

LiDAR 데이터를 이용한 해안선 추출 알고리즘 개발

Development of Shoreline Extraction Algorithm using Airborne LiDAR Data

위광재¹⁾ · 정재욱²⁾

Wie, Gwang-Jae · Jeong, Jae-Wook

Abstract

Shoreline changes its shapes and attribution dynamically by natural, unnatural acts and is the most information for country. These shorelines can apply to framework data of MGIS (Marine Geographic Information System), and they are getting important to implement a phase of monitoring around coastal areas.

This study proposed an algorithm automatically extracting shorelines to use a new developed LiDAR (Light Detection And Ranging) data which is applying in ocean and coastal areas. Then, in result, it was compared to shorelines which is derived from ground survey. In result, it shows stable shorelines in various coast areas such as nature, artificial coast. Additionally, and a possibility of shoreline extraction through LiDAR data.

Keywords : LiDAR, Shoreline, Airborne Laser Surveying, Shoreline extraction algorithm

초 록

해안선은 자연적, 인위적 행위에 의해 끊임없이 그 형상과 특징이 변화하며, 국토를 규정하는 중요한 정보이다. 이러한 해안선은 해양지리정보체계에서 기본정보(Framework Data)로 활용이 되며, 해안 지역의 모니터링 체계를 구축하는데 있어서 그 중요성이 날로 증가하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 최근 개발되어 해양 및 해안 분야에 적용되고 있는 LiDAR 데이터를 이용하여 자동으로 해안선을 추출할 수 있는 알고리즘을 제안하고 그 결과를 지상측량을 통해 얻어진 해안선과 비교하였다. 본 연구의 제안한 알고리즘을 적용하여 항공 LiDAR 데이터를 이용한 해안선을 추출한 결과, 인공 및 자연 해안지역 등 다양한 지형에서 현행 지상측량과 비교를 하였을 때, 안정된 결과를 도출하였으며, 항공 LiDAR 데이터를 이용하여 효율적인 해안선 추출의 가능성을 보여주었다.

핵심어 : 라이다, 해안선, 항공레이저측량, 해안선 추출 알고리즘

1. 서 론

해안지역은 해양과 육지가 연결되는 지역으로 간척지 건설, 관광자원 개발 등과 같은 인공적인 이유나 태풍, 해일 등과 같은 자연재해 등으로 인하여 항상 역동적이고 끊임없이 변화하고 있다. 또한 해안지역에 있어서 각종 개발과 자연재해 등의 끊임없는 변화에 대한 자국 영해의 과학적인 관리체계를 위하여 해안선에 관심이 집중되고 있다. 그러나 지금까지의 해안선 조사 및 측량 방법에 있어서는 기준점측량, 수준측량, 수심측량, 지형측량, 조석

관측 등의 현지조사만으로 이루어져 조사시간과 비용이 막대하게 소요되고 있는 실정이다. 또한 해안절벽과 도서 지역에 있어서의 접근이 용이하지 않은 관계로 많은 제약이 따르고 있는 실정이다.

최근 들어 원격탐사 센서의 개발과 발전에 따른 해안 지역의 공간정보 획득이 용이해지고 있으며, 특히 항공레이저측량은 지상의 3차원 좌표를 조밀하고 정밀하게 취득함으로써 지도제작 등 다양한 분야에 활용이 가능하다. 항공레이저측량의 장점은 높은 효율성과 정확도에 있으며, 레이저 스캐너는 능동센서 시스템이므로 기후에 관계

1) 정희원 · 성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사과정 수료 · 한진정보통신 GIS사업부문(E-mail: gjwe@hist.co.kr)

2) 정희원 · 한진정보통신 GIS 사업부문(E-mail: jwjeong@hist.co.kr)

없이 주야로 자료획득이 가능하며 스캐너로부터 지표면까지 거리를 직접 산출할 수 있으므로 고밀도의 위치정보를 신속하게 취득이 가능하다.

특히 접근이 어려운 해안지역의 높이정보나 영상정보를 효과적으로 취득하여 각종 지도제작에 효과적으로 이용할 수 있다.

항공레이저측량을 통해 획득되는 LiDAR 데이터를 해양 분야에 적용한 기존 연구를 살펴보면, Gomes-Pereira (1999)등은 LiDAR 데이터를 이용하여 하천 관리를 위해 요구되는 지형정보 및 하천경계의 기록정보의 복원 가능성을 연구하였으며, Gutierrez(2001)등은 LiDAR 데이터를 이용하여 폭풍 전후의 해안지역의 침식 및 취약지역의 평가에 대한 연구를 수행하였다. 또한 Jason(2002)등은 North Carolina, Cape Hatteras지역에 대해 LiDAR 데이터를 이용하여 해안 언덕(coastal dune)의 공간적 특성과, 해상도, 부피변화에 대해 연구하였으며, Stephen(2003)등은 LiDAR로부터 제작된 DEM을 이용하여 North Carolina 해안에 대한 형태학적 변화를 연구하였다. Brzank(2005)는 해안지역의 LiDAR 데이터에 HPT(hyperbolic tangent function)을 적용하여 자동으로 평행구조선을 추출한 바 있다.

본 연구에서는 항공레이저측량을 통해 획득된 LiDAR 데이터를 조석관측을 통해 계산된 약최고고조면(Approximate Highest High Water)을 높이 기준으로 하고 있는 해안선을 자동으로 추출하는 알고리즘을 제안하고자 한다. 또한 연구 지역에서 획득된 데이터를 적용하여 추출된 결과와 현재 활용하고 있는 현지조사와 측량방법으로 추출된 해안선 결과와 비교하여 개발한 알고리즘을 평가하였다. 개발된 알고리즘을 인공 및 자연 해안선 추출 등 다양한 형태의 해안지역에 적용하였으며, 특히 LiDAR 데이터를 이용한 해안선 추출의 안정성과 적합성 등을 분석하였다.

2. 해안선 추출

본 연구에서는 LiDAR 데이터를 이용하여 해안선을 추출하기 위하여 원시 LiDAR 데이터로부터 후보점 추출, 경향점 추출, 해안선 추출의 3단계로 처리하였다. 후보점 추출은 해안선으로 예측되는 지점의 좌표를 추출하는 단계로 연구지역에 임시 검조소를 설치하여 조석 관측을 통해 획득된 약최고고조면을 기준 높이로 추출하게 된다. 경향점 추출은 해안선 후보점의 분포와 방향을 결정하는

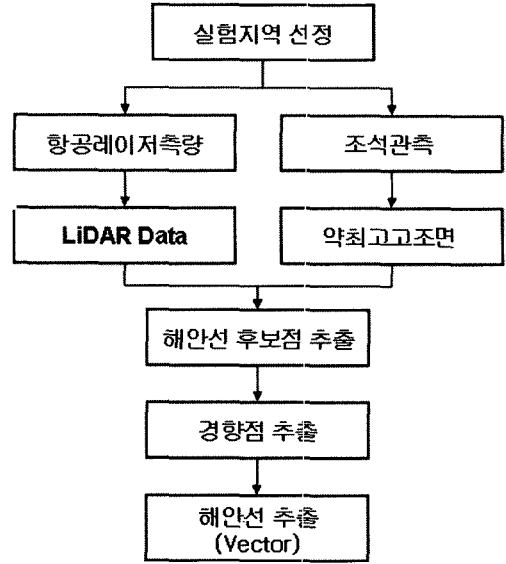


그림 1. 해안선 추출 연구 흐름도

단계로 실제 해안선의 모습을 개략적으로 표현한다. 해안선 추출 단계는 경향점을 기본으로 세밀화 하여 실제의 해안선에 근접시키는 단계로 반복적으로 처리된다. 그림 1은 본 연구에서 제안한 알고리즘으로 LiDAR 데이터를 이용하여 해안선을 추출한 과정을 보여주는 흐름도를 제시한 것이다.

2.1 해안선 후보점 추출

해안선 후보점 추출을 위한 첫 번째 단계는 LiDAR point의 인접관계를 규정하는 것으로 본 연구에서는 가상 격자(Pseudo grid)를 이용하여 인접관계를 규정하였다(그림 2 참조).

가상격자라 함은 LiDAR 데이터를 격자로 나누고 격자 내에 포함된 LiDAR point를 다시 정의하여 LiDAR point 좌표를 직접 얻을 수 있으며, 해당 격자 정보 역시 얻을 수 있어 격자형의 장점인 처리 속도를 향상하면서 LiDAR 데이터의 보간 오차를 줄이는 형태의 격자이다(Woosug Cho 등, 2004). 가상격자의 크기는 원시 데이터의 점밀도에 따라 결정되어지며 본 연구의 해안선 후보점 추출을 위해서는 1m를 사용하였다. 각 가상격자 내에는 원시 점밀도에 따라 3~4 점이 포함되며, 각 격자에 포함된 LiDAR point들의 평균을 이용하여 각 격자의 대표 높이가 결정되며 또한 각 점의 좌표를 얻을 수 있다.

해안선을 결정하기 위해서는 높이 기준이 결정되어야

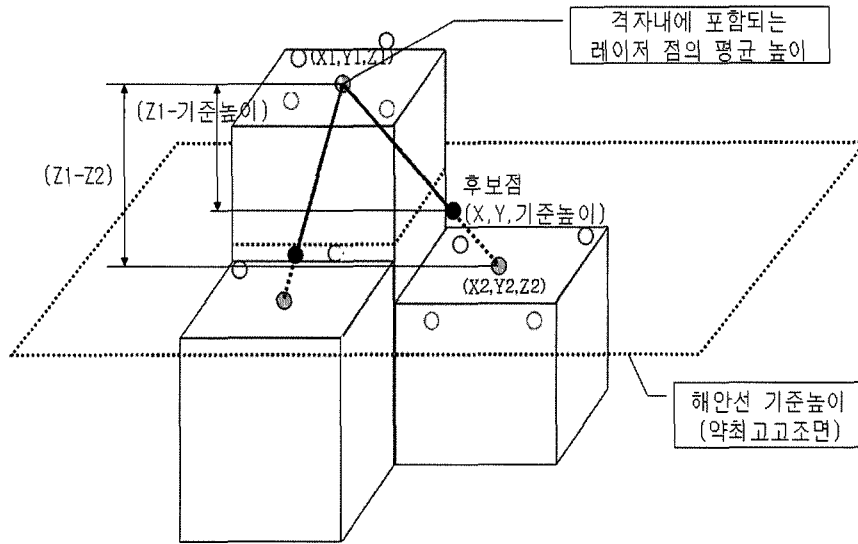


그림 2. 해안선 후보점 추출 알고리즘

하며, 이 높이 기준은 해안선 추출 지역에 대한 일정기간 조석 관측을 통하여 결정된다. 본 연구에서 1개월 동안 임시 검조소를 설치하여 연구 지역에 대한 약최고고조면을 계산하였다.

선정된 높이 기준을 경계값으로 하여 인접 격자를 가로, 세로 방향으로 탐색하여 두 인접 격자의 평균높이 사이에 높이 기준값이 존재하면 두 격자사이의 거리와 높이 비를 이용하여 선형적으로 해안선 후보점 위치를 결정한다. LiDAR 데이터에서 후보점의 위치를 결정하는 식 (1) 과 같다.

$$x = x_1 \pm \left| \frac{(z_1 - \text{기준높이}) \times (x_1 - x_2)}{(z_1 - z_2)} \right| \quad (1)$$

$$y = y_1 \pm \left| \frac{(z_1 - \text{기준높이}) \times (y_1 - y_2)}{(z_1 - z_2)} \right|$$

$$z = \text{기준높이 (약최고고조면)}$$

여기서, X1, Y1, Z1 : 약최고고조면 보다 높은 높이값을 갖는 격자 내에 포함되는 점 데이터들의 X, Y, Z값의 평균.

X2, Y2, Z2 : 약최고고조면 보다 낮은 높이값을 갖는 격자 내에 포함되는 점 데이터들의 X, Y, Z 값의 평균.

2.2 해안선 경향점 추출

해안선 후보점들은 불규칙한 점의 형태로 존재하고 있

다. 이 불규칙한 점의 분포와 방향을 분석함으로써 전체적인 해안선의 형태와 방향을 결정하는 단계가 경향점 추출이다. 경향점은 일정한 간격으로 해안선 후보점을 탐색하여 해안선의 진행 방향을 따라 일정한 순서를 가지고 저장된다(그림 3 참조).

1단계. 후보점을 이용하여 가상격자를 다시 제작하며, 이때 가상격자의 크기는 후보점의 밀도와 최종 해안선의 노드(node)점의 거리를 기반으로 결정한다. 본 연구에서는 5~10m의 격자간격으로 제작하였다.

2단계. 바다의 위치에 따라 탐색 경로를 결정하고 경로에 따라 가로방향 및 세로방향 탐색을 수행하여 경향점을 추출한다. 예를 들어 바다의 위치가 우측에 있다면 우측에서 좌측으로 가로방향 탐색을 실시하며, 각 행에서 처음으로 후보점을 가지는 격자를 판단하여 이 격자 내에서 가장 우측에 존재하는 후보점을 경향점으로 결정한다. 동일한 처리를 행단위로 밑에서 위 방향으로 순차적으로 진행하여 후보점이 존재하면 각 행마다 한 점씩 경향점을 결정한다. 이 경향점들은 밑에서 위 방향으로 순차적으로 추출하였기 때문에 일정한 순서를 가지고 저장된다.

바다의 위치가 좌·우에 존재할 경우, 가로방향 탐색을 우선 실시하며 상·하에 존재할 경우 세로방향 탐색을 우선 실시한다. 각 행을 탐색하는 방향은 바다의 위치가 존재하는 곳에서 반대 방향으로 실시한다.

3단계. 2단계에서 결정된 경향점의 연속성을 비교하여 불연속이라 판단되면 불연속 부분의 해안 지형이 만(灣)

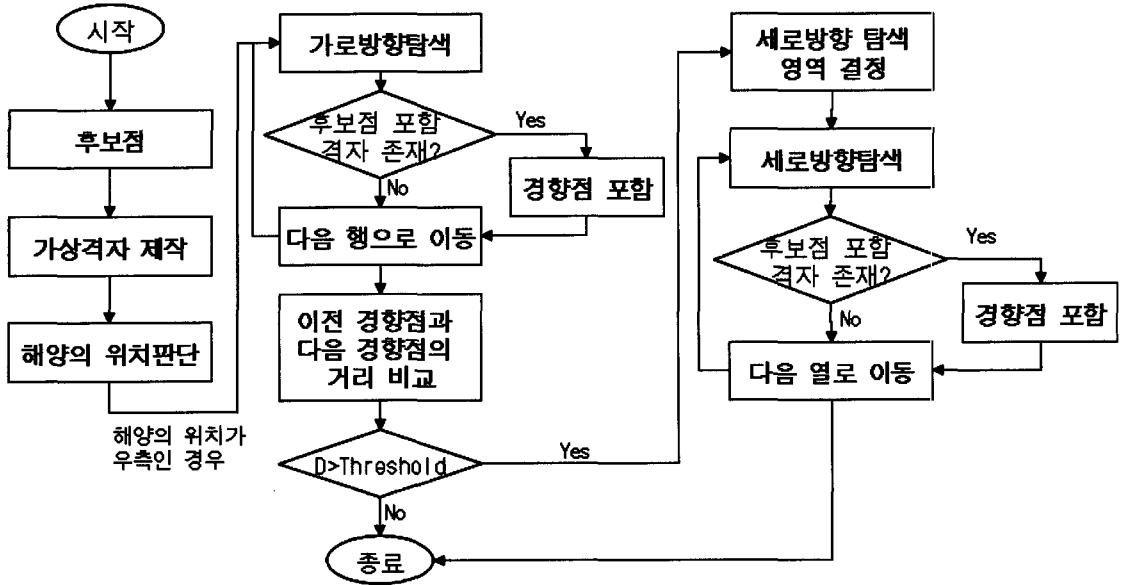


그림 3. 경향점 추출 흐름도

의 형태를 띠고 있는 것으로 판단하여 불연속 부분에 경향점을 추가하는 단계이다.

예를 들어 바다의 위치가 우측일 경우, 불연속 경향점들 간의 연속성을 확보하기 위해서는 세로방향 탐색을 실시한다. 즉, 이전 경향점과 다음 경향점의 x 좌표 차이가 일정한 값 이상이면 해안선이 만(灣)이라고 가정을 하게 되며 x좌표 차이가 음이면 그 행에서 위 방향으로 만(灣)의 형태를 띠고 있다고 판단하고 이전 경향점과 다음 경향점의 열을 기준으로 순차적으로 이동하면서 아래에서 위 방향으로 검색, 처음 만나는 점을 경향점에 삽입한다, 반대로 양이면, 해당 행에서 아래 방향으로 만(灣)이 존재한다고 판단하여 이전 경향점과 다음 경향점의 열을 순차적으로 이동하면서 위에서 아래 방향으로 검색 처음 만나는 점을 경향점에 삽입한다. 바다의 위치가 다르더라도 동일한 과정으로 경향점을 추가하게 된다.

2.3 해안선 추출

경향점은 해안선의 전체적인 방향과 모양을 나타내고 있으나 세밀한 지형부분까지 해안선을 모두 표현하고 있지 않다. 해안선 추출 단계에서는 경향점을 기본으로 세밀화 하여 실세계의 해안선에 근접시키도록 한다.

최종 해안선을 추출하는 방법은 순차적으로 저장되어 있는 경향점의 이전점과 다음점의 중심을 기준으로 일

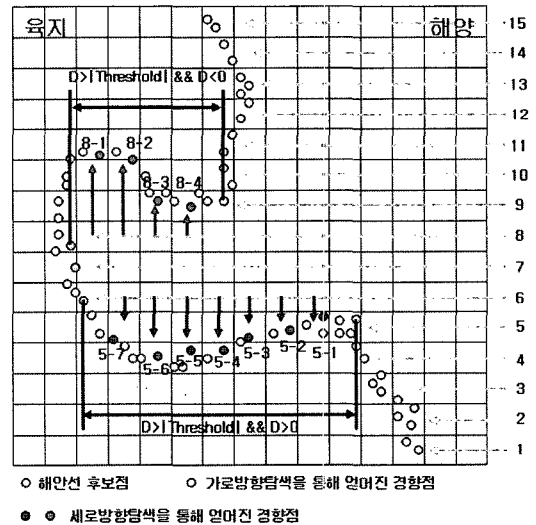


그림 4. 경향점 추출 알고리즘

정한 범위 내에 포함되는 해안선 후보점을 탐색하여 가장 가까운 점을 경향점의 이전 점과 다음 점 사이에 삽입한다. 이와 같은 처리를 수차례 반복하여 사용자가 원하는 해상도로 해안선에 접근할 때 까지 반복하여 처리하였다.

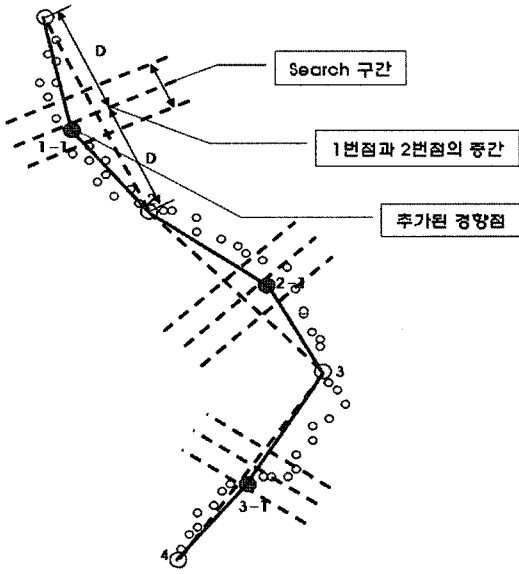


그림 5. 해안선의 세밀화 과정

표 1. LiDAR Data 제한

촬영 날짜	2005.9.9~2005.9.10
촬영 장비	Optech사 ALTM3070
비행 고도	1,400m
주사율	70KHz
주사폭	1000m
중복도	40%
평균 점밀도	3 points/m ²

3. 실험 결과

본 연구에 사용된 LIDAR 데이터는 연구 지역을 대상으로 Optech사의 ALTM 3070 시스템에 의해 2005년 취득되었으며 측량제원은 표 1과 같다.

그림 6은 실험 대상지역의 영상과 LiDAR 데이터로 각 데이터를 중첩하여 보여주고 있다.

3.1 해안선 후보점 추출 결과

대상지역에 대해 격자의 크기가 1m인 가상격자를 생성하였고, 대상지역의 약최고고조면의 높이값인 2.5m을 적용하여 해안선 후보점을 추출하였다. 그림 7은 해안선 후보점 추출 결과를 보여주고 있다.

3.2 경향점 추출 결과

그림 8은 경향점 추출 파라미터인 해양의 위치는 우측,



그림 6. 사용 데이터

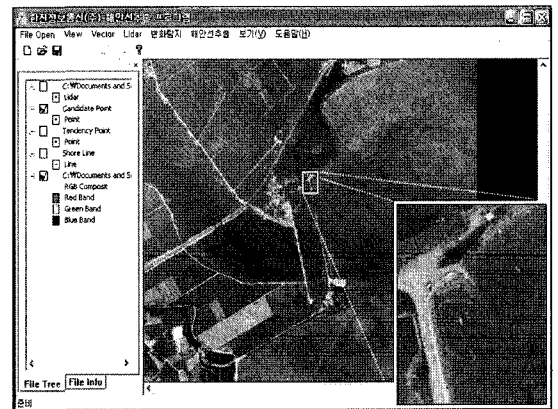


그림 7. 후보점 추출 결과

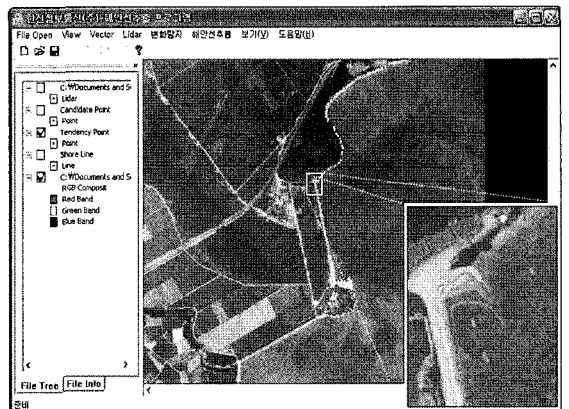


그림 8. 경향점 추출 결과

경향점 추출을 위해 제작된 가상격자의 간격을 10m로 하여 경향점을 추출한 결과이다. 추출한 결과는 해안선의 방향과 위치를 잘 나타내고 있다.

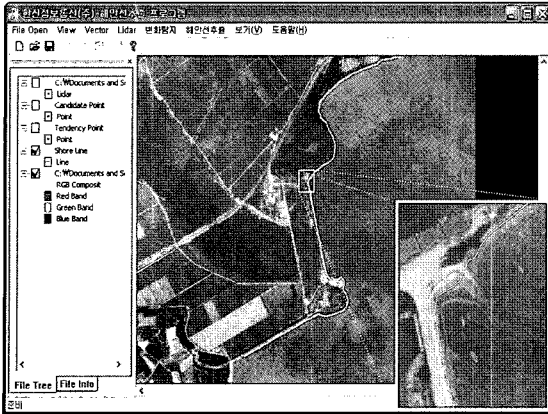


그림 9. 해안선 추출 결과

3.3 해안선 추출 결과

경향점을 기준으로 하여 본 연구에서 제시한 알고리즘을 이용하여 2회의 반복을 통해 해안선을 세부적으로 나타낸 결과이다. 대부분의 위치에서 해안선을 따라 정확하게 벡터가 생성된 것을 알 수 있었다.

3.4 결과 비교

추출된 결과의 정확도를 평가하기 위해 현지측량을 통해 획득한 해안선과 비교하여 위치정확도를 평가하였다. 그 결과 대부분의 지역에서는 해안선이 잘 추출되었지만 방파제와 같은 pier형태의 인공구조물과 매우 복잡한 형태의 지형에서는 상대적으로 그 정확도가 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 현지측량으로 추출하기 어려운 작은 섬이나 접근이 어려운 해안 절벽 지역에 대한 위치탐색 및 해안선 추출이 가능하며 처리 과정이 현지측량을 이용한 경우보다 작업효율성이 높고 경제적임을 알 수 있었다. 연구지역에 대하여 제안한 알고리즘을 적용한 결과는 그림 10과 같으며 노란색 벡터는 본 연구에서 제안한 알고리즘을 이용한 것이며 빨간색 벡터는 육상측량을 통해 얻어진 것이다.

또한 일반 상업용 S/W를 사용하여 등고선 추출을 수행하여 얻은 결과와 비교하였다. 그 결과, 상용 소프트웨어 추출한 결과는 상세하게 해안선은 잘 묘사하지만 노드점이 너무 많아 일반 자연 해안의 경우 smooth처리가 필요할 것으로 판단되며, 등고선 추출 파라미터에 따라 그 결과가 달라지는 단점을 가지고 있었다. 반면 본 연구에서 개발한 알고리즘에 의한 결과는 노드점이 적어 상대적으

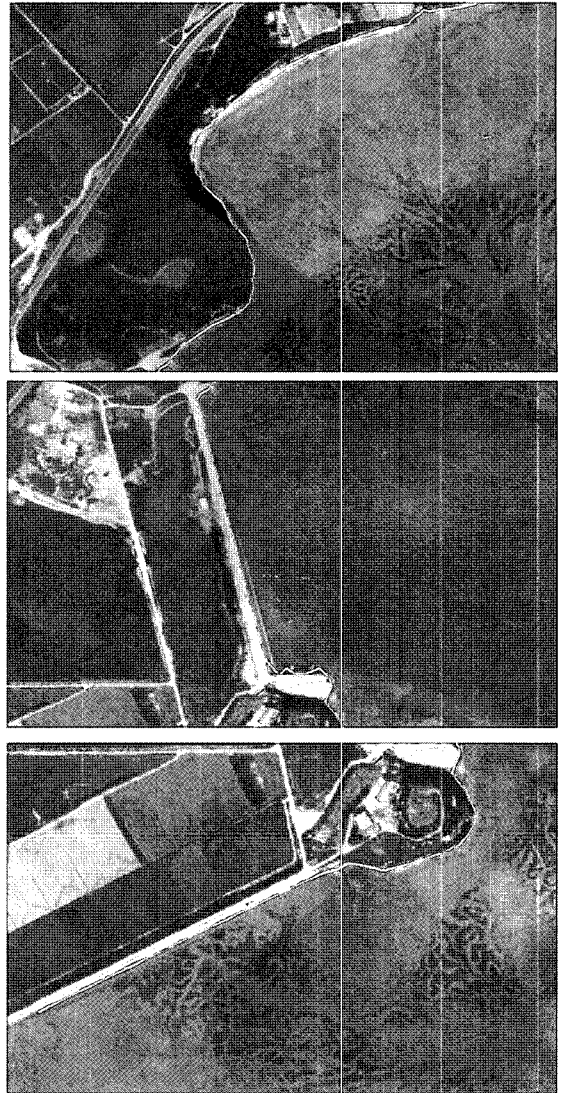


그림 10. 해안선 추출결과 비교(노란색: 제안 알고리즘 적용, 빨간색 : 현지측량)

로 smooth한 결과를 얻을 수 있었으며 파라미터에 민감하지 않은 장점을 가지고 있었다. 그림 11에서 빨간색 벡터는 등고선을 이용하여 추출한 결과이며 연두색 벡터는 본 연구에서 개발된 알고리즘으로 추출된 결과이다.

또한 정량적인 평가를 위해 20개의 측점에 대해서 LiDAR 방식을 이용한 해안선 벡터와 현지측량방법에 의해 얻어진 해안선 벡터를 상대적으로 비교하여 평균 0.75m 표준편차 $\pm 0.48m$ 의 결과를 얻었다.

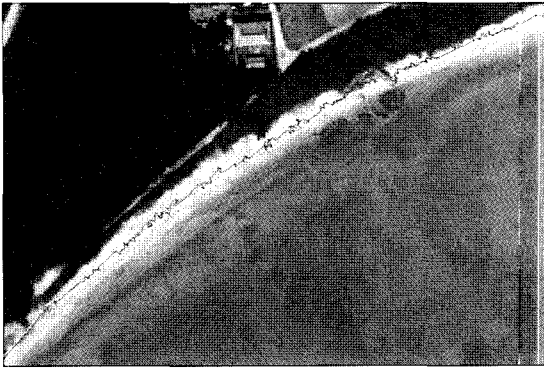


그림 11. 해안선 추출결과 비교(연두색: 제안 알고리즘 적용, 빨간색: 상용S/W)

표 2. 해안선 추출결과 비교

측 점	LiDAR방식 - 현지측량	측 점	LiDAR방식 - 현지측량
1	0.69	11	0.65
2	2.10	12	1.21
3	0.66	13	0.76
4	0.52	14	0.64
5	0.55	15	0.58
6	1.04	16	0.41
7	0.23	17	1.09
8	0.06	18	0.51
9	0.41	19	1.73
10	0.97	20	0.28
최소값	0.06m	최대값	2.1m
평균	0.75m	표준편차	0.48m

4. 결 론

본 연구에서 LiDAR 데이터를 이용하여 자동으로 해안선을 추출하는 알고리즘을 제시하였다. 해안선 추출 알고리즘은 크게 해안선 후보점 추출, 경향점 추출, 최종 해안선 추출로 이루어져 있다. 현지측량을 통한 해안선 추출결과와 비교하여 평균 0.75m, 표준편차 $\pm 0.48m$ 로 대부분의 해안선이 본 연구에서 제시한 알고리즘을 통하여 효율적이고 안정적으로 해안선이 추출되는 것을 볼 수 있었으며, 상용소프트웨어의 등고선 추출 방법을 통한 해안선 추출결과와 비교하여 상대적으로 smooth한 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 방파제 등과 같은 pier 형태의 구조물

이나 매우 복잡한 해안선의 경우 본 알고리즘으로 추출한 결과가 안정적이지 못한 단점을 가지고 있었다. 본 연구에서 개발한 LiDAR데이터를 이용한 자동 해안선 추출은 알고리즘의 보완과 구속조건을 주는 등의 방법을 통해 개선되어야 할 것으로 판단되어지며, 프로그램을 통하여 자동으로 해안선을 추출할 수 있는 가능성을 제시하였다.

참고문헌

- 위광재, 염재홍, 이강원, 김승용 (2002), LiDAR자료를 이용한 연안 해안지역 관리 및 활용에 관한 연구, 대한원격탐사학회 공동 춘계 학술대회 논문집, pp. 66-73.
- 최윤수, 황세열, 서병덕, 위광재 (2004), LiDAR&SHOALS 기술을 이용한 해안선 측량 및 모니터링에 관한 연구, 한국 해양·해양공학회, 한국의 해안선 정립을 위한 Workshop 논문집, pp. 137-144.
- Brugelmann, R. and Bollweg, A.E. (2004), Laser alimentary for river management, In International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXV, B2, Istanbul, Turkey, pp. 234-239.
- Brzank, A., Lohmann, P. and Heipke, C. (2005), Automated extraction of pair wise structure lines using airborne laser-scanner data in coastal areas, ISPRS WG III/3, III/4, V/3 Workshop "Laser scanning 2005", Enschede, the Netherlands, September 12-14.
- Jason W. and Jeffrey D. (2002), Spatial characterization, resolution, and volumetric change of coastal dunes using airborne LIDAR: Cape Hatteras, North Carolina. *Geomorphology* 48, 269-287.
- Gomes-Pereira, L. and Wicherson, R. (1999), Suitability of laser data for deriving geographical information - a case study in the context of management of fluvial zones, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 54, 105-114.
- Stephen A. Yong Wang (2003), Utilizing DEMs derived from LIDAR data to analyze morphologic change in the North Carolina coastline. *Remote Sensing of Environment* 85, 39-47.
- Roberto Gutierrez, James C., Rebecca C. Tiffany L., John R. (2001), Precise Airborne LIDAR Surveying For Coastal Research and Geohazards Applications. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXIV-3/W4 Annapolis, MD.
- Webster T. Forbes D. Dickie S. Shreenan R. (2004), Using topographic lidar to map flood risk from storm-surge events for Charlottetown, Prince Edward Island, Canada, *Canadian Journal for Remote Sensing*30-1, 64-76.
- Woosug Cho, Yoon-Seok Jwa, Hwi-Jeong Chang and Sung-Hun Lee (2004), Pseudo-Grid Based Building Extraction Using Airborne LIDAR Data, 20th ISPRS Congress, Istanbul, unalienated CD-ROM.

(접수일 2006. 5. 3, 심사일 2006. 5. 15, 심사완료일 2006. 5. 25)