

## Load-cell Sensor를 이용한 산지 토사유출량 측정의 현장 적용성 검토

서준표<sup>1,2</sup>, 이기환<sup>1</sup>, 김동엽<sup>1</sup>, 우충식<sup>1</sup>, 이창우<sup>1</sup>, 이헌호<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>국립산림과학원 산림방재연구과, <sup>2</sup>영남대학교 산림자원학과

## Evaluation of the Applicability of Sediment Discharge Measurement in Mountain Stream using the Load-cell Sensor

Jun-Pyo Seo<sup>1,2</sup>, Ki-Hwan Lee<sup>2</sup>, Dong-Yeob Kim<sup>1</sup>, Choong-Shik Woo<sup>1</sup>,  
Chang-Woo Lee<sup>1</sup>, Heon-Ho Lee<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Division of Forest Disaster Management, National Institute of Forest Science

<sup>2</sup>Department of Forest Resources, Yeungnam University

**요약** 최근 기후변화로 인한 집중호우, 태풍 등의 영향으로 산사태가 빈번히 발생하고 있다. 산사태를 예방할 수 있는 효율적인 방법은 사방사업이다. 이러한 사방사업의 효율성을 높이기 위해서는 산지에서 유출되는 토사량에 대한 정량적 측정이 필요하다. 본 연구에서는 산지계류에 Load-cell 센서를 설치하고, 분동테스트를 통하여 계류에서의 적용성과 재하 형태에 따른 출력값을 비교하였다. 개별 및 복합 하중시험을 실시한 결과, Site 1에서 평균 0.4kgf, Site 2에서 평균 0.6kgf 차이로 재하 형태의 영향은 낮게 나타났다. 또한 측정값의 정확도를 높이기 위해 하중계수를 산정하였다. 하중계수를 Load-cell 측정값에 적용하여 보정한 결과, 두 사이트에서 출력값이 각각 14.8%p, 24.6%p 상승하여 기준값에 근사하게 산정되었다. Load-cell 센서는 수위, 강우 등과 함께 시계열 분석을 통하여 산지 토사유출량을 정량적으로 산정할 수 있었다. 모니터링이 장기간 이루어진다면 산림유역에 대한 토사유출 매커니즘 구명에도 활용할 수 있을 것이다. 또한 Load-cell과 같은 센서를 산지 계곡에 적용함으로써 계측센서 등 관련분야 산업 발전에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

**Abstract** Landslides occur frequently due to the effects of heavy rainfall and typhoons caused by climate change. Erosion control measures are needed to effectively prevent landslide damage. In order to improve their efficiency, it is necessary to quantitatively measure the sediment discharge from the mountain stream. In this study, a load cell sensor was installed in a mountain stream and the measured values were compared according to the applicability and load test type in the mountain stream. The result of the load test showed that the effect of the loading type (load test 1, 2) was low at average (loadings) of 0.4kgf and 0.6kgf at sites 1 and 2, respectively. The load factor was also derived by regression analysis to increase the accuracy of the measured values. According to the results of the load factor (normalized) to the load-cell measurement value, the output value increased by 14.8% and 24.6% in sites 1 and 2, respectively, and was calculated to be similar to the reference value. The load cell sensor enabled us to quantitatively estimate the amount of sediment discharge in the mountain stream through time series analysis with the water level and rainfall information. If the monitoring is carried out for a long time, it can be used to find the sediment discharge mechanism for the mountain stream. In addition, applying sensors such as load-cells to a mountain stream is expected to contribute to the development of related industries, such as the manufacturing of measurement sensors.

**Keywords :** Applicability estimation, Load-cell sensor, Mountain stream, Quantitative measurement, Sediment discharge

\*Corresponding Author : Heon-Ho Lee(Yeungnam Univ.)

Tel: +82-53-810-3801 email: hhlee@ynu.ac.kr

Received September 25, 2017

Revised (1st November 6, 2017, 2nd November 10, 2017)

Accepted January 5, 2018

Published January 31, 2018

## 1. 서론

최근 전 세계적 기후변화로 인한 자연재해가 빈번히 발생하고 있으며, 단순빈도뿐만 아니라 재해의 종류도 증가하고 있기 때문에 그에 대한 예방 등 재해관리가 중요한 관심사로 대두하고 있다[1]. 우리나라는 여름철에 태풍과 집중호우의 영향으로 풍수해가 빈번히 발생한다. 특히, 산에서 발생하여 인명과 재산에 막대한 피해를 미치는 산사태 피해가 대표적이다. 산사태란 산의 흩이 붕괴되는 현상이다. 좀 더 세부적으로는 산에서 흩이 유출되는 것을 산지 토사유출이라 하고, 많은 토사가 일순간에 붕괴되는 것을 산사태라고하며, 토석류, 땅밀림 등의 피해도 있다[2]. 이러한 피해는 민가나 농경지 또는 하천의 수위상승 등 하류에 피해를 미친다[3].

국내 산사태 연평균 피해 면적은 80년대 231ha, 90년대 349ha, 00년대 713ha로 피해가 증가하고 있는 실정이다[4]. 국내의 대표적인 피해는 2011년 서울 우면산, 춘천 마적산에서 발생한 산사태로 29명의 사상자가 발생하였다.

우리나라에서는 산사태 피해를 예방하고, 산지 녹화 및 관리를 위해서 사방사업을 시행중에 있다[5]. 특히, 산사태 피해를 예방하기 위해서 산림청에서는 사방댐 시공 사업을 매년 실시하고 있다. 현재 전국에는 10,000개 이상 사방댐이 시공되어 있는데, 앞으로 추가적으로 시공되는 사방댐은 적지적소에 시공될 필요가 있다. 또한 사방댐 설계에는 강우강도로부터 유역의 홍수유출량을 추정하는 합리식이 많이 사용되고 있지만, 이와 함께 유출되는 토사량에 대한 고려도 필요한 실정이다.

산지에서 토사유출을 모니터링 하는 방법은 여러 가지가 있으며, 사용되는 장비 역시 다양하다[6-7]. 과거에는 토사채취기, 부유사채취기 등 직접적인 방법을 이용하였지만, 2000년대부터 스위스와 일본에서는 Geophone, Hydrophone과 같은 센서를 이용한 간접적 방법으로 토사유출량을 모니터링 하고 있다[8-9]. 간접적 방법은 인력, 비용, 시간, 안전 등에 있어 직접적 방법보다 효율성이 높은 장점이 있다.

국내에서는 산림청 국립산림과학원과 일본 국토기술정책종합연구소가 국제공동 연구로 2013년부터 Hydrophone을 이용한 토사유출 모니터링 시스템을 6개 소 구축하여 모니터링 중에 있다. 시스템은 Hydrophone을 이용한 간접적 측정과 Sampler에 있는 Load-cell을

이용한 직접적 측정이 동시에 이루어지고 있으며, 수문 관측을 할 수 있는 우량계, 수위계, 유속계 등이 함께 설치되어 있다. 특히, Load-cell을 이용하는 관측 값은 Hydrophone 관측 값에 대한 보정과 분석에 활용되기 때문에 중요하다.

Load-cell은 힘을 측정하는 장치로서 하중측정, 하중 감지 등 폭넓게 사용되고 있다. 특히, 산지토사유출 모니터링 부분에서는 일본과 유럽 등에서 유출량 측정, 충격력 산정 등에 활용되고 있기 때문에 Load-cell의 활용가치는 높다[6-7,10,11].

본 연구에서는 현장에 설치된 Load-cell의 표준 분동(分銅, weights) 테스트를 실시하여 하중 계수를 산정하고, Load-cell을 이용한 정량적인 토사유출량을 산정하였다. 또한, Load-cell과 같은 측정 장치를 산지 계곡에 설치하여 산지 토사유출량을 모니터링 함으로써 관련 산업분야의 확대에도 기여하고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 연구대상지

연구대상지는 경상북도의 김천시 증산면 유성리 지역(Site 1, 유역면적 128ha)과 성주군 금수면 영천리(Site 2, 유역면적 196ha)로 변상암 지역으로 동일하게 선정하여 토사유출 모니터링 시스템을 설치하였다(Fig.1). 설치된 유역의 입상은 혼효림, 산림영급은 4영급으로 각각 동일하다(Table 1). 또한, 설치된 바닥막이 구조물의 상류에 있는 사방댐은 모두 만사된 상태로 상류로부터 유출되는 토사가 하류로 월류하는 조건을 고려하여 선정하였다.

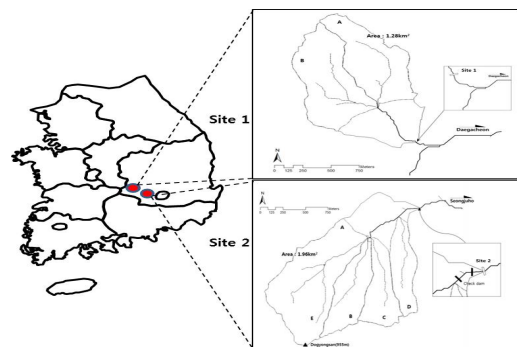
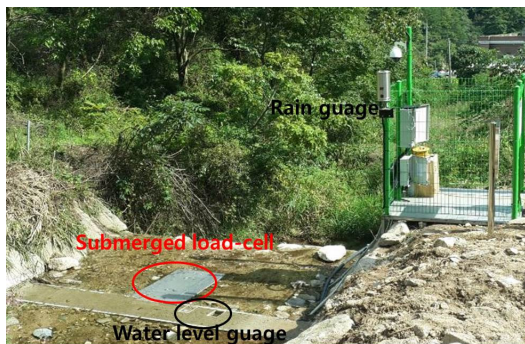


Fig. 1. Geographical position at research site

Table 1. A general situation of research site

	Site 1	Site 2
Basin area	128	196
Country rock	Metamorphic rock	Metamorphic rock
Forest physiognomy	Mixed forest	Mixed forest
Age class	4	4
Coordinate	35°54'24.42`` 128°3'13.95``	35°55'25.14`` 128°6'45.90``

토사유출 모니터링 시스템에는 Load-cell, Hydrophone, 수위계, 유속계, 탁도계, 우량계, CCTV 등이 설치되어 있으며, 현장에 설치된 모습은 Fig. 2와 같다.



(a)



(b)

Fig. 2. Photograph of monitoring system  
(a) Site 1 (b) Site 2

### 2.2 Load-cell Sensor

Load-cell은 하중계, 하중센서, 힘 센서라고도 하며, 힘 또는 하중을 측정하기 위한 변환기로서 출력을 전기적으로 꺼낼 수 있는 것을 말한다[12].

본 시스템에 설치된 Load-cell은 일본 KYOWA社의 Stainless Steel Load-Cell로 모델명은 LCTS-B Series이

고(Fig.4(a)), 사용 환경은 Table 2, Load-Cell 최대 측정량 등 기본 사양은 Table 3과 같다.

Table 2. Environmental characteristics of load-cell

Safe temperature range	-20 to 70°C
Compensated Temperature Range	-10 to 60°C
Temperature Effect on Zero Balance	Within±0.003% RO/°C
Temperature Effect on Output	Within±0.003%/°C

Table 3. Mechanical properties of load-cell

Safe Overload Rating	150%
Critical Lateral Load	10KN
Weight (Rated Capacity)	10KN
Material	Stainless steel alloy
Protection Rating	IP67 (Watertight type conforming to JIS C 0920)

산지토사유출 모니터링에는 Fig. 3의 측면도와 같이 토사를 직접 모을 수 있는 Sampler 안에 Fig. 4(b)에서처럼 각각의 모서리에 Load-cell을 1개씩 총 4개를 설치하였다. 각각의 Load-cell 위치가 다르기 때문에 분동이 놓이는 위치에 따른 출력값 변화를 비교하고, 필요시에는 관측 값의 정확도를 높이기 위해 하중 계수를 산정할 필요가 있다.

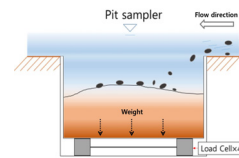


Fig. 3. Conceptual diagram of sampler using the load-cell



(a)



(b)

Fig. 4. Photograph of the load-cell

(a) Used load-cell

(b) Installed load-cell sensors in sampler

Load-cell의 출력 값은 토사유출 모니터링 시스템의 Data Logger에 기본적으로 저장되지만, 무선통신(CDMA)을 이용하여 Web site에서도 모니터링 할 수 있다. 본 연구에서는 하중시험을 진행할 당시 프로그램에 연결하여 출력되는 값을 이용하였다.

Load-cell은 측정환경의 초기 조건으로 인해 zero balance가 변할 수 있기 때문에 출력 값을 기준으로 측정해야한다[13]. 또한 온도에 의해서도 영향이 발생할 수 있기 때문에 온도 확인이 필요하다. 본 하중시험은 2016년 9월 25일 17시부터 실시하였으며, 당시의 지상 온도는 23°C, 수중온도는 물이 얼지 않고 흘렀기 때문에 영상의 값이라고 판단하였다. 따라서 Table 2에서와 같이 정확도가 보장되는 범위 내에 있기 때문에 온도 보정은 필요하지 않는 것으로 판단하였다.

### 2.3 분동테스트 및 통계분석

Load-cell의 하중시험에 사용한 분동 규격의 종류와 현장 테스트 모습은 Fig.5와 같다. 하중시험은 4개의 Load-cell 위에 각각의 분동을 올려놓는 개별 하중시험(Load test 1)과 4개의 Load-cell 중앙에 분동을 올려놓는 복합 하중시험(Load test 2)으로 구분하여 실시하였다(Fig.6). 토사의 퇴적형태 즉, 흩이 특정 방향으로 모이는 것에 따라 Load-cell의 출력 값이 달라지는지 여부를 확인하기 위해서 두 가지 하중시험으로 구분하였다.

Load test 1은 반복 시험으로 매번 분동의 위치가 변동되는 점을 고려해서 각 하중(1kg, 5kg, 10kg, 20kg, 40kg)별로 5회 반복 시험하였다. Load test 2는 반복 시험을 하더라도 분동의 위치가 변동되지 않으므로 각 하중(1kg, 5kg, 10kg, 15kg, 20kg, 25kg, 30kg, 35kg, 40kg, 50kg)별로 3회 반복 시험하였다.

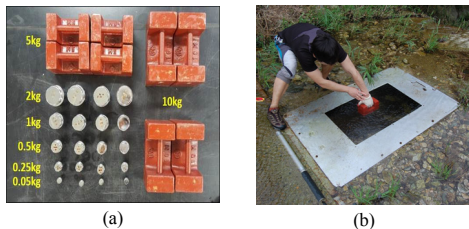


Fig. 5. Standard weights test of load-cell  
 (a) Used weights sizes  
 (b) View of standard weights test in site 1

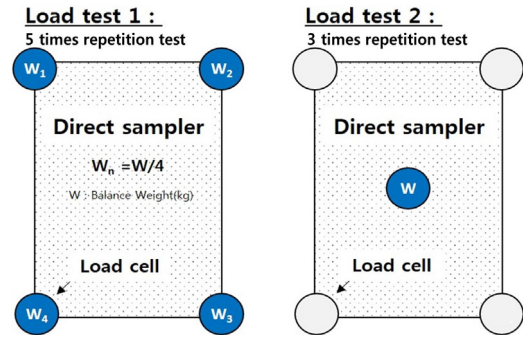


Fig. 6. Method of each load test

또한, Load test 1, 2 각각에 중복되는 하중(1kg, 5kg, 10kg, 20kg, 40kg)과 Site 1, 2 각각의 계측 결과는 일원 배치분산분석(One way ANOVA)을 통하여 4가지 계측 결과의 평균값이 유의한 차이가 있는지 검증하였다.

### 2.4 토사유출량 산정

토사유출 모니터링 시스템의 우량계와 수위계 센서를 활용하여 강우에 의한 계측의 수위변화와 Load-cell의 반응성을 분석하였다. Site 1, 2에서 특정 강우 이벤트(2016. 9. 16.-18.)를 선별하고, Load-cell을 이용한 정량적 토사유출량을 산정하였다. Load-cell은 Fig. 3과 같이 물과 함께 샘플러에 있기 때문에 계측값 분석에는 이를 고려해야 한다. 본 연구에서는 강우 이벤트 발생전의 로드셀 출력값을 기준으로 강우 발생후의 로드셀 출력값과의 차이를 통하여 강우로 인한 계측값으로 고려하였다. 또한, 분석에 이용된 강우는 Site 1, 2의 거리가 약 6.3km로 인근 지역이기 때문에 Site 1의 우량계 Data를 동일하게 적용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 분동테스트

Load-cell은 힘의 단위인 KN으로 출력되기 때문에 질량단위의 분동과 비교를 위해서 kg·f로 변환시켜 분석에 활용하였다. 또한, 분동테스트 당시에 기록한 출력 값이 불명확한 경우에는 분석에서 제외하였다.

#### 3.1.1 하중시험

Site 1, 2에 설치된 Load-cell에 대한 개별(Test 1) 및 복합(Test 2) 하중시험 결과는 각각 Table 4, 5와 같다.

Table 4. The results of standard weights test on load test 1

	Weight (kg)	1st (kgf)	2nd (kgf)	3rd (kgf)	4th (kgf)	5th (kgf)	Average (kgf)	Error (kgf)
Site 1	1	0.83	0.82	0.82	0.82	-	0.82	-0.18
	5	4.10	4.93	4.10	-	-	4.38	-0.62
	10	9.03	9.03	8.62	9.03	8.62	8.87	-1.13
	20	17.24	16.41	16.84	16.83	-	16.83	-3.17
	40	33.66	33.25	33.25	33.66	32.84	33.33	-6.67
Site 2	1	1.23	0.82	0.82	-	0.82	0.93	-0.07
	5	3.29	3.70	3.70	3.70	4.11	3.70	-1.30
	10	7.81	7.40	7.40	7.40	7.81	7.56	-2.44
	20	13.56	15.20	14.38	15.20	14.38	14.55	-5.45
	40	32.05	29.17	28.76	28.35	30.41	29.75	-10.25

Table 5. The results of standard weights test on load test 2

	Weight (kg)	1st (kgf)	2nd (kgf)	3rd (kgf)	Average (kgf)	Error (kgf)
Site 1	1	0.82	0.82	0.82	0.82	-0.18
	5	3.69	3.69	3.69	3.69	-1.31
	10	8.21	7.80	7.80	7.94	-2.06
	15	12.32	12.32	11.91	12.18	-2.82
	20	16.01	16.83	17.24	16.69	-3.31
	25	20.52	20.94	20.52	20.66	-4.34
	30	25.04	25.04	25.04	25.04	-4.96
	35	29.55	29.14	29.14	29.28	-5.72
	40	33.66	34.07	32.84	33.52	-6.48
Site 2	50	42.29	41.87	-	42.08	-7.92
	1	1.23	0.82	0.82	0.96	-0.04
	5	3.70	4.11	4.52	4.11	-0.89
	10	8.22	8.22	7.81	8.08	-1.92
	15	11.10	11.51	11.10	11.23	-3.77
	20	15.20	15.62	15.62	15.48	-4.52
	25	19.73	21.78	18.90	20.14	-4.86
	30	23.84	22.60	22.60	23.01	-6.99
	35	26.30	26.30	27.94	26.85	-8.15
40	30.41	30.41	31.23	30.68	-9.32	
50	38.22	39.04	38.22	38.49	-11.51	

개별 하중시험(Test 1)의 재하 하중에 따른 평균 출력율(실제무게에 대한 계측값의 비율)은 Site 1에서 실제하중의 85.1%, Site 2에서 74.1%로 나타났으며, 평균 오차율은 각각 14.9%, 25.9%로 나타났다. 복합 하중시험(Test 2)의 평균 출력율은 Site 1에서 81.7%, Site 2에서 79.9%로 나타났으며, 평균 오차율은 각각 18.3%, 20.1%로 나타났다. 또한, 오차는 Site 1, 2 및 Load test 1, 2에서 모두 하중이 높을수록 오차가 컸다. 이는 Load-cell이 계곡바닥에 매설된 Sampler에 있고, 분동이 물에 잠기는 부피만큼 물의 무게가 가벼워졌기 때문인 것으로 판단된다. 즉, 하중이 높은 분동은 부피가 크기 때문에 작은 분

동에 비해 상대적으로 오차가 커진 것으로 판단된다.

Load test 1, 2를 통해서 분동의 재하형태에 따른 Load-cell 출력값 차이를 분석한 결과, Site 1에서 평균 0.4kgf, Site 2에서 평균 0.6kgf의 오차가 나타났다(Table 6, Fig.7). 또한, Site 1, 2와 Load test 1, 2에서 중복되는 하중의 평균값에 대한 분산분석결과, *P-value* 0.24( $p < 0.05$ )로 나타나 4개의 그룹에서 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 재하형태를 달리하더라도 출력값에는 큰 차이가 없기 때문에 유출된 퇴적토사의 하중이 특정 Load-cell에 편중되더라도 전체 토사유출량을 계측할 때는 문제가 없는 것으로 판단된다.

Table 6. The results of load test 1, 2 comparison

Weight (kg)	Site 1			Site 2		
	Load test 1 (kgf)	Load test 2 (kgf)	Calculation difference (kgf)	Load test 1 (kgf)	Load test 2 (kgf)	Calculation difference (kgf)
1	0.82	0.82	0.00	0.74	0.96	(0.22)
5	4.38	3.69	0.68	3.70	4.11	(0.41)
10	8.87	7.94	0.93	7.56	8.08	(0.52)
20	16.83	16.69	0.14	14.55	15.48	(0.93)
40	33.33	33.52	(0.19)	29.75	30.68	(0.93)
Average			0.4			0.6

\*( ) : Parentheses mean negative numbers

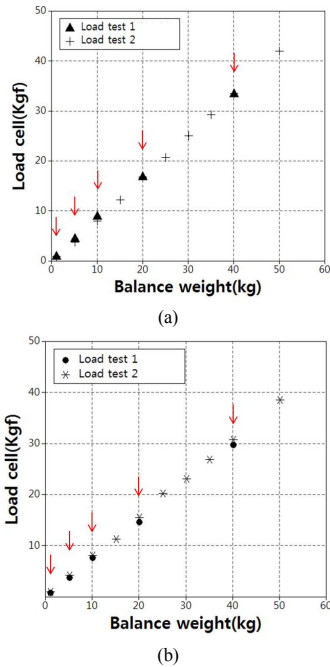


Fig. 7. The result of load test 1, 2 about common weights (↓overlapping point)  
(a) Site 1 (b) Site 2

### 3.1.2 하중계수 산정

Load-cell에 계측되는 값의 오차율을 줄이기 위하여 하중계수를 산정하고, 출력 값을 보정하였다. 하중계수 산정에는 다양한 하중으로 시험한 Load test 2의 결과를 이용해 Site 1, 2에 대한 각각의 하중계수를 산정하였다.

분동을 올려놓았을 때 Load-cell의 계측 값(독립변수, X)과 실제 하중(종속변수, Y)간의 선형관계를 분석하고, 아래와 같은 회귀식을 각각 유도하였다(Fig.8).

$$(Site 1) Y = 120.5X + 0.446, R^2 = 0.9 \quad (1)$$

$$(Site 2) Y = 133.5X + 0.321, R^2 = 0.9 \quad (2)$$

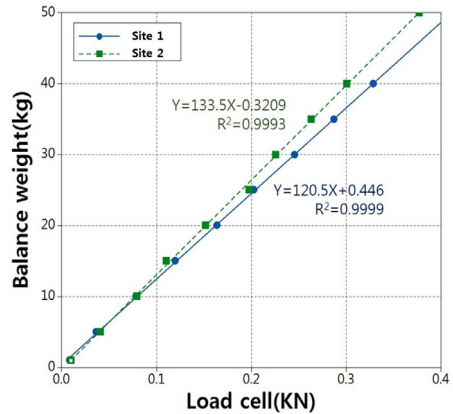


Fig. 8. Simple linear regression model of site 1, 2

유도된 회귀식에서 상수항을 제외한 계측 값(독립변수, X)의 회귀계수를 각 지점의 하중계수로 선택하고, 출력값 보정에 사용하였다.

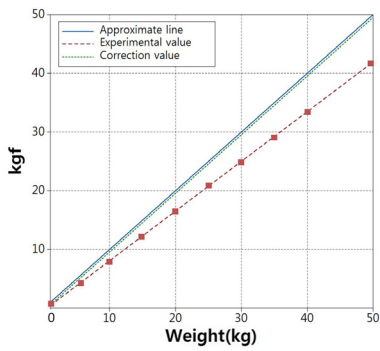
Load test 2의 계측 값을 하중계수를 이용하여 보정한 결과는 Table 7과 같다. 실제 하중에 대한 보정 값이 Site 1에서 96.5%로 보정전보다 14.8%p 상승하고, 평균 오차율은 3.6%로 줄어들었다. Site 2에서는 104.5%로 보정전보다 24.6%p 상승하고, 평균 오차율은 3.9%로 줄어들었다. 그러나 각 Site에서 보정한 결과는 실제 하중과 다르게 계산되었지만, 보정전보다 오차율이 낮고, 실제 무게와 유사하기 때문에 무시할만한 수준으로 판단하였다.

하중계수를 적용하여 Load-cell의 계측 값을 보정한 결과, Fig.9, 10에서와 같이 Site 1, 2 모두 실제 하중에 근사하였고, Load-cell에 가해지는 하중이 커질수록 계측 값의 정확도는 높아졌다.

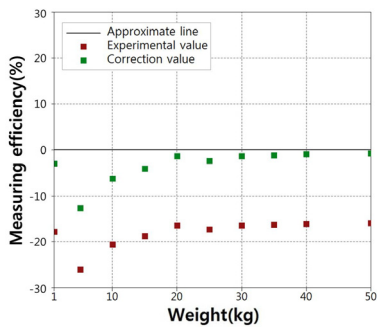
산지 계곡에 설치한 Load-cell은 분동테스트 등을 통하여 하중계수를 산정하고, 계측 값을 보정한다면 유출되는 토사량을 계측할 수 있는 것으로 판단된다.

Table 7. The results of correction value at site 1, 2

Weight (kg)	Site 1			Site 2		
	Load-cell (KN)	Correction value (kgf)	Output rate (%)	Load-cell (KN)	Correction value (kgf)	Output rate (%)
1	0.0080	0.96	96.4	0.0094	1.25	125.5
5	0.0362	4.36	87.2	0.0403	5.38	107.5
10	0.0778	9.37	93.7	0.0792	10.57	105.7
15	0.1194	14.38	95.9	0.1101	14.70	98.0
20	0.1636	19.71	98.6	0.1517	20.25	101.3
25	0.2025	24.40	97.6	0.1973	26.34	105.4
30	0.2454	29.57	98.6	0.2255	30.11	100.4
35	0.2869	34.58	98.8	0.2631	35.13	100.4
40	0.3285	39.59	99.0	0.3007	40.14	100.4
50	0.4124	49.69	99.4	0.3772	50.36	100.7
Average			96.5			104.5



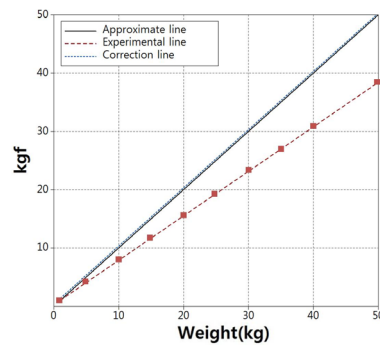
(a)



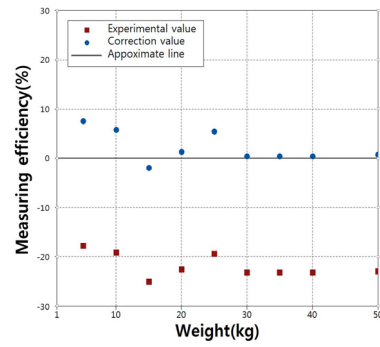
(b)

Fig. 9. Comparison of before and after application of load coefficient in site 1

- (a) Comparison of measured values
- (b) Comparison of output rate



(a)



(b)

Fig. 10. Comparison of before and after application of load coefficient in site 2

- (a) Comparison of measured values
- (b) Comparison of output rate

### 3.2 Load-cell을 이용한 토사유출량 산정

Load-cell이 설치된 현장의 우량계와 수위계 센서를 함께 활용하여 산지 계곡에서 토사유출량 산정 활용성을 검토하였다. Site 1, 2 모두 반응성이 잘 나타났으며, 특히 강우 이벤트(2016. 9. 16.-18.)가 3일간 지속될 때, 강우가 내리기 시작하고, 계곡의 수위가 상승하게 되면서 Load-cell 반응이 시작되었다(Fig.11). 이러한 시간대별 그래프를 통하여 토사유출량 산정뿐만 아니라 산지 계곡의 유출특성을 구명하는데도 효율적일 것으로 판단된다.

본 연구에서 산정한 하중계수를 이용하여 3일간 Load-cell에 반응한 토사량을 추정하였다. Site 1에서는 9월 17일 06시부터 반응이 시작하여 총 24.7kgf가 유출되었으며, 총강우량 135.5mm, 최대시우량 11.5mm/h, 최고수위 40.1cm로 나타났다. Site 2에서는 9월 17일 08시부터 반응이 시작하여 총 330.2kgf가 유출되었으며, 최고수위 38.2cm로 나타났다. 이러한 결과는 Sampler내에 퇴적된 양을 나타내지만, 계곡 폭과의 비교를 통해서 계곡 전체에 유출된 토사량을 정량적으로 산정할 수 있는 것으로 판단된다.

### 4. 결론

본 연구에서는 건축물 및 교각 등 구조물 하중계측에 일반적으로 많이 사용되고 있는 Load-cell을 산지 계곡에 설치하여 하류로 유출되는 토사량 측정에 대한 적용성 검토를 하였다.

분동테스트를 통하여 재하형태(Load test 1, 2)에 따른 출력값을 비교한 결과, Site 1에서 평균 0.4kgf, Site 2에서 평균 0.6kgf 차이로 재하형태의 영향은 낮게 나타났기 때문에 산지 계곡에서 토사가 유입되어도 토사량 측정이 가능한 것으로 판단된다.

또한, Load-cell이 계곡 물속에 잠겨있기 때문에 수중에서 중량을 측정하는 현상과 동일하게 하중이 낮게 측정되었다. 연구에 활용한 분동은 하중이 높을수록 부피가 커지기 때문에 실제하중과의 오차가 더 커지는 것으로 판단하였다. 따라서 본 연구에서는 오차율을 줄이기 위하여 Load-cell 계측값을 보정하여 실제하중과 유사한 결과를 도출할 수 있는 하중계수를 각각 산정하였다. 하중계수를 이용한 보정값 적용결과, 두 사이트에서 출력율이 각각 14.8%p, 24.6%p 상승하여 기준값에 근사하게 나타났기 때문에 산지 계곡에서 토사유출 측정에 적용가능한 것으로 판단된다.

산지 계곡에서의 Load-cell 활용성을 검토하기 위해 현장에 함께 설치한 우량계와 수위계 센서를 비교·분석한 결과, 강우가 3일간(2016. 9. 16.-18., 총강우량 135.5mm) 지속될 때, Site 1에서는 총 24.7kgf(최고수위 40.1cm), Site 2에서는 총 330.2kgf(최고수위 38.2cm)의 토사가 샘플러내에 퇴적되었다. 두 지점간의 토사량 차이는 유역면적, 계곡의 계상재료, 임상 등 다양한 원인이 있을 수 있으므로 현장조사를 통해 판단해야 한다. 그러나 본 연구의 목적인 Load-cell을 이용한 산지 계곡의 토사유출량 계측에는 충분한 활용 가치가 있는 것으로 판단된다.

Load-cell을 산지 계곡의 토사유출량 계측에 적용한 결과, 강우가 내리기 시작하고, 계곡의 수위가 상승하게 되면서 Load-cell 반응이 시작된 것을 확인할 수 있었다. 특히, 장기간 모니터링을 통하여 산지 계곡의 시계열 토사유출량 산정뿐만 아니라 유출특성을 구명하는데도 효율적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

이상에서와 같이 Load-cell의 실시간 계측 기능을 이용하여 산지 계곡에서 하류로 유출되는 토사량을 산정할

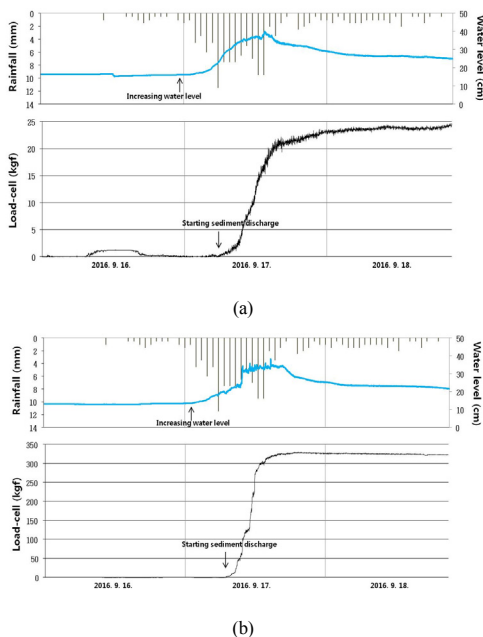


Fig. 11. Monitoring result of sediment discharge by load-cell  
(a) Site 1 (b) Site 2



수 있었다. 그러나 현장 상황과 계곡 물에 의해 하중 값이 영향을 받기 때문에 본 연구에서 수행한 분동테스트를 통하여 하중계수를 산정하고 보정할 필요가 있다.

Load-cell을 산지 계곡에서 이용하여 토사유출량을 모니터링 함으로써 전 국토의 63%를 차지하는 산지를 효과적으로 관리할 수 있을 것이다. 나아가 하류지역의 홍수로 인한 범람 등 하천관리에도 도움을 줄 수 있다. 또한, Load-cell과 같은 계측센서 및 산지 계곡에서 활용될 수 있는 각종 센서분야 산업 발전에도 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## References

- [1] G. O'Brien, P. O'Keefe, J. Rose, B. Wisner, "Climate change and disaster management", *Disasters*, vol. 30, no. 1, pp. 64-80, March, 2006.  
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1467-9523.2006.00307.x>
- [2] K. W. Chun. *Erosion Control Engineering.*, pp. 101-102, Hyangmoon Publisher, 2011.
- [3] J. P. Seo, C. W. Lee, D. Y. Kim, C. S. Woo, "Estimating of Annual Sediment Yield at Mountain Stream in Fire/Landslide Damaged Forest by using Terrestrial LiDAR Spatial Analysis", *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, vol. 16, no. 6, pp. 219-227, December, 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2016.16.6.219>
- [4] Korea Forest Service. *2013 Main Business Plan Details*. Korea Forest Service, 2013.
- [5] Korea Forest Service. *Soil Erosion Control Works Technology Textbook*. pp. 1-20, Korea Forest Service, 2014.
- [6] Y. Itakura, H. Inaba, T. Sawada, "A debris-flow monitoring devices and methods bibliography", *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 5, no. 6, pp. 971-977, 2005.  
DOI: <https://doi.org/10.5194/nhess-5-971-2005>
- [7] M. Arattano, L. Marchi, "System and Sensors for Debris-flow Monitoring and Warning", *Sensors*, vol. 8, no. 4, pp. 2436-2452, April, 2008.
- [8] T. Mizuyama, J. B. Laronne, M. Nonaka, T. Sawada, Y. Satofuka, M. Matsuoka, S. Yamashita, Y. Sako, S. Tamaki, M. Watari, S. Yamaguchi, K. Tsuruta, "Calibration of a Passive Acoustic Bedload Monitoring System in Japanese Mountain Rivers", *U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010 - 5091*, pp. 296-318, available at: <https://pubs.usgs.gov/sir/2010/5091/papers/listofpapers.html>, 2010.
- [9] D. Rickenmann, G. Antoniazza, C. R. Wyss, B. Fritschi, S. Boss, "Bedload transport monitoring with acoustic sensors in the Swiss Albula mountain river", *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, no. 375, pp. 5-10, March, 2017.  
DOI: <https://doi.org/10.5194/piabs-375-5-2017>
- [10] K. Miyamoto, J. Kurihara, T. Sawada, Y. Itakura, "A study of field methods for measuring sediment discharge", *Erosion and Sediment Transport Monitoring Programmes in River Basin(Proceedings of the Oslo Symposium)*, no. 210, pp. 107-114, August, 1992.
- [11] K. Goto, T. Itoh, T. Nagayama, R. Utsunomiya, D. Tsutsumi, T. Mizuyama, "Development and installation of bedload monitoring systems with submerged load cells", *Journal of Mountain Science*, vol. 13, no. 2, pp. 369-376, February, 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11629-014-3424-3>
- [12] B. G. Son. *Dictionary of Sensor terms*. pp. 706, Iljin Publisher, 2006.
- [13] Y. U. Park, J. W. Joo, "Study on Measurement of Sustained Load Using Loadcells", *Journal of Industrial Science and Technology Institute*, vol. 28, no. 2, pp. 77-82, December, 2014.

## 서준표(Jun-Pyo Seo)

[정회원]



- 2013년 2월 : 영남대학교 산림자원학과 (이학석사)
- 2013년 2월 ~ 현재 : 국립산림과학원 산림방재연구과 석사연구원
- 2016년 9월 ~ 현재 : 영남대학교 산림자원학과 (박사과정)

<관심분야>

산림재해, 사방공학, 정보통신

## 이기환(Ki-Hwan Lee)

[정회원]



- 2009년 2월 : 영남대학교 산림자원학과 (농학석사)
- 2009년 3월 ~ 2013년 2월 : (사)사방협회 대구경북지부 사무장
- 2017년 4월 : 영남대학교 산림자원학과 (농학박사)

<관심분야>

구조물 안정성, 산림수문, 정보통신

**김 동 엽(Dong-Yeob Kim)**

[정회원]



- 2009년 2월 : 서울대학교 산림과학부 (농학석사)
- 2013년 8월 : 서울대학교 산림과학부 (농학박사)
- 2014년 5월 ~ 현재 : 국립산림과학원 산림방재연구과 임업연구사

<관심분야>

사방공학, 산사태 예측, 모델링

**이 현 호(Heon-Ho Lee)**

[정회원]



- 1985년 8월 : 서울대학교 산림과학부 (농학석사)
- 1990년 7월 : 일본 동경대학교 임학과 (농학박사)
- 1991년 3월 ~ 현재 : 영남대학교 산림자원학과 교수

<관심분야>

산림수문, 산림공학, 사방공학, 훼손지 복원

**우 총 식(Choong-Shik Woo)**

[정회원]



- 2006년 2월 : 인하대학교 지리정보학과 (공학석사)
- 2011년 2월 : 인하대학교 지리정보학과 (공학박사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 국립산림과학원 산림방재연구과 임업연구사

<관심분야>

지리정보공학, RS/GIS

**이 창 우(Chang-Woo Lee)**

[정회원]



- 1994년 2월 : 영남대학교 임학과 (농학석사)
- 1998년 3월 : 일본 동경대학교 임학과 (농학박사)
- 2000년 5월 ~ 현재 : 국립산림과학원 산림방재연구과 임업연구관

<관심분야>

토질역학, 산지토사재해 예측, 사방연구