

# LANDSAT 영상을 이용한 해안선 자동 추출과 변화탐지 모니터링

## Automatic Coastline Extraction and Change Detection Monitoring using LANDSAT Imagery

김미경\* · 손홍규\*\* · 김상필\*\*\* · 장효선\*\*\*\*

Kim, Mi Kyeong · Sohn, Hong Gyo · Kim, Sang Pil · Jang Hyo Seon

### 要 旨

지구 온난화와 이로 인한 해수면의 상승은 명백히 전 지구적으로 일어나고 있는 변화이며 해안선의 변화 또한 동반되고 있다. 해안선은 해수면의 상승뿐만 아니라 인위적인 활동에 의해서도 변화할 수 있으나 지구온난화에 의한 해안선 변화의 파악은 지구 온난화의 진행을 파악할 수 있는 지표로써 활용이 가능하다. 따라서 본 연구의 목적은 자동으로 해안선을 추출 및 변화를 파악하는 데에 있다. 본 연구에서는 자동으로 해안선을 추출하기 위해서 수분지수를 활용하여 물과 육지의 대조를 극대화하였으며, 해안선의 자동 추출이 용이하도록 하였다. 수분지수로 변환된 영상에서 자동으로 물과 육지를 분할하기 위하여 적정 임계값을 자동으로 찾을 수 있도록 영상처리 기법을 적용하였고, 경계선 검출 알고리즘을 통하여 해안선을 추출하였으며 추출된 해안선으로 변화를 탐지하는 방법론을 제시하고자 하였다. 자동으로 물과 육지를 분할하고 경계선을 찾는 영상처리 기법은 다른 자료의 도움 없이 LANDSAT 영상만을 이용하여 적용될 수 있으며 추출된 해안선 또한 기준자료로 이용된 NLCD(National Land Cover Database) 자료와의 비교를 통해 유사하다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 지구 온난화의 지표로써의 활용 가치를 확인하기 위해 연구 대상지역을 지층의 온도가 연중 0°C 이하로 항상 얼어 있는 영구동토로 선정하여 영구동토의 해빙으로 인한 해안선 변화를 정량적으로 확인할 수 있었으며 해안선의 변화가 가속화된다는 사실을 확인할 수 있었다.

핵심어 : Landsat, MNDWI, 해안선 추출, 변화 탐지, 기후변화, 지구온난화

### Abstract

Global warming causes sea levels to rise and global changes apparently taking place including coastline changes. Coastline change due to sea level rise is also one of the most significant phenomena affected by global climate change. Accordingly, Coastline change detection can be utilized as an indicator of representing global climate change. Generally, Coastline change has happened mainly because of not only sea level rise but also artificial factor that is reclaimed land development by mud flat reclamation. However, Arctic coastal areas have been experienced serious change mostly due to sea level rise rather than other factors. The purposes of this study are automatic extraction of coastline and identifying change. In this study, in order to extract coastline automatically, contrast of the water and the land was maximized utilizing modified NDWI(Normalized Difference Water Index) and it made automatic extraction of coastline possible. The imagery converted into modified NDWI were applied image processing techniques in order that appropriate threshold value can be found automatically to separate the water and land. Then the coastline was extracted through edge detection algorithm and changes were detected using extracted coastlines. Without the help of other data, automatic extraction of coastlines using LANDSAT was possible and similarity was found by comparing NLCD data as a reference data. Also, the results of the study area that is permafrost always frozen below 0 °C showed quantitative changes of the coastline and verified that the change was accelerated.

Keywords : Landsat, MNDWI, Coastline Extraction, Change Detection, Climate Change, Global Warming

2013년 9월 30일 접수, 2013년 11월 14일 수정, 2013년 12월 4일 채택

- \* 정회원 · 연세대학교 공과대학 토목환경공학과 석사과정(Member, M.S. Student, Department of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, [kimmikyeong@yonsei.ac.kr](mailto:kimmikyeong@yonsei.ac.kr))
- \*\* 교신저자 · 정회원 · 연세대학교 공과대학 토목환경공학과 교수(Corresponding author, Member, Professor, Department of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, [sohn1@yonsei.ac.kr](mailto:sohn1@yonsei.ac.kr))
- \*\*\* 정회원 · 연세대학교 공과대학 토목환경공학과 박사과정(Member, Ph.D. Student, Department of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, [spkim09@yonsei.ac.kr](mailto:spkim09@yonsei.ac.kr))
- \*\*\*\* 정회원 · 연세대학교 공과대학 토목환경공학과 석사과정(Member, M.S. Student, Department of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, [hyoseon9026@yonsei.ac.kr](mailto:hyoseon9026@yonsei.ac.kr))

## 1. 서 론

기온상승은 전 지구적으로 널리 일어나고 있고, 북극 평균 기온이 지난 100년 동안 지구 평균의 거의 두 배 속도로 상승했다. 지구평균 해수면은 1961년부터 2003년 사이에 연간 1.8mm씩 상승했고, 1993년부터 2003년까지의 10년 동안 연간 3.1 mm 씩 상승하였다 (IPCC, 2007).

해수면의 상승에 따른 해안선의 변화는 전 지구적 기후변화에 의해 영향을 받는 매우 중요한 현상이다. 따라서 해안선의 변화는 이러한 전 지구적 기후변화를 표현할 수 있는 민감한 지표로 활용될 수 있다. 일반적으로, 해안선의 변화는 해수면 상승뿐만 아니라 간척에 의한 토지 개발과 같은 인공적인 요인에서도 기인한다. 간척, 항만 개발, 모래 채굴과 같은 인위적인 활동에 의한 것을 제외하면 해안선의 변화는 첫째, 간조 혹은 만조와 같이 천문학적 또는 기상학적 요인에 의존하는 어느 정도 예측이 가능한 해수면의 변화(Lisitzin, 1974, Pugh, 1996, Pugh, 2004, Pardo-Pascual et al., 2012); 둘째, 해안의 특성에 따른 퇴적물의 부피와 형태에 따른 변화로 구분할 수 있다(Pardo-Pascual et al., 2012).

영구동토는 지층의 온도가 연중 0°C 이하로 항상 열려 있는 땅으로 전체 육지 면적의 20~25%를 차지하며 현대 기후에 해당하는 남북 양극 권내, 시베리아, 알래스카, 그린란드, 캐나다의 일부 지역에서 볼 수 있다. 고위도 지역에 위치한 영구동토는 최근 세계 각지에서 매년 2~4cm씩 녹고 있다. 영구동토가 녹게 되면 다량의 퇴적물을 유실하게 되고 이는 해안선의 변화를 일으키는 원인이 된다. 이러한 해안선 변화는 인위적인 활동이나 천문학적 또는 기상학적 요인에 의한 변화가 아닌 장기적인 기후 변화에 의한 영향으로 발생하게 되며, 따라서 영구동토의 해빙으로 인한 해안선 변화는 지구 온난화의 중요한 신호로 활용될 수 있다(Sliver, 2010).

해안선 변화를 탐지하는 가장 흔한 방법은 전통적인 지상 측량이었으나 이 방법은 정확한 위치 결정이 어렵고, 시간이 많이 소모되며, 국가 전체 혹은 대륙과 같이 매우 넓은 지역에 대해서는 불가능할 수도 있다(Ouma and Tateishi, 2006). 따라서 원격탐측 자료를 통한 해안선 추출에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며 다양한 자료와 다양한 방법론이 연구되고 있다.

Lee와 Jurkevich(1990)는 SAR 영상을 이용하여 경계선 검출 알고리즘을 기반으로 해안선을 자동 추출의 기본적인 틀을 제시하였다. Liu(2004)는 Canny 에지 검출 알고리즘과 국부 적응적 임계 설정 방법을 융합하

여 레이더 영상과 광학영상에 모두 적용가능한 해안선 자동 추출방법을 제시하였다. 그러나 기존의 연구에서는 해안선을 추출하기 위해 레이더 영상과 광학영상을 이용할 수 있지만 영상 자체의 질이 여전히 중요한 요인이며 물과 육지 사이의 극명한 대조가 존재해야 성공적인 결과를 얻을 수 있다고 하였다.

위성영상 내에서 물과 육지의 구분을 명확하게 하기 위해서는 영상에서 물을 추출해내는 과정이 필요하다. 원격탐측 자료를 통해 물을 탐지하려는 노력은 지속되어 왔으며, 물의 반사 특성을 이용한 수분지수(Water Index)가 제안되었다. 물의 적외선영역대의 반사도가 낮다는 사실을 이용하여 McFeeters(1996)에 의해 NDWI(Normalized Difference Water Index)가 처음으로 제시되었다. 이후, Xu(2006)는 NDWI의 단점을 보완하는 Modified NDWI(MNDWI)를 제시하였으며, MNDWI는 NDWI보다 영상 내의 물과 육지에 대한 대조를 크게 하여 물과 육지의 구분을 더 명확히 하며, 나지(Built-up)로 인한 노이즈를 감소시켰다는 결과를 보고한 바 있다. 케냐의 호수 변화를 확인하기 위해서 Ouma와 Tateishi(2006)는 NDWI와 TCW(Tasseled Cap Wetness)를 결합한 새로운 수분지수를 제시하여 더 정확하게 호수를 파악하려는 노력을 하였다.

해안선을 추출하기 위해 수분지수와 영상처리 기법을 결합한 사례로, Qiao 등(2011)이 NDWI를 이용하여 일차적으로 영상 내 히스토그램에서 자동으로 물과 육지로 분할하고 국부적인 부분에 대해서 물의 분광특성을 이용하여 반복적으로 분류를 해주는 방법을 택하고 있다. Zhang 등(2012)은 상대적으로 대조가 큰 MNDWI를 기반으로 물과 육지를 구분하고 Canny 에지 검출자를 이용하여 해안선을 추출하는 시도를 하였다. 그러나 위성 영상자료 이외에도 해안의 특성에 대한 자료가 필요하고 그 특성에 따라 분할을 하여 각기 다르게 영상처리 기법을 적용하기 때문에 해안의 특성을 미리 알지 못하면 해안선을 추출하기 어렵다는 단점이 있고 분할하는 방법에 대한 언급도 자세하지 않아 자동화기법이라고 하기 어렵다.

따라서 본 연구에서는 다른 자료의 도움 없이 LANDSAT 영상만을 이용하여 신뢰할만한 결과를 얻기 위해 MNDWI로 영상의 질을 확보한 후, 자동으로 물과 육지를 분할 및 해안선 추출 방법론을 새로이 제시하며 추출된 해안선으로 시계열 분석하는 방법론까지 적용하고자 하였다.

## 2. 연구대상지역

본 연구의 대상지역은 Fig. 1에 나타난 바와 같이 미국 알래스카주 북쪽에 위치하는 보퍼트해(Beaufort Sea) 연안 국립석유보호지역(National Petroleum Reserve)의 테셴픽호(Teshkepuk Lake) 북동쪽 지역에 해당한다. 연구 대상지역은 대표적인 영구동토 지역으로 사초과식물, 지의류, 이끼류, 난쟁이버드나무 등을 포함한다(Mars et al., 2005).

알래스카의 포인트바로(Point Barrow)와 프루도만(Prudhoe Bay) 사이의 보퍼트해의 해안 절벽은 매우 빠르게 침식되고 있다. 해수온도의 상승, 해빙의 감소, 파도 작용의 증가는 1년에 15m 씩 해안을 침식시키고 있다고 보고되었다(INSTAR, 2008). 해당 지역의 해안선 침식 속도는 매우 빠르며 이러한 속도는 30m의 공간해상도를 가진 LANDSAT TM/ETM+에 의해 충분히 변화가 탐지될 수 있을 것이라 판단하여 본 연구의 대상지역으로 선정하였다.

본 연구에 사용된 자료는 북위 70도 서경 153도에 해당하는 대상지역을 포함하는 1985년~2011년 사이의 LANDSAT TM/ETM+의 영상으로, 윤량이 10% 미만이고 알래스카의 여름에 해당하는 시기의 영상이 사용되었다. 알래스카는 봄과 가을이 짧은 형태로 4계절이 존재하며 겨울에는 눈보라가 심하여 지표면이 잘 드러나지 않아 눈보라의 영향이 없는 6-8월의 영상이 사용

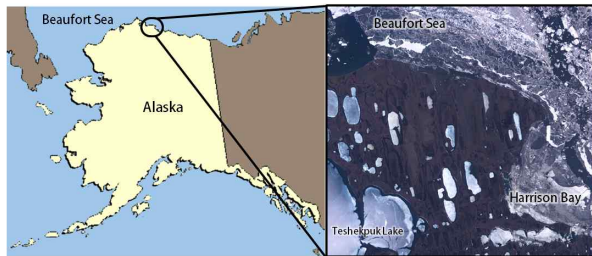


Figure 1. The study area

Table 1. Summary of imagery used in the study

Date acquired	Satellite/Sensor	Path/Row	Datum / map projection
1985-07-22	Landsat-5/ TM	078/010	WGS 84 / UTM zone 5N
2001-06-24	Landsat-7/ ETM+	078/010	
2002-07-29	Landsat-7/ ETM+	078/010	
2005-07-13	Landsat-5/ TM	078/010	
2008-06-19	Landsat-5/ TM	078/010	
2010-08-21	Landsat-5/ TM	077/010	
2011-06-28	Landsat-5/ TM	078/010	

되었다. 단, 2003년 이후 ETM+ 센서의 SLC 의 기계적 결함으로 인해 온전한 영상을 취득할 수 없으므로 이를 고려하여 SLC-off 영상은 사용하지 않았으며 TM 영상을 우선적으로 사용하였다. 사용된 자료의 정보는 Table 1과 같다.

## 3. 해안선의 추출 방법

해안지역의 LANDSAT 영상으로부터 해안선을 자동으로 추출하고 변화를 탐지하는 연구의 전반적인 과정은 Fig. 2와 같다. 우선, 대상물체에서 방사되는 에너지가 센서에 도달할 때 노이즈를 포함하게 되므로 이를 보정하기 위한 자료의 전처리로 반사 및 방사보정을 수행하였다. 이후 자동으로 해안선을 추출하기 위한 과정은 수분지수(MNDWI) 영상 생성, 물과 육지를 분류하기 위한 이진영상 변환, 내륙수 및 도서지역 제거, Canny 에지 검출자를 이용한 해안선 추출의 단계로 이루어졌다. 마지막으로 추출된 해안선의 변화를 정량적으로 파악하기 위해 버퍼링 기법을 적용하여 변화를 탐지하였다. 이러한 해안선 자동 추출과 변화탐지를 위한 일련의 이미지 프로세싱 및 버퍼링 기법은 MATLAB 을 이용하여 구현되었으며, 각 방법에 대한 설명을 아래의 3.1에서 3.6절에서 상세하게 기술하였다.

### 3.1 전처리

영상자료를 분석 및 처리하기에 앞서, 반사 및 방사보정이 수행되었다. 방사보정은 센서 system detector 오차와 조도 및 대기의 조건과 같은 환경적인 조건에서 기인하는 오차, 둘 다 밝기 값에 영향을 주는 오차를 다룬다(Bruce and Hilbert, 2006). 반사 및 방사보정을 수행하기 위하여 LANDSAT TM/ETM+ 센서는 0 또는 1부터 255까지 범위의 DN(Digital number) 으로 방사

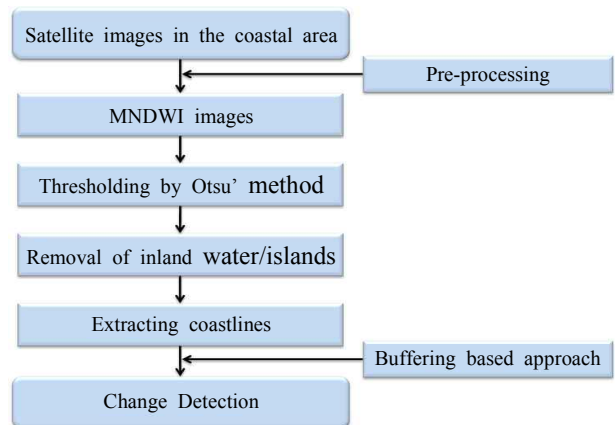


Figure 2. Flowchart

정보(radiance information)를 NASA에서 제공하는 User Handbook의 지침을 이용하여 픽셀의 밝기 값을 TOA 반사도로 보정하였다.

$$L_\lambda = Gain \times DN + Bias \quad (1)$$

$$\rho_\lambda = \frac{\pi L_\lambda d^2}{ESUN_\lambda \cos(\theta_s)} \quad (2)$$

여기서:

$L_\lambda$ : Radiance at the sensor's aperture  
(W/(m<sup>2</sup>·srad·μm))

$DN$ : original pixel value

$Gain, Bias$ : given from the header file of Landsat images

$\rho_\lambda$ : Unit less planetary reflectance

$d$ : Earth-Sun distance in astronomical units

$ESUN_\lambda$ : Mean solar exoatmospheric irradiances

$\theta_s$ : Solar zenith angle (NASA User Handbook)

### 3.2 MNDWI 영상 생성

각 밴드에 대해 각각 계산된 반사도 값을 이용하여, 수분지수를 계산할 수 있다. 물은 적외선 영역에서 반사도가 낮기 때문에 물의 적외선과 녹색 밴드 사이의 반사도의 차이를 이용한 정규수분지수(NDWI: Normalized Difference Water Index)가 주로 사용된다(McFeeters, 1996). NDWI에 사용되는 근적외선 밴드와 녹색 밴드에서의 반사도 차이는 나지(built-up)에서 또한 크기 때문에 영상 잡음을 유발할 수 있으므로 Xu(2006)은 중 적외영역과 녹색 밴드의 차이를 이용하는 modified NDWI(MNDWI)를 제안하였다. 수분지수 영상은 -1에서 1사이의 값을 가지며 1에 가까울수록 물로 판단된다. McFeeters에 의해 제안된 NDWI를 산출하는 식은 식 (3)과 같으며 Xu에 의한 MNDWI는 식 (4)에 의해 계산될 수 있다.

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \quad (3)$$

$$MNDWI = \frac{Green - MIR}{Green + MIR} \quad (4)$$

본 연구에서는 대상지역에 적합한 수분지수를 알아보기 위하여 NDWI와 MNDWI를 각각 적용하고, 두 결과를 비교하였다. Fig. 3은 대상지역의 2001년 영상 일부에 대한 결과로, Fig. 3(a)는 NDWI 영상이며 Fig. 3(b)는 MNDWI 영상이다. 두 영상의 비교를 통해 육

지와 물의 구분이 Fig. 3(a)보다 Fig. 3(b)가 명확한 것을 확인할 수 있다. NDWI와 MNDWI 영상의 히스토그램은 각각 Fig. 3(c)과 Fig. 3(d)이며 히스토그램 분포를 파악하여 두 개의 클래스로 구분하기에 Fig. 3(c)보다 Fig. 3(d)에서 두 그룹으로 분류하기 쉽다. 따라서 본 연구에서는 MNDWI를 이용하여 해안선 추출을 시도하였다.

### 3.3 이진영상으로 변환

생성된 MNDWI 영상은 노부키 오츠가 제안한 오츠(Otsu) 방법으로 자동으로 이진화하였다. 오츠 방법은 영상의 히스토그램이 두 개의 클래스로 분류되었을 때 두 클래스 분산의 비가 최대가 되는 밝기 값을 임계값으로 선택하는 방법이다. 영상의 히스토그램 분포가 바이모달 분포(Bimodal distribution)일 때 적합하며 MNDWI는 육지와 물 부분이 명확하게 구분이 되는 영상으로 히스토그램이 Fig. 3(d)와 같이 표현되므로 오츠의 방법이 적합할 것으로 판단되었다. 오츠의 임계값 설정 방법의 자세한 식은 아래와 같다.

$$p_i = \frac{n_i}{N}, \quad p_i \geq 0, \quad \sum_{i=1}^{N_g} p_i = 1 \quad (5)$$

여기서,  $i$ 는 밝기 값을 의미하며 해당 밝기 값의  $p_i$ 는 상대적인 빈도를 나타낸다. 임계 밝기 값을  $k$ 라고 했을 때  $k$ 는 영상( $I_d$ )의 히스토그램을 두 개의 클래스로 구분한다. 각 클래스는 각자의 발생확률을 갖고 각각의 평균값을 계산할 수 있다.

$$\sigma_b^2 = \frac{[\mu_d \omega(k) - \mu_\omega]^2}{\omega(k)[1 - \omega(k)]} \quad (6)$$

$$\sigma_b^2(k^*) = \max_{1 \leq k \leq N_g} \sigma_b^2(k) \quad (7)$$

오츠 방법의 평가 함수는 식 (6)과 같이 표현할 수 있으며  $\mu_d$ 는  $I_d$ 의 평균값,  $\omega(k)$ 는 0부터  $k$ 까지의 클래스의 확률,  $\mu_\omega$ 는 평균값이다. 최적의 임계값은  $k^*$ 로 표현할 수 있으며  $k^*$ 는  $\sigma_b^2$ 을 최대화할 때의 값이다 (Ilsever and Unsalan, 2012).

NDWI 영상을 오츠의 임계값 설정 방법을 통해 변환하여 Fig. 3(e)와 같은 결과를 얻을 수 있었으며, MNDWI 영상은 Fig. 3(f)와 같은 결과를 얻었다. Fig. 3(e)은 육지와 해수의 구분이 잘 이루어지지 않았으며 Fig. 3(f)는 육지와 해수가 명확하게 구분되었다. 이는

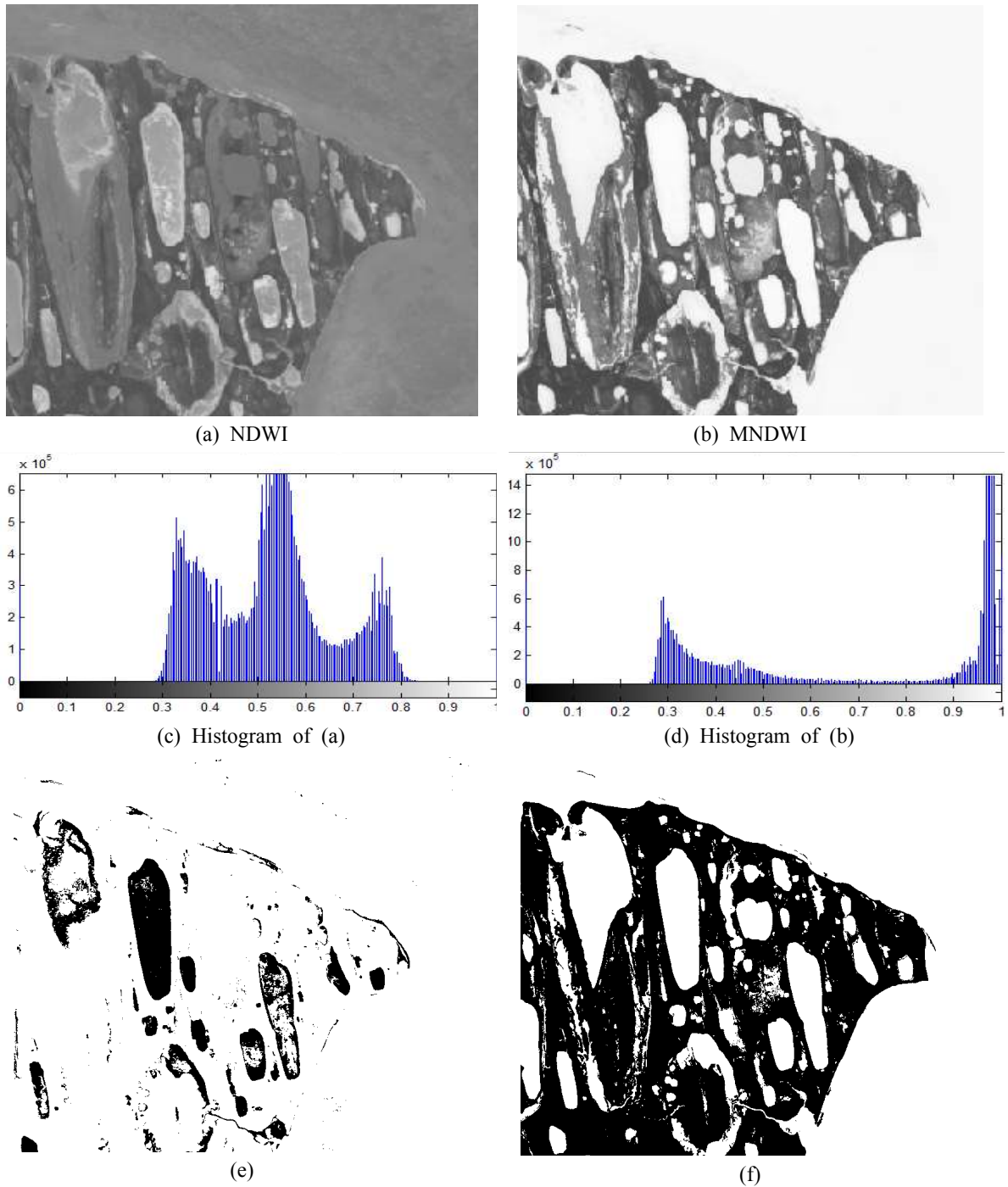


Figure 3. The results of NDWI and MNDWI of the study area

NDWI의 히스토그램 (Fig. 3(c))에 비하여 MNDWI의 히스토그램(Fig. 3(d))의 분포는 이분분포에 근접하여 오프셋방법에서 최적의 임계값을 찾기 적합하다는 것을 확인할 수 있게 하였다.

3.4 내륙수(inland water) 와 도서지역의 제거 변환된 이진 영상에서 자동으로 해안선만을 추출하기 위해서는 내륙에 존재하는 물과 섬을 제거해야 한다. 먼저 내륙수를 제거하기 위하여 영역 채우기 (Region filling)를 이용하였다. Fig. 4(a)이 변환된 이진 영상이며, 표시된 A 영역은 앞서 언급된 Fig. 3(f)에

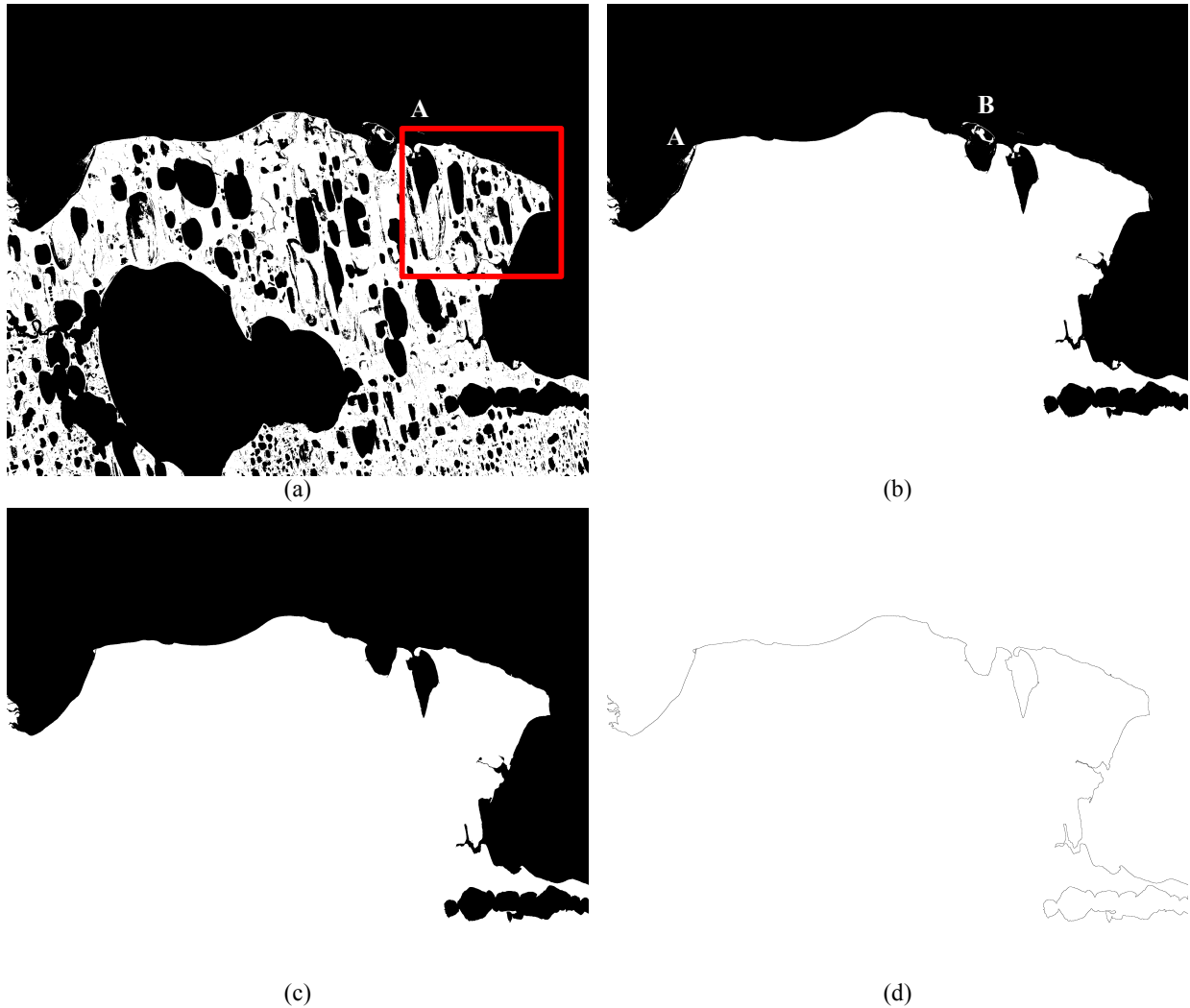


Figure 4. The result of coastline extraction

해당한다. Fig. 4(a)에서 영역 채우기를 하여 내륙수가 제거된 영상은 Fig. 4(b)이다. 내륙수가 제거된 영상 (Fig. 4(b))에 다시 영역 채우기를 하여 도서지역을 제거하였다. Fig. 4(c)는 두 번의 영역 채우기를 통해 내륙수와 도서지역이 제거된 영상이다. 해당 지역은 내륙수에 비해 섬이 많지 않으나 Fig. 4(b)의 A와 B위치의 지역이 Fig. 4(c)에서 제거된 것을 확인할 수 있다.

### 3.5 Canny 에지 검출 알고리즘을 이용한 해안선의 추출

내륙수와 도서지역이 제거되어 육지와 해수로 구분된 이진영상에 Canny 에지 검출 알고리즘을 적용하여 해안선을 추출하였다. Canny 에지 연산자는 한 영상소에 대해 밝기 값의 변화가 가장 큰 방향에 있는 주변 영상소와 비교하여 이웃 영상소들의 기울기 값이 클 경우 에지로 분류하는 방법이다. 다양한 에지 검출 방법

중에서 Canny 에지 연산자는 가장 정확하게 정의된 연산자로 폭넓게 이용되고 있다. 이 방법은 일반적인 에지 검출 연산자의 성능평가 기준이 되는 에지 검출의 효율성, 검출에지의 국부성, 하나의 에지에 대한 단일 대응성 등의 측면에서 가장 최적화된 에지 검출방법으로 인식되고 있다(Choi, 2007). Fig. 4(c) 영상에 Canny 에지 검출 알고리즘을 적용하여 얻어진 해안선은 Fig. 4(d)와 같으며 추출된 해안선은 원본 LANDSAT 영상과 같은 좌표계를 갖는 geotiff 형식으로 저장하였다.

### 3.6 해안선 변화 탐지

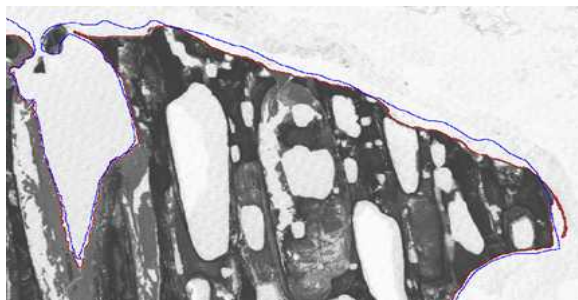
다중 시기의 영상에 대해 동일한 방법을 적용하여 해안선을 추출한 뒤, Heo 등(2009)이 제안한 버퍼링 기법을 적용하여 추출된 해안선의 변화 정도를 파악하였다. 버퍼링 기법은 여러 개의 버퍼를 이용하여 선형적 대상물의 거리를 결정하는 방법이다. 기준이 되는 선으

로부터 버퍼 크기에 따라 비교 대상 선형물이 각각의 버퍼 내에 차지하는 비율을 누적분포곡선으로 나타내고, 이 누적분포곡선에서 비선형 최소제곱방법을 이용하여 통계적인 변수인 평균과 표준편차 값을 도출한다. 평균값은 두 선 사이의 거리를 의미하며 표준편차는 형태의 유사성을 나타내는 척도로 사용된다.

$$p(x) = \frac{\text{Length of segments within a buffer}}{\text{Total length of current coastline}} \quad (8)$$

버퍼링 기법을 적용하여 대상 지역의 변화를 탐지한 결과는 Fig. 5와 6을 통해 확인할 수 있다. 가장 오래된 영상인 1985년 영상에서 추출된 해안선을 기준으로 비교하여 해안선 침식을 정량화하였다. Fig. 5(a)는 1985년 MNDWI 영상에서 추출된 해안선과 2011년 영상에서 추출된 해안선을 중첩한 그림이며 Fig. 5(b)는 각 영상에서 추출된 해안선을 나타낸다. LANDSAT TM과 ETM+의 공간해상도가 30m인 것을 고려할 때 Fig. 5(a)에서 가지적으로 보이는 극명한 차이는 해안선의 변화가 매우 크게 일어난 것을 보여준다고 할 수 있다.

Fig. 6은 1985년 영상을 기준으로 해안선의 이동거리를 나타낸 도표로 x축은 년도를, y축은 해안선이 후퇴한 거리를 나타낸다. 이동 거리를 분석한 결과 해안의 침식 정도가 점점 증가하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 1985년부터 2011년까지의 26년 동안 해안선은 약 166m가 후퇴했고 26년간의 전체 후퇴율은 연간



(a) comparison of coastlines between 1985 and 2011



(b) Extracted coastlines

Figure 5. The results of experiment

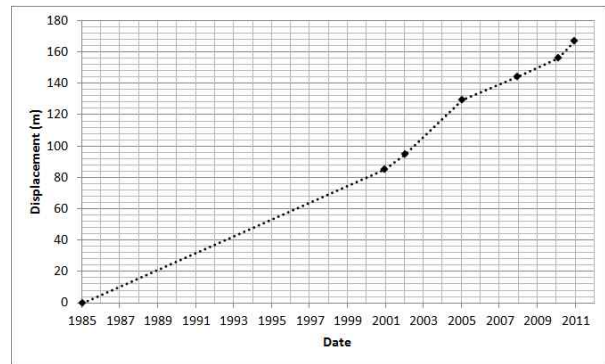


Figure 6. The moving displacement of coastlines in the study area

6.4m이다. 그러나 2010년부터 2011년 사이에는 13m가 후퇴하였다. 2010년부터 2011년 사이에 13m가 후퇴한 것은 전체 후퇴율과 비교하면 매우 빠른 속도이며 1985년에서 2001년까지 약 85m가 후퇴하여 이 기간 동안 평균 후퇴율이 연간 5.3m인 것에 비하면 2배를 상회하는 수치이다. 이는 Mars(2007)이 1955년부터 2005년까지 50년간 알래스카 북극 해안의 침식 속도가 약 두 배 빨라졌다는 결과와 상응하며, 해안의 침식이 최근 가속화되고 있음을 확인할 수 있다.

### 3.7 해안선 추출의 비교

추출된 해안선의 정확도를 파악하기 위해 MRLC (Multi-Resolution Land Characterization)에서 제공하는 NLCD(National Land Cover Database) 자료와 비교하였다. MRLC은 광범위한 국가차원의 환경·토지 관리·모델링 및 활용에 대한 토지 피복 정보를 생성 및 제공하는 것이 목적인 미국 연방 정부 기관의 조직이며, LANDSAT 영상과 다른 보조 자료를 통해 NLCD를 제작하여 무료로 배포하고 있다.

NLCD는 1992, 2001, 2006년도 자료가 구축되어 있으며 알래스카 지역은 2001년도 자료에만 포함되어 있다. 본 연구에 사용된 2001년 영상으로부터 추출된 해안선과 알래스카의 NLCD 2001 자료와 중첩 비교하였다. Fig. 7(a)는 알래스카 전역에 대한 NLCD 2001이며 Fig. 7(b)는 연구대상지역의 NLCD 2001과 2001년 영상에서 추출된 해안선을 중첩한 그림, Fig. 7(c)는 동일 해안선과 해안선 추출에 사용된 2001년 MNDWI 영상과 중첩시킨 그림이다. Fig. 7(b)에서 보이는 바와 같이 추출된 해안선과 토지 피복 자료는 상당히 유사한 결과를 나타냄을 확인할 수 있었다. 2001년 LANDSAT 영상을 통해 추출된 해안선과 NLCD 2001 자료로부터 해안선을 추출하여 버퍼링 기법을 적용해본 결과, 두

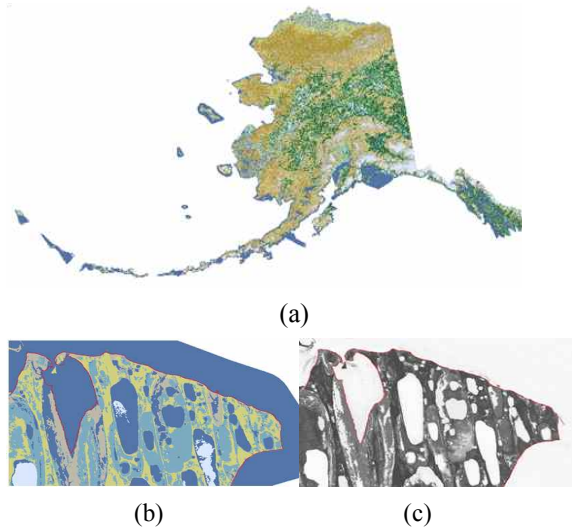


Figure 7. Comparison extracted coastline with NLCD 2001

해안선의 평균거리는 약 1.4픽셀, 표준편차 약 1.5픽셀이며 이를 통해 두 해안선의 유사성을 확인할 수 있다. 영상 좌측의 일부 지역에서 다소의 오차를 보이는 것으로 나타났으나, 이는 대상지역의 변화가 실질적인 토양 유실이 아닌 계절적 변화에 따라 영구동토층의 활성층(Active layer)의 해빙에 의해 일시적으로 발생한 내륙수에 의한 것으로 영상이 찍힌 시기에 따라 드러나는 지표면의 차이가 오차를 유발한 것으로 예상된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 자동으로 해안선을 추출하기 위해서 수분지수를 활용하여 물과 육지의 대조를 극대화하였으며, 해안선을 자동으로 추출할 수 있도록 자료의 질을 향상시켰다. 수분지수로 변환된 영상에서 자동으로 물과 육지를 분할하기 위하여 적정 임계값을 자동으로 찾을 수 있도록 영상처리 기법을 적용하였고, 경계선 검출 알고리즘을 통하여 해안선을 추출하였으며 추출된 해안선으로 변화를 탐지하는 방법론을 제시하고자 하였다. 자동으로 물과 육지를 분할하고 경계선을 찾는 영상처리 기법은 다른 자료의 도움 없이 LANDSAT 영상만을 이용하여 적용될 수 있으며 추출된 해안선 또한 기준자료로 이용된 NLCD 자료와의 비교를 통해 유사하다는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구에서 제안된 해안선 추출 알고리즘을 적용한 결과, 알래스카 북쪽 해안의 해안선이 자동으로 추출되었고 그 변화를 정량화할 수 있었다. 특히 사례 연구를 통해서 연구 대상지역 해안선의 후퇴가 가속화하고 있다

는 것을 명백히 확인할 수 있었다. 1985년부터 2001년까지의 약 16년 동안 연간 5.3m의 속도로 후퇴한 것으로 추정되었고, 2001년부터 2011년까지의 10년간 해안선의 연간 후퇴율은 8.1m, 2010년부터 2011년까지 1년 동안 대상지역의 해안선은 약 13m 후퇴한 것으로 추정되었다. 이는 대상지역에 대한 Mars(2007)의 기존 연구 결과와 상응하며 해안 침식의 가속화가 증가하는 경향을 보여주었다.

본 연구는 접근이 어려운 지역에 적용하여 위성영상만을 이용하여 해안선을 추출할 수 있다는 장점이 있으며, 대상 지역에 대한 사전 지식 없이도 성공적인 해안선을 추출할 수 있다. 그러나 본 연구에 사용된 LANDSAT은 공간해상도가 30m 이므로 향후 더 정확한 해안선 추출을 위한 다른 제원과의 혼합 및 고해상도 영상의 활용을 고려해야 할 것이다. 또한 본 연구에 사용된 버퍼링 기법은 변화의 양을 절대적인 값으로만 파악할 수 있으므로 변화 탐지 방법의 개선이 필요하며 향후 기 문제점을 보완하는 연구가 필요할 것으로 보인다.

#### 감사의 글

본 연구는 소방방재청의 방재개념을 고려한 사회분야별 기술·정책 프레임워크 개발 [과제번호:NEMA-자연-2012-56]의 지원에 의해 수행되었습니다.

#### References

1. Bruce, C.M. and Hilbert, D.W., 2006, Pre-processing Methodology for Application to Landsat TM/ETM+ Imagery of the Wet Tropics, CSIRO Tropical Forest Research Centre and Rainforest CRC.
2. Choi, Y., 2007, A study on a face recognition and a performance comparison by Threshold change of Canny edge operator, Master's Thesis, Graduate school of Information Contents, Kwanwoon University.
3. Heo, J., Kim J.H., Kim J.W., 2009, A new methodology for measuring coastline recession using buffering and non-linear least squares estimation, International Journal of Geographical Information Science, 23(9), pp.1165-1177.
4. Ilsever, M. and Unsalan, C., 2012, Two-Dimensional Change Detection Methods: Remote Sensing Applications (SpringerBriefs in Computer Science), Springer.
5. INSTAR(Institute of Arctic and Alpine Research),



- 2008, Alaskan Coastal Erosion <http://instaar.colorado.edu/galleries/arctic-coastal-erosion>
6. IPCC, 2007, Climate Change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, New York.
  7. Lee, J.S. and Jurkevich, I., 1990, Coastline Detection and Tracing in SAR images, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 28(4), pp.662-668.
  8. Liu, H. and Jezek, K.C., 2004, Automated extraction of coastline from satellite imagery by integrating Canny edge detection and locally adaptive thresholding methods, International Journal of Remote Sensing, 25(5), pp.937-958.
  9. Mars, J.C., and Houseknecht, D.W., 2007, Quantitative remote sensing study indicates doubling of coastal erosion rate in past 50 yr along a segment of the Arctic coast of Alaska, Geology, 35(7), pp.583-586.
  10. Mars, J.C., Garrity, C.P., Houseknecht, D.W., Amoroso, L., Mears, D.C., 2005, Digital-Elevation and Surface-Classification Maps of the Fish Creek Area, Harrison Bay Quadrangle, Northern Alaska, U.S. Geological Survey Open-File Report: 2005-1192.
  11. McFeeters, S.K., 1996, The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features, International Journal of Remote Sensing, 17(7), pp.1425-1432.
  12. MRLC, National Land Cover Database 2001, <http://www.mrlc.gov/nlcd2001.php>.
  13. NASA, Landsat 7 Science Data Users Handbook, <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov>
  14. Ouma, Y. O. and Tateishi, R., 2006, A water index for rapid mapping of shoreline changes of five East African Rift Valley lakes: an empirical analysis using Landsat TM and ETM+ data, International Journal of Remote Sensing, 27(15), pp.3153-3181.
  15. Pardo-Pascual, J.E., Almonacid-Caballer, J., Ruiz, L.A., Palomar-Vazquez, J., 2012, Automatic extraction of shorelines from Landsat TM and ETM+ multi-temporal images with subpixel precision, Remote Sensing of Environment, 123, pp.1-11.
  16. Qiao, C., Luo, J., Sheng, Y., Shen, Z., Zhu, Zhiwen., Ming, D., 2012, An Adaptive Water Extraction Method from Remote Sensing Image Based on NDWI, Indian Society of Remote Sensing, 40(3), pp.421-433.
  17. Silver, J., 2008, Global Warming and Climate Change Demystified, McGraw Hill Professional.
  18. Xu, H., 2006, Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery, International Journal of Remote Sensing, 27(14), pp.3025-3033.
  19. Zhang X., Lan, Q., Muhammad, H.A.B., 2012, Automated detection of coastline using Landsat TM based on water index and edge detection methods, 2012 Second International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications.