

## 한반도 토지피복도 제작을 위한 다시기 Landsat ETM+ 영상의 정합 방법

김선화<sup>†</sup> · 강성진 · 이규성

인하대학교 지리정보공학과

### Multi-temporal Landsat ETM+ Mosaic Method for Generating Land Cover Map over the Korean Peninsula

Sun-Hwa Kim<sup>†</sup>, Sung-Jin Kang, and Kyu-Sung Lee

Department of Geoinformatic Engineering, Inha University

**Abstract :** For generating accurate land cover map over the whole Korean Peninsula, post-mosaic classification method is desirable in large area where multiple image data sets are used. We try to derive an optimal mosaic method of multi-temporal Landsat ETM+ scenes for the land cover classification over the Korea Peninsula. Total 65 Landsat ETM+ scenes were acquired, which were taken in 2000 and 2001. To reduce radiometric difference between adjacent Landsat ETM+ scenes, we apply three relative radiometric correction methods (histogram matching, 1st-regression method referenced center image, and 1st-regression method at each Landsat ETM+ path). After the relative correction, we generated three mosaic images for three seasons of leaf-off, transplanting, leaf-on season. For comparison, three mosaic images were compared by the mean absolute difference and computer classification accuracy. The results show that the mosaic image using 1st-regression method at each path show the best correction results and highest classification accuracy. Additionally, the mosaic image acquired during leaf-on season show the higher radiance variance between adjacent images than other season.

**Key Words :** mosaic, Landsat ETM+, relative radiometric correction, post-mosaic classification.

**요약 :** 한반도 전역과 같은 상대적으로 넓은 지역의 정확한 분류를 위해서는 단일 영상 분류 후 영상정합 방식보다는 영상 정합 후 분류방법이 보다 정확하다. 또한 다중시기 정보는 분류에 매우 유용하게 사용될 수 있다. 본 연구에서는 한반도 전역을 대상으로 최적의 Landsat ETM+ 영상정합 방식을 제시하였다. 한반도 전역에 대해 2000년부터 2001년까지 획득된 총 65개의 Landsat ETM+영상을 이용하여 낙엽기, 이앙기, 개엽기 각각 정합 영상을 제작하였다. 이때 보다 정확한 영상정합을 위해 히스토그램 매칭, 중앙영상을 기준으로 한 1차 회귀식적용방법, Landsat 촬영 패스별로 적용한 1차 회귀식 적용방법, 총 세 가지 상대복사보정 방법을 적용하였다. 적용 결과, 패스별 상대복사보정한 결과가 그 보정 효과가 크면서, 높은 분류 정확도를 나타냈다. 또한 시기별 정합영상을 살펴보면, 개엽기의 정합영상이 타시기에 비해 상대적으로 인접한 영상 간 지표물의 변이가 다양하게 나타나는 것을 볼 수 있었다.

접수일(2010년 2월 5일), 수정일(1차 : 2010년 4월 13일, 2차 : 4월 18일), 게재확정일(2010년 4월 20일).

<sup>†</sup> 교신저자: 김선화(rssun@inha.ac.kr)

## 1. 서론

1972년 7월 Landsat 1호의 MSS영상을 시작으로 현재 Landsat 7호 ETM+영상까지 Landsat 위성영상은 과학적 목적으로 가장 유용하게 사용된 위성영상 중 하나이다. 2008년 10월 1일부터 USGS EROS(<http://eros.usgs.gov/>)에서는 Landsat ETM+영상을 무료로 제공하고 있어 과학 분야뿐만 아니라 다양한 민간 분야에 그 활용도가 증가하고 있다. 이에 따라 국내에서도 한반도 전역의 Landsat ETM+영상을 자유롭게 획득할 수 있게 되었다. 물론 기존에 환경부와 국토연구원에서도 한반도 전역의 Landsat TM 및 ETM+영상을 획득 후 토지피복도를 제작한 사례가 있었다(박성미 외, 2001; 환경부, 2002; 2005). 그러나, 이들 사례에서는 컴퓨터 처리의 한계로 인해 단일 씬이나 패스 별로 분류 후 정합(mosaic)하는 방식을 사용하였다(박성미 외, 2001; 환경부, 2002; 2005). 소수의 정합 처리 사례를 살펴보면, 컴퓨터 처리 능력문제로 100m 정도로 공간해상도를 떨어뜨려 제작하였다(윤근원 외, 2003). 국외의 광역지역의 Landsat 영상 처리에서도 국내와 같은 단일 영상 개별 처리 방식을 취하였다. 이는 그 당시의 컴퓨터 처리 능력의 한계로 인한 것이다. 그러나, 이러한 방식은 각 영상 별로 다르게 나타나는 지표물의 분광특성에 따라 분류 기준이 다르기 때문에 영상과 영상의 경계 및 중첩 지역에서의 분류 결과가 맞지 않는 문제점이 발생하였다(Homer *et al.*, 1997; 이규성 외, 2009). 이러한 불일치 문제의 경우 광역지역일수록, 사용되는 영상이 많을수록 추가적인 오류 수정작업을 요구한다. 이에 비해, 정합 후 분류 방법의 경우 동일한 시기에 획득된 한반도지역의 Landsat ETM+ 정합영상은 지역별 특징을 잘 나타내고, 통일되고 동일한 분류기법 혹은 분류기준 적용이 가능하다는 장점을 나타낸다(Homer *et al.*, 1997). 또한 컴퓨터 처리 능력이 발달한 현재에는 광역지역의 다중 Landsat ETM+영상의 정합이 가능하여 정합 후 분류 방식의 시도가 가능하였다. 그러나, 정합 후 분류 방법의 경우 정합 시 처리되어야 하는 과정이 많고, 처리 정확도가 분류 정확도에 영향을 끼친다는 고려사항들이 제시되어진다(Olthof *et al.*, 2005). 따라서, 본 연구에서도 보다 분류정확도를 향상시키기 위해 영상 획득 시기별 차이를 최소화하기 위해 광역지역의 Landsat 영상 정합할

때 영상 사이의 복사보정을 수행하였다. 이에 본 연구에서는 2000년과 2001년에 촬영된 Landsat ETM+영상을 대상으로 개엽기(leaf-on), 이앙기(transplanting), 낙엽기(leaf-off)의 세 시기에 대한 각각의 한반도 Landsat ETM+ 정합 영상을 제작하였다. 이때 각 시기에서도 각 영상들이 대기, 구름, 조명 상태가 다르기 때문에 기준 영상을 선정하고 상대 복사보정을 수행하여야 한다. 상대 복사보정을 통해 다중 영상들의 신호값이 비슷하게 정규화 시키는 과정으로, 대표적으로 히스토그램 매칭 방법과 1차 회귀식을 이용한 변환기법 등이 있다. 본 연구에서는 한반도 전역의 토지피복분류를 시행하기 위하여 Landsat ETM+ 정합 영상을 제작 시 필요한 최적의 상대 복사보정 방법을 제시하고자 하였다.

## 2. 사용 자료 및 연구 지역

본 연구에서는 한반도 전역의 정합영상을 제작하기 위하여 Fig. 1과 같이 한반도 영역을 촬영한 Landsat

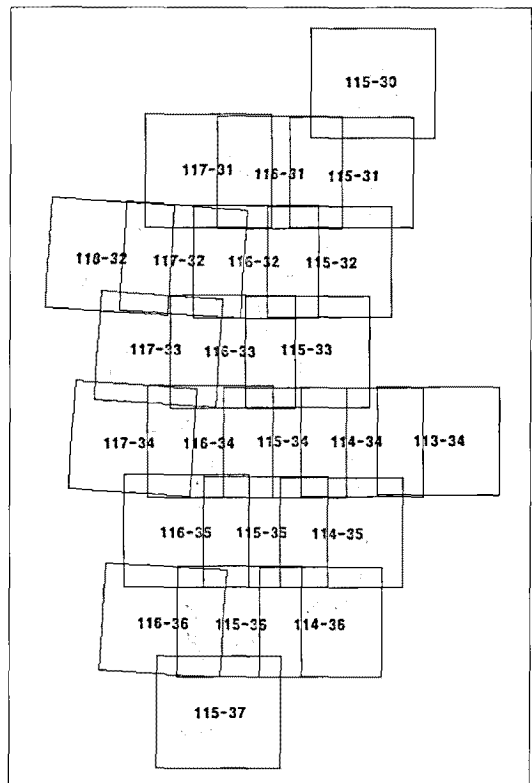


Fig.1. Landsat ETM+ path and row over Korean Peninsula.

Table 1. List of Landsat ETM+ image used in this study

Path	Row	Leaf-Off	Transplanting	Leaf-On
113	34	2001-02-22	-	-
114	34	2000-03-14	2000-06-18	2001-07-07
114	35	2000-03-14	2000-05-01	2001-08-24
114	36	2000-03-14	2000-05-01	2001-08-24
115	30	2001-11-03	2000-06-09	2000-09-29
115	31	2001-11-03	2000-06-09	2000-09-29
115	32	2001-03-24	2001-05-11	2000-09-29
115	33	2001-03-24	2000-05-08	2001-08-31
115	34	2000-04-06	2000-05-08	2000-09-29
115	35	2000-04-06	2000-05-08	2000-10-15
115	36	2001-02-20	2000-05-08	2001-09-16
115	37	2000-02-18	2000-04-06	2000-04-06
116	31	2001-10-25	2001-06-03	2001-09-07
116	32	2001-11-10	2001-06-03	2001-06-03
116	33	2001-12-28	2001-06-03	2001-06-03
116	34	2001-12-28	2001-06-03	2001-09-23
116	35	2000-11-23	2001-06-03	2001-09-23
116	36	2000-11-23	2001-04-16	2001-09-23
117	31	2001-11-01	2001-06-10	2000-10-13
117	32	2001-11-01	2001-06-10	2000-10-13
117	33	2001-11-01	2001-06-10	2001-09-14
117	34	2000-12-16	2001-06-10	2001-09-14
118	32	2000-10-20	2000-05-29	2001-09-21

ETM+ 23개 영상을 사용될 수 있다. 한반도지역의 Landsat 위성이 지나가는 열(path)과 행(row)을 살펴 보면 114~117 열, 30~37 행에 촬영된 영상들을 사용하며, 각 영상들은 중형방향으로 일정 부분 인접 영상끼리 중첩지역을 가지게 된다.

이와 함께 동일 시기별 정합 영상의 제작을 위해 개엽기, 이앙기, 낙엽기의 영상을 각각 수집, 처리하였다. 이때 사용된 Landsat ETM+영상은 2000년과 2001년에 촬영된 영상으로 Table 1과 같으며, 모든 영상은 Landsat EROS(<http://eros.usgs.gov/>)에서 FTP서버를 통해 수집하였다. Landsat ETM+영상은 2003년 이후 센서의 SLC-off현상으로 영상 전체에 줄무늬와 같은 오차가 나타나 사용이 불가하며, Landsat 5호 영상의 경우 1년 동안 제공되는 영상 수가 적어 사용이 불가하였다. 이에 따라 구름의 양이 최소이며, 1년 동안 많은 영상이 제공되는 2000년과 2001년 영상을 사용하게 되었다. Table 1과 같이, 개엽기의 영상은 주로 8월부터

10월말까지, 이앙기는 논이 모내기 시기인 5월~6월까지, 낙엽기는 12월~3월까지 영상으로, 구름의 양이 최소인 영상을 선택하였다. 때에 따라 구름이 과다하여 영상 획득이 어려운 경우에는 각 시기 기준에 인접한 영상들을 사용하기도 하였다. 이에 따라 본 연구에서는 총 65개의 Landsat ETM+영상을 사용하였다.

### 3. 연구 방법

한반도 전역에 대해 세 시기의 Landsat ETM+ 정합 영상을 제작하기 위하여 Fig. 2와 같은 과정을 처리하였다. 우선, 전처리과정으로 기하보정과 방사도(radiance) 값으로의 변환을 수행하게 되고, 영상 정합 전에 각 영상의 신호값을 비슷하게 만들기 위한 상대 복사보정을 수행하게 된다. 이때 연구 목적인 한반도 토지피복도 제작을 위한 최적의 복사보정 방법을 제시하기 위하여 대표적인 복사보정 방법의 결과를 비교하였다. 이 복사보정된 영상들을 정합하여 세 시기의 한반도 Landsat ETM+영상의 정합영상을 제작하였다. 각 과정의 상세 설명은 아래와 같이 서술되어졌다.

#### 1) 좌표등록

Landsat ETM+영상은 UTM좌표체계로 등록된 후 제공된다. 기하보정 시 위성의 위치 및 자세정보를 이용한 센서모델을 적용하며, 전 세계에 분포한 지상기준점(GCP)도 사용하여 기하보정을 수행한다. 비록 Landsat ETM+영상의 명목적 위치정확도는 250m로 낮으나, Landsat ETM+영상간의 위치정확도(Image-to-Image Registration accuracy)는 3.6m(0.4pixel)로 제시되었다(USGS, 2006). 본 연구는 영상 정합을 목표로 하기 때문에 무엇보다도 인접영상간의 위치차이가 최소화되어야 한다. 각 영상을 수치지도를 이용하여 기하보정 후 영상 정합 시 영상과 영상간의 위치오차가 발생할 수 있다는 점을 감안할 때, 추후 기하보정을 수행하지 않았다. 따라서 본 연구에서는 Landsat ETM+영상에서 제공되는 UTM 좌표정보가 인접 영상간 위치정확도를 제공하고 있기 때문에 원 자료 그대로 유지하여 사용하였다. 이를 위해 영상 좌표를 UTM 좌표체계, WGS 84 타원체, Zone 52N정보를 사용하여 좌표등록을 수행하였다.

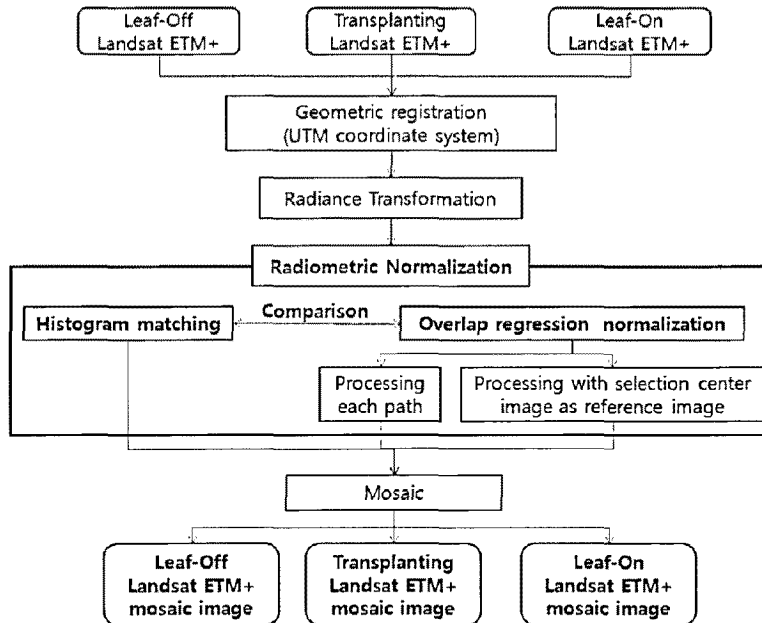


Fig. 2. Processing steps of generating Landsat ETM+ mosaic image.

## 2) 방사도(radiance)영상 변환

Landsat ETM+영상의 정합을 위해서는 통일된 단위의 화소값으로 변환할 필요가 있다. 이를 위해 본 연구에서는 방사도(radiance, 단위:  $W/m^2/\mu m/sr$ )로 변환하여 사용하였다. 이때 사용되는 gain값과 offset값을 살펴보면 Table 2와 같이 4번 밴드(근적외선)의 경우 영상마다 high 혹은 low모드를 달리 사용하고 있어, 영상의 메타정보에 따라 해당되는 gain과 offset값을 사용해야 한다. 각 밴드별 gain값과 offset값을 확인 후 식 (1)과 같이 변환하여 방사도영상을 제작한다.

$$Radiance_i = gain_i \times DN_i + offset_i \quad (i : \text{밴드}) \quad (1)$$

Table 2. Gain and offset coefficients used for converting DN value to radiance for the Landsat ETM+ data used for the study. (Unit:  $W/m^2/\mu m/sr$ )

Band	Gain	Offset
Band 1	0.77874	-6.97874
Band 2	0.798819	-7.198819
Band 3	0.621654	-5.621654
Band 4	0.639764 (High mode) 0.969291 (Low mode)	-5.739764 (High mode) -6.069291 (Low mode)
Band 5	0.12622	-1.123622
Band 6	0.043898	-0.393898

## 3) 상대복사보정 (Relative Radiometric Normalization)

영상정합을 위해서는 광역지역에 다중 영상들을 사용하게 되는데 각 영상들은 각각 다른 환경에서 촬영하게 된다. 따라서 인접한 영상의 중첩지역에서 동일지물에 대해 인접한 영상은 서로 다른 밝기값을 나타낸다. 이러한 차이는 영상 촬영 당시의 지표 구성에 따른 반사값, 태양과 센서의 위치로 인해 발생하는 BRDF 효과, 대기상태, 구름의 유무, 다른 시기로 인한 것이다(류정미, 2005). 따라서 이러한 차이는 영상 정합 시 문제가 되어, 보정이 요구된다. 이와 같은 영상간 밝기값의 차이를 최소화하는 과정을 상대 복사보정(relative radiometric normalization)이라 한다. 대표적인 상대 복사보정으로는 인접영상간의 히스토그램을 매칭하여 보정하는 방법과 중첩지역의 동일 지물을 대상으로 밝기값을 추출하여 선형회귀변환식을 산출 후 보정하는 방법이 있다. 본 연구에서는 한반도의 Landsat ETM+ 영상의 정합영상을 제작하기 위해 대표적인 두 상대 복사보정방법을 비교, 분석하였다.

### 1) 히스토그램 매칭 (histogram matching) 방법

히스토그램 매칭은 각 영상의 히스토그램을 기준이

되는 히스토그램의 분포와 유사하게 만드는 방법 (Richards and Jia, 2006)으로 항공영상과 위성영상의 정합에 가장 많이 사용되는 방법이다(류정미, 2005). 이 방법을 살펴보면, 기준영상과 대상영상의 히스토그램을 누적히스토그램으로 변환하고, 대상영상의 밝기값에 따른 누적 히스토그램의 종좌표를 각각 구한 후, 이에 해당하는 기준 영상의 횡좌표를 산출한다. 이때 추출된 기준영상의 횡좌표 곧 밝기값은 대상영상의 보정 후 밝기값으로 입력한다. 식 (2)는 히스토그램 매칭의 변환 식을 보여주고 있다.

$$y = g^{-1}(z), z = f(x) \text{ or } y = g^{-1}[f(x)] \quad (2)$$

$f(x)$ : 대상영상의 누적도수 함수  
 $g(x)$ : 기준영상의 누적도수 함수  
 $x$ : 대상영상의 밝기값  
 $y$ : 대상영상의 보정 후 밝기값

이러한 히스토그램 매칭 방법은 기준 영상의 공간적 범위에 따라 두 가지 방법으로 나눌 수 있는데, 우선 기준 영상 전체의 히스토그램을 사용하는 방식과 중첩지역만을 대상으로 히스토그램 매칭 함수를 추출하는 두 가지 방식이 있다. 기존 연구사례를 살펴보면 기준 영상 전체를 사용하기 보다는 중첩지역의 히스토그램을 대상으로 하는 것이 더 효과적이라고 한다(류정미, 2005). 이는 영상 전체를 대상으로 하는 경우 중첩지역을 제외한 나머지 지역에서는 서로 다른 피복이 분포함으로써 상이한 지역의 밝기값도 대상영상에 영향을 주기 때문이다(류정미, 2005). 따라서 본 연구에서는 중첩지역의 히스토그램만을 사용하는 히스토그램 매칭 방법을 적용하였다.

이와 함께 히스토그램 매칭 방법은 인접하는 다수의 영상 중 어느 영상을 기준영상으로 설정하느냐에 따라 그 결과가 달리 나타난다. 기존 히스토그램 매칭을 이용한 영상정합 사례를 살펴보면, 대상영상과 가장 많이 중첩하는 중앙에 위치한 영상을 기준 영상으로 선정하여 히스토그램 매칭 기법을 적용하였다(Homer *et al.*, 1997; 류정미, 2005). 이 외에 기준 영상에 매칭되어 영상을 보정 후, 이 영상을 다시 기준 영상으로 가정하여 다른 영상이 보정되는 보정방법도 있다. 그러나 이러한 연결적 보정방법의 경우, 히스토그램 매칭 기법의 오차가 전달되는 문제가 발생된다. 따라서 본 연구에서는 한반도 23개의 Landsat ETM+영상 중 116-33영상을 기

준으로 히스토그램매칭을 수행하였다.

## 2) 중첩지역의 선형회귀변환 (overlap linear regression transform) 방법

중첩지역의 선형회귀변환 방법은 실험적이고, 경험적인 복사보정 방식으로, 회귀식을 산출하는 방식에 따라 그 종류가 나뉜다. 우선, 각 영상의 통계치를 이용하는 방법, 인접한 두 영상간의 동일 지물에 대해 화소값을 쌍으로 얻는 방법, 중첩지역의 모든 밝기값을 이용하는 방법이 있다. 중첩지역의 통계치와 모든 화소값을 사용하는 방법의 경우, 시기 차이가 있는 두 영상에 적용하는데 문제가 있다. 이는 시간의 차이로 피복의 상태 및 분포가 변화하였을 때 이 방법들은 문제가 발생하기 때문이다. 이에 비해, 동일지물의 추출 방법의 경우, 시간에 의해 변화가 없는 불변성 지표물(invariant target)을 선정한 경우 촬영시기 차이에 의한 오차를 최소화할 수 있다. 이 방법은 인접 영상간 중첩지역에 대해 불변성 지표물을 선정 후 이 화소값을 대상영상과 기준영상에서 각각 추출 후 선형 회귀식을 산출하여 이를 대상영상에 적용하는 방법이다. 본 연구에서와 같이 대상지역이 넓고, 시기 차이가 발생하는 경우 불변성 지표물을 이용한 선형회귀변환 방법을 사용하는 것이 적합하다.

이 중첩지역의 선형회귀변환 방법도 기준 영상을 선정하는 문제가 있는데, 이를 위해 본 연구에서는 116-32, 116-33과 115-34, 115-35 영상을 북한과 남한의 기준영상으로 정하여, Fig. 3(좌)와 같이 총 1297개의 불변성 지표물을 선정하였다. 이때 기준 영상과 중첩되지 않은 113-34, 115-30, 115-37, 117-34, 118-32의 경우 상대 보정된 인접영상을 기준영상으로 정하여 추가 보정하였다. 불변성 지표물은 대표적으로 운동장을 포함한 평평한 지표의 나지지역으로 선정하였다. 이는 나지지역의 경우, 시기별 분광적 차이도 다른 피복물들에 비해 적게 나타나며, 평평한 지역으로 기하학적인 구조에 따른 화소값의 차이도 적게 나타나기 때문이다(Hill and Sturm, 1991; Chen *et al.*, 2005). 위와 같이 중앙에 위치한 위성영상을 기준영상으로 선정한 방식과 함께 본 연구에서는 촬영 열(path)별 불변성 지표물을 산출 후 복사 보정하는 방식을 수행하였다. 이를 위해 Fig. 3(우)과 같이 총 569개의 불변성 지표물을 선정하

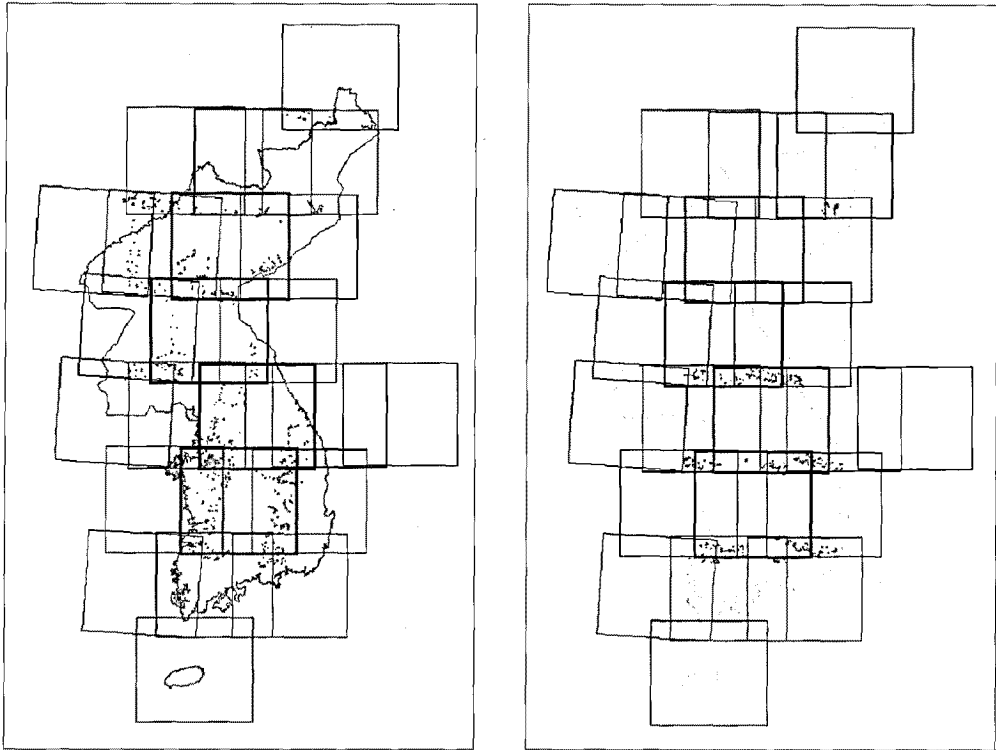


Fig. 3. Distribution of invariant targets used for overlap linear regression transform using middle reference image (left) and processing at each path (right).

었다. 이는 패스별 영상들을 살펴보면 동일 날짜에 촬영된 영상들이 인접해 있으며, 위의 방식과 다르게 모든 영상이 인접한 영상과 복사 보정된다는 장점이 있다. 그러나, 이 방식은 촬영 열별로 상대보정을 수행되었으나, 촬영 행별로 복사보정이 되지 않는다는 문제점이 있다. 이처럼 본 연구에서는 선형 복사보정 시 기준 영상의 선정 방식에 따른 차이를 분석하여 최적의 복사보정 방식을 제시하려 한다. Fig. 3(우)에서는 촬영 열별로 산출된 불변성 지표물의 분포를 보여주고 있다.

이와 같이 추출된 불변성 지표물의 반사값들은 1차 선형 회귀식을 산출하는데 사용된다. 일반적으로 1차 선형 회귀식을 산출 시 최소제곱법을 이용하여 산출하나, 본 연구에서는 Theil-Sen 회귀 알고리즘인 robust 1차 회귀식을 사용하였다. 이 회귀식은 입력된  $x, y$ 값의 모든 기울기값의 중앙값을 사용하는 비매개 순위회귀식(non-parameteric rank-based regression)이다(Kendall and Stuart, 1967). 기존 일반적인 1차 회귀식 산출 방법에 비해 단순한 계산 방식을 가지고 있으며, 신뢰구간의 분석적 추정이 가능하며, 이상값

(outlier)의 영향을 제거할 수 있다는 장점을 가지고 있다(Fernandes and Leblanc, 2005). 따라서 상대복사보정과 같은 정보량이 많은 자료의 선형 회귀식 산출에 적합하며, 이상값에 치우치지 않는다는 장점이 있다(Olthof *et al.*, 2005; Fernandes and Leblanc, 2005). 따라서, 상대복사보정과 같은 정보량이 많은 자료의 선형 회귀식 산출에 적합하며, 이외에 엽면적지수(Leaf Area Index)와 위성영상 신호값과의 관계 조명과 같은 원격탐사 분야에 사용되었다(Olthof *et al.*, 2005; Fernandes and Leblanc, 2005).

#### 4) Landsat ETM+영상의 시기별 영상정합

이와 같이 상대 복사보정된 Landsat ETM+영상의 정합을 통해 각 상대 복사보정 방법 별 결과를 비교 분석하였다. 영상정합은 세 시기인 개엽기, 이앙기, 낙엽기에 대해 각각 수행되었다. 영상정합에서 상대복사보정과 함께 중요한 단계는 인접 영상간의 접합선(seam line)을 선정하는 문제이다. 본 연구에서는 Erdas Imagine에서 제공되는 가중치가 적용된 접합선

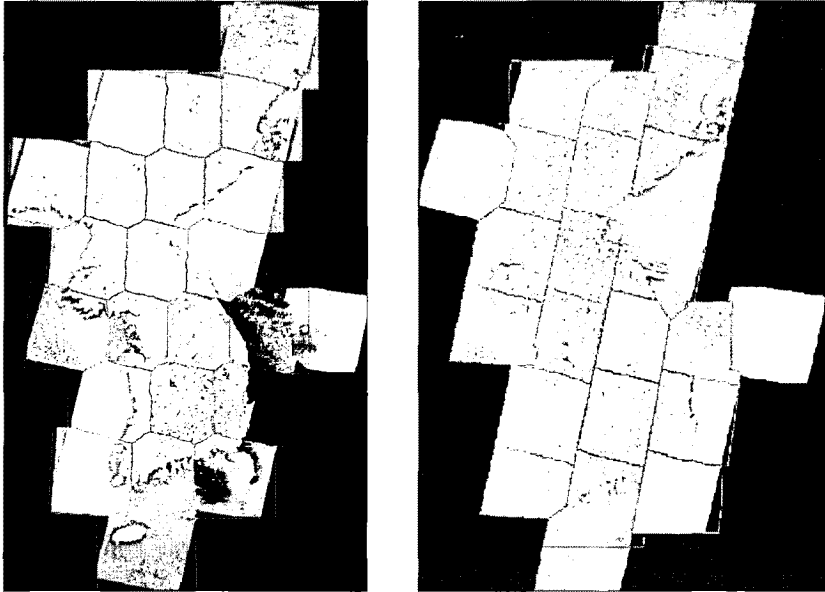


Fig. 4. Seam lines for mosaic Landsat ETM+ radiance images corrected by histogram matching and 1st regression method using middle reference image (left) and path processing (right).

(weighted seam line) 모델을 사용하여 자동으로 영상별 정합을 수행하였다. 이 영상정합에서는 낙엽기엔 23썩, 개엽기와 이양기엔 총 22썩 각각 사용되어 영상정합이 수행되었다. Fig. 4(좌)는 히스토그램 매칭방법과 중앙기준영상을 사용한 선형회귀변환방법으로 보정한 영상들의 정합을 할 때 적용된 접합선이며, Fig. 4(우)는 패스별로 선형회귀변환방법을 적용 후 정합할 때 사용된 접합선의 분포를 보여주고 있다.

고해상도 영상이나, 항공사진에 사용되는 접합선 부근을 흐리게 하는 기법인 페더링(feathering)은 본 연구에서는 적용하지 않았다. 이는 본 연구의 영상정합 목적이 단순히 육안으로 영상 접합 흔적이 두드러지지 않는 보여주기 위한 정합영상 제작 보다는 한반도 전역의 토지피복도 제작을 목적으로 하기 때문에 원 영상의 분광 신호값을 유지하기 위함이다. 이와 함께 원 공간해상도 30m를 유지한 채 영상정합을 수행하였다.

## 5) 비교 방법

세 가지 영상 정합방법 중 토지피복분류를 위한 최적의 영상 정합 방법을 판별하기 위해, 본 연구에서는 두 가지 비교 검증 방법을 수행하였다. 우선, 영상 정합의 목적이 인접한 영상간의 신호값이 유사하게 만드는 것이므로, 인접 영상 간 중첩지역에 있어 동일지물에 대한

신호값을 각각 추출한 후 비교하였다. 비교 척도에는 동일지물의 평균 절대 오차값(mean absolute difference radiance)을 사용하였다. 이와 함께 본 연구에서 영상정합의 목적은 최적의 토지피복분류를 위한 것이므로, 세 가지 영상 정합 방법을 적용한 영상 분류 정확도를 비교하였다. 이를 위해 다양한 피복의 특징이 잘 나타난 개엽기 정합영상들에 대해 최대우도감독분류(maximum likelihood supervised classification)방법을 적용하였다. 또한 분류 정확도 검증을 위해 Google earth와 환경부 토지피복도를 참조자료로 사용하였으며 100개의 검증지점(test site)을 선정하여 사용하였다.

## 4. 연구 결과

본 연구에서 적용한 히스토그램 매칭, 중심영상을 기준으로 한 1차 회귀식 적용 방법, 영상 촬영 열별 1차 회귀식을 적용한 상대복사보정방법을 각각 적용하여 그 결과를 분석하였다. 이와 같은 세 가지 상대복사보정 방법의 적용 결과를 비교하기 위하여 본 연구에서는 인접 영상간의 중첩지역에 대해 동일지물에 대한 신호값의 유사성을 분석하였다. 가장 이상적인 상대복사보정 결과에서는 인접영상의 동일 지물에 대한 신호값이 동일

Table 3. Average absolute differences for three temporal mosaic images and 6 spectral bands (unit: W/m<sup>2</sup>/μm/sr)

Method	Temporal	Blue	Green	Red	NIR	SWIR1	SWIR2
Histogram matching	Leaf-off	7.475	8.241	8.818	7.697	2.010	0.719
	Transplanting	7.380	9.289	11.938	7.531	2.294	0.818
	Leaf-on	12.000	14.596	16.417	10.724	3.158	1.034
1st regression method using center image	Leaf-off	12.914	14.832	15.947	14.128	3.686	1.144
	Transplanting	4.706	4.815	6.269	7.953	1.541	0.747
	Leaf-on	14.794	16.190	15.633	7.536	2.668	1.000
1st regression method using path processing	Leaf-off	2.295	2.444	2.558	2.560	0.809	0.267
	Transplanting	5.380	6.674	9.482	8.127	3.427	1.089
	Leaf-on	8.231	10.085	13.171	9.093	2.497	0.923

하여야 한다. 따라서 동일 지물을 중첩지역에서 랜덤으로 304개 지점의 화소값 추출 후 평균 절대 차이값 (average absolute difference, 방사도단위)을 비교 분석하였다. Table 3을 살펴보면, 세 방법 중 열별로 1차 회귀식을 산출하여 상대 보정한 알고리즘이 다른 두 알고리즘에 비해 상대적으로 인접영상끼리 화소값의 차이가 가장 작게 나타난 것을 알 수 있다. 단, 이앙기(5월~6월말)에는 중앙영상을 기준으로 회귀식을 산출한 방법과 열별 회귀식 산출한 방법이 비슷한 차이값을 나타내었다. 밴드별 차이를 살펴보면, 적색광 밴드가 다른 파장대에 비해 인접 영상 간 화소값의 차이가 크게 나타났다. 그러나 전체적으로 모든 밴드에서 열별 1차회귀식 산출 및 적용 방법이 가장 작은 화소값 차이를 나타냈다. 또한 시기별로 살펴보면 개엽기의 영상이 다른 시기에 비해 인접 영상간 화소값의 차이가 크게 발생된 것을 알 수 있다. 이는 이 시기가 피복의 상태가 매우 다양한 시기이며, 시간에 따른 큰 변이를 가지고 있기 때문에 상대보정의 효과가 최소화된 것으로 판단된다.

다음 Fig. 5~7은 낙엽기, 이앙기, 개엽기 세 시기에 대해 세 개의 상대복사보정방법을 적용한 후 정합된 영상을 보여주고 있다. 육안 평가 측면에서 기존의 정합 영상 사례들과 비교할 때 전체적으로 영상정합효과가 많이 떨어지는 것을 볼 수 있다. 그러나, 본 연구에서는 시각적 판독 목적의 정합 영상을 제작하는 게 아닌, 컴퓨터 분류에 의한 토지피복도의 제작이 주목적이기 때문에 원 영상의 분광정보를 최대한 유지시키려고 노력하였다. 특히 세 방법 중 히스토그램 매칭 방법의 경우, 영상 정합 후 원영상의 분광정보가 심하게 왜곡되어 나

타는 것을 볼 수 있다. 이에 비해 열별 1차회귀식을 적용한 결과는 분광정보의 왜곡이 적게 나타나는 것을 육안으로 볼 수 있다. 전체적으로 Table 3과 Fig. 7을 살펴볼 때 3개의 상대보정방법 중 열별 1차 회귀식 방법이 상대보정효과가 가장 잘 나타나면서, 원 영상의 왜곡이 가장 작게 나타나는 것을 볼 수 있다.

다음 Fig. 8은 세 가지 상대복사보정을 각각 적용한 정합영상 중 충청도지역의 일부 영상을 이용하여 최대우도분류기법을 적용한 결과이다. Fig. 8(a)는 Landsat ETM+ 영상의 정합선을 보여주고 있으며, 이 지역은 총 4개의 Landsat ETM+영상이 정합된 곳이다. 분류 결과, 영상의 오른쪽 아래쪽에 위치한 구름지역에 대해 히스토그램 매칭과 중앙영상을 이용한 1차회귀식 방법을 적용한 정합영상에서는 도시지역으로 오분류한 것을 볼 수 있다. 또한 히스토그램매칭 결과의 경우, 물지역이 도심지로 오분류되고 물이 분류되지 않는 문제가 발생되었다. 이는 영상 정합 후 원 영상의 분광정보가 크게 왜곡되어진 결과라 할 수 있다. 그에 비해 열별 1차회귀식을 적용한 결과의 경우, 구름의 영향이 최소화되어 분류된 것을 볼 수 있다.

Table 4에서는 세 가지 정합영상에 대한 컴퓨터 분류 결과에 대한 분류 정확도를 제시하고 있다. 각 피복별 및 전체적인 정확도 측면에서 열별 1차회귀식 적용결과가 가장 높은 정확도를 보였다. 이와 같이, 열별 1차 회귀식을 이용한 상대복사보정방법이 분류를 위한 Landsat ETM+의 영상 정합 시 가장 효과가 좋은 것으로 나타났다.



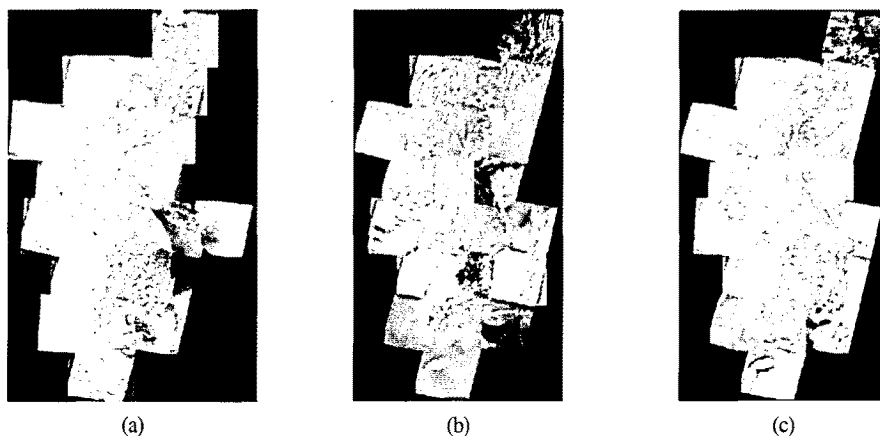


Fig 5. Landsat ETM+ mosaic image over Korean Peninsula using histogram matching algorithm (a: leaf-off, b: transplanting, c: leaf-on season).

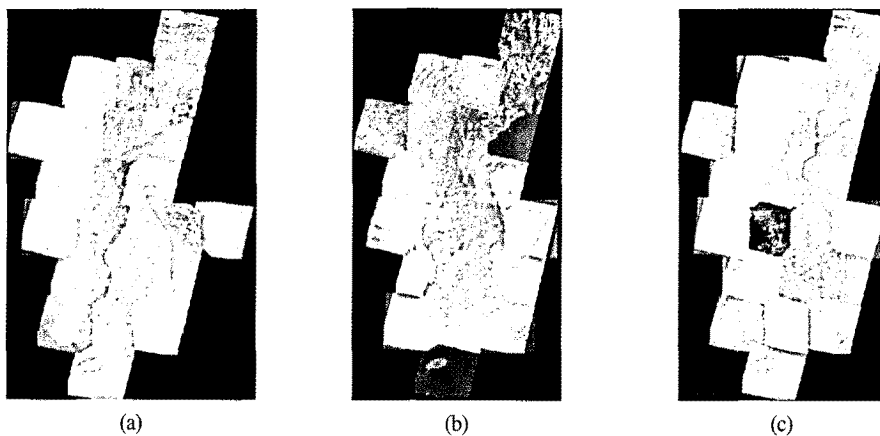


Fig 6. Landsat ETM+ mosaic image over Korean Peninsula generated by lst regression method using middle reference image (a: leaf-off, b: transplanting, c: leaf-on season).

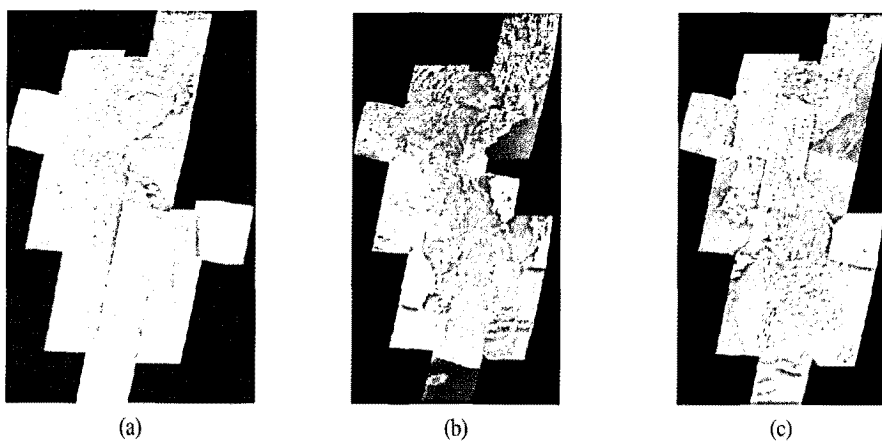


Fig 7. Landsat ETM+ mosaic image over Korean Peninsula generated by lst regression method using path processing (a: leaf-off, b: transplanting, c: leaf-on season).

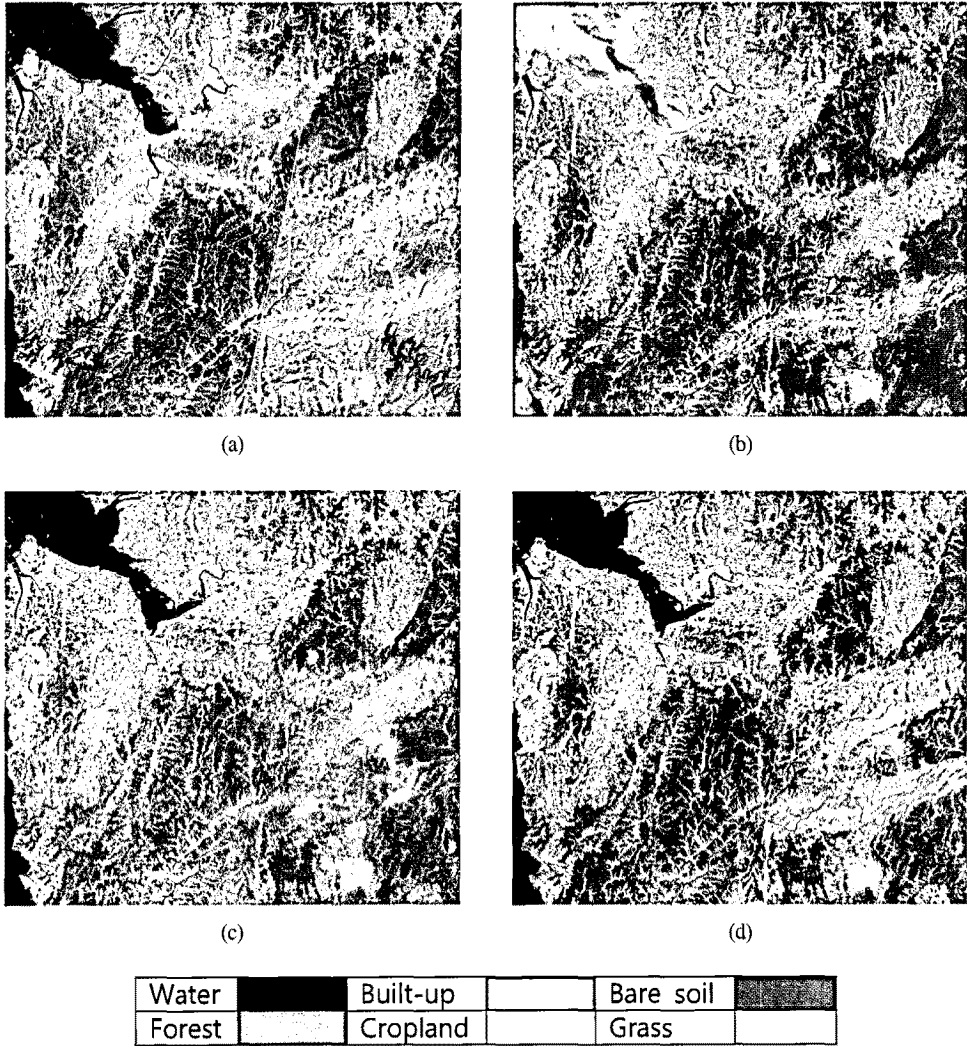


Fig 8. Original mosaic subset image (a), supervised classification results of histogram matching mosaic (b), 1st regression mosaic image (c) using middle reference image (b), and path processing (d).

Table 4. User classification accuracy of subset mosaic images (unit: %)

	Histogram matching	1st regression method using center image	1st regression method using path processing
Water	0.00	100.00	100.00
Built-up	25.00	28.57	60.00
Bare soil	55.56	100.00	100.00
Forest	80.00	100.00	93.75
Cropland	66.67	44.44	44.44
Grass	80.00	45.45	66.67
Total accuracy	64.58	66.67	77.08

## 5. 결론

본 연구에서는 한반도 전역의 토지피복도 제작을 위한 전처리과정으로 다중시기에 대한 Landsat ETM+영상의 정합영상을 제작하였다. 이때 다중시기로 인한 피복상태의 차이가 아닌 대기상태 및 조명 조건 등에 따른 차이를 줄이기 위한 처리가 필요하다. 이는 영상 분류 시 인접영상 간 동일 피복 상태임에도 불구하고 이러한 외부적 영향으로 인해 상이한 피복 종류로 분류되는 경우가 발생하기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 복사적 왜곡 및 외부 인자에 의한 영향을 최소화하기 위해 세 가지 상대복사보정방법을 적용하였다. 이 방법들은 현재 가장 많이 사용되는 히스토그램매칭, 중앙에 위치한 영상을 기준영상으로 1차 회귀식을 산출 및 적용하는 방법과 함께 본 연구에서는 Landsat ETM+영상의 촬영 패스별로 1차 회귀식을 산출 및 적용하는 보정방법이다. 상대복사보정 후 영상 정합을 통해 본 연구에서는 낙엽기, 이앙기, 개엽기 각각의 한반도 정합영상을 제작하였다. 다음 내용은 본 연구의 다중시기의 한반도 전역의 최적 정합영상을 제작하기 위한 방법을 설명하고 있다.

첫째, 세 개의 상대복사보정방법 중 본 연구에서 새롭게 제시한 패스별 1차 회귀식 산출 방법이 가장 상대복사보정 효과가 좋으면서, 원 영상의 피복 정보를 가장 많이 유지하고 있는 것으로 나타남. 이는 다른 방법에 비해 보정 후 값의 변화가 적고, 인접 영상간 중첩지역의 불변성 지표물의 신호값만을 이용하여 보정하기 때문에 영상 전체의 신호값을 이용하는 히스토그램 매칭 방법에 비해 그룹과 같은 높은 신호값의 영향을 받지 않고, 따라서 복사적 왜곡을 덜 받기 때문임. 또한 중앙영상을 기준으로 적용하는 방식보다 패스별로 적용하는 방식이 효과가 큰 이유는 중앙영상의 질에 따라 그 보정 효과가 달라지고, 중앙영상이 모든 영상 정합 영상과 인접하지 못하기 때문에 보정 오차가 중앙영상에서 떨어질수록 커지기 때문이다.

둘째, 현재 항공사진의 정합 시 많이 사용되는 히스토그램 매칭 방법의 경우, Landsat ETM+영상에 적용한 결과 상대복사보정 효과가 좋지 않으며, 원영상의 분광정보를 크게 왜곡하는 것으로 나타났다.

셋째, 본 연구에서 대상으로 하고 있는 세 시기 중 개엽기의 정합 영상이 상대복사보정 효과가 가장 떨어지

게 나뉘었으며, 정합영상에서도 영상 간 변이가 발생하는 것을 볼 수 있는데, 이는 촬영 조건의 변이가 크기 보다는 피복자체가 매우 다양한 상태를 보이며, 시기차이에 따른 변이가 크게 발생됨을 의미함. 따라서 개엽기 영상을 정합 시 상대복사보정에 더욱 신경을 써야 되는 것으로 사려된다.

넷째, 향후 연구에서는 이렇게 제작된 다중시기 Landsat ETM+ 정합영상을 이용하여 한반도 전역에 동일한 분류 방법을 적용하여 일관된 한반도 토지피복도를 제작할 예정이다.

## 사 사

본 연구는 국토해양부 첨단도시기술개발사업 - 지능형국토정보기술혁신사업과제(과제번호 : 07국토정보C03)의 연구비지원에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

- 류정미, 2005. 정사 항공사진 모자이크를 위한 광학보정 방법 비교, 인하대학교 공과대학 석사학위논문, 10p.
- 박성미, 임정호, 사공호상, 2001. 다량의 Landsat 위성 영상 처리를 통한 광역 토지피복분류, 대한원격탐사학회지, 17(3): 189-197.
- 윤근원, 박정호, 채기주, 박종현, 2003. 한반도지역 Landsat 위성영상의 기하보정 데이터 구축, 한국지리정보학회지, 6(1): 98-106.
- 이규성, 윤여상, 김선화, 신정일, 윤정숙, 강성진, 2009. 한반도 토지이용 및 토지피복 모니터링을 위한 현안 분석, 대한원격탐사학회지, 25(1): 71-83.
- 환경부, 2002. 인공위성자료를 이용한 토지피복지도 구축, 3p.
- 환경부, 2005. 인공위성자료를 이용한 토지피복지도 구축, 1p.
- 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*, 98: 63-79.
- Fernandes R. and Leblanc S.G., 2005. Parametric (modified least squares) and non-parametric (Theil-Sen) linear regressions for predicting biophysical parameters in the presence of measurement errors, *Remote Sensing of Environment*, 95: 303-316.
- Homer C.G. Ramsey R.D., Edwards, T.C., and Falconer A., 1997. Landscape cover-type modeling using a multi-scene thematic mapper mosaic, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 63(1): 59-67.
- Hill J. and Sturm B., 1991. Radiometric correction of multitemporal Thematic Mapper data for use in agricultural land-cover classification and vegetation monitoring, *International Journal of Remote Sensing*, 12(7): 1471-1491.
- Kendall M. G. and Stuart A. S., 1967. Advanced theory of statistics, Vol. 2. London: Charles Griffin and Company.
- Olthof I, Pouliot D. Fernandes R, and Latifovic R, 2005. Landsat-7 ETM+ radiometric normalization comparison for northern mapping applications, *Remote Sensing of Environment*, 95: 388-398.
- Richards J. A. and Jia X., 2006. Remote Sensing Digital Image Analysis, 4e, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- USGS, 2006. Landsat 7 image assessment system geometric algorithm theoretical basis document, Version 1.0
- USGS EROS, 2009. Online available: <http://eros.usgs.gov/>