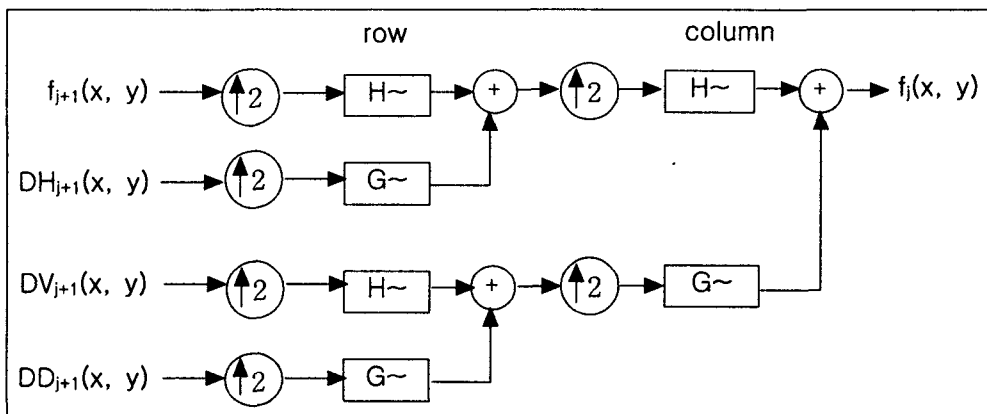


그림 2. 다해상도 wavelet 복원

3. 영상자료처리 시스템 개발

3.1 영상자료

본 연구에서 사용한 위성영상은 우리 나라의 Kompsat-1 대전지역 위성영상과 SPOT XS 대전지역 위성영상, 그리고 IKONOS panchromatic 와 multispectral 대전지역 위성영상들이다. 표 1은 각 위성영상의 특성을 비교하여 나타낸 것이다.

표 1. 위성영상자료의 특성

Sensor	Resolution(m)	Band number	Wavelet length(μm)
Kompsat-1	6.6m	PAN	0.51 - 0.73
SPOT-XS	20m	1	0.50 - 0.59
		2	0.61 - 0.68
		3	0.79 - 0.89
IKONOS Panchromatic	1.0m	PAN	0.45 - 0.90
IKONOS Multispectral	4.0m	1	0.45 - 0.52(Blue)
		2	0.52 - 0.60(Green)
		3	0.63 - 0.69(Red)
		4	0.76 - 0.90(Near IR)

본 연구에서는 각각의 위성영상에 대해 수동으로 동일점을 선택한 후 영역기준 등록의 밝기값 상관도를 이용하여 동일점을 최종 선정하였다. 두 영상간의 기하학적 변환식은 부등각 사상변환을 통해 결정하였으며, 공일차보간법에 의해 영상을 재배열한 후 영상융합을 위한 두 영상을 생성하여 Brovey, IHS, PCA, CN, HPF 융합기법을 적용하였다. 그림 3과 4는 Brovey, CN, IHS, PCA 융합기법을 수행하기 위해 본 연구에서 개발된 모듈의 다이얼로그를 나타낸 것이다.

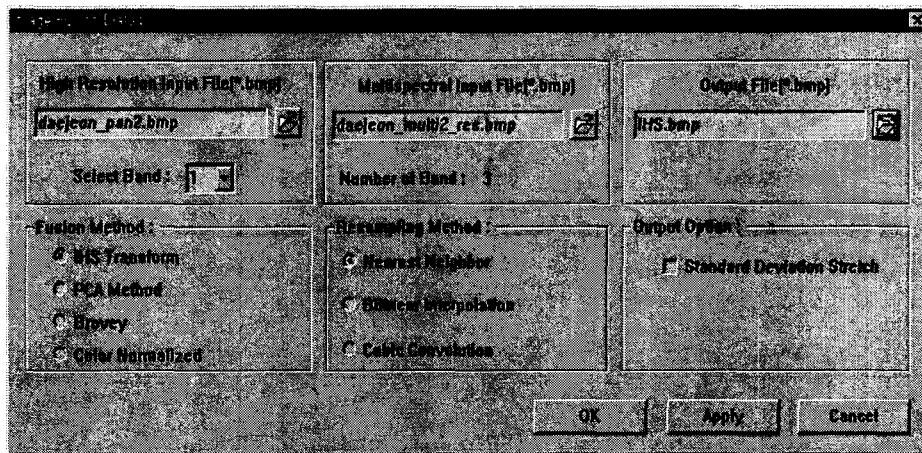


그림 4. Brovey, CN, IHS, PCA 융합기법을 위한 다이얼로그

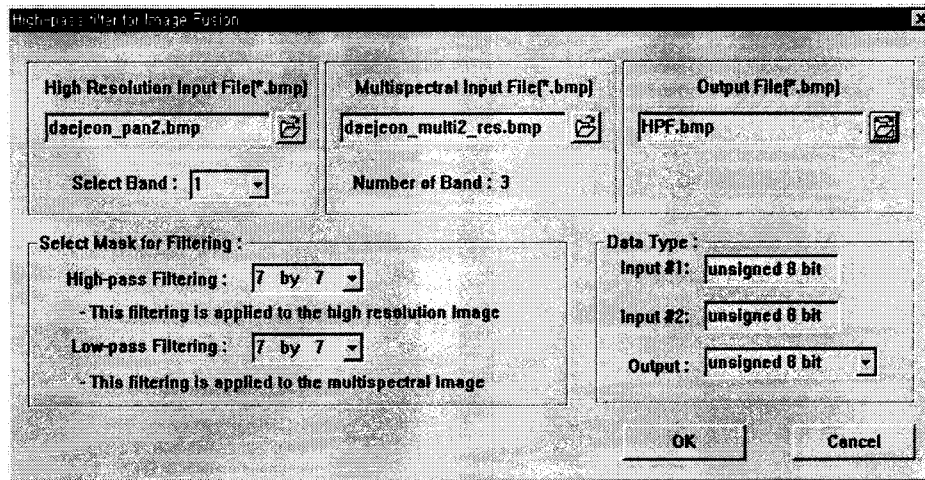


그림 5. HPF 융합기법을 위한 다이얼로그

3.2 영상처리 시스템의 구성

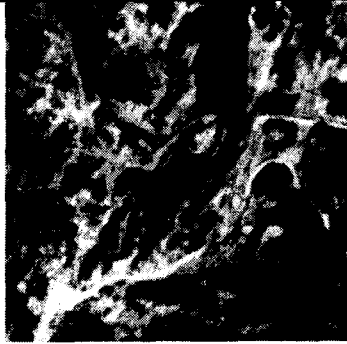
본 연구에서는 영상을 융합하기 위한 전처리 기능과 영상융합기능을 수행하기 위해 객체 지향 개념을 이용하여 프로그램을 구현하였다. 본 논문에서 구현한 모듈은 영상에서 일부분을 추출하는 기능의 Image subset 클래스, 두 영상을 이용하여 평균, 표준편차, 히스토그램을 조정하는 Multi-image adjustment 클래스, Wavelet 융합기법을 수행하기 위한 Wavelet transform 클래스, 융합결과 영상의 비교분석을 위한 Image enhancement 클래스와 Statistical analysis 클래스, 그리고 영상의 확대 및 축소기능을 포함하는 Image zoomIn/Out 클래스로 구성되어 있다.

4. 결과분석

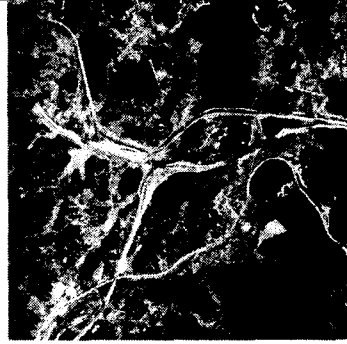
4.1 시각적 결과 분석

4.1.1 Kompsat-1 panchromatic과 SPOT XS 위성영상 융합

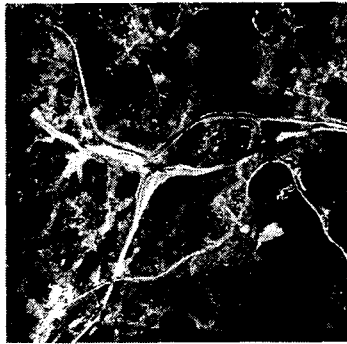
그림 5는 Kompsat-1 위성영상과 SPOT XS 위성영상에 대해 6가지 융합기법에 의해 생성된 융합결과 영상들을 나타낸 것이다. 영상융합 기법 중 Brovey 융합기법과 HPF 융합기법의 경우, 융합결과 영상의 픽셀값들이 전체적으로 낮은 값을 갖기 때문에 영상이 어둡게 나타났으며, 다른 융합기법들과 비교를 할 수 없었다. 그러므로 본 논문에서는 SPOT XS 위성영상과 모든 융합기법들의 결과영상에 대해 각 영상의 표준편차를 이용하여 대비확장(contrast stretching)을 적용하였다.



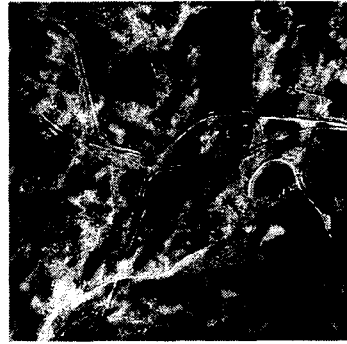
a) SPOT XS 위성영상



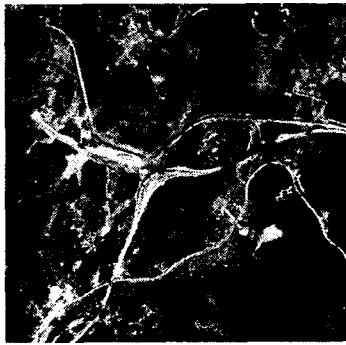
b) Broye 융합영상



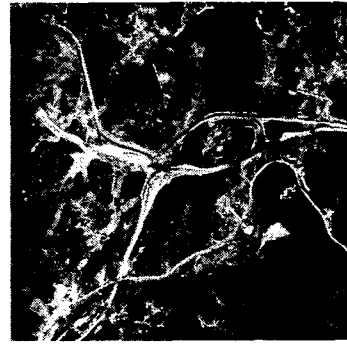
c) CN 융합영상



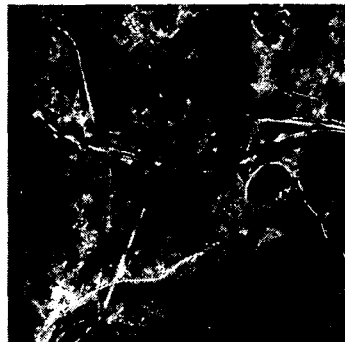
d) HPF 융합영상



e) IHS 융합영상



f) PCA 융합영상



g) Wavelet 융합영상

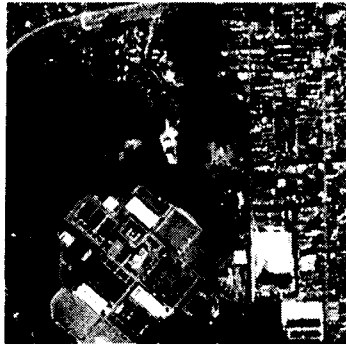
그림 5. Kompsat과 SPOT XS 영상융합

위 그림에서 알 수 있듯이 Brovey, IHS, PCA, CN 융합기법들은 전체적으로 영상의 분광 정보를 강조하는 경향이 있다. 연구영상에서 수계영역 같은 경우, 원래의 multispectral 영상보다 밝게 나타나고 산림지역에서도 마찬가지로 분광정보를 밝게 표현하고 있으며 전체적으로 강조되어 나타났다. 특히 산림지역에서 원래의 저해상 multispectral 영상에는 표현되지 않은 푸른색 계통의 분광정보가 나타나면서 부분적으로 분광정보의 왜곡이 발생하였다. 그리고 CN 융합기법과 PCA 융합기법도 비슷한 결과를 나타내었으며, Brovey와 IHS 융합기법보다는 덜하지만 부분적으로 분광정보를 왜곡하였다. Wavelet 융합기법의 경우, 다른 기법들에 비해 원래의 저해상 multispectral 영상의 분광정보를 최소로 왜곡하여 표현하고 있었다. 따라서, 시각적인 분석에서는 6가지의 융합기법들 중 Wavelet 융합기법이 원래의 저해상 multispectral 영상과 비슷한 결과를 나타내었으며, PCA, CN 융합기법이 시각적으로 선명하게 나타났다.

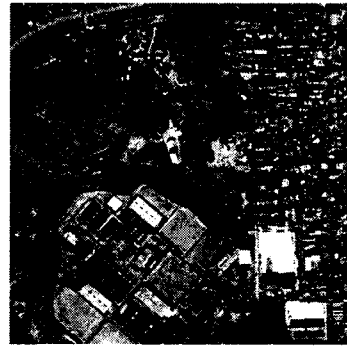
4.1.2 IKONOS panchromatic과 multispectral 위성영상 융합

그림 6은 IKONOS panchromatic 위성영상과 multispectral 위성영상에 대한 융합결과를 나타낸 것이다. IKONOS 위성영상의 경우, 고해상의 공간해상도를 가지기 때문에 연구지역을 넓게 포함하기 위해 1024×1024 pixels 크기로 영상을 추출하였다. Kompsat-1 영상과 SPOT XS 영상의 경우와 마찬가지로 IKONOS multispectral 위성영상과 모든 융합기법 결과영상에 대해 각 영상의 표준편차를 이용하여 대비확장 처리과정을 거친 후 각 융합기법들을 비교·분석하였다.

그림 6에서 시각적으로 볼 때, 전체적으로 모든 영상융합이 잘 이루어진 것을 볼 수 있다. IKONOS panchromatic 위성영상의 공간해상도가 1m인 점 고려할 때 건물의 경계, 건물의 그림자, 도로경계 등이 선명하게 표현되므로 이 부분을 주의 깊게 관찰하였다. 분광정보 측면에서는 앞서 언급한 Kompsat-1과 SPOT XS 위성영상의 연구결과와 비슷한 결과를 보였는데, Brovey, IHS, PCA, CN 융합기법은 원래의 multispectral 영상의 분광정보를 원 영상보다 밝게 표현하고 있으며 저해상 multispectral 영상의 분광정보 보존 측면에서 볼 때 Wavelet 융합기법이 원 영상과 가장 비슷한 결과를 보였다.



a) IKONOS 위성영상



b) Brovey 융합영상



c) CN 융합영상



d) HPF 융합영상



e) IHS 융합영상



f) PCA 융합영상



g) Wavelet 융합영상

그림 6. IKONOS Pan과 XS의 융합

4.2 통계적 결과 분석

통계적 분석은 각 영상의 평균값, 표준편차, 상관계수를 이용하여 수행하였다. 영상의 평균값은 전체 영상의 밝기를 대표하는 값이고 표준편차는 영상 픽셀값들이 산란되어 있는 정도를 의미한다. 그리고 상관계수는 두 영상간의 상호종속관계를 의미한다.

4.2.1 Kompsat-1 panchromatic과 SPOT XS 위성영상 융합

표 2~표 4는 Kompsat-1 위성영상과 SPOT XS 위성영상의 영상융합에 대한 통계적 비교를 나타낸 것이다. 표 2는 Kompsat-1과 융합영상의 Red 분광밴드에 대한 통계적 결과를 나타내고 있으며, Brovey 융합기법이 상관성은 높게 나타났으나 평균과 표준편차의 오차가 크게 나타났다. Wavelet 융합기법과 HPF 융합기법은 원 영상과 상관성이 높게 나타났으며, 평균과 표준편차의 오차는 wavelet 융합기법이 가장 적게 나타났다. CN 융합기법과 PCA 융합기법은 원 영상과 상관성이 낮고 평균과 표준오차에서도 다소 큰 차이가 있음을 보여주고 있다. 따라서, Wavelet 융합기법이 원 영상의 분광정보를 가장 적게 왜곡한다고 판단된다.

표 2. Red 분광밴드에 대한 통계적 분석

	평균	표준편차	상관계수	평균오차	표준편차오차
SPOT XS(Red)	123.39813	65.22338	1.00000	0.000	0.000
Brovey	129.92922	61.93129	0.85659	-6.531082	3.292089
CN	126.66488	60.59498	0.71353	-3.266744	4.628400
HPF	116.82480	62.82440	0.93676	6.573333	2.398974
IHS	123.73890	63.37935	0.77950	-0.340768	1.844028
PCA	127.12909	60.48913	0.68845	-3.730956	4.734241
Wavelet	123.40590	64.74085	0.82340	-0.007768	0.482524

표 3. Green 분광밴드에 대한 통계적 분석

	평균	표준편차	상관계수	평균오차	표준편차오차
SPOT XS(Green)	127.31790	60.92008	1.00000	0.000	0.000
Brovey	125.96516	59.10977	0.67089	1.352743	1.810311
CN	126.54863	59.86007	0.70889	0.769279	1.060006
HPF	124.49377	57.14171	0.91017	2.824130	3.778364
IHS	126.79583	59.53348	0.65728	0.522071	1.386599
PCA	126.64625	59.25994	0.70256	0.671656	1.660140
Wavelet	127.00296	60.61057	0.82145	0.314944	0.309506

표 3은 Green 분광밴드에 대한 통계적 비교인데, Brovey 융합기법의 경우 Red 분광밴드에 대한 통계적 결과와 달리 상관성이 떨어졌으며 평균과 표준편차 오차가 다소 크게 나타났다. HPF 융합기법은 원 영상과 상관성이 가장 높게 나타났으나, 평균과 표준편차의 오차가 가장 크게 나타났다. Wavelet 융합기법은 0.823으로 HPF보다 상관성은 다소 낮지만, 평균과 표준편차의 오차가 가장 적게 나타났다. IHS 융합기법의 경우 평균 오차는 다소 작은 결과를 보였으나, 상관성에서 가장 낮은 값을 나타내었다.

표 4는 Blue 분광밴드에 대한 통계적 비교로서, Red, Green 분광밴드와 마찬가지로 HPF 융합기법이 가장 높은 상관성을 나타내었으나, 평균과 표준편차의 오차가 가장 크게 나타났다. 하지만, Wavelet 융합기법의 경우, 상관성도 높게 나타났으며 평균과 표준편차의 오차가 가장 작게 나타났다.

표 4. Blue 분광밴드에 대한 통계적 분석

	평균	표준편차	상관계수	평균오차	표준편차오차
SPOT XS(Blue)	126.57630	59.001061	1.000000	0.000	0.000
Brovey	127.61926	56.404604	0.484609	-1.042955	2.596456
CN	126.69992	58.545821	0.699284	-0.123619	0.455240
HPF	123.75387	54.655239	0.883984	2.822435	4.345821
IHS	126.19118	58.794568	0.535735	0.385122	0.206492
PCA	126.24397	58.798238	0.727301	0.332336	0.202823
Wavelet	127.23446	59.093461	0.779285	-0.658161	-0.092400

결과적으로 HPF 융합기법의 경우 원 영상과의 상관관계가 다른 융합기법에 비해 높게 나타났는데, 평균과 표준편차 오차는 크게 나타났다. 이는 전체적으로 융합영상의 픽셀값들이 작아짐으로써 어둡게 나타나지만, 영상을 필터링할 때 각 픽셀들의 상관관계를 어느 정도 유지하고 있다고 말할 수 있다.

따라서, Kompsat-1 panchromatic 위성영상과 SPOT XS 위성영상의 융합결과, Brovey 융합기법이 Red 분광밴드에 대해서는 높은 상관성을 나타내었지만, 전체적으로 상관성이 낮고 평균과 표준편차오차가 다른 융합기법들에 비해 크기 때문에 가장 큰 분광정보 왜곡이 발생한다고 판단된다. 그리고 Wavelet 융합기법은 원 영상과 높은 상관관계를 나타내고 있으며, 평균과 표준편차오차가 작게 나타났기 때문에 분광정보를 최소로 왜곡한다고 판단된다.

4.2.2 IKONOS panchromatic과 multispectral 위성영상 융합

표 5~표 7은 IKONOS panchromatic 영상과 multispectral 영상의 융합결과를 비교하여 나타낸 것이다. 표 5는 IKONOS multispectral 영상에서 Red 분광밴드에 대한 비교·분석결과이다. 상관성 비교에서는 Kompsat-1 위성영상과 SPOT XS 위성영상의 결과와 마찬가지로 HPF 융합기법이 가장 높게 나타났지만, 평균과 표준편차의 오차는 크게 나타났다. Wavelet 융합기법의 경우, 상관성도 높게 나타났으며 평균과 표준편차 또한 원 영상과 유사한 결과를 보였다. 상관성 비교에서는 HPF가 가장 높게 나타났으며, 그 다음으로 Wavelet, PCA, CN, Brovey, IHS 융합기법의 순서로 높은 상관성을 보였다. 평균오차와 표준편차오차는 HPF 융합기법과 Wavelet 융합기법이 작게 나타났다. 그러므로 분광밴드 1에 대한 통계적 비교·분석에서 HPF와 Wavelet 융합기법이 가장 좋은 결과를 보였다.

표 5. Red 분광밴드에 대한 통계적 분석

	평균	표준편차	상관계수	평균오차	표준편차오차
IKONOS(Red)	126.221987	60.327079	1.000000	0.000	0.000
Brovey	126.554729	56.671616	0.679891	-0.332742	3.655463
CN	127.259593	62.867031	0.684110	-1.037606	-2.539951
HPF	125.975907	59.430875	0.863765	0.246079	0.896204
IHS	127.050315	62.350866	0.648228	-0.828329	-2.023787
PCA	127.317913	62.615680	0.689016	-1.095927	-2.288600
Wavelet	126.663695	62.140498	0.786060	-0.441708	-1.813419

표 6은 Green 분광밴드에 대한 통계적 비교로서 Red 분광밴드에서와 마찬가지로 HPF 융합기법이 가장 높은 상관성을 나타내었으며, 평균 오차는 CN 융합기법이 가장 작게 나타났으며, 그 다음으로 Wavelet 융합기법이 원 영상과 유사한 평균값을 보였다.

표 6. Green 분광밴드에 대한 통계적 분석

	평균	표준편차	상관계수	평균오차	표준편차오차
IKONOS(Green)	126.697496	59.969573	1.000000	0.000	0.000
Brovey	126.102357	55.746159	0.649668	0.595139	4.223414
CN	126.605012	61.927573	0.655261	0.092485	-1.958000
HPF	125.749060	59.567845	0.867355	0.948436	0.401728
IHS	126.243076	61.490770	0.669541	0.454420	-1.521197
PCA	126.394386	61.719727	0.649600	0.303110	-1.750154
Wavelet	126.869093	61.873163	0.788909	-0.171597	-1.903590

표 7은 Blue 분광밴드에 대한 통계적 비교·분석으로서 Red 분광밴드에서와 마찬가지로 HPF 융합기법이 가장 높은 상관성을 나타내었으며, 평균 오차는 IHS 융합기법이 가장 작게 나타났다. 그 다음으로 Wavelet 융합기법이 원 영상과 유사한 평균값을 보였다.

표 7. Blue 분광밴드에 대한 통계적 분석

	평균	표준편차	상관계수	평균오차	표준편차오차
IKONOS(Blue)	126.741506	60.776138	1.000000	0.000	0.000
Brovey	125.899539	54.775548	0.664058	0.841966	6.000590
CN	126.475647	60.784345	0.644814	0.265859	-0.008208
HPF	125.795627	59.483951	0.876864	0.945879	1.292187
IHS	126.750408	61.411306	0.665741	-0.008903	-0.635168
PCA	126.555961	60.961095	0.641153	0.185544	-0.184957
Wavelet	126.761660	62.007102	0.798871	-0.020155	-1.230964

결과적으로 HPF 융합기법에 대한 결과분석에서는 각 분광밴드에 대해 약 0.87로 다른 융합기법들에 비해 다소 높은 상관성을 보였다. 하지만, 평균과 표준편차오차는 다른 융합기법들에 비해 큰 오차를 보였다.

따라서, Kompsat-1 위성영상과 SPOT XS 위성영상의 경우와 마찬가지로 전체적인 분석에서 Wavelet 융합기법이 원 영상과 높은 상관관계를 나타내면서 평균과 표준편차오차가 전체적으로 작은 것으로 보아 원 영상의 분광정보를 가장 적게 왜곡한 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 Kompsat-1 위성영상과 SPOT XS 위성영상, 그리고 IKONOS panchromatic 위성영상과 multispectral 위성영상을 융합하는데 있어 기존의 Brovey, CN, HPF, IHS, PCA 융합기법들과 최근 여러 분야에서 활용되는 Wavelet 융합기법을 적용하여 최적의 융합기법을 제시하고자 하였으며, 두 가지 분석기법을 이용하여 융합영상들을 비교하여 연구하였다.

첫째, 융합기법들 중 시각적 분석에서 IHS, Brovey 융합기법은 부분적으로 분광정보를 왜곡하여 표현되었으며, 원 영상의 분광정보를 강조하여 색의 대비효과가 강하게 나타났다. CN 융합기법과 PCA 융합기법은 원 영상의 분광정보를 그대로 표현하고 있으나, 부분적으로 분광정보의 왜곡이 발생하였다. 하지만, 시각적인 판단에서는 다른 융합기법들에 비해 결과영상이 선명하고 원 영상의 공간분포 특성을 유지하였다.

둘째, HPF 와 Wavelet 융합기법은 시각적 분석에서 고해상 panchromatic 영상의 경계특성정보가 강조되어 나타나는 것을 볼 수 있었다. HPF 융합기법의 경우, low-pass filter와 high-pass filter의 크기가 커지게 되면 이러한 현상이 없어지며 Wavelet 융합기법은 wavelet 분해단계를 증가시키면 고해상 panchromatic 영상의 경계특성정보가 무디어지게 되고 또한 저해상 multispectral 영상의 경우, 분광정보 또한 손실되어 영상이 무디게 되었다.

셋째, HPF 융합기법과 Wavelet 융합기법은 원 영상의 통계적 분석에서 전체적으로 상관성이 다른 기법들에 비해 높게 나타났으며, 분광정보의 왜곡정도를 고려할 때 Wavelet 영상 융합기법이 가장 안정된 결과를 보여주었다.

참고문헌

1. Bruno Garguet-Duport, Jacky Girel, Jean-Marc Chassery, and Guy Pautou., "The Use of Multiresolution Analysis and Wavelets Transform for Merging SPOT Panchromatic and Multispectral Image Data", PE & RS, Vol, 62, No, 9, 1996, pp. 1057-1066.
2. Ranchin, T., L. Wald, "Fusion of High Spatial and Spectral Resolution Images: The ARSIS Concept and Its Implementation", PE & RS, Vol, 66, No, 1, 2000, pp. 49-61.
3. Blanc, P., Blu, T., Ranchin, T., Wald, L., and Aloisi, R., "Using iterated filter banks with the ARSIS concept for producing 10m Landsat multispectral images", International journal of Remote Sensing, Vol, 19, No, 12, 1998, pp. 2331-2343.
4. Mallat. S.G, "A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation", IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell, Vol, 11, No, 7, 1989, pp. 674-693.