

초음파센서를 활용한 토양침식모니터링 방법 개발 (I)

남경훈 · 이재형 · 이학운 · 정교철*

안동대학교 지구환경과학과

Development of a Monitoring Method for Soil Erosion using an Ultrasonic Sensor (I)

Koung-Hoon Nam, Jea-Hyoung Lee, Hak-Yun Lee, and Gyo-Cheol Jeong*

Dept. of Earth and Environmental Sciences, Andong National University

Received 18 February 2015; received in revised form 9 March 2015; accepted 18 March 2015

기후변화에 따른 대규모 토양유실에 대한 토양관리 및 적절한 대책이 수립되어야 하나 현재까지 토양침식 실측자료 및 정책을 뒷받침할 연구가 전무한 실정이다. 이에 본 연구는 유역규모에서 토양침식의 정량적 분석을 위하여 실시간 측정 장치인 스마트센서를 개발하였고 실제 지형을 정밀하게 표현하는 지상라이다를 활용하여 비교 및 검증하였다. 스마트센서는 초음파센서, 강우계, 태양열전지, RTU 및 CDMA 무선통신망 등으로 구성하였고 30분 간격으로 토양침식변위를 정량적으로 파악할 수 있게 하였다. 연구결과 2013년 8월 22일부터 10월 11까지 측정된 라이다와 초음파센서의 토양침식깊이의 상관관계는 0.9182이었다. 또한 라이다의 토양침식깊이(mm)와 토양침식량(m³)의 상관관계는 하부 영역에서 0.9063, 상부영역에서 0.9868이었다. 향후 스마트센서의 추가자료 확보, 설치 위치 최적화 및 자료 보정이 수행되어 유역 규모에 설치된다면 토양보전 및 관리 체계의 기초자료로 양질의 자료를 제공하리라 판단된다.

주요어: 토양침식, 모니터링, 초음파센서, 지상라이다

Few studies have investigated soil management policy and soil erosion measurement, whereas the occurrence of climate change requires the establishment of robust soil management systems and appropriate control of soil erosion. In this study, we developed a smart sensor for real-time quantitative measurements of soil erosion at the watershed scale. The smart sensor consists of an ultrasonic sensor, a rainfall meter, a solar cell, an RTU (remote terminal unit), and a CDMA (code division multiple access) and it was programmed to take a measurement every 30 minutes. The depths measured by the smart sensor were compared with data from terrestrial LiDAR. Experimental results showed a strong correlation in the depth of soil erosion between LiDAR and the ultrasonic sensor for the period from 22 August to 11 October 2013. Furthermore, the correlation coefficient between soil erosion depth (mm) and soil erosion volume (m³) was 0.9063 in the lower region of the watershed and is 0.9868 in the upper region. The proposed ultrasonic sensor technique can provide high-quality data for soil conservation and management systems in the future.

Key words: soil erosion, monitoring, ultrasonic sensor, terrestrial LiDAR

*Corresponding author: jeong@anu.ac.kr

© 2015, The Korean Society of Engineering Geology

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서 언

토양침식을 방지하고 토양유실을 예측하기 위해 다양한 연구가 진행되고 있으나 시·공간적으로 변화하는 유역 내 토양유실량을 정확하게 측정하는 방법은 현실적으로 불가능하다(Nam et al., 2014). 우리나라의 경우 재해영향평가 제도가 실시된 이후 모든 재해영향평가에서는 범용토양유실공식(USLE) 또는 수정범용토양유실공식(Revised USLE)을 적용하여 토사유출량 변화를 예측하고 그에 따른 저감 대책 수립에 활용하고 있다. 또한, 소방방재청 사전재해영향성검토협의 실무지침서(NEMA, 2007)에 의하면 토사유출량 산정을 위해 원칙적으로 RUSLE 공식 사용을 언급하고 있다(Kim and Kim, 2014). 토양유실에 가장 크게 영향을 미치는 5가지 인자인 강우인자(rainfall and runoff, R), 토양침식성인자(soil erodibility, K), 경사인자(slope length and steepness, LS), 식생피복인자(cover management, C), 보전관리인자(support practice, P)의 승법으로 연평균 토양유실량(A, $MT/ha^{-1}/yr^{-1}$)을 추정하는 USLE를 개발하였다(Wischmeier and Smith, 1978). USLE는 미국 내 판상침식 및 세류침식의 산정에 많이 이용되었으며, 이후 USLE의 결점을 보완하기 위한 RUSLE는 강우요인을 변형 개량하여 극한 강우에도 토양유실량도 계산할 수 있도록 하였다. 이는 USLE가 농경지 중심의 토양유실량 분석기법인 것에 비해 RUSLE는 유역차원에서 분석이 가능하며 USLE보다 많은 현장자료를 추가하여 보완된 기법이기 때문에 범용성이 USLE보다 우수하다(Choi and Choi, 2010; Lee et al., 2011). 또한 최근 토양유실 분야 연구에 있어 USLE를 기반으로 한 SATEEC (Sediment Assessment Tool for Effective Erosion) 및 SWAT (Soil and Water Assessment Tool)의 사용이 증가되고 있다(Lim et al., 2005; Park et al., 2008). 그러나 국·내외적으로 유역규모에서의 토양침식을 직접 측정하는 연구는 미비하거나 전문한 실정이다. 비접촉 거리 측정기법에는 대부분 광(laser) 및 초음파(ultrasonic) 센서에 기반을 두고 있다. 광학적 원리에 의한 측정은 사용되는 신호의 파장이 짧아 정확성이 높고, 온도나 압력 같은 외부 환경요소에 민감하지 않다는 점에서 장점을 갖는다. 그러나 대체로 장치가 고가이고 신호처리 알고리즘이 복잡해질 수 있다는 문제가 있다. 이에 비해 초음파를 이용한 거리측정은 해상도가 비교적 낮고 외부 환경에 따라 진행파의 속도나 감쇠의 정도가 달라지는 단점이 있지만, 측정방식이 간단하고

장치가 저가라는 실제적 장점 외에도 광학적 방법의 센서와는 달리 먼지가 많은 곳이나 더러운 작업공간에서도 목표물의 색깔이나 투명성에 무관하게 사용 가능하다는 이점을 지니고 있다(Do et al., 1997). 초음파센서는 무인 이동체를 위한 계측장치로써 뿐만 아니라 자동차 거리 후방감지기, 식물생장높이, 지표수위, 수중탐사장치, 비파괴검사장치 등 여러 가지 용도로 널리 활용되고 있다(Fricke et al., 2011; Christensen et al., 2013). 특히 지표면에서 비접촉 거리 측정을 한 연구로 광학센서는 지표면의 요철에서는 정확성이 높지만 수막형성 및 함수량에 의한 빛의 굴절에 크게 영향을 받는 반면, 초음파센서는 요철에 의한 정확성 및 수막형성에 의한 정확성은 높지만 온도에 크게 영향을 받는다고 보고하였다(Lee et al., 1996). 한편, 사면안정, 토석류 및 산사태와 같은 지속적 변위 모니터링을 요구하는 라이다(LiDAR)의 활용 연구를 살펴보면 Yoo et al. (2008) 및 Park et al. (2010)은 대상사면에 라이다와 토탈스테이션(total station)을 이용한 사면거동을 계측한 결과, 라이다 계측이 요구 정확도를 확보하면서 다양한 분석이 가능함을 증명하였고, Jun et al. (2014)은 토석류 수치 해석 모의를 비교하여 라이다의 침식과 퇴적의 경향성을 평가하였다. 또한 Jaboyedoff et al. (2012)은 산사태 발생지역의 표면변위 및 산지 계류의 지형변위를 분석함으로써 낙석, 토석류 및 산사태의 정확한 분류를 시도하였고, Abellán et al. (2009)은 산사태 발생 시 초기 정후인 수 mm의 지반거동을 감지하기 위해 필요한 소요 정확도를 확보하기 위한 연구로 낙석예상지역과 산사태 발생지역의 지형특성을 추출하였다. 따라서 본 연구는 강우 이후에 지표면 수막형성에 영향을 받지 않는 초음파센서를 통해 상시 측정 가능한 토양침식 모니터링을 구축하였고 검증을 위해 높은 위치정확도가 검증된 라이다의 3차원 공간정보를 이용하여 토양침식량을 정량적으로 분석하였다.

재료 및 방법

연구지역

춘천시 서면 일대의 화강암풍화토 지역에 농경지를 변경한 가로 3 m, 세로 6 m, 사면경사 5°의 테스트베드를 구축하였다(Fig. 1). 정확한 강우 시점 및 강우량을 파악하기 위해 강우계측기와 함께 모니터링 센서를 경사지의 상부에 2개, 하부에 2개를 설치하였으며 조립토 및 자갈은 현장에서 채가름을 통해 제거하였다. 연구지



Fig. 1. Test bed for monitoring soil erosion.

Table 1. Physical properties of the study area.

Geology	Size	Slope (°)	Water content (%)	Specific gravity	Density (t/m ³)	Ground water level (m)	No. 200 (%)	Cg	Cu
Granite weathering soil	3 m × 6 m	5	12.5	2.68	1.462	1.8	13	1.54	15.90

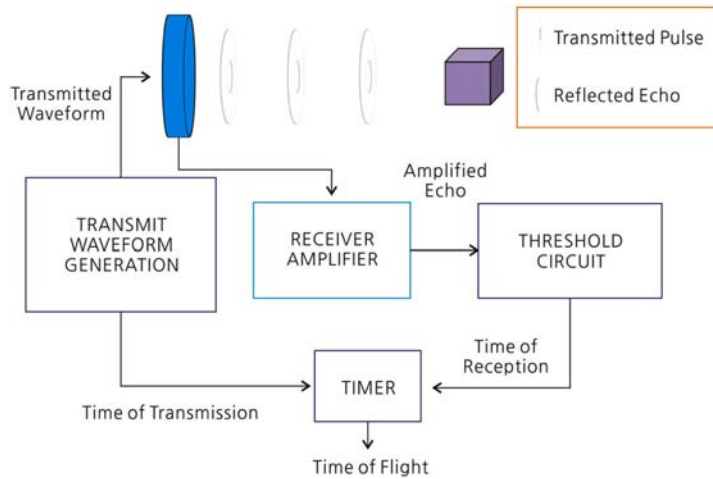


Fig. 2. Typical structure of the ultrasonic sensor.

역의 부지 특성은 Table 1과 같다.

초음파센서의 원리

거리계측을 위해 초음파를 사용하는 방식에는 공기 중에서 펄스반사(pulse-echo) 방식이 널리 사용된다. 초음파 펄스를 발사한 후 목표물에 반사되어 돌아올 때까지 걸리는 시간(time of flight, TOF)을 측정하면, 이는 비행거리에 비례하므로 목표물까지의 거리를 계산할 수

있다(Fig. 2). 즉, 센서에서 목표물까지의 거리가 L , 초음파의 진행속도 C_0 , TOF를 T 라고 하면, L 은 식 (1)에 의해 간단히 구할 수 있다. 따라서, 초음파 거리측정 정도는 비행시간의 측정 정도, 즉 초음파 수신시간 T 의 인식 정도에 직접적인 영향을 받는다(Lee et al., 2007).

$$L = C_0 \frac{T}{2} \tag{1}$$



Fig. 3. Schematic figure and photographs of the soil-erosion monitoring device.

Table 2. Soil erosion of each unit considering rainfall.

Rainfall (mm/h)		0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6.5	7.5	8.5	30	33
Soil erosion (mm)	Unit 1	6	2	1	1	-2	-2	-3	1	1	-0.5	5	-1	1	4	-1	15	1
	Unit 2	0	-8	-8	5.5	-8	-11.5	-12	15	10	-1.5	28	-12	10	19	-12	7	-8
	Unit 3	15	10	10	14	10.5	9	14			9		1	14		5	29	10
	Unit 4	-48	-71	-74	-34	-77	-74	-77	-2	-2	-57	-2	-77	-8	4	-77	-66	-77

초음파센서를 이용한 토양침식 모니터링

토양침식 모니터링 장치는 초음파센서(TSPC-21S, Senix Inc.), 강우계, 태양열 전지판, 합체, 폴대 및 허부관으로 구성되어 있으며 태양열 전지판은 태양열을 인버터를 통해서 충전할 수 있으며 배터리 용량의 한계로 태양열 충전으로 장기사용이 가능하다. 초음파센서는 일정한 간격으로 지표의 변위를 측정하는 초음파센서를 사용하였으며 합체내부는 RTU (remote terminal unit), 인버터 및 배터리로 구성되어 있다. RTU는 무선모뎀이 포함된 내습에 강한 플라스틱 케이스로 구성되었으며, 센서로 측정된 자료를 저장 및 전송하는 장치이다. 인버터는 태양열로부터 오는 전기를 변환 후 배터리를 충전하여 안정적인 전원을 공급한다. 기기의 세부 크기는 폴대: 65 mm (D)×1500 mm (H), 합체: 350 mm (D)×세로 250 mm (L)×150 mm (H), 전지판: 320 mm (D)×300 mm (L), 태양열전지판: 300 mm (D)×290 mm (L)×25 mm (H), 센서 케이스: 150 mm (D)×200 mm (L)×150 mm (H) 이다. 측정 능력으로 지면거리까지 ±0.5%의 오차가 발생하며 반복 측정도는 1 mm 이하 측정이 가능하다. 현장에서의 장비 설치 방법은 콘크리

트 기초위에 폴대를 설치하고, 합체 내부에 RTU 장치, 배터리, 인버터를 설치하며 상단부에 태양에 가장 많은 시간이 노출될 수 있도록 태양열전지판을 설치한다(Fig. 3). RTU에서 측정된 자료는 CDMA (code division multiple access) 무선통신을 통하여 서버 컴퓨터에서 모니터링 할 수 있다. 테스트베드에서 모니터링 센서와 함께 연결된 강우계측기(WDR-205)는 직경 Ø 20 cm 집수구로 강우량을 집수하고 티핑컵 내 강우량 0.5 mm (15.7 cc) 충전 시 배수되며 티핑컵과 연계된 리드스위치의 동작에 의해 1 pulse가 발생된다.

Table 2는 초음파센서에서 초음파를 방사하여 지표면에 반사하여 되돌아오는 시간을 계산하여 측정된 값으로 강우량에 따른 토양침식깊이이다. 1호기 및 4호기는 연구지역 상부에 설치되어 있어 퇴적이 거의 일어나지 않고 강우량의 증가에 따라 침식이 증가했다. 2호기 및 3호기는 하부에 설치가 되어 있어 강우량 증가에 따른 침식 및 퇴적을 파악할 수 있다. 하지만 4호기의 경우 전체적으로 많은 양이 퇴적 되었다고 값이 산출되었지만 이 결과 값은 4호기의 기기 결함으로 판단된다. 2호기의 경우 퇴적 및 침식이 번갈아 가며 일어났으며 이

는 상부로부터 유입되는 토사가 이 구간에 퇴적된 것을 알 수 있고, 3호기에 비해 침식이 많이 일어나지 않은 것은 세류침식이 일어난 결과로 판단된다. 3호기의 경우 다른 기기의 산출된 값보다 많은 양의 침식이 일어났는데 이는 상부로부터 흘러오는 강우와 함께 면상침식이 일어난 결과로 판단이 되며 3호기 역시 강우량이 증가함에 따라 침식량이 늘어나는 것을 알 수 있다.

LiDAR를 이용한 공간정보 분석

본 연구에 사용된 라이더는 Leica사의 Scan Station 2로 수평 360°×270°로 Field-of-view (FOV)가 자유로우며 2개의 “Windows”를 가진다. 0°인 수평에서 Main Window는 -45°~+32°로 수직의 FOV와 Upper Window는 +90°~+22.5°의 수직 FOV를 제공한다. 레이저 최대 측정거리는 300 m 이상이며 최적의 측정 범위는 50 m~100 m 사이이다. 스캐너의 스캔 속도는 초당 50,000 point 이상측정이 가능하며 측정 시간이 오래 걸리지 않는 장점이 있다. FOV는 스캔 할 수 있는 각의 범위로서 작업의 용이성, 작업시간, 정확성과 관련된 주요한 요소로 작용한다. 라이더 장비에 의한 연구지역 내 지표면의 자료는 강우 이벤트 후 실시하였다. 라이더 장비를 이용해 획득한 데이터는 점군데이터로 3차원 공간 좌표를 포함하게 된다. 측정간격은 데이터의 정밀도와 측정시간을 고려하여 5 mm로 설정하였다.

현장에서 라이더 장비를 통해 획득한 데이터 해석은 라이더 장비와 연동되는 프로그램인 Cyclone과 ArcGIS를 이용하였다. 라이더 장비를 이용해 산출되는 침식량은 라이더 장비와 연동되는 프로그램인 Cyclone으로 가능하지만 체적계산에서 같은 지점이지만 다른 시기에 측정된 연구지역을 동일한 크기로 추출하는 것이 불안정하여 ArcGIS 프로그램을 이용하였다. 라이더 측정간격은 5 mm로 하였지만 장비 특성상 라이더 장비를 중심으로 원형을 그리며 측정하기 때문에 측정지점과 라이더 장비와의 거리가 멀어질수록 데이터의 간격이 벌어지며 지형구조 등으로 인해 규칙성이 없는 데이터를 획득하게 된다. 따라서 규칙성 없이 배열된 점군데이터를 다룰 수 있도록 0.01 m×0.01 m의 크기를 가지는 격자형태로 변환하여 표층부의 침식평면특성, 단면변화특성 및 측정수치를 이용하여 토양침식량을 산출하였고 토양 침식 평면형태를 등고선과 단면으로 표시하였다(Fig. 4~5).

강우 이벤트 후 연구 지역 내 중앙부에는 면상침식형태가 나타나며 좌측 및 우측에서는 세류침식형태가 우

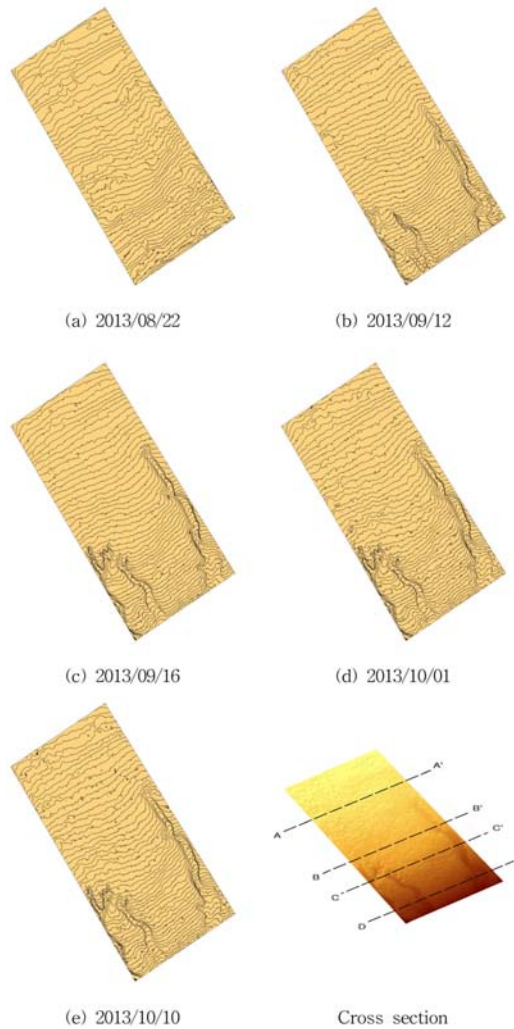


Fig. 4. Change in the Pattern of soil erosion after a rainfall event, and a cross-section used for erosion measurement.

세하게 나타난다. 침식량 산정은 라이더 장비를 이용해 획득한 점군데이터를 격자 형태로 만들어 격자형태가 나타내는 표면적에 임의의 수평면을 기준으로 한 높이를 구하여 강우량에 따른 침식된 부분의 체적을 산출하였다.

결과 및 고찰

초음파센서 및 LiDAR의 비교

침식 깊이는 초기 설치 운영단계로 환경적 요인에 의한 오차가 다소 발생되고 있으며, 이를 제거하기 위해 데이터 필터링을 수행하였다. 첫 번째 데이터 필터링으

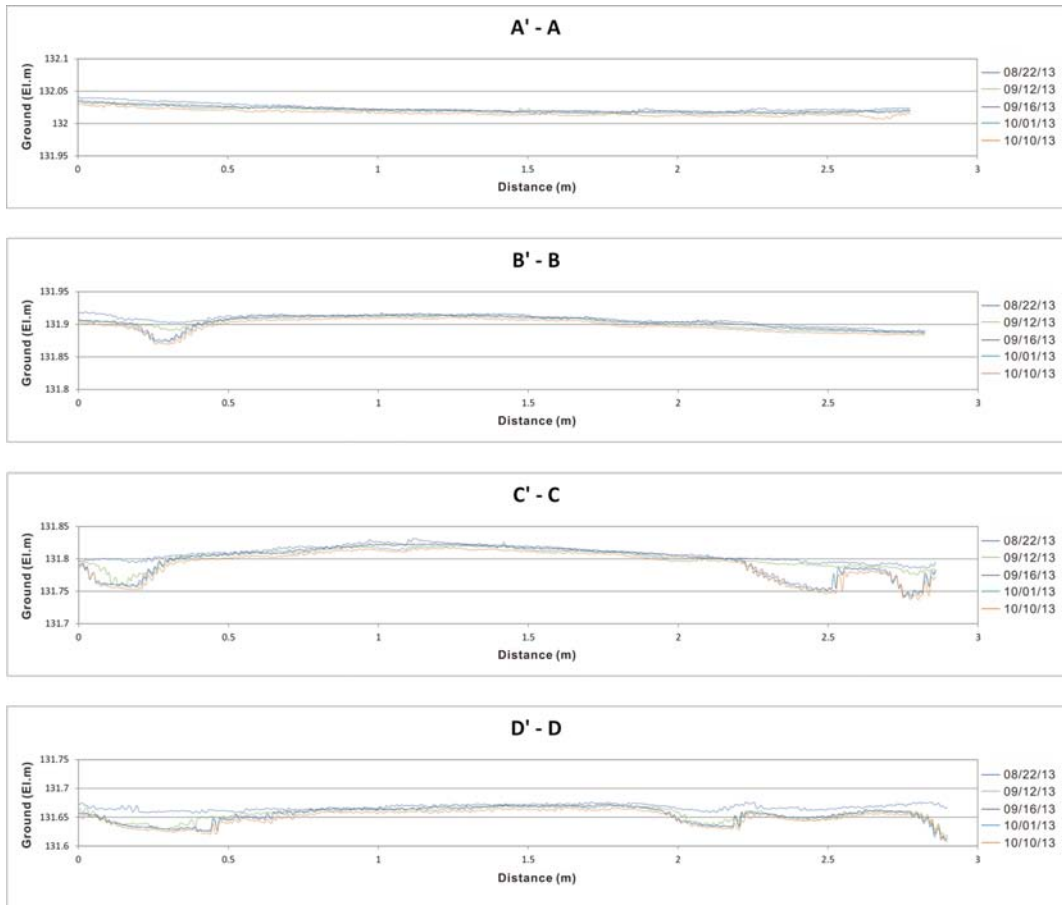


Fig. 5. Cross-section showing the change in soil erosion after a rainfall event.

로 측정 신뢰구간 상하값을 벗어난 자료는 제외하였으며 강우가 발생하지 않을 경우 토양 깊이는 변화하지 않으므로 최근 측정 깊이의 최대값을 측정값으로 보정하였다. 초음파센서에 의해 측정된 토양침식깊이를 비교 및 검증하기 위한 방안으로 라이다 장비를 사용하여 3차원 스캔된 토양부피로부터 계산된 토양침식량을 사용하였다. 라이다 장비에 의해 산정된 침식깊이 변화와 초음파센서의 보정된 침식깊이 변화는 유사한 시기에 증가하는 경향을 보여주고 있으며 신뢰성 있는 결과 도출을 위해 자료를 강우 이벤트별로 구분하여 분석하고자 하였다. 강우 이벤트가 발생하지 않을 경우에는 토양침식깊이의 변화가 없다고 가정할 수 있으므로, 실질적인 토양침식깊이 변화는 강우 이벤트 발생 전 또는 후의 초음파센서를 이용하여 산정할 수 있다. 라이다 장비에 의한 침식깊이 변화는 약 12 mm로 산정되었으며, 초음

파센서의 강우 전 자료를 이용한 침식깊이 변화는 약 10 mm, 강우 후 자료를 이용한 침식깊이 변화는 약 6 mm로 강우 전 자료를 이용한 침식깊이가 실제 산정된 침식깊이와 유사하였다. 강우 후 자료에 의한 침식깊이가 낮은 이유는 강우에 의한 물이 토양 표면에 머무르기 때문에 결과적으로 침식깊이가 낮아지는 효과를 가지기 때문이다. 초음파센서에 의한 침식깊이와 실제 침식깊이가 다른 이유는 100% 면상침식이 발생하지 않고, 일부 구간에서 세류침식의 발생으로 인해 차이가 발생되고 있다. 기기결함으로 인한 4호기를 제외한 1, 2, 3호기에서 측정된 침식깊이와 라이다로 측정된 침식깊이를 비교하였다. 8월 22일부터 10월 11까지 측정된 라이다의 토양침식깊이(Y축)와 초음파센서의 토양침식깊이(X축)의 상관관계는 0.9182이었다(Fig. 6). 또한 라이다의 토양침식깊이(mm)와 토양침식량(m³)의 상관관계는

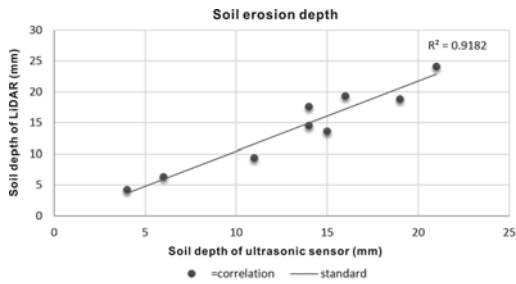


Fig. 6. Correlation of soil depth derived from ultrasonic sensor and LiDAR.

Table 3. Estimated soil depth and soil erosion.

Date	Soil depth (mm)	Soil erosion (ton/ha/yr)
2013/09/11	5.45	25.9
2013/09/24	6.06	17.2
2013/10/08	7.88	15.7
2013/11/02	12.12	15.9

하부 영역에서 0.9063, 상부영역에서 0.9868이었다.

강우 전 자료를 이용한 초음파센서에 의한 침식깊이 D 와 라이다 장비에 의해 측정된 침식깊이 De 와의 관계식을 식 (2)로 산출하였고 De 로부터 토양침식량 Me 를 식 (3)으로 산출하였다.

$$De = 0.8142 * D + 2.7897 \quad (2)$$

$$Me = (De / 1000) * \rho * A * L * w \quad (3)$$

여기서 Me 는 침식량(ton/ha/yr), De 는 침식깊이(mm), ρ 는 평균 용적밀도(약 1.3 ton/m³), A 는 단위면적 환산계수(10000 m²/ha), L 은 침식기간 환산계수(365 day)/연구기간(day), w 는 침식 발생 가능한 토양이 차지하는 면적 비율을 고려한 보정계수이다. 기술한 식을 이용하여 모니터링시스템에서는 강우 이벤트별로 발생된 토양침식량을 실시간 산정하는 것이 가능하다. 침식이 발생 가능한 토양이 차지하는 면적 비율을 고려한 보정계수를 0.02 (2%)로 가정하고, 토양침식깊이 측정 기준일을 2013/08/22로 할 경우 침식량은 일정한 값으로 수렴하는 것을 보여주며, 약 16.2 ton/ha/yr로 산정되었다. 강우 이벤트 후의 토양침식량을 측정된 결과는 Table 3과 같다.

초음파센서의 한계

초음파센서의 측정 원리는 전기적 펄스 신호를 발신기 소자에 보내 초음파를 생성, 공기 중에 발사하는 물체에 반사되어 되돌아오는 음파를 전기적 신호로 바꾸

어 그 신호가 기준 크기를 넘는 시점을 찾는다. 그러나 초음파는 공기 중의 퍼짐과 회색으로 인해 그 크기가 감소하므로 이를 보정하기 위해 시간의 흐름에 따라 이득이 커지는 증폭기를 사용하여 초음파의 크기를 보상해 준다. 초음파센서를 이용하여 높은 정확성을 요구하는 토양침식 깊이변화를 분석하는 연구에서 초음파센서의 특성으로 인한 기본적인 결점이 있다. 이러한 결점들은 아래와 같다.

첫째, 방향의 부정확성이다. 초음파센서는 음파의 성질을 가지고 있으므로 직선으로 송신되지 않고 대략 15°에서 30° 정도의 개방 각을 갖는 콘 형태를 가진다. 따라서 초음파센서의 의해 측정된 물체와의 거리는 이 콘 영역 내에 있는 물체와의 거리를 나타내므로 거리가 멀면 멀수록 초음파센서의 중심축에서 먼 거리에 위치한 물체일수록 확률이 높아진다. 본 연구는 지표면과 초음파센서와의 거리는 1 m 내외로 문제가 되지 않는다고 판단되나 초음파 자체가 방사상으로 퍼져 지표면 요철에 민감하게 반응하였다.

둘째, 외란 민감성이다. 초음파센서는 초음파 잡음 등에 영향을 받을 수 있으며 주변 센서에 의해서도 영향을 받을 수 있다. 하지만 토양침식이 일어나는 곳은 인적이 드물어 주변 초음파 잡음에 있어 영향을 받지 않을 것으로 판단된다.

셋째, 반사각 민감성이다. 초음파센서가 물체에 반사되어 나오는 신호의 크기는 센서의 기울어진 각도에 따라 줄어들게 된다. 즉, 센서의 수직한 방향과, 벽면에서의 수직한 방향사이의 각도 또는 코너를 결정짓는 두 벽면의 교차점과의 각도(θ)에 반비례하게 된다. 본 연구에서 사용된 초음파센서 TSPC-21S의 경우 θ 크기가 약 30° 이상이면 반사된 신호의 크기는 기준 크기 이하로 떨어지게 되고 비행시간으로부터 점 지도를 형성하지 못하게 된다. 따라서 적절한 기준 크기의 설정은 측정 가능한 초음파의 각도를 결정한다. 그리고 초음파 신호는 한곳에서만 반사되는 것이 아니라 여러 곳에서 반사되어 돌아오는 경우도 가능하다. 여러 곳에서 반사되어 돌아오는 신호는 첫 번째로 반사된 신호만을 이용하는 경우에는 다중반사로 인한 신호는 무시하게 된다. 첫 번째로 반사되는 신호의 크기가 작을 경우에는 기준 크기에 따라서 첫 번째로 반사된 신호를 검출하지 못하고 다중 반사(multiple reflection)된 신호를 검출하게 되는 경우도 있다.

넷째, 감쇠현상이다. 초음파는 매질에 따라 전파 속도도 다르지만 같은 전파 매질에서도 먼 쪽으로 갈수록 그 에너지가 작아지게 되고 결국에는 소멸한다. 이 특성

은 고체보다 액체, 액체보다 기체에 영향을 더 받는다. 일반적으로 공중을 전파하는 초음파는 매질에 의한 에너지 흡수 손실과 회절 현상에 의해 구면 위로 확산하는 확산 손실이 지배적이고 이것에 의해서 그 전파 거리가 제약된다. 본 연구는 지표면과 센서부와의 거리가 1 m 내외이므로 방향의 부정확성 및 감쇠현상의 영향은 크지 않을 것으로 판단된다.

결 언

동일한 지표면의 면적에서 강우가 침식깊이 및 침식 형태에 어떠한 영향을 미치는지 판단하고자 3차원 레이저 스캐닝을 이용하여 시간경과에 따른 침식현상을 표현하고, 강우특성으로 인한 토양침식깊이를 측정하여 각 조건별 특성을 파악하고자 하였다. 토양침식깊이는 강우 이벤트 후 초기에 발생하였고 상부 및 중앙부에서는 면상침식이 하부 및 좌우측부에서는 세류침식이 우세하게 나타나는데 이것은 토양침식을 발생시키는 인자 중 강우인자와 함께 물의 흐름거리가 매우 중요한 인자임을 나타낸다. 초음파센서에 의해 실시간으로 측정되는 지표면에서의 침식깊이(mm)를 침식량(m^3)으로 변환 가능성을 분석하기 위하여 라이다로부터 측정된 자료를 기반으로 분석을 수행하였다. 면상침식 특성을 보이는 상부 두 지점과 세류침식 특성을 함께 보이는 하부 두 지점의 자료를 세분하여 관계를 분석하였다. 초음파센서가 설치된 지점에서 지상 라이다에 의한 침식깊이(mm)와 세분된 면적의 침식량(m^3)을 분석하여 관계를 도출하였다. 지상라이다와 초음파센서의 토양침식깊이의 상관관계는 0.9182이었으며 침식깊이(mm)와 침식량(m^3)의 상관도는 하부 영역에서 0.9063, 상부영역에서 0.9868의 상관도를 보여주고 있으며 하부 영역이 낮은 이유는 세류침식의 영향으로 판단된다. 이와 같은 결과는 한정된 자료이지만 지속적인 자료의 축적에 의해 분석이 이루어질 경우 침식깊이를 가지고 침식량 산정을 추정할 수 있는 유효한 접근 방법이라고 판단된다. 합리적인 침식량을 추정하기 위해서는 모니터링 대상지역 내 토양 침식발생이 가능한 면적 비율인 면적보정계수를 적절히 산정하는 것이 중요하며, 초음파센서의 단점인 반사각 민감성에 대해서는 향후 연구에서 보완하고자 한다.

사 사

본 연구는 토양·지하수오염 방지기술개발사업 중 토

양침식 모니터링 센서 개발사업에 의하여 수행되었습니다. 이에 감사드립니다(과제번호: RE201202051).

References

- Abellán, A., Jaboyedoff, M., Oppikofer, T., and Vilaplana, J. M., 2009, Detection of millimetric deformation using a terrestrial laser scanner: experiment and application to a rockfall event, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 9, 365-372.
- Choi, Y. Y. and Choi, J. W., 2010, Application of SWAT model for sediment characteristics analysis due to land use change, *Journal of Korean Society of Water Science and Technology*, 18(1), 59-72 (in Korean with English abstract).
- Christensen, K. H., Rohrs, J., Ward, B., Fer, I., Brostrom, G., Saetra, O., and Breivik, O., 2013, Surface wave measurements using a ship-mounted ultrasonic altimeter, *Methods in Oceanography*, 6, 1-15.
- Do, Y. T., Kim, T. H., and Yoo, S. H., 1997, A study to reduce measurement errors of an ultrasonic rangefinder, *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, 34(11), 1219-1228 (in Korean with English abstract).
- Fricke, T., Richter, F., and Wachendorf, M., 2011, Assessment of forage mass from grassland swards by height measurement using an ultrasonic sensor, *Computers and Electronics in Agriculture*, 79(2), 142-152.
- Jaboyedoff, M., Oppikofer, T., Abellán, A., Derron, M. H., Loye, A., Metzger, R., and Pedrazzini, A., 2012, Use of LIDAR in landslide investigations: a review, *Natural hazards*, 61(1), 5-28.
- Jun, B. H., Jun, K. W., and Lee, S. C., 2014, Analysis of the erosion/deposition in debris flow using terrestrial LiDAR data, *Korean Review of Crisis & Emergency Management*, 10(3), 61-71 (in Korean with English abstract).
- Kim, D. P. and Kim, J. H., 2014, Estimation of soil erosion and sediment outflow in the mountainous river catchment, *Journal of Wetlands Research*, 16(2), 221-233 (in Korean with English abstract).
- Lee, D. H., Kim, S. Y., Yoon, K. S., and Lee, M. H., 2007, A long range accurate ultrasonic distance measurement system by using period detecting method, *Journal of the Korean Society for precision Engineering*, 24(8), 41-49.
- Lee, G. S., Choi, Y. W., and Park, J. H., 2011, Comparative evaluation of muddy water occurrence possibility in dam reservoir using GIS, *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies*, 14(1), 94-106 (in Korean with English abstract).
- Lee, J. Y., Yamazaki, M., Oida, A., Nakashima, H., and Shimizu, H., 1996, Non-contact sensors for distance measurement from ground surface. *Journal of Terramechanics*, 33(3), 155-165.
- Lim, K. J., Sagong, M., Engel, B. A., Tang, Z., Choi, J. D., and Kim, K. S., 2005, GIS-based sediment assessment tool, *CATENA*, 64(1), 61-80.

- Nam, K. H., Lee, D. H., Chung, S. R., and Jeong, G. C., 2014, Effect of rainfall intensity, soil slope and geology on soil erosion, *The Journal of Engineering Geology*. 24(1), 69-79 (in Korean with English abstract).
- National Emergency Management Agency (NEMA), 2007, Pre-disaster impact review consultation practice guidelines, National Emergency management Agency (in Korean).
- Park, J. K., Lee, S. Y., Yang, I. T., and Kim, D. M., 2010, Monitoring of the natural terrain behavior using the terrestrial LiDAR, *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, 30(2D), 191-198 (in Korean with English abstract).
- Park, Y. S., Kim, J. G., Heo, S. G., Kim, N. W., Ahn, J. H., Park, J. H., Kim, K. S., and Lim, K. J., 2008, Comparison of soil loss estimation using SWAT and SATEEC, *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers*, 50(1), 3-12 (in Korean with English abstract).
- Wischmeier, W. H. and Smith, D. D., 1978, Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning, *Agriculture Handbook No. 537*, US Department of Agriculture, Washington, DC, USA, 58p.
- Yoo, C. H., Chil, Y. S., and Kim, J. M., 2008, Analysis of slope fracturing using a terrestrial LiDAR, *The Journal of GIS Association of Korea*, 16(3), 279-290 (in Korean with English abstract).

남경훈

안동대학교 지구환경과학과
760-749 경북 안동시 경동로 1375(송천동)
Tel: 054-820-7735
Fax: 054-822-5467
E-mail: namsoil@naver.com

이재형

안동대학교 지구환경과학과
760-749 경북 안동시 경동로 1375(송천동)
Tel: 054-820-7735
Fax: 054-822-5467
E-mail: dlwogud89@naver.com

이학운

안동대학교 지구환경과학과
760-749 경북 안동시 경동로 1375(송천동)
Tel: 054-820-7735
Fax: 054-822-5467
E-mail: erebus90@naver.com

정교철

안동대학교 지구환경과학과
760-749 경북 안동시 경동로 1375(송천동)
Tel: 054-820-5753
Fax: 054-822-5467
E-mail: jeong@anu.ac.kr