

# 자동 PIF 추출을 통한 Hyperion 초분광영상의 상대 방사정규화 - 변화탐지를 목적으로 Relative Radiometric Normalization of Hyperion Hyperspectral Images Through Automatic Extraction of Pseudo-Invariant Features for Change Detection

김대성<sup>1)</sup> · 김용일<sup>2)</sup>

Kim, Dae Sung · Kim, Yong Il

## Abstract

This study focuses on the radiometric normalization, which is one of the pre-processing steps to apply the change detection technique for hyperspectral images. The PIFs which had radiometric consistency under the time interval were automatically extracted by applying spectral angle, and used as sample pixels for linear regression of the radiometric normalization. We also dealt with the problem about the number of PIFs for linear regression with iteratively quantitative methods. The results were assessed in comparison with image regression, histogram matching, and FLAASH. In conclusion, we show that linear regression method with PIFs can carry out the efficient result for radiometric normalization.

Keywords : Change Detection, Radiometric Normalization, Hyperion Hyperspectral Image, Pseudo-Invariant Features, Linear Regression

## 초 록

지상의 정보를 주기적으로 취득하는 위성영상은 여러 가지 원인으로 인해 동일 지점에 대해 일정한 화소값을 기대하기 어렵고, 이런 영상은 변화탐지 결과에 영향을 미칠 가능성이 높으므로 방사보정을 통해 화소값 차이를 최소화시킬 필요가 있다. 본 연구는 변화탐지를 위한 전처리 과정 중 하나인 방사정규화에 초점을 맞추고 있다. 이를 위해 시간적 불변특성을 보이는 화소인 PIF를 추출하고, 선형회귀 기법을 이용하여 상대 방사정규화를 수행하였다. 화소간 유사도 측정 기법인 분광각을 통해 PIF를 자동으로 추출함으로써, 초분광영상에 가지는 많은 밴드의 장점을 활용하였다. 또한 반복적인 정량 평가를 통해 적절한 PIF 개수를 결정하는 연구도 함께 수행하였다. 영상회귀, 히스토그램 매칭, FLAASH 기법을 적용한 방사보정 결과와 비교하여 제안된 알고리즘의 성능을 평가하였으며, PIF 추출을 통한 선형회귀 기법이 변화탐지를 위한 방사보정에 보다 효과적으로 적용될 수 있음을 확인하였다.

핵심어 : 변화탐지, 방사정규화, Hyperion 초분광영상, PIF, 선형회귀

## 1. 서 론

변화탐지는 다른 시기에 관측된 데이터를 이용하여 대상물(objects) 또는 현상(phenomena)들의 차이를 정량적으로 분석하는 과정을 말하며, 위성영상을 이용하는 원격탐사에 있어 중요한 분야 중 하나로 취급된다(Frank 등,

2003; Singh, 1989). 지상의 정보를 주기적으로 취득하는 위성영상은 대기효과(atmospheric effects), 태양-목표물-센서의 기하학적 관계(sun-target-sensor geometry), 센서 보정(sensor calibration) 등 여러 가지 원인들로 인해 분광적으로 불변 특성을 보이는 지역(radiometric consistency)에 대한 동일한 밝기값을 기대하기 어렵다(Chen 등, 2005;

1) 학생회원·서울대학교 건설환경공학부·박사수료(E-mail:mutul94@empal.com)

2) 연결저자·정회원·서울대학교 건설환경공학부 정교수·공학박사(E-mail:yik@snu.ac.kr)

Heo 등, 2000; Yang 등, 2000; Janzen 등, 2006). 이는 변화탐지 결과에 영향을 미칠 가능성이 높으므로 방사보정(radiometric correction)을 통해 다중 시기 영상의 밝기값 차이를 최소화시킬 필요가 있으며, 기하보정(geometric correction)과 함께 중요한 전처리 과정으로 인식되고 있다(Du 등, 2002; Jensen 등, 2006).

변화탐지를 위한 방사보정은 분광정보가 변하지 않는 지역의 영상 화소들에 대해 그 밝기값 차이를 최소화하는 것이 목적이며(Olthof 등, 2005; Heo 등, 2000), 크게 절대(absolute) 방사보정과 상대(relative) 방사보정으로 나눌 수 있다(Janzen 등, 2006; Du 등, 2002; Yang 등, 2000). 절대 방사보정은 변환방정식 또는 대기모델을 이용하여 영상의 밝기값을 반사값(reflectance value)으로 변환하는 것을 말한다(Janzen 등, 2006; Du 등, 2002). 이 방법은 많은 관련 연구들에서 대기의 흡수와 산란에 대한 영향을 어느 정도 최소화시킬 수 있다는 연구 결과가 제시되었으나, 촬영 당시의 대기 및 헤더 정보를 이용해야 하므로 그 적용에 한계를 가지고 있다(Du 등, 2002). 보편적으로 사용되는 절대 방사보정 방법으로는 MODTRAN 대기모델을 이용한 FLAASH(Fast Line-of-Sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes; RSI Research Inc.), Richter 모델을 이용한 ATCOR(ATMospheric CORrection; PCI Geomatics Enterprises Inc.) 등이 있다.

상대 방사보정은 하나의 영상을 기준으로 나머지 영상의 밝기값을 정규화하는 것으로서, 상대 방사정규화(relative radiometric normalization)의 용어로도 사용된다(Schott 등, 1988; Janzen 등, 2006; Yang 등, 2000; Heo 등, 2000; Du 등, 2001; Du 등, 2002; Olthof 등, 2005). Heo 등(2000)은 상대 방사정규화 방법을 가우시안 방법(gaussian method), 히스토그램 매칭(histogram matching), 결정론적 방법(deterministic method), 선형회귀(linear regression)의 네 가지로 분류하였으며, 이 중 선형회귀 기법이 가장 보편적으로 사용된다고 언급하였다.

선형회귀 기법을 통한 상대 방사정규화는 시간의 변화에도 방사학적으로 불변의 특성을 보이는 화소를 추출하는 것이 그 핵심이 된다(Canty 등, 2004)<sup>1)</sup>. 선형회귀식을 구성하는데 필요한 PIF는 ① 거의 동일한 고도의 평평한

지형이어야 하며, ② 식생이 되도록 포함되지 않고, ③ 시간적으로 변하지 않으며, ④ 밝기값의 분포가 넓게 존재해야 하는 등의 몇 가지 조건들을 충족해야 한다(Heo 등, 2000). 이러한 PIF는 대상지역의 사전지식을 통해 주로 수동적으로 추출되었으며, 아스팔트, 콘크리트 구조물과 같은 인공지물을 비롯하여 호수(lakes), 해변(beaches), 자갈층(gravel) 등이 사용되었다(Janzen 등, 2006). 하지만 수동적인 방법은 객관성이 떨어지고, 표본수가 적어지는 단점이 발생하며, 단일 PIF들만을 추출하게 되어 선형회귀식의 offset과 gain을 왜곡할 우려가 있다(Du 등, 2002). 수동적인 PIF 추출의 문제를 해결하기 위해 최근 PCA(principal component analysis; Du 등, 2002), scatter plot 기반(Janzen 등, 2006)의 자동화된 방법들이 제안되고 있다. 하지만 주축(major axis)의 결정에 있어 변화화소가 영향을 미칠 수 있고(PCA 방법), 주축으로부터 일정한 거리를 결정하는 방식에 있어 객관성이 결여되는 등의 문제점은 여전히 존재한다.

본 연구는 변화탐지의 방사정규화를 수행하기 위한 PIF 추출의 자동화에 초점을 맞추고 있다. 이를 위해 많은 밴드의 장점을 가진 초분광영상을 사용하였으며, 기존의 단밴드 또는 다중분광 영상에 적용하기 다소 힘들었던 화소간 유사도 측정(similarity measure)을 화소의 분광정보를 통해 보다 효과적으로 적용할 수 있도록 하였다. 따라서 화소별 분광 프로파일(spectral profile)의 모양에 대한 유사성을 잘 반영하는 분광각(spectral angle) 알고리즘을 이용하여 PIF를 자동으로 추출하였다.

또한 추출되는 PIF의 개수를 결정하는 문제에 대해 본 논문에서 부가적으로 다루었다. 임의의 PIF의 개수를 반복적으로 입력하여 생성된 결과영상과 입력영상과의 RMSE (root mean square error)를 계산하고, PIF의 개수와 RMSE 비(ratio)를 축으로 하는 2차 회귀식의 추정을 통해 가장 높은 정확도(RMSE 비가 가장 낮게 나타나는 지점)가 기대되는 PIF의 개수를 추정하였다.

## 2. Hyperion 초분광영상의 변화탐지를 위한 영상 전처리

변화탐지를 위한 전처리 과정은 크게 개별 영상 전처리와 영상간 전처리로 나눌 수 있다. 전자는 연구에 사용되는 영상의 특성을 고려한 전처리를 말하며, 후자는 영상의 특성을 동일하게 만드는 작업이라고 할 수 있다. 본 연구에 사용된 Hyperion 영상은 보정되지 않은 밴드(not-

1) 불변특성을 보이는 화소에 해당되는 실제 지형의 대상물은 TIF(time-invariant features), NC(no-change set), RC(radiometric control) set, RC features, RC target, PIF(pseudo-invariant features) 등의 용어로 사용된다. 본 논문에서는 PIF로 통칭하고자 한다.

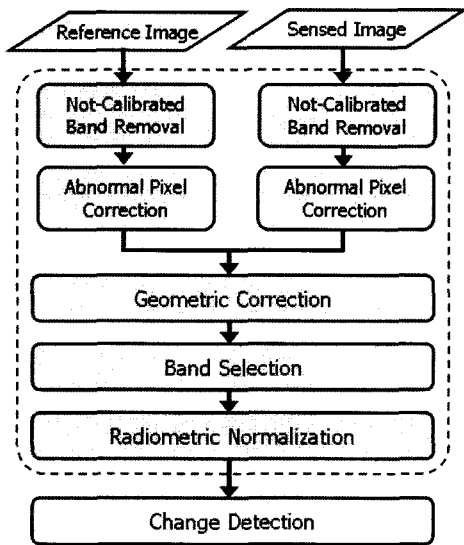


그림 1. 변화탐지를 위한 전처리 과정

calibrated band), Striping 잡음, 무작위(random) 잡음 등 변화탐지 결과에 좋지 않은 결과를 초래할 수 있는 요인들이 존재하므로, 개별 영상 전처리 과정에서 제거해야 한다. 또한, 기본적인 영상간 기하보정과 방사보정이 이루어져야 하며, 이는 영상간 전처리 과정에서 다룬다. Hyperion 영상을 이용하여 변화탐지를 수행하는데 필요한 전처리 과정은 그림 1과 같이 나타낼 수 있다<sup>2)</sup>(김대성 등, 2007).

Hyperion은 ALI(Advanced Land Imager), LAC(LEISA Atmospheric Corrector) 센서와 함께 EO-1 위성에 탑재된 Pushbroom 방식의 초분광 센서로서, 0.36~2.58 $\mu$ m 범위의 파장대를 연속적으로 약 10nm 간격의 242개 밴드로 이루어져 있다. 12bit의 방사 해상도와 30m의 공간 해상도를 가지며, 관측폭은 약 7.6km이다(EO-1 Homepage). 제안된 알고리즘의 적용을 위해 취득 가능 지역을 기준으로 2002년 4월 2일, 4월 18일 촬영된 서울, 안산(관악산) 지역 영상과 남원, 구례지역의 2002년 9월 3일, 2003년 9월 22일 촬영한 4개의 Hyperion 스트립(strip) 데이터(Level 1R 레벨, 총 8개 영상)를 사용하였다.

Hyperion 영상은 우선 보정되지 않은 밴드제거(not-calibrated band removal) 단계에서 화소값이 영(zero)인

2) 변화탐지를 수행하는데 필요한 전처리 과정은 김대성 등(2007)의 연구와 같은 흐름으로 수행하였음을 밝힌다.  
3) 기하보정과 밴드선택 단계는 필요에 따라 순서를 바꿀 수 있다.

표 1. Datt 등(2003)이 제안한 155개의 안정적 Hyperion 밴드

| Region | 밴드 번호   | 파장대(nm)       | 밴드 개수 |
|--------|---------|---------------|-------|
| VNIR   | 10~57   | 447.17~925.41 | 48    |
| SWIR   | 81~97   | 952.82~1114.2 | 17    |
|        | 101~119 | 1154.6~1336.2 | 19    |
|        | 134~164 | 1487.5~1790.2 | 31    |
|        | 182~221 | 1971.8~2365.2 | 40    |

밴드(1~7번 밴드, 58~76번 밴드, 225~242번 밴드)를 제거하였으며, 파장대가 중첩되는 56, 57, 77, 78번 밴드 중 77번과 78번 밴드를 제거하여 196개 밴드를 1차적으로 선별하였다. 또한, 영상에 존재하는 Striping 잡음을 제거하기 위해 잡음이 존재하는 열(column)을 탐색한 후, Yoon 등(2007)의 제안 기법인 인접한 6개 화소의 평균값을 이용하여 보정하였다.

무작위 잡음이 존재하는 밴드는 밴드선택(band selection) 단계에서 제거하게 되며, 일반적으로 시각적인 판단에 근거한다. 최근에는 영상의 신호대잡음비, 극단화소비, Entropy, 화소간 유사도 등을 이용하여 자동화된 밴드선택이 이루어지고 있다(김대성 등, 2007). 본 연구에서는 밴드의 민감도 지수(band sensitivity index)를 이용하여 Datt 등(2003)이 제안한 155개의 안정적인 밴드(stable bands)를 선택하여 연구에 적용하였다(표 1). 따라서 개별 영상 전처리를 통해 각각 400화소 $\times$ 256화소 $\times$ 155밴드 크기의 8개 단위영상(subset image)으로 생성하였다.

생성된 8개의 영상은 SIFT(Scale-Invariant Feature Transform) 기법을 적용하여 영상간 자동 기하보정을 수행하였다. SIFT 기법은 scale-space extrema detection과 keypoint localization 과정을 거쳐 특징점의 위치, 축척, 방향 정보를 추출한다. 추출된 정보는 orientation assignment, keypoint descriptor의 단계에서 정규화 영역을 생성하고, 128차원의 SIFT 벡터간 거리를 측정하여 최종 정합점을 결정하게 된다. 이 기법은 이미 컴퓨터 비전(computer vision) 분야의 다양한 근거리 카메라 영상에 적용되어 가장 효과적인 기하보정 기법으로 보고되고 있다(Lowe, 2004).

SIFT 기법을 적용하여 각각 217개(서울), 53개(안산), 164개(남원), 152개(구례)의 정합점을 추출하였으며, 모든 데이터에 대해 0.2화소(RMSE) 이내의 정확도로 자동 기하보정을 수행하였다. 기하보정된 영상은 공통지역을 추출하고, Datt 등(2003)이 제안한 밴드를 구성하여 최종적으로 300화소 $\times$ 180화소 $\times$ 155밴드 크기의 데이터로 생성하였다. 그림 2

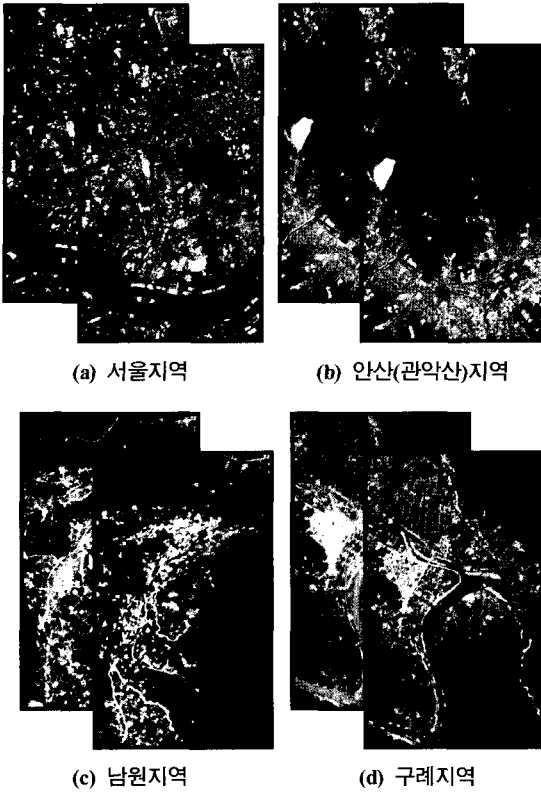


그림 2. 사용영상

는 방사보정을 위해 생성된 영상이며, R, G, B 밴드를 각각 29번(640.50nm), 23번(579.45nm), 16번 밴드(508.22nm)로 조합하여 컬러로 표현한 영상이다(Barry, 2001).

### 3. PIF 추출을 통한 방사정규화

#### 3.1 연구내용

동일한 지표 대상물들의 분광특성은 대기 및 지형적인 영향으로 인해 분광차원에서 원점을 기준으로 선형적인 분포 모양을 가진다(Sohn 등, 2002). 동일한 지역에 존재하는 PIF는 촬영시간이 달라도 동일한 분광특성을 보이는 것이 당연하지만, 촬영각, 태양각, 대기환경, 지형적인 변화 등으로 인해 실제 영상 화소의 분광정보는 다르게 나타난다. 분광각은 분광차원 상에서 화소의 밝기값을 벡터로 가정하여 두 벡터간 내적을 통해 유사도를 측정하는 방식으로서, 대기 및 지형적인 영향으로 인한 선형적인 분포 모양에 보다 효과적으로 적용될 수 있는 기법이다(Sohn 등, 2002). 또한 영상분류에 있어 가장 효과적인

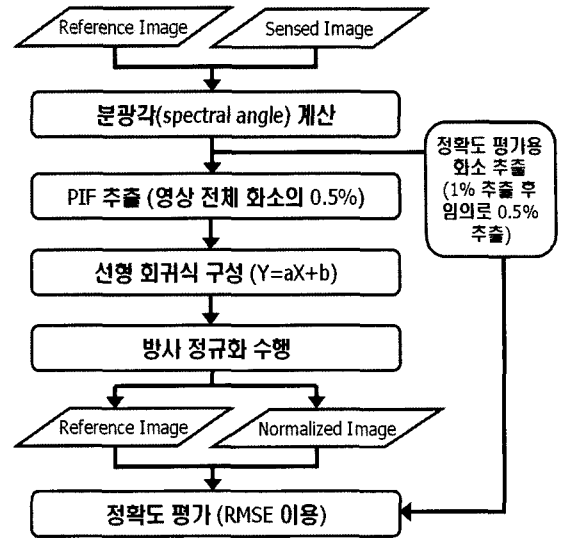


그림 3. 방사정규화 연구 흐름도

분류자 중 하나로 취급되고 있으며, 최근 분광정보를 이용하는 초분광영상의 분석에 있어 유사도 측정기법의 한 방법으로 주로 적용되고 있다. 두 시기 영상에서 추출된  $(i, j)$  위치의 화소값을 각각  $x_{i,j}$ ,  $y_{i,j}$ 라 할 때, 분광각은 식 (1)과 같이 계산될 수 있다.

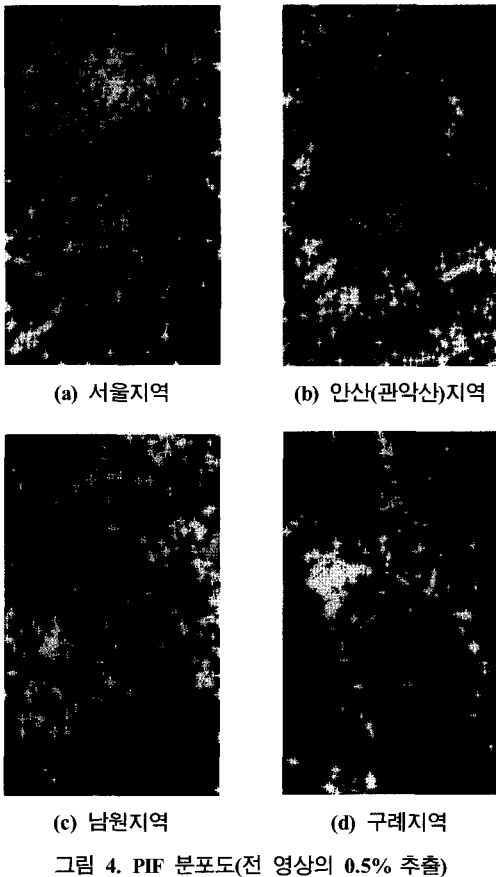
$$\theta_{x,y} = \cos^{-1} \frac{\sum_{k=1}^m x_{ijk} y_{ijk}}{\sqrt{\sum_{k=1}^m x_{ijk}^2 \sum_{k=1}^m y_{ijk}^2}} \quad (1)$$

여기서,  $x_{ijk}$  :  $x_{ij}$  화소의  $k$ 밴드 화소값

$y_{ijk}$  :  $y_{ij}$  화소의  $k$ 밴드 화소값

$m$  : 밴드 수

계산된 분광각은 PIF를 추출하기 위한 지표로 사용되며, 작은 각일수록 두 화소간 유사도가 높다는 것을 의미한다. 그림 3은 PIF 추출을 통해 방사정규화를 수행하기 위한 연구 흐름도이다. 연구에서 사용된 기준영상(reference image)은 2002년 4월 18일 촬영한 서울 및 안산지역 영상과 2003년 9월 22일 촬영한 남원 및 구례지역 영상이다. 입력된 영상은 분광각을 계산하고, 일정 개수의 PIF를 추출하여 선형회귀식 구성을 위한 표본(samples)으로 제공된다. 계산된 선형회귀식을 통해 보정전 영상(sensed image)의 방사보정을 수행한다. 연구의 내용과 실제 적용된 결과는 아래에서 좀 더 자세히 설명하고자 한다.



PIF는 작은 분광각 순으로 정렬하여 일정한 개수만큼 추출하였으며, 3.3 절에서 정리한 PIF 추출 개수 추정 연구 결과를 토대로 전 실험지역에 걸쳐 0.5%(270개 화소)의 PIF를 동일하게 추출하였다. 그림 4는 실험 지역에 따라 계산된 분광각의 수치를 영상으로 보여주고 있다. 밝을수록 각이 크다는 것을 의미하며, 어두울수록 작은 분광각을 가진다. 따라서 어두운 지역이 화소간 유사도가 높고, PIF를 추출할 수 있는 후보지역이 된다. 그림 4에 함께 표시된 노란색의 별 모양은 추출된 PIF 분포를 나타낸 것이다. 도심지 및 도로를 중심으로 PIF가 추출된 것을 확인할 수 있으며, 이는 시간적인 불변특성을 잘 반영하고 있음을 의미한다.

추출된 PIF는 동일한 파장대 밴드를 기준으로 영상간 선형회귀식을 계산하는데 사용된다. 선형회귀식은 식 (2)의 첫 번째 식과 같은 형태로 나타낼 수 있다. 계산된 각 밴드별 Gain(a)과 Offset(b)을 기준으로 보정전 영상의 모든 화소를 두 번째 식에 적용하여 방사정규화가 이루어지

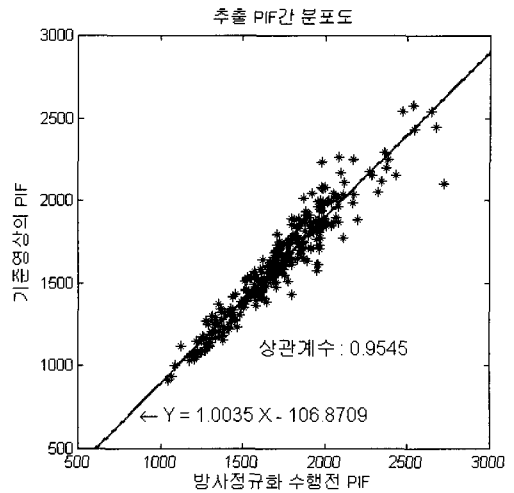


그림 5. 추출된 PIF간 분포도  
(서울지역 30번 밴드, 표본수: 270개 화소)

며, 새로운 보정후 영상(normalized image)이 생성된다. 그림 5는 서울지역 두 시기의 30번 밴드에서 추출된 270개 PIF를 통해 계산된 선형회귀식과 상관계수를 예를 들어 표현한 것이다.

$$Y = aX + b \quad (2)$$

$$\bar{Y} = a\bar{X} + b$$

여기서,  $Y$  : 기준영상의 PIF 밝기값  
 $X$  : 방사정규화 수행 전 PIF 밝기값  
 $\bar{Y}$  : 방사정규화 수행 후 영상 밝기값  
 $\bar{X}$  : 방사정규화 수행 전 영상 밝기값

### 3.2 연구 결과 및 평가

제안된 알고리즘의 성능은 기존에 적용된 방사보정 기법들과 비교·평가하는 방식으로 진행하였다. 비교된 방사보정 기법은 절대 방사보정 기법인 FLAASH와 상대 방사정규화 기법인 히스토그램 매칭, 영상회귀(image regression) 기법이다. 기존 기법들과의 비교를 통해 도출하고자 하는 결과는 다음과 같다.

- ① 절대 방사보정과 상대 방사정규화 기법 중 변화탐지를 위한 방사보정에 효과적인 기법은 무엇인가?
- ② 영상에서 시간적 불변특성을 지니는 화소를 추출하여 방사정규화를 수행하는 방식과 영상 전체를 이용하는 방법에 있어 그 결과는 어떠한가?

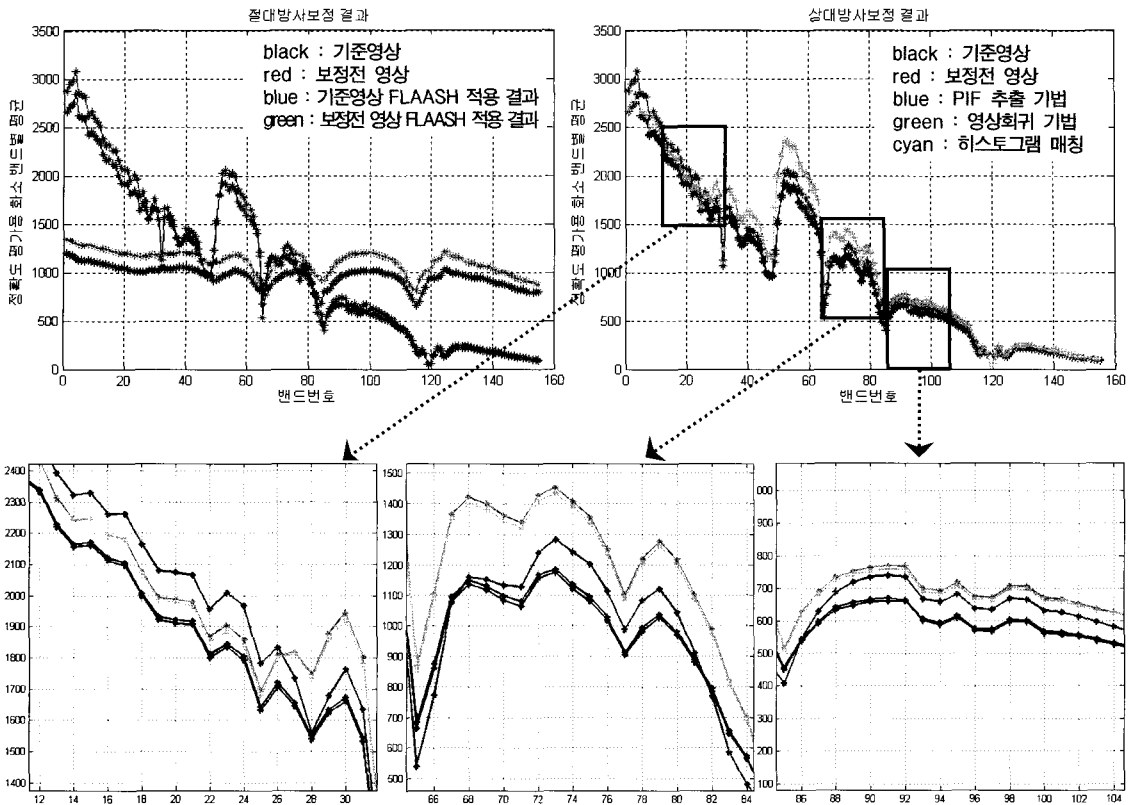


그림 6. 서울지역에 대한 정확도 평가용 화소의 밴드별 평균 프로파일 그래프 예  
(상단 좌측: 절대 방사보정 결과, 상단 우측: 상대 방사보정 결과, 하단: 확대 결과 그래프)

①의 결과를 얻기 위해서 제안된 알고리즘을 포함한 상대 방사정규화 기법들과 FLAASH 기법을 서로 비교하였으며, ②의 경우는 히스토그램 매칭, 영상회귀 기법을 제안된 알고리즘과 비교함으로써 결과를 분석하였다.

평가는 시각적인 방식과 정량적인 방식으로 나누어 수행하였다. 방사보정을 수행하여 생성된 영상은 시각적으로 확인하는 것이 가장 직관적인 방식이다. 하지만, 실제 알고리즘을 적용하여 시각적으로 평가한 결과 화소의 밝기값 차이를 수치상으로 확인할 수는 있었으나, 그 값의 차이가 영상의 밝기값 범위에 비해 상당히 미미한 수준이어서 시각적으로 변화를 인식하기에는 다소 무리였다. 따라서 시간적 불변특성을 보이는 화소들을 추출하여 기준 영상에서 추출된 화소와 얼마나 일치하는가를 그래프로 표현하는 방식을 사용하여 시각적으로 평가하였다. 이는 대부분의 방사보정 기법 연구에서 정확도 평가기법으로 사용하는 방식이며, 일반적으로 PIF의 평균을 사용하여 비교한다.

그림 6은 각 실험지역에 대한 각 알고리즘별 PIF 평균을 밴드 순으로 연결한 그래프이다. 상단 좌측 그림은 FLAASH 기법을 통해 방사보정된 결과와 보정전 영상을 함께 보여주고 있다. FLAASH 기법은 입력되는 두 영상 모두를 보정하여 반사값으로 변환하므로, 입력 영상과 결과 영상의 밝기값 차이가 많이 발생한다. 따라서 입력 영상과 결과 영상의 전체 평균 비를 이용하여 값의 범위를 조정하였다. FLAASH를 수행한 영상들은 보정전 영상들과 완전히 다른 분광특성을 나타내고 있으나, 수행 후의 두 영상간 분광특성은 비슷함을 알 수 있다. 상단 우측 그림은 상대 방사정규화를 수행한 결과 그래프이다. 검은 색의 기준영상 분광특성 그래프에 가까운 그래프가 가장 우수한 성능의 방사보정 결과를 나타낸다. 아래 세 개의 그림은 그래프를 좀 더 확대한 것이다. 그래프를 통해, 본 연구에서 제안한 PIF 추출 방식이 가장 효과적으로 상대 방사정규화를 수행할 수 있음을 확인할 수 있다. 하지만, 시각적인 그래프 결과만으로 다른 상대 방사정규화 기법

이 FLAASH 기법보다 우수한 성능을 보인다고 결론 내리기는 어려울 것으로 판단된다.

$$RMSE \text{ 비} = \frac{\text{mean}(\sqrt{\sum_{k=1}^m (Y_{(i,j,k)} - \overline{X_{(i,j,k)}})^2})}{\text{mean}(\sqrt{\sum_{k=1}^m (Y_{(i,j,k)} - X_{(i,j,k)})^2})} \quad (3)$$

여기서,  $Y_{(i,j,k)}$  : 기준영상의 밝기값

$\overline{X_{(i,j,k)}}$  : 방사정규화 수행전 밝기값

$X_{(i,j,k)}$  : 방사정규화 수행후 밝기값

정량적인 평가는 기준 영상과 방사보정 전·후의 RMSE 계산을 통해 수행되었으며(식 (3)), 정확도 평가용 화소는 입력 영상간 분광각이 가장 가까운 순으로 1%를 추출한 후, 이 중 0.5%를 임의로 추출하여 사용하였다. 계산된 RMSE를 좀 더 효과적으로 표현하기 위해 방사보정 전·후의 RMSE 비를 계산하여 하나의 표로 정리 하였다. 표 2는 실험 전 지역의 RMSE와 보정 전·후의 RMSE 비이다. 여기서, 주황색 부분은 방사보정 후의 RMSE 수치가 보정 전보다 더 낮은 결과를 보이는 기법과 지역을 표시한 것으로서, 보정 후의 영상이 기준영상에 더 가깝게 보정되었음을 의미한다.

결과에서 확인할 수 있듯이, PIF 추출을 통한 방사보정 방법이 실험 전 지역에 대해 가장 효과적으로 수행된 것으로 나타났다. 히스토그램 매칭, 영상회귀 기법은 거의 비슷한 방사보정 결과를 보였으며, 남원지역과 구례지역에 대해 보정 전보다 기준영상에 더 가깝게 보정되었다고 할 수 있다. 하지만, FLAASH 기법의 경우 모든 지역에

표 2. 실험 전 지역에 대한 RMSE와 보정 전·후의 RMSE 비

| 사용기법     | 실험지역   | 서울     | 안산     | 남원     | 구례     |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|
|          | 보정전    | RMSE   | 101.86 | 141.64 | 270.29 |
| FLAASH   | RMSE   | 184.47 | 749.9  | 495.95 | 395.80 |
|          | ratio* | 1.8110 | 5.2944 | 1.8349 | 1.5856 |
| 히스토그램 매칭 | RMSE   | 179.26 | 234.22 | 181.97 | 174.32 |
|          | ratio  | 1.7599 | 1.6536 | 0.6732 | 0.7001 |
| 영상 회귀식   | RMSE   | 173.33 | 212.25 | 162.24 | 167.30 |
|          | ratio  | 1.7016 | 1.4985 | 0.6002 | 0.6719 |
| PIF 기법   | RMSE   | 69.46  | 116.32 | 142.44 | 138.20 |
|          | ratio  | 0.6819 | 0.8212 | 0.5270 | 0.5550 |

\* : RMSE 비(식 (3) 참고)

대해 보정 이전보다 더 높은 RMSE 결과를 보였는데, 이는 절대 방사보정 기법이 상대 방사보정 기법보다 변환타지를 위한 방사보정에 있어서 덜 효과적으로 작용한다는 것을 나타낸다.

### 3.3 PIF 추출 개수 추정

필요한 PIF의 개수를 매우 적게 추출하면 변환식의 신뢰도를 보증할 수 없으며, 과대하게 추출할 경우 변환식에 영향을 줄 수 있는 이상점(outliers)이 존재할 수 있으므로 변환식 결정에 사용되는 PIF의 개수를 추정하는 연구는 매우 중요하다(Janzen 등, 2006; Heo 등, 2000). Janzen 등(2006)은 최소 300화소(영상 전체 화소의 0.07%)에서 최대 900화소(영상 전체 화소의 0.2%)를 추출하였으며, Yang 등(2000)은 Landsat TM 영상의 2번과 4번 밴드의 비율에 대한 임계값 조건을 적용하여 약 170,000화소(영상 전체 화소의 약 2.5%)를 PIF로 추출하기도 하였다.

PIF 추출 개수를 추정하기 위해 그림 3의 방사정규화 연구 흐름도를 그대로 이용하였다. 다만 PIF의 개수를 임의대로 정하여 반복적으로 방사보정을 수행하였으며, 수행된 결과를 토대로 RMSE 값을 계산하였다. PIF의 개수는  $10^{(0.5 + 0.25 \times x)}$ 의 공식에 따라 6, 10, 18, 32, 56, 100, 178, 316, 562, 1,000, 1,778, 3,162, 5,623, 10,000, 17,783개를 임의로 정하였으며, 유사도가 높은 순으로 추출하였다. 추출된 PIF를 이용하여 방사정규화를 수행하고, 임의의 PIF에 대한 방사정규화 전·후의 RMSE 비를 계산하였다.

그림 7은 임의의 개수를 지정하여 계산된 RMSE 비와 의 결과를 2차 회귀식을 이용하여 PIF 개수를 추정한 결과 그래프이다. 계산된 RMSE 비와 추출한 PIF의 개수(로그 스케일)를 각 축으로 값을 플롯(plot)한 결과 순서대로 감소한 후 다시 증가하는 형태로 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 이는 PIF의 개수를 10의 승수로 정한 이유이며, 반복적인 실험을 통해 결정된 것임을 밝힌다. 따라서 결과값의 분포에 맞게 2차 회귀식을 구성한 후, RMSE 비의 값이 가장 낮은 지점을 최적의 PIF 추출 개수로 결정하였다. 표 3은 실험 지역에 따라 추정된 PIF 개수, 계산된 RMSE 비, 관계식 등을 나타내고 있다. 연구를 통해 각 실험지역에 따라 전체영상 화소수의 0.183%(서울), 0.201%(안산), 0.890%(남원), 0.977%(구례)을 추정할 수 있었으며, 지역에 따라 차이는 있으나 대략 0.5% 내외로 PIF를 추출하여 방사정규화를 수행하는 것이 적절하다고 판단된다.

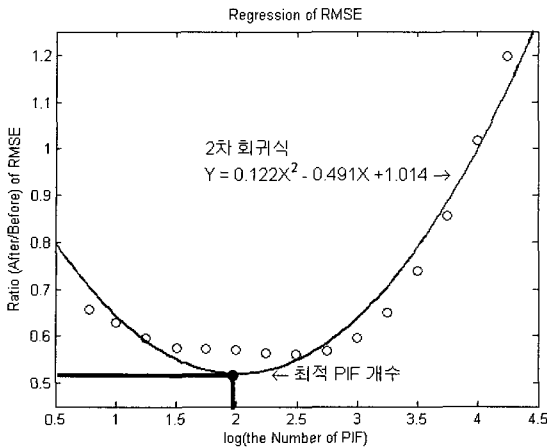


그림 7. PIF 개수 추정을 위한 2차 회귀 그래프 예(서울지역)

표 3. 추정된 PIF 개수 및 RMSE 비

| 지역 | PIF 개수                               |       | RMSE 비 |
|----|--------------------------------------|-------|--------|
|    | Log 값                                | 개수(%) |        |
| 서울 | 1.995                                | 0.183 | 0.5197 |
|    | 관계식: $Y = 0.122X^2 - 0.491X + 1.014$ |       |        |
| 안산 | 2.035                                | 0.201 | 0.7516 |
|    | 관계식: $Y = 0.129X^2 - 0.530X + 1.295$ |       |        |
| 남원 | 2.682                                | 0.890 | 0.4422 |
|    | 관계식: $Y = 0.009X^2 - 0.046X + 0.504$ |       |        |
| 구례 | 2.722                                | 0.977 | 0.4205 |
|    | 관계식: $Y = 0.025X^2 - 0.137X + 0.608$ |       |        |

#### 4. 결론 및 향후 연구

본 연구는 초분광영상을 이용한 변화탐지 기술을 보다 손쉽게 적용할 수 있도록 양질의 데이터를 제공하는 것이 목적이며, 그 연구의 일환으로 선형회귀 기법을 이용하여 변화탐지를 위한 상대 방사정규화를 수행하였다. 이를 위해 시간적 불변특성을 보이는 화소인 PIF를 추출하여 선형회귀식을 구성하는 표본으로 사용하였다. 기존의 수동적인 PIF 추출 기법과는 달리, 초분광영상이 가지는 많은 밴드의 장점을 활용하여 화소간 유사도 측정 기법(분광각)을 적용함으로써, PIF를 자동으로 추출하였다. 또한 객관적인 평가지표를 통해 적절한 PIF 개수를 결정하는 연구도 함께 수행하였으며, 지역에 따라 다소 차이는 있으나 전체 영상 화소의 0.5% 내외를 추출하는 것이 적절하다는 결과를 이끌어냈다.

이 실험 결과를 기반으로 전 실험 지역에 대해 0.5% 화

소를 추출하여 방사보정을 수행하였으며, 상대 방사정규화 기법이 절대 방사보정(FLAASH) 기법에 비해 더욱 효과적으로 방사보정을 수행할 수 있음을 확인하였다. 또한 영상 전체를 표본으로 사용하는 상대 방사보정 기법(영상 회귀, 히스토그램매칭 기법)이 일부 지역에 대해 효과적인 방사보정 결과를 보임을 알 수 있었으나, 다른 지역에 대해서는 보정 전보다 더 좋지 못한 결과를 보여 기법의 사용에 있어 신중해야 할 필요가 있다고 사료된다. 결과적으로, PIF 추출을 통한 선형회귀 방법이 변화탐지를 위한 가장 신뢰도 높은 방사보정 기법으로 평가할 수 있다. 다만, PIF 추출 방식에 있어 객관성이 결여되는 이유로 기존의 PIF 추출 방식을 통한 상대 방사정규화 기법과의 비교는 수행하지 않았으나, 향후 연구에서는 고려해야 할 것이다.

보다 객관적이고 신뢰도 높은 방사보정의 자동화를 위해 클러스터링 기법을 적용한 반복적인 PIF 추출이나, 개선된 히스토그램 매칭 기법을 적용한 PIF 추출 등의 연구를 앞으로 수행하고자 한다. 마지막으로, 초분광영상에 적용 가능한 변화탐지 알고리즘을 개발하는 것 또한 중요한 연구 과제가 될 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형 국토정보기술혁신 사업과제의 연구비지원(과제번호: 07 국토정보C03)에 의해 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- 김대성, 김용일, 어양담 (2007), 변화탐지를 위한 Hyperion 초분광 영상의 자동 기하보정과 밴드선택에 관한 연구, 한국측량학회지, 한국측량학회, 제25권, 제5호, pp. 383-392.
- Barry, P. (2001), *EO-1/Hyperion Science Data User's Guide*. TRW Space, Defense and Information Systems.
- Canty, M. J., Nielsen, A. A., and Schmidt, M. (2004), Automatic Radiometric Normalization of Multitemporal Satellite Imagery, *Remote Sensing of Environment*, ISRSE, Vol. 91, pp. 441-451.
- Chen, X., Vierling, L., and Deering, D. (2005), A Simple and Effective Radiometric Correction Method to Improve Landscape Change Detection Across Sensors and Across Time, *Remote Sensing of Environment*, ISRSE, Vol. 98, pp. 63-79.
- Datt, B., McVicar, T. R., Niel, T. G. V., Jupp, D. L. B., and Pearlman, J. S. (2003), Preprocessing EO-1 Hyperion Hyperspectral Data to Support the Application of Agricultural Indexes, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*,



- IEEE, Vol. 41, No. 6, pp. 1246-1259.
- Du, Y., Cihlar, J., Beaubien, J., and Latifovic, R. (2001), Radiometric Normalization, Compositing, and Quality Control for Satellite High Resolution Image Mosaics over Large Areas, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, IEEE, Vol. 39, No. 3, pp. 623-634.
- Du, Y., Teillet, P. M., and Cihlar, J. (2002), Radiometric Normalization of Multitemporal High-resolution Satellite Images with Quality Control for Land Cover Change Detection, *Remote Sensing of Environment*, ISRSE, Vol. 82, pp. 123-134.
- EO-1 Homepage, <http://eo1.usgs.gov/imagePreviews.php>
- Frank, M., and Canty, M. (2003), *Unsupervised Change Detection for Hyperspectral Images*, JPL Publication, 8th publication.
- Heo, J. and FitzHugh, T. W. (2000), A Standardized Radiometric Normalization Method for Change Detection Using Remotely Sensed Imagery, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, ASPRS, Vol. 66, No. 2, pp. 173-181.
- Janzen, D. T., Fredeen, A. L., and Wheate, R. D. (2006), Radiometric Correction Techniques and Accuracy Assessment for Landsat TM Data in Remote Forested Regions, *Canadian Journal of Remote Sensing*, Vol. 32, No. 5, pp. 330-340.
- Jensen, J. R. (2005), *Introductory Digital Image Processing - A Remote Sensing Perspective*, 3rd Edition, Prentice Hall, NY, USA, pp. 467-494.
- Lowe, D. G. (2004), Distinctive Image Features from Scale-invariant Keypoints, *International Journal on Computer Vision*, IJCV, Vol. 60, No. 2, pp. 91-110.
- Olthof, I., Pouliot, D., Fernandes, R., and Latifovic, R. (2005), Landsat-7 ETM+ Radiometric Normalization Comparison for Northern Mapping Application, *Remote Sensing of Environment*, ISRSE, Vol. 95, pp. 388-398.
- Schott, J. R., Salvaggio, C., and Volchok, W. J. (1988), Radiometric Scene Normalization Using Pseudoinvariant Features, *Remote Sensing of Environment*, ISRSE, Vol. 26, pp. 1-16.
- Singh, A. (1989), Digital Change Detection Techniques Using Remotely Sensed Data, *International Journal of Remote Sensing*, IJRS, Vol. 10, pp. 989-1003.
- Sohn, Y., Rebello, N. S. (2002), Supervised and Unsupervised Spectral Angle Classifiers, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, ASPRS, Vol. 68, No. 12, pp. 1271-1280.
- Yang, X., and Lo, C. P. (2000), Relative Radiometric Normalization Performance for Change Detection from Multi-Date Satellite Images, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, ASPRS, Vol. 66, No. 8, pp. 967-980.
- Yoon, Y., and Kim, Y. (2007), Application of Hyperion Hyperspectral Remote Sensing Data for Wildfire Fuel Mapping, *Korean Journal of Remote Sensing*, KSRS, Vol. 23, No. 1, pp. 21-32.

---

(접수일 2008. 1. 2, 심사일 2008. 2. 11, 심사완료일 2008. 2. 18)