

하구부 위험지역 분석을 위한 지상 LiDAR의 활용

전계원*, 전병희**, 이승철

강원도 산지하천은 경사가 급하고 유로가 짧아 집중호우시 유사가 하류로 빠르게 이동하는 특징을 가지고 있다. 특히 동해안과 만나는 하천의 하구부에서는 하천유황과 흐름에 따라 다양한 지형변화가 일어난다. 또한 퇴적 토사의 증가로 하구폐색현상이 일어나 하천환경적으로 위험지역을 형성한다. 따라서 본 연구에서는 최근 지형학, 해안선 변화, 하천지형 변화 및 재해현장 조사 등에 활용되고 있는 지상 LiDAR를 이용하여 강원도 삼척시 가곡천 하구부 지형변화에 따른 영향을 분석하였다. 그 결과 지형의 표고분석을 통해 하구부 폐색현상에 따른 침식지점과 퇴적지점 및 각 지점의 변동경향을 제시하였다.

주제어: 하구폐색, 지상 LiDAR, 지형변화

I. 서론

하천과 바다가 만나는 하구지역은 기상학적 요인으로 많은 변화가 지속적으로 발생하는 지역이다. 특히 최근의 이상기후에 따른 기상변동은 변화의 강도를 가중시키고 있고 지속적인 하구부 주변개발 또한 가중요인으로 작용하고 있다.

강원도 동해안의 하구는 하천유황과 흐름에 따라 영향을 받으며 침식과 퇴적을 반복하며 하구부 퇴적토사가 계절변화에 따라 증가하여 하구폐색현상이 일어나는 곳이 많다. 이러한 하구폐색현상은 하천환경적으로 위험지역을 형성하여 하천생태계를 위협할 수도 있고 하천유량의 원활한 소통에 방해요인으로 작용되어 재해발생 가능성을 증대시키는 역할을 하기도 한다. 하구부에서 광범위하게 발생하고 있는 이러한 문제를 해결하려면 지속적으로 변화하는 하천유량과 유사의 이동에 따른 하구부의 침식과 퇴적 현상의 반복에 의해 발생하는 폐색현상에 관한 정확한 분석이 선행되어야 한다.

하구부에서 발생하는 퇴적물 거동에 대해서는 지리학은 물론 인접 학문인 해안공학, 지질학, 생태학 토목공학, 대기과학 그리고 해양학 분야에서 활발하게 연구되고 있으며, 특히 최근에는 현장에서 확인할 수 있는 소규모 스케일의 지형분석이나 단기간의 지형변화에 관한 연구가 관심을 끈다(윤순옥 외,

2013). 하구부의 지형변화는 주로 해안선의 변화에 초점이 맞춰져 연구가 진행되었으나 우리나라 동해안은 조위차가 최대 0.3m에 불과하고 보통 0.2m 내외로 매우 작고 대부분의 모래해안의 경우 기본적인 모래의 공급원은 하천을 따라 이동하는 유사에 영향을 받음으로 하천의 유황변화에 따른 하구부의 침식과 퇴적 변화에 관한 정밀한 모니터링 연구가 필요하다. 특히 강원도 산지로부터 발원하여 동해안으로 유입되는 산지하천의 경우 하천의 경사가 급하고 유로가 짧아 집중호우시 산지에서 내려오는 토사가 빠르게 이동하여 일반하천에 비해 하구부의 지형변화를 크게 일으키는 특징을 가지고 있다.

하천과 연결된 하구부의 모니터링에 대한 연구는 주로 단순한 지형측량이나 하천측량의 결과를 활용하여 하천정비기본계획 수립이나 유역치수계획 수립시 활용하는 정도의 연구들이 과거에 진행되어 왔다. 그러나 세계적으로 기후변화에 의한 하구부 침식과 퇴적에 대한 연구가 활발히 진행되고 있고 기존의 지형도 및 항공사진 분석으로는 cm 단위의 정확한 지형을 파악할 수 없어 많은 어려움을 겪고 있기 때문에 정확한 분석이 가능한 지상 LiDAR(Light Detection And Ranging)를 이용한 연구가 2000년대 이후 다양한 분야에서 활발하게 진행되고 있다.

최근의 LiDAR를 이용한 연구에 관해 살펴보면 Bitelli *et. al.*(2004)은 지상 LiDAR 측량과 사진측량을 통해서 산사태 모니터링을 수행하고 수 cm 지형변위를 확인하였고 Milan(2007)은 스위스의 망류하도 변화를 관측하여 침식과 퇴적에 의한 부피 변화를 비교하였다. 국내에서는 심정민 외(2006)는 LiDAR자료를 홍수시물레이션 분석에 사용하여 홍수지도제작에 활용하였으며 유주형 외(2008)는 광학위성과 LiDAR 시스템을 이용하여 동해 모래해안 침식과 퇴적 변화 연구를 수행하였다. 박재국 외(2010)은 자연사면의 변위를 모니터링 하는데 지상 LiDAR 자료를 이용하였고 전계원 외(2010)은 지상 LiDAR를 활용하여 토석류 발생량을 산정하였으며 전병희 외(2012)은 지상 LiDAR 필터링 방법에 관해 연구하였다. 또한 윤지준 외(2013)은 LiDAR를 하구부 지형변화 분석에 이용하였으며 윤순옥 외(2013)은 지상 LiDAR로 고해상도 DEM을 만들어 사빈 변화분석에 활용하였다.

본 연구에서는 강원도 삼척시 가곡천 하구부 위험지역의 지형변화를 관측하기 위해 지상 LiDAR 측정을 실시하여 정밀지형자료를 획득하였고 DEM을 생성하여 홍수기 전·후 하구부 위험지역의 지형 변화 특성을 분석하였다.

II. 지상 LiDAR 측정의 기본원리

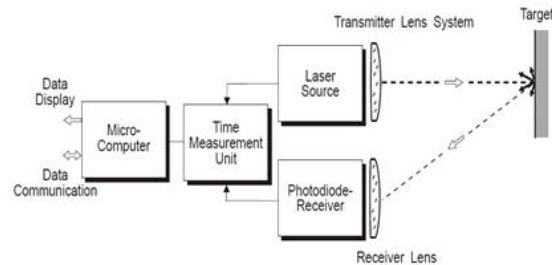
1. 지상 LiDAR의 원리

1) 스캐닝 측정원리

지상라이더는 레이저를 이용해 측정 대상의 표면에 조밀한 간격으로 무수히 많은 레이저 광을 주사

* 제1저자, ** 교신저자.

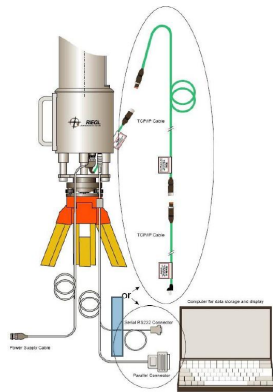
하여 표면에서 반사되어 되돌아오는 레이저광을 광센서를 이용하여 감지, 분석하는 방법으로 3차원 좌표 값을 이용해 대상물의 형태를 직관적으로 취득하는 첨단 레이저 측정 장비로 스캐닝 거리측정 방식에는 삼각측량방식(Triangulation Method)과 시간차방식(Time of Flight) 방식이 있다. 본 연구에서는 레이저를 대상물에 발사한 후 레이저가 반사되어 돌아오는 시간차를 계산하여 위치를 결정하는 시간차 방식을 사용하였으며 그 기본원리는 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 시간차방식(Time of Flight)

2) 스캐너의 구성

스캐너는 좌표를 획득하는 GPS, RGB자료를 받아들이는 고성능 카메라, 레이저를 송신하고 수신하는 Scanner 본체, 본체의 기울기를 변화하여 보다 폭 넓은 데이터를 취득하게 하는 Tilt, 지지대 그리고 전원부와 운영시스템(PC)로 구성되어 진다.



<그림 2> 지상 LIDAR 스캐너의 구성

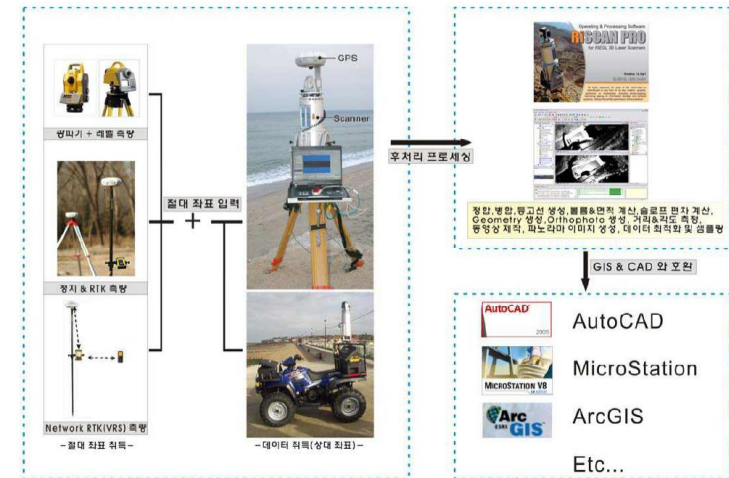
2. 정보획득 원리

1) 좌표 및 스캔 데이터의 취득

현장의 스캔에 사용한 장비는 RIEGL사의 LMS-Z210ii로 반사율 80%기준에서 최대 측정거리 650m, 수직 0°~80°, 수평 0°~360° 범위로 15mm의 오차수준으로 포인트를 획득할 수 있으며 카메라와 GPS를 장착하면 측정 포인트의 RGB값 및 절대좌표를 획득할 수 있다. 좌표시스템은 사용자가 상대좌표 시스템과 절대좌표 시스템 중 작업 할 좌표 시스템을 먼저 선택하고 작업을 수행한다.

2) 후처리 및 데이터 최적화 과정

RIEGL 후처리 프로그램인 RiSCANPRO를 이용하여 절대좌표를 각 스캔 포지션에 입력을 하여 상대좌표인 스캔 데이터를 절대좌표로 변환시켜준다. 모든 스캔 포지션을 절대좌표로 변환시켜준 후 포지션을 병합시켜준다. 병합된 모든 측정 포인트를 사용자의 특성에 맞게 원시 포인트를 샘플링(Sampling), 필터링(Filtering)을 한다. 이후 등고선 추출, 벡터 드로잉, 편차 분석, 거리/각도 측정, 레벨 변환, 볼륨, 면적계산, 파노라마 이미지 생성, 데이터 최적화, 고해상도 화면 이미지 생성 등의 작업을 수행한 후 CAD 및 GIS 프로그램과 연동하여 각 어플리케이션에 맞게 작업을 수행한다.

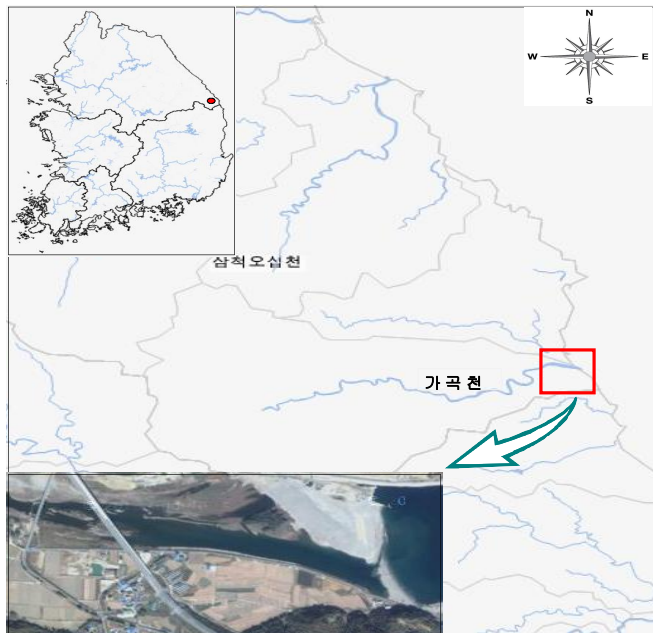


<그림 3> 지상 LIDAR 스캐닝 작업 순서

III. 연구대상지역 및 현장적용 방법

1. 연구대상지역

가곡천(동경 129°05'06" ~ 129°21'11", 북위 37°02'10" ~ 37°11'57")은 강원도 지방2급 하천으로 유역면적은 264.19km², 유로연장 40.96km로서 동해로 유입되는 하천이다. 동측으로는 동해와 접하고, 서로는 경상북도 봉화군 석포면과 강원도 태백시와 능선이 경계를 이루고 있으며, 남으로는 경상북도 울진군 북면과 서면을 경계로 하고 있으며, 북으로는 도계읍 육백산(EL.1,244m)에서 능선을 따라 삼척시 원덕읍 노경리와 호산리 사이의 능선으로 이어져서 동해까지 뻗어있다. 수원은 가곡면 풍곡리 용소골 상류에서 발원하여 북행하다 풍곡초등학교 앞에서 도계읍 신리 육백산에서 발원한 하천과 합류하여 동으로 방향을 바꾸어 심한 사행을 하면서 원덕읍 월천리 앞 동해로 유입되며 하구부에 모래사장이 발달되어 있어 계절의 변화에 따라 주기적으로 하구폐색이 이루어진다.



<그림 4> 연구대상지역의 위치

2. 현장적용 방법

연구대상 지역인 가곡천 현장에 지상라이다를 적용하는 기본적인 순서는 먼저 지상 라이다를 이용하여 기본스캐닝 작업을 수행하고 좌표변환후 3차원 지형을 생성하게 된다. 이때 생성된 3차원 지형은 기본적으로 잡음데이터를 포함하고 있어 실제 연구에 필요한 범위를 분석하고 다른 기간에 측정된 자료와 비교하기 위해 필터링 작업을 수행하여 수목 및 잡음데이터를 제거하여 기본데이터를 얻고 고해상도 DEM으로 변환하여 등고선을 생성한 후 최종적으로 하구부 침식과 퇴적 범위를 비교하는 형태로 적용된다.



<그림 5> 가곡천 리이다 측정 전경 및 스캔결과

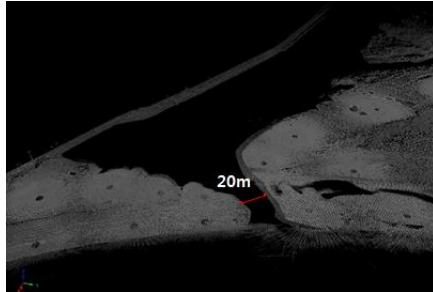
IV. 지상 LiDAR 측정결과 분석

1. 현장 지상 LiDAR 측정결과 분석

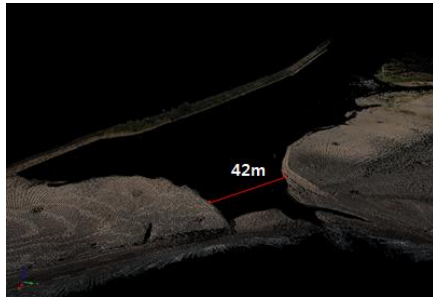
가곡천 하구부 폐색현상이 일어나는 위험지역의 변화를 비교하기 위해 2012년 계절별로 지상 LiDAR 스캐닝 작업을 수행하였으며 2012년 7~9월에 3~4개의 태풍이 우리나라에 영향을 주었으며 이로 인한 하구부 지형변화를 분석하였다.

현장에서 측정된 지상 LiDAR 측정 자료는 현장적용 방법에 의해 각 스캔지점에 좌표를 입력하고 MSA(multi station adjustment)기법을 이용 포인트간 연산을 통하여 3차원 모형으로 구축하였고 잡음을 제거하여 기본데이터를 얻었다. 그 결과는 <그림 6>~<그림 8>에 나타내었다. 구축된 지상 LiDAR 자료는 지형에 대한 3차원 좌표를 가지고 있어 하구폐색에 의한 하천유량의 유출되는 폭의 변화를 계산할 수 있다. 분석결과 5월 하도 폭이 약 20m에서 태풍에 의한 집중호우가 발생하여 강우가 증가한 8월에는 하도 폭이 약 42m로 확장된 것을 확인할 수 있고 홍수기가 끝난 후 강우가 적어짐에 따라 10월 측정 자료에서는 하도 폭이 약 14m로 작아진 것으로 분석되었다. 실제 라이다측량은 이루어

어지지 않았지만 12월 현장점검에서는 하도가 완전히 폐쇄된 것이 확인되었다.



<그림 6> 2012년 5월 가곡천 하구부 스캔



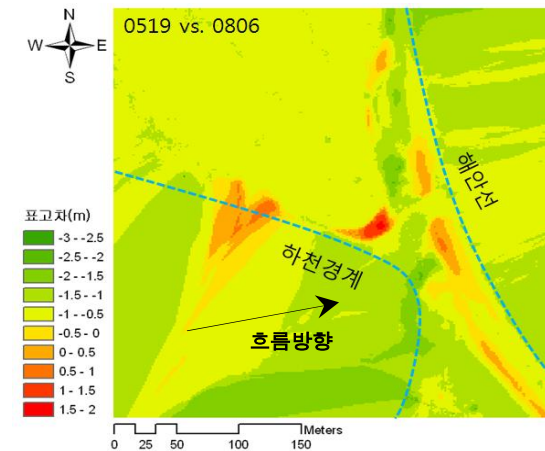
<그림 7> 2012년 8월 가곡천 하구부 스캔



<그림 8> 2012년 10월 가곡천 하구부 스캔

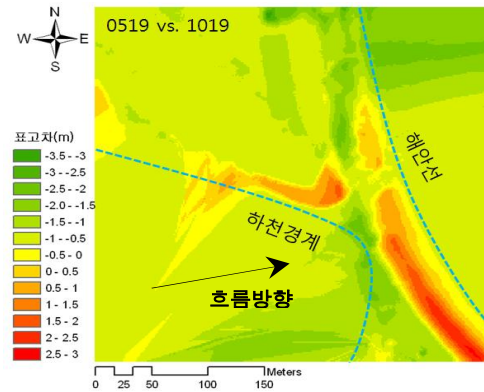
2. 고해상도 DEM을 이용한 위험지역 변화 분석 결과

하구지형변화를 비교하기 위해 라이다측정에 의해 얻은 3차원 자료를 이용하여 고해상도 DEM자료를 생성하고 표고차이 분석을 수행하였다. 표고차 분석을 통해 시간의 변화에 따른 하구부의 지형변화를 확인할 수 있다. <그림 9>는 2012년 5월과 8월에 측정된 결과를 비교한 그림이고 <그림 10>은 2012년 5월과 10월에 각각 측정된 결과를 비교한 그림이다. 그림에서 하천과 해안경계 외측은 수면으로 지상 LiDAR의 특성상 수면의 정확한 측정이 불가하여 비교대상에서 제외하였다. 홍수기 전인 5월과 홍수기인 8월의 가곡천 하구의 표고차를 분석한 결과 붉은색을 띠는 침식부분의 면적이 하구부 개폐구간과 해안선 우안을 따라 분포하였다.



<그림 9> 가곡천 하구부 표고차이 분석(05월 19일 vs 08월 06일)

<그림 10>에서 5월과 10월의 표고 차는 <그림 9>의 비교결과 보다 시간의 변화에 따른 지형변화가 좀 더 명확하게 확인 되었다. 분석된 결과를 보면 가곡천 하구 우안의 해변은 지속적으로 침식(붉은색)이 진행되고 있고 하천경계 좌안의 일부는 하천의 유출에 의한 침식이 발생한 것으로 분석되며 우안은 하구의 개폐현상에 의해 퇴적되는 것으로 분석되었다. 2012년의 하구변화 경향을 볼 때 향후 가곡천 하구부의 침식과 퇴적현상에 대한 지속적인 모니터링이 필요하다고 판단된다.



〈그림 10〉 가곡천 하구부 표고차이 분석(05월 19일 vs 10월 19일)

V. 결론

본 연구에서는 지상 LiDAR를 이용하여 가곡천 하구부의 폐색현상이 일어나는 위험지역을 측정하고 3차원자료를 획득하여 분석하고 적용하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

지상 LiDAR 측정을 통해 가곡천 하구부는 폐색현상이 계절변화에 따라 진행됨을 확인하였고 지상 LiDAR로 스캐닝한 자료의 분석을 통해 2012년의 하구부 하천유량이 통과하는 하폭이 봄철 20m에서 홍수기 46m로 증가하고 가을철에 14m로 줄어드는 현상을 정확하게 측정하였다. 이처럼 지상 LiDAR를 이용한 하구부 측정을 통해 현장에서 측정하기 힘들거나 할 수 없는 측정치를 그대로 스캐닝하여 보존하고 현장 이외의 사무실에서 내입으로 다양하게 분석할 수 있었다. 또한 생성된 고해상도 DEM 자료를 이용한 하구부 지형변화에 관해 표고차 분석을 수행한 결과 하천이 흐르는 방향으로 하천경계 우측 해안이 지속적으로 침식되었고 하천유량이 바다 쪽으로 흘러 나가는 좌안도 일부 침식됨을 확인하였으며 해안선의 좌측부분과 하천경계부분 우측부분은 퇴적되는 것으로 분석되었다.

본 연구는 2012년 측정자료에 대한 분석으로 국한되어 있어 지속적인 지상 LiDAR 측정을 통한 분석을 통해 추가적인 연구를 수행할 계획이며 본 연구에서 제시된 지상 LiDAR 분석방법과 결과자료는 장기적인 측정을 통해 가곡천 하구부 폐색현상 발생 시 침식과 퇴적발생 범위 산정과 대책수립에 활용 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 박재국, 이상윤, 양인태, 김동문. 2010. 지상라이다 자료를 이용한 자연사면의 변위 모니터링. 대한토목학회논문집. 30(2D): 191-198.
- 삼척시. 2010. 가곡천 하천정비기본계획(변경).
- 심정미, 이석배. 2006. LiDAR 자료를 이용한 홍수 시뮬레이션에 관한 연구. 한국지형공간정보학회지. 14(4): 53-60.
- 유주형, 정의영, 김계림, 김호, 김창환, 박찬홍. 2008. 광학위성과 라이다 시스템을 이용한 동해 모래해안 침식/퇴적 변화연구. 추계지질과학연합학술발표회 초록집.
- 윤순옥, 전정균, 황상일. 2013. 지상라이다의 고해상도 DEM을 이용한 울진 진북리 사빈 변화 분석. 대한지리학회지. 48(3): 321-335.
- 윤지준, 안명길, 전병희, 전계원. 2013. 지상 LiDAR를 이용한 하구부 지형변화 분석. 2013년도 한국방재학회 학술발표대회 논문집.
- 전계원, 전병희, 안광국, 장창덕, 김남균. 2010. 지상 LiDAR를 이용한 토석류 발생량 산정에 관한 기초연구. 한국지반환경공학회 논문집. 11(3): 63-68.
- 전병희, 윤지준, 전계원, 안명길, 오채연. 2012. 지형변화를 고려한 지상 LiDAR 자료의 필터링 방법에 대한 연구. 한국지리정보학회 추계학술대회 논문집.
- Bitelli, G., M. Dubbini, and A. Zanutta. Terrestrial Laser Scanning and Digital Photogrammetry Techniques to Monitor Landslide Bodies. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. 35(2004): 246-251.
- Milan, D. J., G. L. Heritage, and D. Hetherington. 2007. Application of a 3D Laser Scanner in the Assessment of Erosion and Deposition Volumes and Channel Change in a Proglacial River. *Earth Surface Processes and Landforms*. 32(11): 1657-1674.
- 全桂元: 충북대학교에서 공학박사학위 “홍수유출과 수질예측을 위한 Web기반 시스템의 개발(2004. 2)”을 취득하였다. 현재 강원대학교 방재전문대학원에서 부교수로 재직중이며 풍수해, 토석류제해, 자연재해 관리에 관한 방재 분야에 관심을 가지고 있다. “산악지역돌발홍수 기준수량 결정에 관한 기초연구(2010)”, “지상 LiDAR를 이용한 토석류 발생량 추정에 관한 기초연구(2010)”등의 논문을 게재한 바 있다(kwjun@kangwon.ac.kr).
- 田炳熙: 동경공업대학에서 공학박사학위 “Study on Porous Carrier and Membrane Hybrid Process for Nitrogen Removal in Wastewater(2000. 3)”을 취득하였으며, 현재는 강원대학교 소방방재학부 부교수로 재직 중이다. 주 연구분야는 폐탄분류를 이용한 수처리장치 고장진단과 산지재해 분야이며, 현재 방재학회 회원 등으로 활동 중이다(bhjun@kangwon.ac.kr).
- 李承哲: 한양대학교에서 공학박사 학위를 취득하고 “유동관성을 고려한 복합덕트시스템의 유량분배특성(2000. 2)”,

현재 강원대학교 소방방재공학전공에서 부교수로 재직중이다. 관심분야는 터널(지하 대공간) 및 초고층 건물의 환기 및 방재설비 분야다(sclee@kangwon.ac.kr).

투 고 일: 2013년 11월 10일

심 사 일: 2013년 12월 04일

게재확정일: 2013년 12월 15일

Use of Terrestrial LiDAR for Analysis of Estuarine Hazard Areas

Kye Won Jun, Byong Hee Jun, Seung Chul Lee

Mountain streams in Gangwon-do are characterized in that quicksand rapidly moves downstream in torrential rain because they are steep and have short channels. In particular, there are various topographic changes according to the river flow characteristics and flow at the mouth of the river which meets the east coast of Korea. In addition, estuary closure caused by an increase in sand deposits forms hazard areas in the fluvial environment. Therefore, this study analyzed the effects of changes in topography at the mouth of the Gagokchen in Samcheok-si, Gangwon-do with the use of terrestrial LiDAR used for geomorphology, changes in coastline and fluvial morphology and research of disaster site recently. As a result, height analysis of the topography showed the variation trends of each erosion and deposition site according to the estuary closure.

Key words: estuary closure, terrestrial LiDAR, topographic change