지상 LiDAR를 이용한 토석류 발생에 의한 침식, 퇴적량 측정

전병희[1※] · 장창덕[2] · 김남균[2]

Analysis of Erosion and Deposition by Debris-flow with LiDAR

Byong-Hee JUN[1※] · Chang-Deok JANG[2] · Nam-Gyun KIM[2]

요 약

2009년 7월 9일부터 14일까지 누적강우 455mm의 집중호우에 의해 제천시 일대에 다수의 토석류 사태가 발생하였다. 토석류 발생에 따른 지형변화를 분석하기 위하여 수치지도와 라이다(LiDAR) 자료를 이용하여 고해상도의 수치고도모델(DEM)을 생성하였다. 라이다측량을 위해서 고해상도의 디지털 카메라와 GPS가 탑재된 3차원 스캐너 시스템 (RIEGLE LMS-Z390i)을 이용하였다. 라이다 스캐닝에 의해 생성된 포인트 자료는 클리핑과 필터링 작업을 거친 후 수치지도에 중첩시켜 토석류 발생 후의 지형의 DEM을 생성한다. 이렇게 토석류 발생 전후의 DEM 비교결과, 토석류 발생에 의한 침식과 퇴적량은 각각 17,586㎥, 7,520㎥으로 평가되었다. 이러한 고해상도 지상라이다시스템을 이용하여 지형변화 관측을 통해 장래 토석류 모델 연구에 기여할 수 있을 것으로 판단되었다.

주요어 : 토석류, 지상 LiDAR, DEM, 지형변화

ABSTRACT

The intensive rainfall over 455 mm occurred between on 9 to 14 July 2009 triggered debris flows around the mountain area in Jecheon County. We mapped the debris flow area and estimated the debris flow volume using a high resolution digital elevation model (DEM) generated respectively from terrestrial LiDAR (Light Detection And Ranging) and topographic maps. For the LiDAR measurement, the terrestrial laser scanning system RIEGL LMS-Z390i which is equipped with GPS system and high-resolution digital camera were used. After the clipping and filtering, the point data generated by LiDAR scanning were overlapped with digital map and produced DEM after debris flow. The

2010년 4월 6일 접수 Received on April 6, 2010 / 2010년 5월 17일 수정 Revised on May 17, 2010 / 2010년 6월 16일 심사완료 Accepted on June 16, 2010

1 강원대학교 소방방재학부 School of Fire and Disaster Prevention, Kangwon National University
2 강원대학교 방재전문대학원 Professional Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University
※ 연락저자 E-mail : bhjun@kangwon.ac.kr

comparison between digital map and LiDAR scanning result showed the erosion and deposition volumes of about 17,586㎥ and 7,520㎥, respectively. The LiDAR data allowed comprehensive investigation of the morphological features present along the sliding surface and in the deposit areas.

KEYWORDS : Debris Flow, LiDAR, DEM, Geomorphological Change

서 론

흙이나 암석이 균형을 잃고 일시에 무너져 내리는 산사태와는 달리, 토석류는 산사태에 의해 무너진 흙, 계류의 퇴적층, 유목 등이 물과 함께 흘러내려와 계곡을 거쳐 선상지나 하류부에 피해를 미친다. 일반적으로 토석류를 붕괴지, 유하부, 퇴적부로 구분하였을 때, 20° 이상에서 발생하여 10°이하에서 퇴적하는 것으로 알려져 있으며 우리나라에서는 장마기의 집중호우나 태풍과 동반한 강우에 의해 발생하는 경우가 많다.

우리나라에서 1997년부터 2006년까지의 자연재해에 의한 사망자 중 토석류 등의 지반재해에 의한 사망자는 전체의 27%에 달하고 있다(박덕근 외, 2007). 대표적으로는 2002년 태풍 루사, 2003년 태풍 매미, 2006년 태풍 에위니아와 그에 따른 호우에 의해 산악지역으로 이루어진 강원도를 중심으로 많은 토석류 피해가 발생하였다.

이러한 피해에 줄이기 위해 토석류 및 산사태에 대한 많은 연구가 이루어졌다. 이전 연구는 GIS를 이용한 위험도 판정에 관한 논문들(이승기 등, 2005; 김경태 등, 2005; 조남춘 등, 2006; 김기홍 등, 2008)과 지형인자 및 강우인자를 이용한 위험도 분석 (윤홍식 등, 2009; 김경석, 2008)과 토사거동예측모델을 위한 실내실험(채병곤 등, 2006; 김기환 등, 2008) 등이 주된 내용을 이루어왔다.

이러한 연구와 더불어 토석류 발생 시 일어나는 지형변화에 대한 현장자료가 구축된다면 토석류예측모델의 개발에 큰 도움을 줄 수 있으며 그에 따라 구체적인 대책수립에도 기여할 수 있다. 그러나 토석류 발생량은 발생 전의 정밀지형자료의 확보가 사실상 어렵고 발생시점에서의 측정이 어렵기 때문에 다양한 방법으로 추정할 수밖에 없다.

최근 건설이나 산업현장에서 라이다(Light Detection And Ranging, LiDAR)를 이용하여 측량자료를 경제적이면서도 효과적으로 취득하는 사례가 다수 보고되고 있으며(Du and Teng, 2007; Lan 등, 2010), 국내 연구사례에서도 라이다 측량이 높은 정확도와 효율성을 가짐을 보고하고 있다(강준묵 등, 2007; 윤희천과 박준규, 2007). 또한 고해상도 라이다 지형자료를 이용하여, 산사태발생을 예측의 정확도를 높일 수 있음을 보고하였다(Glenn 등, 2006; Kasai 등, 2009).

본 연구에서는 토석류 발생 후의 지형변화를 평가하기 위해, 지상라이다를 이용하여 정밀측량을 실시하였다. 2009년 제천지역 토석류 발생 지역 중 복구공사가 진행되지 않은 현장을 대상으로 하였다. 이렇게 조사된 자료는 이후 토석류의 발생, 이동, 퇴적의 과정을 모사하는 모델링 연구에 활용될 것으로 기대된다.

연구방법

1. 연구지역

2009년 7월 14일 제천시 일대를 지나간 최대시강우량 64mm/hr(제천시 봉양읍)의 집중호우로 인해 제천시 일대에 다수의 토석류 피해가 발생하였다. 다수의 피해지 가운데 인명

이나 재산상의 피해가 적어 피해복구가 늦추어진 현장을 조사하기 위하여 제천시 봉양읍 공전리 일대 토석류 발생지역을 연구지역으로 결정하였다. 이 유역에 대한 DEM과 유역의 특징을 그림 1과 표 1에 나타내었다.

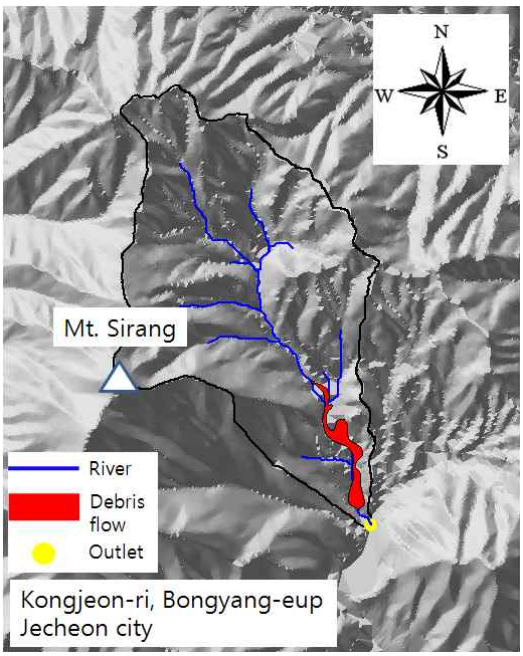

FIGURE 1. Study area

TABLE 1. Topographic parameters in study area

Parameters	Values
Basin area(km^2)	1.22
Basin maximum elevation(m, a.s.l.)	680
Basin minimum elevation(m, a.s.l.)	275
Basin mean elevation(m, a.s.l.)	464
Basin mean slope(degree)	22.0
Channel length(m)	2,030
Channel slope(degree)	7.8
Debris flow area slope(degree)	11.9

연구지역은 충북 제천시 봉양읍 공전리 일대이며, 북동-남서 방향의 능선이 주로 발달한 산지이며 계곡부의 길이는 2,030m 로 동-서 방향으로 주계곡이 발달하였다. 유역의 면적은 약 1.22km^2 정도이며, 유역의 해발고도는 최저 275m, 최고 680m, 평균 464m 이며, 조사된 토석류 발생 지역의 길이는 2km 정도이며 이 지역에서의 평균 경사는 약 12도로 나타났다.

토석류 발생에 미치는 강우의 영향은 매우 큰 것으로 알려져 있으며 해당 지역에서의 강우특성을 살펴보는 것은 토석류 발생을 예보하고 대비하는데 큰 의미가 있다. 연구지역인 제천시내에는 6곳의 기상관측소가 있으며, 그중 연구지역인 공전리에 인접한 관측소로는 백운관측소와 제천관측소가 있다. 이 두 관측소에서 얻어진 강우자료를 그림 2에 나타내었다.

토석류가 발생한 것은 7월 14일 이전에 2-3일 간격으로 2회의 사전강우가 있었으며, 세 번째 강우에서 일시적으로 강한 시간강우에 의해 다량의 토석류가 발생하였을 것으로 추정되었다. 백운관측소에서의 시간 최대 강우는 64mm/h였으며, 누적강우는 455mm에 해당되었다.

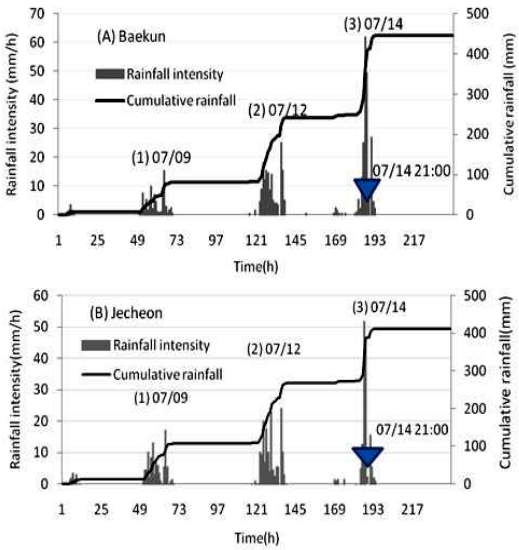

FIGURE 2. Rainfall at Baekun and Jecheon weater station on 7-16 July 2009

2. 지상라이다 측량

본 연구에서는 피해 발생 전인 2007년에 제작, 배포된 1:5000 수치지도를 이용하여 토석류 피

해지역의 수치고도모형(DEM; Digital Elevation Model)을 만들고 이를 발생 전 지형으로 가정하고 발생 후 지상 라이다를 이용하여 획득한 자료와 비교하여 지형변화를 평가하였다.연구지역의 항공사진은 2007년 11월에서 2008년 9월사이에 촬영된 Daum 스카이뷰를 이용하였다.

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. GPS는 HUACE사의 X90 2주파 RTK (Real Time Kinematic) 장비로 국토지리정보원에서 구축한 VRS(Virtual Reference System) RTK 시스템을 이용하면 수평방향 ±10 mm+1ppm, 수직방향 ±20mm+1ppm의 정확도를 가진다. 측정에 사용된 장비를 다음의 그림 3에 나타내었다.

FIGURE 3. View of LiDAR scanning system

레이저를 이용한 지형 · 지물의 측정은 측정대상에 레이저를 쏘아 표면에서 반사되어 되돌아오는 레이저광을 광센서(light-detecting sensor)를 이용하여 감지, 분석하는 방법으로 이루어지며 장치는 송신부(transmitter), 수신부(receiver), 처리부(processor)로 구성된다.

Time-Of-Flight(TOF) 또는 Ranging으로 불리는 레이저스캔방법은 레이저 빔을 보내는 레이저 다이오드에서 나온 빛이 대상의 표면에 부딪혀 일부는 주변으로 퍼지게 되고 나머지는 수신부로 되돌아오게 되는데 이 때 돌아온 빛의 왕복시간과 각도를 계산하여 측정하는 방법이다. 그림 4는 TOF 프로세스의 모식도를 나타낸다.

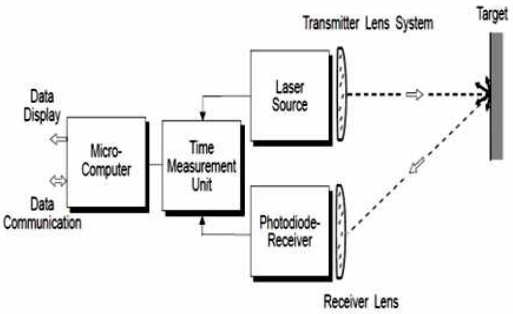

FIGURE 4. TOF method

지형변화 분석을 위한 지상라이다 분석과정을 그림 5에 나타내었다. 실제 연구지역 스캐닝에 앞서 연구지역이 삼각점으로 구성된 망 내부에 포함되도록 3점 이상 측량을 실시한다. 이 후 GPS의 정확도를 높이기 위해 지역좌표계 보정을 실시한 후 토석류 발생지역에서의 스캐닝을 실시한다. 이 때 디지털 카메라를 이용하여 영상자료를 획득하고 동시에 스캐너를 이용하여 거리와 각도를 가지는 포인트 데이터를 얻게 되며 동시에 GPS 자료도 저장된다. 한 지점에서의 스캐닝이 끝나면 스캐닝면적이 50% 이상 중첩되도록 다음 포인트로 이동하여 스캐닝을 실시한다. 연구지역내 모든 스캐닝이 끝나면 전체적인 포인트 자료에 대하여 GPS에서 획득된 좌표를 이용하여 스캔지점좌표를 설정하고, 이후 포인트 자료간의 중첩자료를 통하여 각 스캔 포인트 좌표를 절대좌표화 할 수 있다.

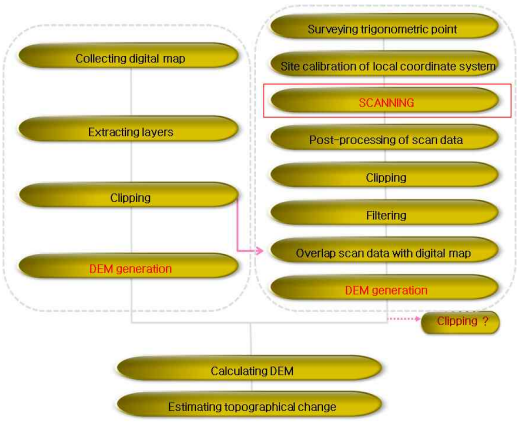

FIGURE 5. Analytical process for LiDAR scanning

이렇게 생성된 자료는 매우 넓은 범위에 걸쳐 있으나 실제 연구지역에 필요한 부분만 포함되도록 추출할 필요가 있다. 이 후 인공구조물, 수목, 노이즈 등을 제거하기 위하여 필터링을 실시한다. 측정정보에 대한 잡음의 제거 방법은 수작업으로 일일이 대조하여 지면점 외의 수목이나 인공구조물을 제거하는 방법, 반사율에 의한 제거 방법, 각종 필터(Elevation Threshold Expanding Window, Maximum Local Slope, Morphological 등)를 활용한 방법 등 다양한 방법이 있으며 본 연구에서는 획득한 원시 자료를 이용하여 격자화(Grid)된 지면정보를 생성하고 이를 기준으로 버퍼링하는 노이즈제거방법을 사용하였다.

연구결과

지상라이다 분석방법에 의해 스캐닝과 후처리 작업에 의해 필터링 된 작업결과를 그림 6에 나타내었다. 그림 6 (A)에서는 건물이나 수목들이 존재하고 있으나 필터링의 결과 (B)에서 이런 부분들이 선택적으로 제거되었음을 알 수 있다.

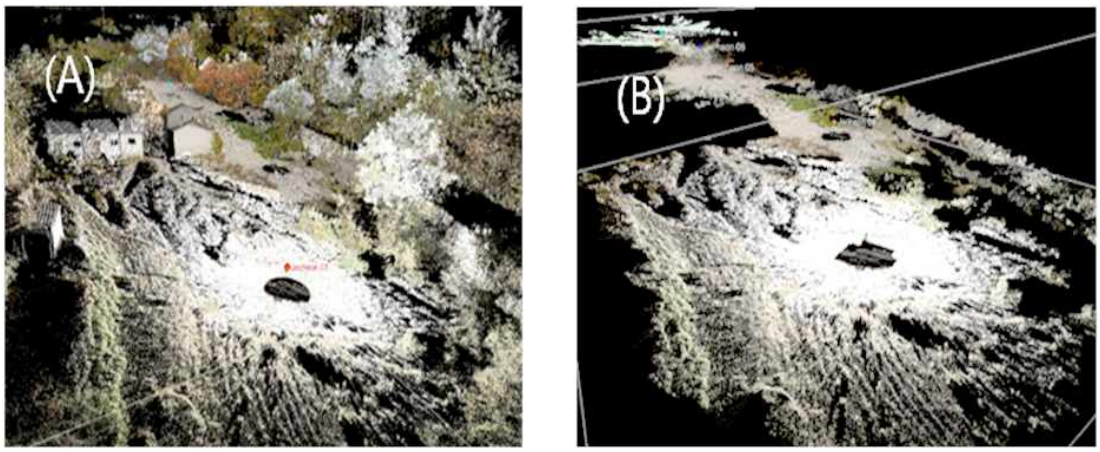

FIGURE 6. Example of filtering result

이렇게 준비된 포인트자료는 토석류 발생전 2007년 구축된 1:5000 수치지도와 중첩시킨다. 이 후 불규칙삼각망(TIN) 생성, 수치표고모형(DEM)을 생성시킬 수 있다. 그림 7은 이런 작업의 결과 생성된 DEM을 보여준다. 그림 7 (A)는 토석류 발생 전의 DEM, (B)는 발생 후 지상라이다 스캐닝을 통해 얻어진 포인트 자료를 중첩시켜 얻어진 DEM이다. 그림의 위쪽이 상류부가 되며 (A)와 비교하면 (B)에서 뚜렷한 침식의 흔적과 보다 세밀한 지형의 변화를 볼 수 있다. (C)에서는 잡음이 제거된 지형자료를 이용하여 DEM자료를 구축하고 1:5000 수치지도를 활용하여 생성한 DEM과의 연산을 통해 지형의 변화를 분석할 수 있다.

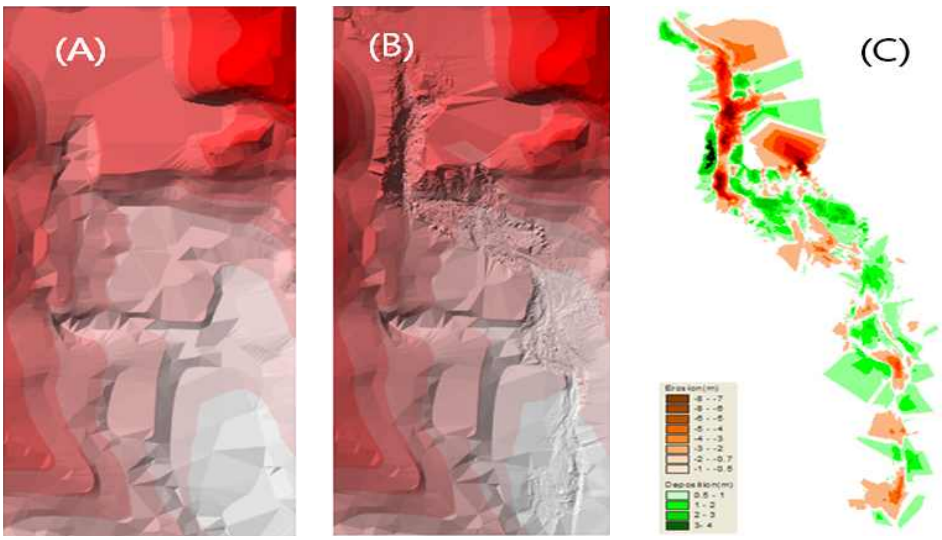

FIGURE 7. Topographic map before (A) and after (B) debris flow and evaluated depth of erosion and deposion (C)

평가된 침식과 퇴적 깊이를 항공사진에 중첩시켜 그림 8의 좌측에 나타내었다. 토석류 발생 지역을 따라 종단면도를 나타낸 것이 그림 8의 우측 단면도이다. 라이다 스캐닝에 의한 지형변화 평가에 대한 효용성을 평가하기 위해 상류부인 (1)에서 (5)까지 하류에 걸친 구간에서 종래의 수치지도에서의 단면과 본 연구에서 얻어진 스캐닝 결과를 비교함에 따라 각 구간에서의 지형변화를 관찰하였다. 기존의 수치지도상의 단면과 비교하여 상류부에서는 침식경향이 뚜렷하나 중류부에서는 침식과 퇴적이 혼재된 양상을 보였다.

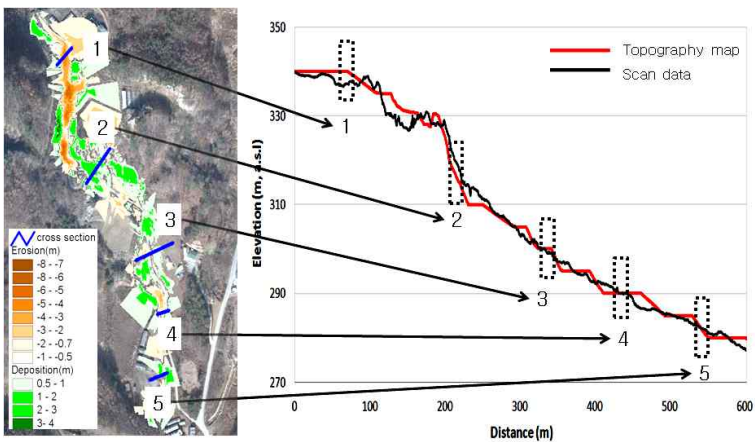

FIGURE 8. Profile of the before (gray line) and after (black line) debris flow

이러한 지형변화에 대한 결과는 기본적으로 수치지도의 표고값에 기초하고 있으므로 실제 현장에서의 지형변화를 어느 정도 반영하는지 확인 할 필요가 있다. 그림 9는 각 지점에서의 지형변화에 대한 결과를 현장의 사진과 함께 비교하여 평가결과의 타당성을 검토하고자 하였다.

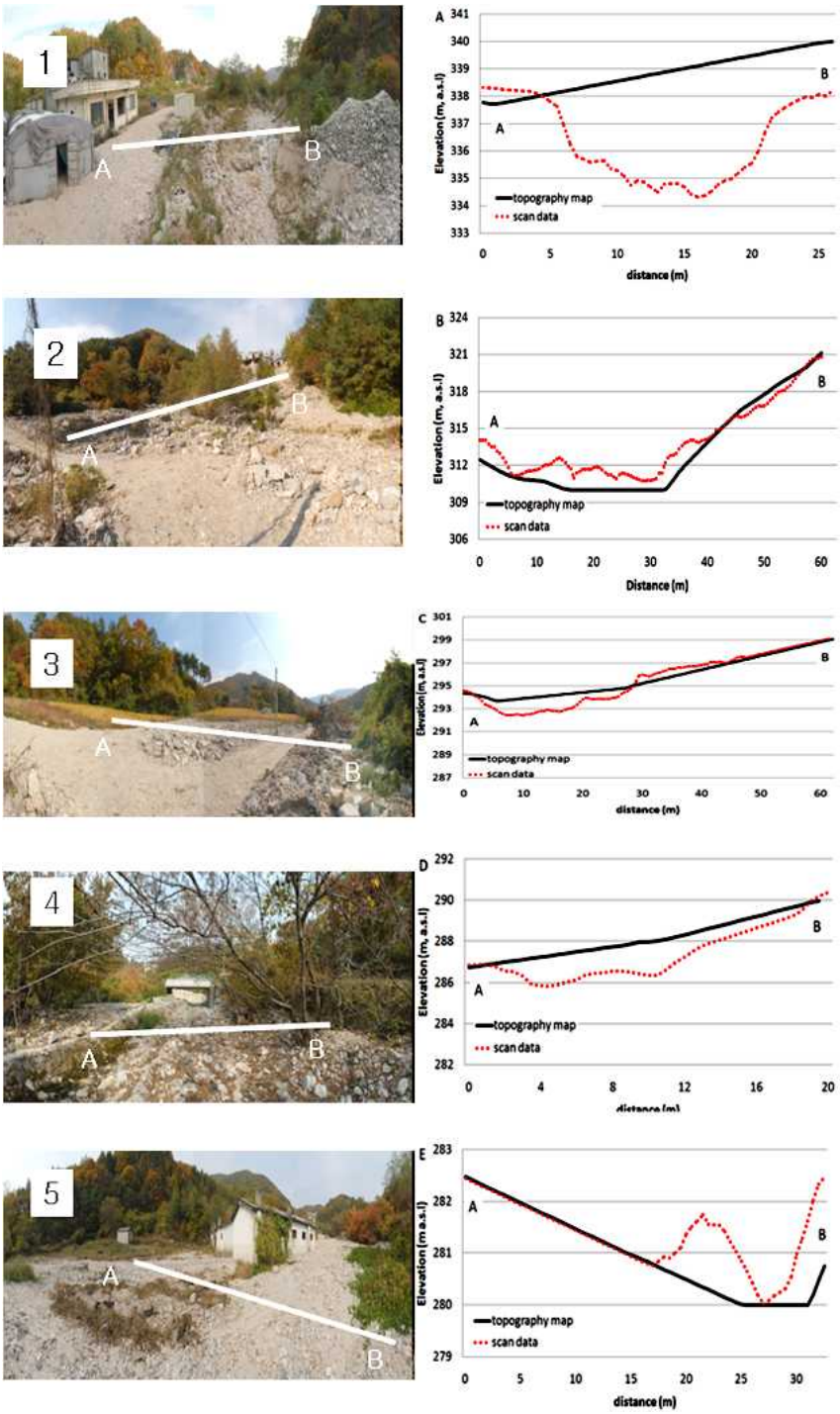

FIGURE 9. Comparison of cross-section and site view between before (solid line) and after (dotted line) debris flow; the points of 1-5 are shown in Fig. 8

지점(1)은 침식이 우세한 상류부로써 스캐닝 결과를 보면 하류방향 우측에 약간의 퇴적을 제외하면 대부분의 구간에서 큰 침식이 일어났음을 알 수 있다. 실제 동일 지점에서의 사진을 통해 침식부분을 확인 할 수 있다. 지점 (2)는 침식과 퇴적이 동시에 일어난 중류부로써, 스캐닝 결과에서 B점 부근에서는 경사지에서의 침식이 발생하였고 A점 부근 흐름의 본류에서는 퇴적이 일어난 것으로 나타났으며, 실제 지형과 비교했을 때 일치함을 알 수 있었다. 지점 (3)도 유사하게 침식과 퇴적이 동시에 일어나고 있다. 지점 (4)에서는 수로를 따라 침식이 크게 일어난 것을 알 수 있으며 현장 사진을 통해 이를 확인할 수 있었다. 지점 (5)의 하류의 완경사지에서 최대 2m의 퇴적이 크게 일어난 지점으로 나타났으며, 현장의 사진에서도 이를 확인할 수 있으며, 특히 기존의 수로부분에서 큰 퇴적이 일어났음을 알 수 있었다. 이러한 스캐닝을 통한 지형변화와 실제 현장에서의 확인을 통해 토석류 발생에 의한 지형변화를 분석하는데, 지상라이다의 적용은 매우 유효함을 알 수 있었다.

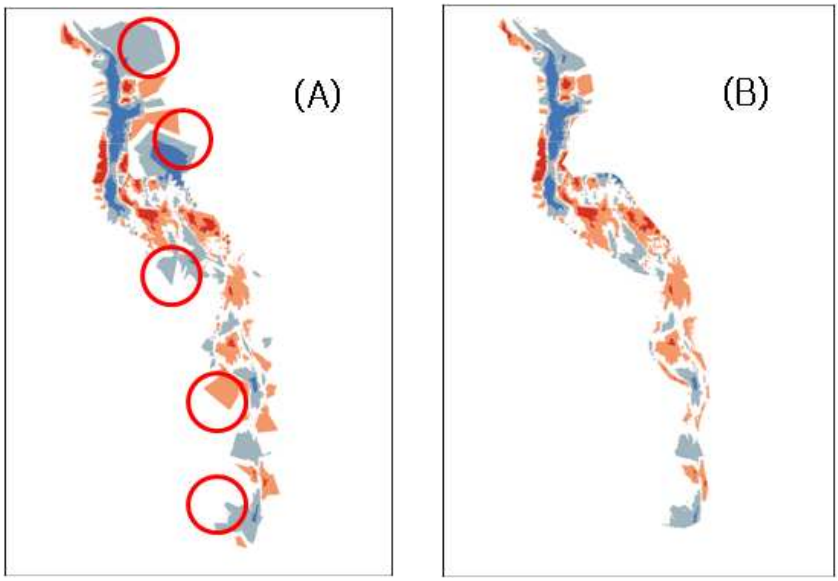

FIGURE 10. Extraction of topographic change of without (A) and with (B) boundary clipping

그림 5의 분석과정에서 나타낸 것과 같이 스캐너를 통해 얻어진 포인트 자료를 기존의 수치지도에 중첩하여 보간을 통해 폴리곤을 생성한다. 그림 10 (A)는 이러한 과정을 통해 생성된 폴리곤 자료를 보여준다. 이 때 수치지도의 축적이나 지역적인 경사도에 따라서 보간시에 실제 지형과는 다른 형태로 보간이 이루어 짐을 알 수 있다. 이런 부분을 원으로 표시하였다. 따라서 보간시의 이런 오류를 제거하기 위하여 당초 연구지역을 중심으로 클리핑한 결과가 (B)이다. 이러한 연구영역에 대한 클리핑에 의하여 실제 지형변화만을 재계산한 결과를 그림 11에 나타내었다. 클리핑을 통한 대상지역 설정이 없는 경우 침식량은 24,150㎥, 퇴적량은 14,296㎥이었으나 수치지도와 스캐닝에 의한 포인트자료와의 보간시 발생되는 오차를 고려하기 위한 클리핑을 적용시 침식량은 17,586㎥, 퇴적량은 7,520㎥로서 침식체적과 퇴적체적이 모두 6,500~6,700㎥ 정도 감소함을 알 수 있다. 이러한 결과로부터 클리핑작업이 없으면 실제 변화량보다 상당 수준 변화량이 과다평가 될 수 있음을 알 수 있었다.

본 연구에서 제안된 지상라이다의 측량방법을 이용하여 현장에서 토석류 발생에 따른 지형변화와 침식/퇴적량 측정을 통해서 정확한 평가가 가능하다고 판단되었으며, 보다 정확한 변화량 계산을 위해서는 라이다 측정시 경계조건의 적용이 중요하다고 판단되었다. 이러한 기법을 적용하여 현장자료를 구축함에 따라 향후 토석류 모델개발에 필요한 자료로서 적용이 가능하다고 기대된다.

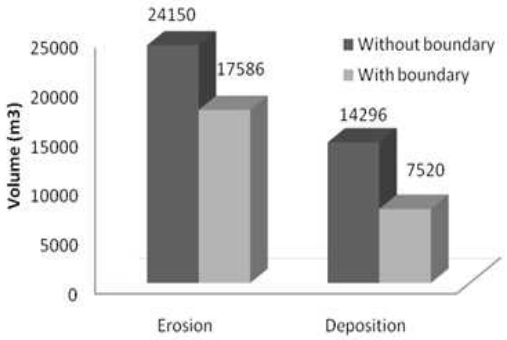

FIGURE 11. Evaluated erosion and deposition volume without/with boundary

결 론

토석류 발생지역에서 지상라이다를 이용하여 토석류 발생에 따른 지형의 변화를 평가하는 것은 정확도의 측면에서 매우 유효하다고 판단되었다. 변화량 평가과정에서 스캐닝 자료와 수치지도의 중첩과정에서 연구대상지에 대한 추출과정에 따라서 변화량 평가에 큰 영향을 줌을 알 수 있었다. 토석류 발생에 의한 침식, 퇴적량은 각각 17,586㎥, 7,520㎥으로 평가되었다. 이러한 고해상도 지상라이다시스템을 이용하여 지형변화 관측을 통해 장래 토석류 모델 개발 연구에 기여할 수 있을 것으로 판단되었다. KAGIS

참고문헌

강준묵, 윤희천, 민관식, 이원영. 2007. 수치지형도와 LiDAR 데이터를 이용한 지형경사도 비교분석. 한국지형공간정보학회지 15(4):3-9.

김경태, 정성관, 박경훈, 오정학. 2005. GIS 및 RS기법을 활용한 산사태 취약성 평가. 한국지리정보학회지 8(1):75-87.

김경석. 2008. 토석류 발생 지형과 유발 강우 특성 분석. 대한토목학회지 28(5C):263-271.

김기홍, 원상연, 윤준희, 송영선. 2008. 강릉지역 국도의 재해위험성 평가. 한국지형공간정보학회지 16(4):33-39.

김기환, 이동혁, 김대회, 이승호. 2008. 토석류 흐름 상태 특성 파악을 위한 모형실험 연구. 한국지반환경공학회지 9(5):83-89.

박덕근, 노성열, 손종철, 유병옥, 장범수. 2007. 집중호우에 따른 비탈면 재해분석을 통한 피해저감 방안 제시. 한국구조물진단학회지 11(4):3-11.

우충식, 윤호중, 이창우, 정용호. 2008. 항공사진을 이용한 산지토사재해 영향인자 분석. 한국환경복원녹화기술학회지 11(1):14-22.

윤홍식, 이동하, 서용철. 2009. GIS 기법 및 발생자료 분석을 이용한 산사태 위험지도 작성. 한국지리정보학회지 12(4):59-73.

윤희천, 박준규. 2007. LiDAR에 의한 3차원 GIS DB 구축에 관한 연구. 한국지리정보학회지 10(2):171-182.

이승기, 이병두, 정주상. 2005. GIS를 이용한 산사태 위험지 판정 모델의 개발. 한국지리정보학회지 8(4):81-90.

조남춘, 최철웅, 전성우, 한경수. 2006. RS와 GIS 기법을 활용한 산사태 위험성의 검증. 한국지리정보학회지 9(2):54-66.

채병곤, 송영석, 서용석, 조용찬, 김원영. 2006. 모형실험 장치를 이용한 산사태 발생 및 사태물질 거동특성 실험. 대한지질공학회지 16(3):275-282.

Du, J.C. and H.C. Teng. 2007. 3D laser scanning and GPS technology for landslide earthwork volume estimation. Automation in Construction, 16:657-663.

Glenn, N.F., D.R. Streutker, D.J. Chadwick, G.D. Thackray and S.J. Dorsch. 2006. Aanlysis of LiDAR-derived topographic information for characterizing and differentiating landslide morphology and activity. Geomorphology 73:131-148.

Kasai, M., M. Ikeda, T, Asahina and K. Fujisawa. 2009. LiDAR-derived DEM evaluation of deep-seated landslides in a steep and rocky region of Japan. Geomorphology 113:57-69.

Lan, H., C.D. Martin, C. Zhou and C.H. Lim. 2010. Rockfall hazard analysis using LiDAR and spatial modeling. Geomorphology 118:213-223.