

항공라이다데이터를 이용한 해안선 추출 Coastline Extraction from Airborne LiDAR Data

김성준¹⁾ · 이임평²⁾ · 김용철³⁾ · 정 현⁴⁾

Lee, Impyeong · Kim, Seongjoon · Kim, Yongcheol · Cheong, Hyun

¹⁾ 서울시립대학교 대학원 지적정보학과 석사과정(E-mail:sinus7953@uos.ac.kr)

²⁾ 서울시립대학교 도시과학대학 지적정보학과 조교수(E-mail:iplee@uos.ac.kr)

³⁾ 해양수산부 국립해양조사원 측량과 측량과장(E-mail:kyc@nori.go.kr)

⁴⁾ 해양수산부 국립해양조사원 측량과 해안선담당(E-mail:hyun@nori.go.kr)

Abstract

Coastline has been considered as fundamental geographic information of a nation. Recently, the coastlines of higher resolution and accuracy with less update period ever than before are increasingly required. This requirement cannot be easily satisfied with the most traditional methods based on field survey such as leveling or GPS measurements. The newly developed airborne LIDAR system can be used as a promising alternative since it rapidly acquire numerous three-dimensional points densely sampled from the terrain around the coastline. Hence, in this study we developed a nearly automatic method to extract the coastline from LIDAR data and applied it to real data to verify its performance. From the comparison of the extracted coastlines with those from a digital map, we conclude that the proposed method can provide more accurate and precise lines.

1. 서 론

항공 LiDAR는 항공에서 발사한 레이저펄스가 공간상의 한 지점에서 반사되어 돌아오는 시간과 거리를 계산함으로써 3차원의 정확한 위치를 결정하는 시스템이다. 신속한 취득, 높은 점밀도와 정확도 등의 장점으로 인해 육상측량부분에서 라이다데이터의 활용이 다양화되고 증가하고 있는 추세이다. 이에 따라 해양 부분에서도 기술도입을 위한 시범사업을 통해 실용성을 검증하고 있다. 지상은 단기간 동안 많은 변화가 없는 반면에 해안은 조석, 파랑, 해면기압 등의 원인으로 많은 변화를 나타낸다. 따라서 해안에 관련된 자료를 정확하고 신속하게 수집하여 최신의 자료로 갱신하는 것은 중요하다. 이를 위해 항공라이다와 같은 신기술을 도입하고, 기존의 방법과 비교하여 효율성을 평가할 필요성이 제기되고 있다.

해양부분측량의 대표적 대상인 해안선은 종래에는 수준측량이나 GPS측량(장호식 등, 2003) 등의 현지측량을 기반으로 실시하였다. 현지측량을 통해 취득한 해안지역의 조밀한 3차원 좌표로부터 해안선의 고도에 해당하는 등고선을 추출함을 통해 해안선을 결정하였다. 기존에 현지측량에 기반한 방법은 1) 군사시설, 해안절벽, 갯벌과 같은 접근이 불가하거나 곤란한 지역의 데이터를 얻는데 어렵고, 2) 보다 정교한 해안선을 결정하기 위해 조밀한 3차원 좌표를 취득하기에 비용과 시간이 많은 소요된다는 단점이 있다. 또한, 최근 들어 항공사진을 이용한 방법(조주환 등, 2001; 정승진 등, 2003)들을 제시하였다. LIDAR 데이터는 항공측량을 통해 모든 지역의 데이터를 보다 신속하고 조밀하게 취득할 수 있기 때문에 기존의 방법을 대체하거나 보완하는 용도로 효과적으로 활용될 수 있다.

이에 본 연구는 LiDAR 데이터를 이용하여 해안선을 추출하는 효율적인 방법을 제시하고 제시된 방법을 실측데이터에 적용하고 수치지도에서 추출한 해안선과 정략적인 비교를 통한 검증을 수행함을 목표로 하였다. 본 논문은 제시된 방법과 실험을 통해 검증한 결과를 개략적으로 소개하고 있다.

2. 해안선 추출 방법

본 연구에서 제시하는 해안선 추출 방법은 그림 1과 같이 라이다데이터와 조석데이터를 입력으로 하여 거의 자동화된 과정을 통해 해안선을 추출한다. 라이다데이터는 항공기에서 라이다를 이용하여 간조 시에 해안선을 따라 지표물을 조밀하게 측정된 3차원 점의 집합이며, 조석데이터는 해안선 부근에 임시로 설치된 검조소에서 얻어진 해안선의 기준이 되는 약최고고조위면의 고도데이터이다. 라이다데이터는 보정, 이상점제거, 정표고변환을 거쳐 본 연구에서 필요로 하는 데이터로 가공하여야 한다. 가공된 라이다데이터는 임시검조소에서 획득하여 결정된 약최고고조위면의 높이 만큼 차감과정을 거치고, 차감된 고도를 격자화하여 지표의 DEM(Digital Elevation Model)을 생성한다. 간조 시의 지표의 DEM에는 해안선이 포함되기 때문에 DEM에서 약최고고조위면에 해당하는 등고선을 추출함을 통해 해안선을 결정한다.

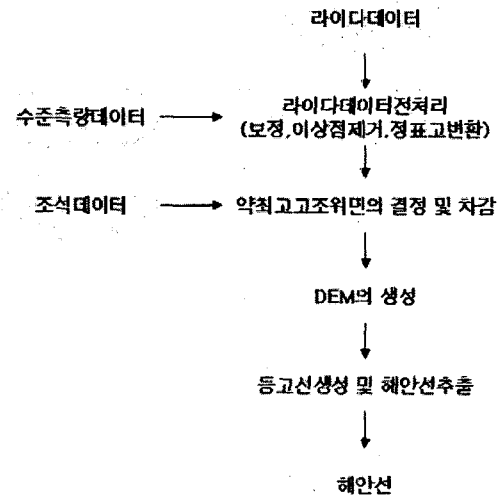


그림 1. 라이다데이터를 이용한 해안선 추출방법

2.1 라이다데이터의 전처리

라이다데이터의 전처리 과정은 크게 보정(calibration), 이상점(Outlier)제거, 정표고변환으로 구성된다.

보정은 라이다데이터에 포함된 시스템적 오차를 제거함으로써 높은 정확도를 가진 데이터를 생성하는 과정이다. 시스템적 오차는 라이다의 하위시스템인 GPS, 관성항법장치(INS), 레이저스캐너(Laser scanner) 등이 개별적으로 발생시키는 물리적인 오차와 이러한 센서를 통합시에 발생하는 통합오차로 구성된다. 이러한 물리적인 오차들은 수학적으로 모델링되고 지상에서 측정된 지상기준점 및 기준면등의 데이터를 이용하여 조정을 통해 오차의 크기를 추정한다. 추정된 오차량을 이용하여 라이다데이터의 개별좌표를 수정하는 과정을 거친다(이임평 등, 2005).

라이다데이터의 이상점은 라이다시스템을 통해 측정된 3차원 점 중에서 간헐적으로 존재하는 실제 물리적 표면에서 측정된 점이라고 보기 어려운 점들을 의미한다. 이러한 이상점들은 라이다데이터를 DEM의 생성, 건물의 추출, 영상과의 융합 등과 같은 여러가지 용도의 활용을 위해 반드시 제거해야 하며, 이것을 제거하기 위해 본 연구에서는 최근에 개발한 점의 상대적 밀도와 절대적 밀도를 동시에 기반한 방법(문지영 등, 2005)을 사용한다.

정표고 변환은 라이다데이터의 고도값은 타원체고(WGS84)로 표현되어있기 때문에 해안선 고도의 기준이 되는 정표고로 변환하는 것을 의미한다. 라이다데이터를 구성하는 3차원 점의 좌표는 GPS를 통해 측정된 레이저펄스를 송신한 지점의 위치를 INS에서 측정한 방향, 레이저스캐너에서 측정한 거리와 조합하여 결정된다. 여기서 GPS로 측정한 위치좌표는 WGS84 타원체를 기준으로 하는 좌표값이다. 이로 인해 일반적으로 라이다데이터의 좌표는 WGS84를 기준으로 하는 좌표값으로 생성된다. 그러나, 해안선은 지구의 중력에너지에 종속되어 영향을 받기 때문에 지오이드면을 기준으로 결정되므로 타원체고로 표현된 라이다데이터의 고도값을 지오이드면을 기준으로 하는 정표고값으로 변환해야 한다. 변환을 위해서는 해안선 추출 대상지역의 지오이드면을 결정해야 하는데 이는 대상지역내의 주요지점에서 수준측량을 통해 결정된 정표고값을 이용하여 결정한다. 결정된 지오이드면을 기준으로 라이다데이터의 고도값을 정표고로 변환한다.

2.2 약최고고조위면의 결정 및 차감

해안선은 육지와 바다의 경계를 나타내는 선을 의미한다. 여기서 해수면의 높이는 조석에 따라 계속적으로 변화되기 때문에, 해안선을 결정할 때 기준이 되는 해수면이 명시되어야 하는데 국내에서는 수로업무법에서 약최고고조위면으로 정의하고 있다. 약최고고조위면은 해안지형과 중력의 크기에 따라 달라지고 이로 인해 지역에 따라 상이하게 나타나기 때문에 해안선 추출의 대상지역에 해당하는 약최고고조위면은 대상지역내에 조석을 관측함을 통해 결정해야 한다. 해안선 주변의 주요지점에서 조석을 관측하여 관측지점의 수평좌표와 관측된 조석데이터를 분석하여 약최고고조위면에 해당하는 평균해수면을 기준으로 하는 정표고값을 산출한다. 즉, 대상지역 전체를 포함하는 격자를 설정하고 각각의 격자점에서 약최고고조위면의 정표고값을 이용하여 결정한다. 이때 격자의 간격은 현지측량한 조석관측지점의 간격을 고려하여 합리적으로 결정한다. 본 연구에서는 해당 격자의 간격을 100 m로 설정하였다.

결정된 약최고고조위면의 정표고값을 라이다데이터의 정표고값에 차감하는 과정을 거친다. 라이다데이터의 수평위치에 따라 차감해야 할 약최고고조위면의 정표고 값은 달라진다. 개별 라이다데이터마다 수평위치에 해당하는 약최고고조위면의 정표고값을 위에서 결정한 약최고고조위면의 격자로부터 보간을 통해 결정하고 이를 개별 라이다데이터의 정표고값에 차감한다. 차감된 라이다데이터의 고도값은 지오이드면을 기준으로 하는 것이 아니라 약최고고조위면을 기준으로 하는 고도값으로 변환된 것이다. 해안선은 변환된 고도값으로써 약최고고조위면을 차감했기 때문에 0 m에 해당되는 점을 연결한 선이 된다.

2.3 수치표고모델(DEM) 생성

DEM은 예를 들어 빌딩이나 나무와 같은 지상위의 다양한 사물을 제외하고 순수하게 지표면만을 3차원으로 표현되는 모델이다. 또는 이를 수치지형모델(Digital Terrain Model)이라고 명시하기도 한다. DEM과 DSM 모두 지상에 설정된 격자의 각각의 격자점에서 측정된 높이를 행렬의 형태로 포함한다.

라이다데이터로부터 1) 불필요한 데이터의 제거, 2) 설정된 격자로부터 보간 과정을 거쳐 DEM으로 생성된다. 여기에서 불필요한 데이터란 라이다로 획득된 많은 양의 점들 중에 지표가 아닌 지상 위의 사물에서 추출되거나 아주 큰 오차를 포함하는 점데이터들은 앞의 과정에서 제거되었기 때문에 사물에서 측정된 점데이터를 말한다. 이러한 점들을 제거하는 방법은 Kilian 등(1996), Kraus 등(1998), Vosselman(2000)등이 제시한 점기반방법(point based approach)등이 있다. 점기반방법은 주어진 대량의 점데이터들에서 각각의 점데이터를 개별적으로 시험하여 지표면으로부터 측정된 것인지를 결정하는 방법이다. 이러한 시험은 주로 각각의 점데이터와 그 주변의 점데이터들로부터 계산된 국부적인(local) 속성(attributes)에 기반한다. 이러한 방법들에 포함된 문제점을 해결하기 위해 최근에 Lee (2004a)이 제시한 패치기반의 방법을 사용하는 것이 바람직하다. 그러나 해안선 주변에는 위와 같은 지상 구조물 등이 많지 않기 때문에 자동으로 제거하지 않고 육안검사를 통해 수동으로 제거하는 방법이 정확도 측면에서 더 바람직하다.

이러한 방법으로 순수하게 지표에서 측정된 점들로부터 DEM을 생성할 때는 격자의 간격과 보간방법을 적절하게 선택하는 것이 중요하다. 격자의 간격을 설정할 때는 격자를 구성하는 개별 단위에 적어도 3~5점의 데이터가 평균적으로 포함될 수 있도록 설정한다. 이를 통해 하나의 격자점에 해당하는 고도값을 결정할 때는 주변 3~5점 이상의 라이다 점을 함께 고려하여 고도값이 보다 신뢰성 높게 결정되어야 한다.

설정된 격자에서 격자점의 고도값은 해당 격자점 주변의 라이다 점의 고도값으로부터 보간을 통해 결정한다. 보간방법은 Nearest Neighbor, Weighted Average, Krigging 등 여러가지 다양한 방법들이 있다. 다양한 방법들 중에 해안선 추출을 위한 DEM생성을 위해 가장 적절한 방법을 선택할 때 가장 주의할 것은 지표에 존재하는 Breakline을 보간 후에도 가능한 보존해야 한다는 것이다. Breakline은 해안 절벽이나 방파제와 같은 지형지물로 인해 고도값의 차이가 현저히 나타나는 선형개체를 의미한다. 만약 보간과정을 통해 Breakline이 보존되지 않으면 정확한 해안선을 추출할 수 없게 된다. 위에서 언급한 Weighted Average, Krigging 등의 방법은 격자점의 고도를 결정할 때 Breakline의 좌우에 존재하는 라이다데이터점들 동시에 고려하여 보간하기 때문에 Breakline이 훼손될 가능성이 크다. Breakline이 보존되려면 강인한(robust) 추

정방법인 Least Median Estimation에 기반한 Lee(2004b)이 제시한 방법을 사용하였다.

2.4 등고선생성 및 해안선추출

라이다데이터의 DEM에서 약최고고조위면을 기준으로 고도값이 0인 등고선을 생성한다. 고도값이 0인 등고선인 경우는 여러 가지가 존재할 수도 있다. 예를 들어, 연안 근처에 호수가 있으면 호수의 가장자리를 따라서 고도값이 0인 등고선이 존재할 수도 있다. 이로 인해 고도값이 0인 등고선이 반드시 해안선이 아닐 수도 있다. 만약 고도값이 0인 등고선이 2개 이상 존재한다면 보다 바다 쪽으로 가까운 선을 해안선으로써 결정한다.

3. 추출방법의 적용 및 결과

제시된 추출방법을 함평만에서 취득한 라이다데이터에 적용하여 해안선을 추출하였다. 또한, 추출된 해안선을 수치지도에서 포함된 해안선과 비교하였다. 추출 및 비교의 과정 및 결과를 기술하고 있다.

3.1 해안선추출

시험대상지역에서 취득된 라이다데이터는 9,745,860개의 3차원 점으로 구성된다. 이중에 레이저신호의 첫 번째 반사지점과 마지막 반사지점이 동일함으로 인해 중복되는 점을 제거한 후에 결과적으로 4,894,624개의 3차원 점을 입력으로 사용하였다. 그림 3은 전처리된 라이다 데이터를 나타낸다.

각 지역에 설치된 임시 검조소로부터 관측된 약최고고조위면의 정표고 값과 검조소의 수평좌표는 표 1과 같다. 시험대상지역의 약최고고조위면의 데이터를 격자형태의 데이터로 변환하기 위해서는 먼저 대상지 전체의 임시검조소를 포함하도록 격자의 범위를 설정하여야 한다. 임시 검조소 사이의 거리를 고려하여 실험에서는 100 m로 설정하였다. 설정된 격자점의 약최고고조위면의 정표고값은 임시검조소에서 관측된 약최고고조위면의 정표고값을 보간하여 결정하였다. 최종적으로 생성된 시험지역의 약최고고조위면은 그림 2와 같다. 라이다데이터의 정표고로 표현된 고도값에 각각의 위치에서 보간된 약최고고조위면의 정표고로 표현된 고도값을 차감하여 지오티드면이 아닌 약최고고조위면을 기준의 고도값을 산출하였다.

표 1. 실험지역 임시검조소 데이터

검조소명	수평좌표		약최고고조위면 정표고 [m]
	x [m]	y [m]	
작도	121912	181269	3.3841
점암	123011	177542	2.7857
참도	127456	179721	2.8654
수도	121995	176011	2.7632
송도	127884	171449	2.6276
도리포	140665	184719	3.0932

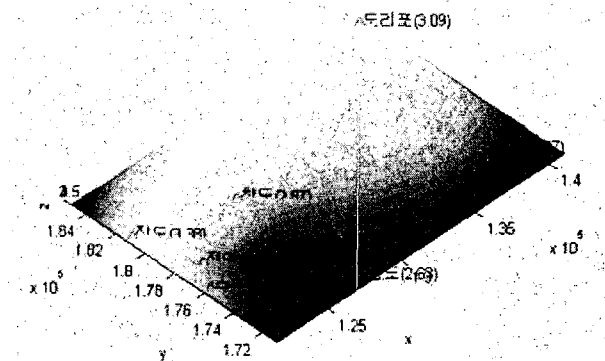


그림 2. 임시검조소의 위치 및 약최고고조위면

라이다데이터의 고도값을 약최고고조위면을 기준으로 변환한 후에 라이다데이터의 해상도를 1 m로 설정하여 DEM을 생성하였다. 그림 4는 생성된 DEM을 나타낸 것이다. 라이다데이터로부터 생성된 DEM으로부터 그림 5와 같은 등고선을 생성하였다. 생성된 등고선으로부터 약최고고조위면을 기준으로 고도값이 0 m이면서 가장 긴 선을 해안선으로 추출하였다. 추출된 해안선은 그림 6과 같다.

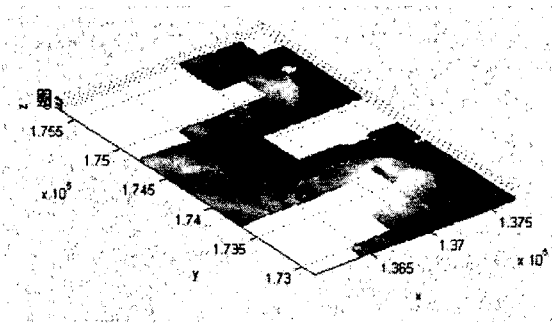


그림 3. 실험 대상지역의 라이다데이터

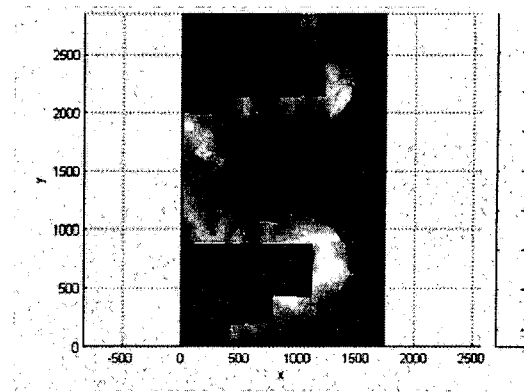


그림 4. 라이다데이터로부터 생성된 DEM

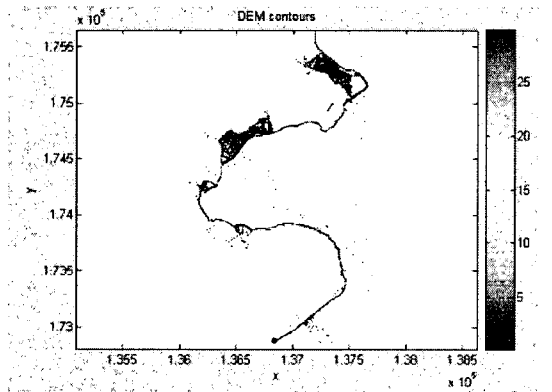


그림 5. DEM으로부터 생성된 등고선

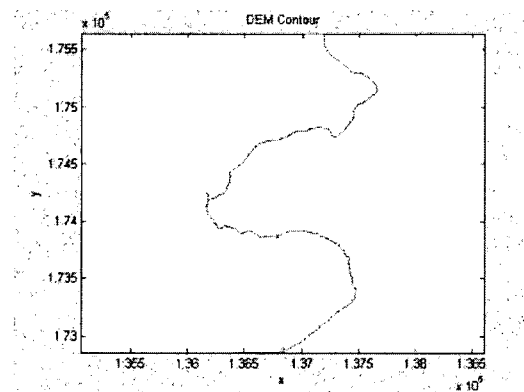


그림 6. 등고선으로부터 추출된 해안선

3.2 수치지도 해안선과 비교

라이다데이터로부터 추출된 해안선의 검증을 위하여 현지측량을 통해 결정된 수치지도의 해안선과 비교 하였다. 그림 7에서 라이다데이터로부터 추출한 해안선을 수치지도 해안선과 중첩하여 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 두 종류의 해안선은 전체적으로 비슷한 형태를 보인다. 이를 확대한 모습을 그림 9에서 나타내는데 라이다데이터로부터 추출한 해안선이 더 정교한 형태를 나타내고 있다.

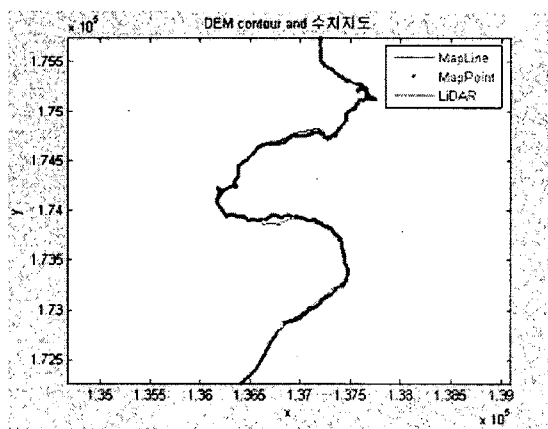


그림 7. 수치지도 및 라이다데이터 해안선 중첩

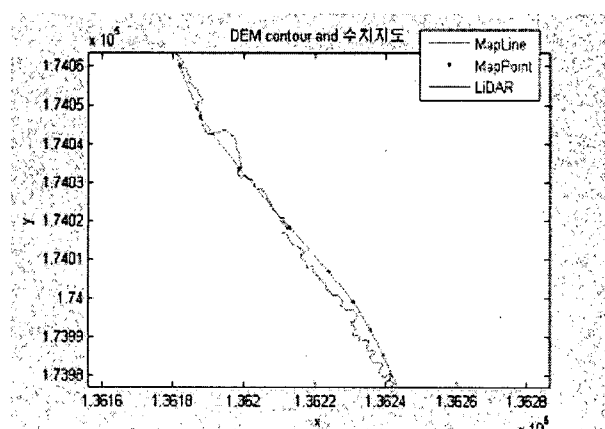


그림 8. 수치지도 및 라이다데이터 해안선 중첩 확대

4. 결 론

본 연구에서는 라이다데이터를 이용하여 해안선을 추출하는 방법을 제시하고, 실험지역에서 실측한 라이다데이터에 적용하여 해안선을 추출하고, 추출된 해안선을 수치지도 해안선과 상호 비교하였다.

라이다데이터를 이용하여 해안선을 추출한 방법은 크게 1) 취득한 라이다데이터 보정, 이상점 제거, 정표고 변환 수행하는 전처리 과정, 2) 임시검조소의 조석데이터를 이용하여 약최고고조위면을 결정, 라이다데이터의 고도값으로부터 차감 과정, 3) 차감된 라이다데이터 DEM생성 과정, 4) 생성된 DEM 등고선 생성 및 해안선 추출하는 과정으로 구성된다.

제시된 방법을 시험지역의 실측라이다데이터에 적용하여 해안선을 성공적으로 추출하여 보았다. 또한, 수치지도에서 추출한 해안선과 육안으로 정성적인 비교를 수행한 결과 개략적인 형태의 유사성을 발견할 수 있었으며, 라이다데이터로부터 추출한 해안선이 수치지도 해안선보다 더 정교한 형태를 띠는 것을 발견하였다. 실험결과에서 약간 불일치하는 곳이 발견되었는데 이는 수치지도 생성시기가 라이다데이터의 취득시기보다 훨씬 이전이었고 함평만 부근의 리아스식 해안으로 시간의 경과로 인한 침식과 퇴적의 빈번함 때문에 발생하는 해안선의 변화로 추정할 수 있다. 라이다데이터로 추출한 해안선의 정확도에 대한 정량적 평가를 위해서는 동일 시기의 현지측량으로 생성한 해안선과 상호 비교하는 과정이 필요할 것이다.

감사의글

본 연구의 원활한 수행을 위해 시험 데이터를 제공하고, 연구 수행에 많은 도움을 주신 해양수산부 국립해양조사원 관계자 여러분들에게 깊은 감사드립니다.

참고문헌

- 문지영, 이임평, 김성준, 김경옥 (2005), 점밀도 기반의 LiDAR 데이터로부터 Outlier 검출, 대한토목학회논문집, 제25권, 제6D호, pp. 891-897.
- 이임평, 최윤수, 염재홍, 권재현, 이동천, 유병민, 김성준, 박지혜, 양효진, 오의종, 이상준, 최진욱, 유근홍, 김지선 (2005), 다차원공간정보구축에 관한연구, 국토지리정보원.
- 장호식, 서동주, 이종출, (2003), RTK GPS/GLONASS 조합기법에 의한 해안선 결정, 대한토목학회논문집, 제23권, 제3호, pp. 385-391.
- 정승진, 김규한, 편종근, (2003), 항공사진을 이용한 해안선변화 해석결과의 신뢰성검토, 대한토목학회논문집, 제23권, 제3호, pp. 209-214.
- 조주환, 임동일, 김백운, (2001), 항공사진을 이용한 서남해 함평만의 해안선 변화 관측, 한국지구과학회지, 제22권, 제4호, pp. 317-326.
- Kilian, J., Haala, N., and Englich, M. (1996), Capture and evaluation of airborne laser scanner data, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sensing*, Vienna-Austria, Vol. 31, Part. B3, pp. 383-388.
- Kraus, K. and Pfeifer, N. (1998), Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 53, No. 4, pp. 193-203.
- Lee, I. (2004a), A Feature-based Approach to Automatic Extraction of Ground Points for DTM Generation from LIDAR data, *Proc. of American Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) Conference*, Denver, USA.
- Lee, I. (2004b). Generation of high-resolution precise DEMs through airborne LIDAR surveys on huge Antarctic regions, *Korean Journal of Geomatics*, Vol. 3, No. 2, pp. 115-121.
- Vosselman, G. (2000), Slope based filtering of laser altimetry data, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sensing*, Amsterdam-Netherlands, Vol. 33, Part. B3, pp. 935-942.