

사방댐 준설이 계류의 지형변화에 미치는 영향 - 지상 LiDAR 자료를 이용하여 -

서준표¹ · 우충식¹ · 이창우¹ · 김경하¹ · 이현호^{2*}

¹국립산림과학원 산림방재연구과, ²영남대학교 산림자원학과

Topographical Changes in Torrential Stream After Dredging in Erosion Control Dam - Using Terrestrial LiDAR Data -

Junpyo Seo¹, Choongshik Woo¹, Changwoo Lee¹, Kyongha Kim¹ and HeonHo Lee^{2*}

¹Department of Forest Disaster Management, Korea Forest Research Institute, Seoul 130-712, Korea

²Department of Forest Resources, Yeungnam University, Gyeongsan 712-749, Korea

요 약: 본 연구는 사방댐의 준설작업이 퇴사선내 계류의 지형변화에 미치는 영향을 알아보기 위해서 준설을 시행한 사방댐과 준설을 시행하지 않은 사방댐을 대상으로 지상 LiDAR 측량을 실시하고 경사도 및 체적의 지형변화를 평가하였다. 지상 LiDAR 장비는 사용자의 숙련도에 영향을 받지 않고 쉽게 지형변화를 관측할 수 있는 장점이 있다. 본 연구결과, 경사도 변화는 토양침식 유발의 위험이 높은 경사도(20°~40°)가 차지하는 비율은 준설을 시행한 사방댐 지역보다 준설을 시행하지 않은 사방댐에서 수치적으로는 더 높게 나타났지만, 우기후 위험구역은 준설을 시행하지 않은 사방댐에서 더 감소하는 것으로 나타났다. 체적변화는 준설을 시행한 사방댐에서 침식과 퇴적이 규칙적인 양상으로 나타났지만, 준설을 시행하지 않은 사방댐에서는 침식과 퇴적이 불규칙적으로 나타났다. 그리고 정량적 분석결과 준설을 시행하지 않은 사방댐에 비해 준설을 시행한 사방댐에서 우기후 m²당 1.7배 더 많은 토사가 유입되었다. 조사대상지의 강우량 차이는 토사유출량에 미치는 영향이 없는 것으로 나타났다. 따라서, 준설을 시행한 사방댐에서는 준설을 시행하지 않은 사방댐에서보다 우기를 지나면서 토양침식의 위험이 높은 경사도 분포가 증가하고, 준설작업을 시행한 지역의 상류계류에서 토사가 많이 유입된 것으로 나타났다.

Abstract: This research was carried out to understand the impact of mountainous torrent on topographical change of slope and sediment volume within a deposit line by dredging of soil erosion control dam. Terrestrial LiDAR surveys were conducted at dredged and non-dredged sites. Terrestrial LiDAR has an advantage on detecting topographical changes easily without demanding workmanship and technical skill for users. The distribution of erodible slope (20°-40°) was higher in non-dredged site than that of dredged site. However, the distribution was higher in dredged site than that of non-dredged site after rainy season. Erosion and deposition appeared regularly in a dredged site, but those occurred irregularly in the non-dredged site. The inflow of soil per square meter was 1.7 times higher in dredged site than that of non-dredged site after rainy season. The difference of rainfall in each site did not affect to soil erosion. The distribution of erodible slope was increased in dredged site than that of non-dredged site after rainy season due to inflow of soil from upper stream caused by dredging.

Key words: erosion control dam, dredging, slope change, sediment volume change, Terrestrial LiDAR

서 론

최근 이상기후현상으로 인해 예측할 수 없는 태풍·장마·국지성호우 등이 빈번히 발생하여 자연재해가 증가

하고 있다. 특히 산사태 및 토석류와 같은 산지토사재해의 발생도 증가('90년대 350 ha, '00년대 715 ha)하고 있으며, 앞으로도 더욱 증가할 것으로 예상된다(Choi, 2001).

산지토사재해를 가장 효율적으로 저감할 수 있는 것은 산지계류에 설치하는 사방댐이라 할 수 있다. 사방댐은 평시와 재해시 토사유출을 감소시켜 주는데, 평시에는 서서

*Corresponding author
E-mail: hhlee@ynu.ac.kr

히 토사를 하류로 유출시켜 재해를 경감시키고 하천과 바다로 토사를 안전하게 유출시키는 기능을 가지고 있다. 따라서 사방댐이 가지고 있는 원래의 기능을 충분히 발휘할 수 있도록 관리하는 것은 재해저감 차원에서 상당히 중요하다. 이러한 사방댐은 1986년 국내에서 최초로 시공된 이후(Korea Forest Service, 2007) 이와 관련된 연구는 사방댐의 시공효과(Ryu and Jang, 1998)와 재료개발(Park et al., 2011), 기능증진(Korea Forest Service, 2011) 등 다양한 연구가 이루어져 왔다. 그러나 이미 시공된 사방댐에 대한 유지·관리방법 및 기술에 관한 연구는 아직까지 미진하다.

사방댐을 효과적으로 유지·관리하기 위해서는 계상의 이동가능 토석량을 예측하여 준설을 시행한 사방댐과 준설을 시행하지 않은 사방댐의 비교를 통해 대수면내로 유입되는 토사량과 준설로 야기되는 지형변화의 관측이 필수적이다. 하천준설의 경우에는 Jang and Yoon(2009)에 의해 준설로 인한 교란하천의 적응 메커니즘을 파악하였으며, Jang(2010)은 준설초기에는 하상저하로 인해서 측방향 불안전을 일으켜 하폭을 변화시키고, 안전한 구간에서도 침식과 이동을 촉발시킨다고 밝히는 등 하천준설에 대한 연구는 많이 있으나 사방댐 준설지역의 지형변화에 관한 연구는 미흡하다. 사방댐 준설작업이 단기간의 지형변화에 미치는 영향을 파악하여 준설작업의 필요성 유무, 효과적인 작업형태 등을 파악하여 향후 준설작업의 계획 및 대상지 선정에 활용할 필요가 있다.

산지내의 지형변화관측에는 자동레벨·광측거의·토탈스테이션·GPS 등의 측량장비를 이용해 왔으나, 최근에는 정밀한 데이터를 쉽게 획득할 수 있는 LiDAR 측량 기법이 도입되고 있다. 산사태 및 자연사면에서 LiDAR 자료를 이용하여 손쉽게 미세변위를 검출하며, 공간정보를 쉽고 빠르게 획득한 많은 선행연구들이 있다(Lee, 2007; Park et al., 2010).

또한 토사변화에 관한 연구에서, Jun et al.(2010)은 토석류 발생으로 인한 침식량과 퇴적량을 수치로 나타냈고, Woo et al.(2012)은 토사변화의 공간분포 추정을 통하여 실제 유출된 토사량을 추정하였다. Du and Teng(2007)은 토공량 산정을 위해 산사태 발생전의 수치지형과 비교하는 효율적인 방법을 제시하였다. Scheidl et al.(2008)은 중첩을 통한 체적분석을 통하여 지형분석의 신속하고 종합적인 평가에 LiDAR 자료가 유용하다고 밝혔으며, Mitasova et al.(2011)은 지상 LiDAR의 조사시기별 지형변화에 대한 변위분석으로 미묘한 변화의 변위 검출을 위한 효과적인 장비라고 밝혔다.

이상에서와 같이, 지상 LiDAR는 산지의 지형변화 모니터링에 유용한 장비임에도 불구하고 실제 산지에서 활용하는 사례는 전무한 실정이다. 기존의 산지계류 측량에서 많

이 사용하고 있는 장비들은 측량자의 숙련도에 영향을 받으며 조사시간이 많이 소요되는 단점이 있다. 그러나 지상 LiDAR는 숙련도에 영향을 받지 않으며 단시간에 지형을 모니터링 할 수 있는 장점이 있다. 이러한 지상 LiDAR의 장점을 활용하여 사방댐 준설지역에서 준설전·후의 지형변화 비교에 적용한다면 변위분석의 정확도를 높이는 데 적합할 것으로 판단된다.

본 연구는 경상북도 관내에 준설예정인 사방댐을 대상으로 준설로 인해 발생하는 사방댐 퇴사선 내에서의 지형변화를 평가하기 위해서 지상 LiDAR 장비를 이용한 지형측량을 실시하였다. 사방댐 준설전·후의 지형변화 특히, 우기후에 사방댐 내로 유입되는 퇴적물로 인한 경사도와 체적변화를 정량적으로 분석하고, 대조군과의 비교를 통해서 사방댐 준설이 단기간 계류의 지형변화에 미치는 영향을 평가하였다. 또한 조사대상 두 지역간의 강우량에 따른 전체 토사유출량을 비교하였다.

재료 및 방법

1. 연구대상지

사방댐 준설작업이 예정된 사방댐을 대상으로 군위군(A, Site 1)과 성주군(B, Site 2) 두 지역의 사방댐을 실험군으로 선정하고, 일반 사방댐과의 비교를 위해서 동일한 지역내 각각 준설 이력이 없는 인근 사방댐을 대상으로 군위군(A, Site 3), 성주군(B, Site 4) 두 지역의 사방댐을 대조군으로 선정하였다(Figure 1).

연구대상지의 기본적인 유역개황과 사방댐의 규모는 Table 1, 2와 같다.

2. 연구대상지 지형 측정

1) 조사시기 및 지형측정 방법

조사시기는 준설작업과 강우시기를 고려하여 준설을 시행한 사방댐에서는 준설작업 전·후 및 우기후 총 3회, 준설을 시행하지 않은 사방댐에서는 우기전·후 총 2회 측정하였다(Table 3).

지형측정에 사용된 장비는 오스트리아 RIEGL社의 LMS-Z210ii 지상 LiDAR를 이용하고, 음영지역의 발생을 최소화시키기 위해서 본 연구에서는 지상 LiDAR 장비를 3회 이동 시켜서 측정하고, 3개의 Data를 정합하였다. 측정 위치는 사방댐 반수면 위 좌측에서 1차 측정, 우측에서 2차 측정, 그리고 2차 측정 지점에서 Tiltmounts를 하여 대수면 아래쪽에 3차 측정하였다.

2) 지상 LiDAR 자료의 처리

지상 LiDAR 촬영으로 획득된 점군들은 HUACE社의 X91 Network RTK-GPS로 획득한 좌표를 이용하여 절대

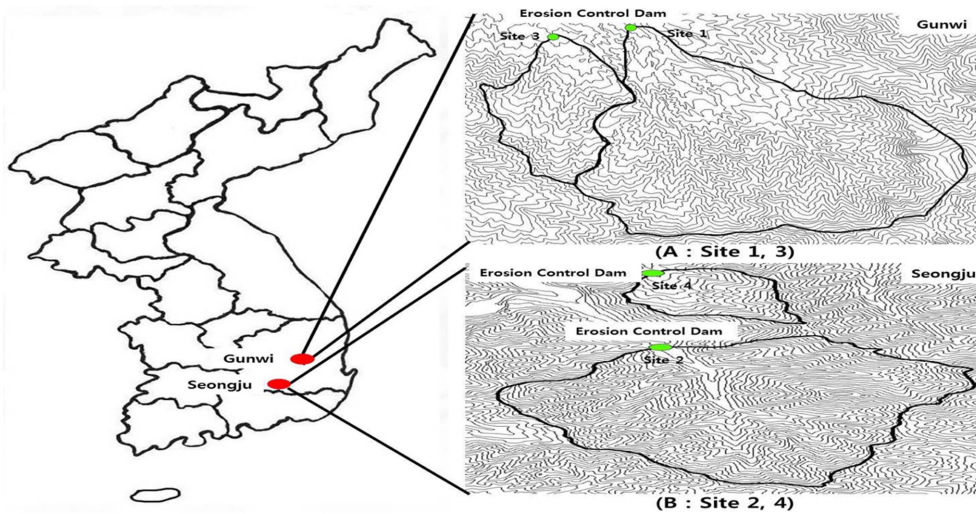


Figure 1. Experimental site and topographical shape.

Table 1. A general situation of research site.

	Region	Forest physiognomy	Age class	Soil separates	Country rock
Dredged site	Gunwi (Site 1)	Mixed forest	IV	Sandy loam	Igneous rock
	Seongju (Site 2)	Mixed forest	V	Sandy loam, Silt loam	Metamorphic rock
Non- dredged site	Gunwi (Site 3)	Mixed forest	IV	Sandy loam	Igneous rock
	Seongju (Site 4)	Mixed forest	IV	Sandy loam, Silt loam	Metamorphic rock

Table 2. Specification of researching debris barrier.

	Region	Dam type	Dam size		Basin area (ha)	Construction year	Coordinate
			Upper length (m)	Available height (m)			
Dredged site	Gunwi (Site 1)	Boulder stone mixed pile	46	6	637	1998	X:350299.166 Y:284043.910
	Seongju (Site 2)	Boulder stone mixed pile	58	1.8	543	2003	X:297155.968 Y:267347.882
Non- dredged site	Gunwi (Site 3)	Boulder stone bottom penetration mixed pile	27	3.5	108	2011	X:350027.927 Y:283685.195
	Seongju (Site 4)	Boulder stone mixed pile	31	5	55	2003	X:297007.251 Y:269248.775

Table 3. Investigation time at each research site.

Time		Before dredging		
		After dredging (& Before rainy season)		After dredging (& After rainy season)
		1st	2nd	3rd
Dredged site	Site 1 (Gunwi)	2012.05.29	2012.06.22	2012.11.03
	Site 2 (Seongju)	2012.05.28	2012.07.31	2012.10.25
Non-dredged site	Site 3 (Gunwi)	-	2012.07.21	2012.11.03
	Site 4 (Seongju)	-	2012.07.20	2012.10.30

좌표로 변환하고 정합하였다. 그리고 정확한 지형변화 분석을 위하여 지면점만을 추출하는 필터링 작업을 거쳐야 하는데, 본 연구에서는 Terrasolid 社의 TerraScan S/W의 경사기반 지면점 분류기법을 통하여 자동으로 지면점을

분류하였다. 분류된 지면점을 DEM으로 제작하기 위해서 사방댐 계획되사선을 고려하여 격자크기를 0.5m로 설정하였다. DEM 형성결과를 분석구역과 비(非)분석구역으로 구분하고, 되사선내의 구역을 선별하여 분석에 활용하

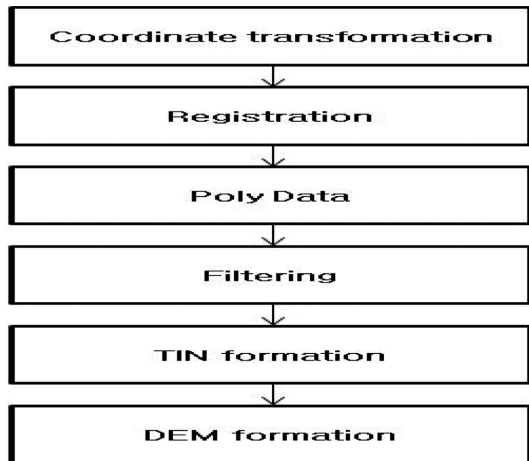


Figure 2. Processing of terrestrial LiDAR research system.

였다. 지상 LiDAR를 이용한 본 연구의 데이터 획득 과정은 Figure 2와 같다.

3) 지형변화 분석 방법

경사도는 GIS 공간분석 기법으로 분석하였고, 준설전·후 및 우기후의 경사도 분석을 통하여 계상의 경사 분포와 면적의 변화를 쉽게 알 수 있다(Dunn and Hickey, 1998). 선행연구를 참고하여 산지에서 토양 침식발생확률이 높은 경사도 범위를 고려하여 본 연구에서는 20°~40°가 차지하는 비율을 분석하고, 준설유무에 따른 사방댐의 상대적인 계류안정 효과를 분석·비교 하였다(Kim et al., 2008; Kim and Chae, 2009; Lee, 2011).

또한, 연구대상지의 양적인 지형변화를 모니터링하기

위해서 준설전·후 및 우기후의 DEM 차이를 이용하여 체적변화를 분석하였다.

4) 연구대상지의 종단 형상

연구대상지의 종단 형상은 조사시기별로 정합된 1개의 Data를 이용하여 사방댐 대수면의 상장 중심에서 수계방향으로의 수직선을 종단선형으로 축선 하였다. 그 결과 준설을 시행한 사방댐 지역(Site 1, 2)에서는 준설시행후 종단곡선의 물매가 낮게 나타나 공간적으로 준설이 시행된 것을 알 수 있었다. 사방댐 대수면에서 수계방향으로 일정 거리 후에는 준설전과 유사한 물매를 형성하고 있어 준설작업이 영향을 미친 범위를 알 수 있었다. 우기를 지나면서는 다시 만사가 되어 준설전과 유사한 종단물매를 형성하였다.

준설을 시행하지 않은 사방댐 지역(Site 3, 4)에서는 우기를 지나면서 종단물매의 큰 변화가 없었다. 그러나 만사되지 않은 사방댐 지역이기 때문에 일부구간에서의 침식과 퇴적활동이 나타났다(Figure 3).

3. 연구대상지 강우량

연구대상지역인 군위와 성주에는 기상관측 시설이 없기 때문에 대상지 인근 3개 지역의 강우량 평균을 이용하여 연구대상지의 강우량으로 나타내었다(Figure 4). 기상청에서 관측한 강우량을 사용하였고, 수집기간은 조사기간과 동일한 2012년 05월 28일~2012년 11월 03일 이다. 두 지역에서는 7월 까지는 강우량이 유사하게 나타났으나, 8월과 9월에는 성주군에서 134.8 mm 더 많은 강우가 내렸다.

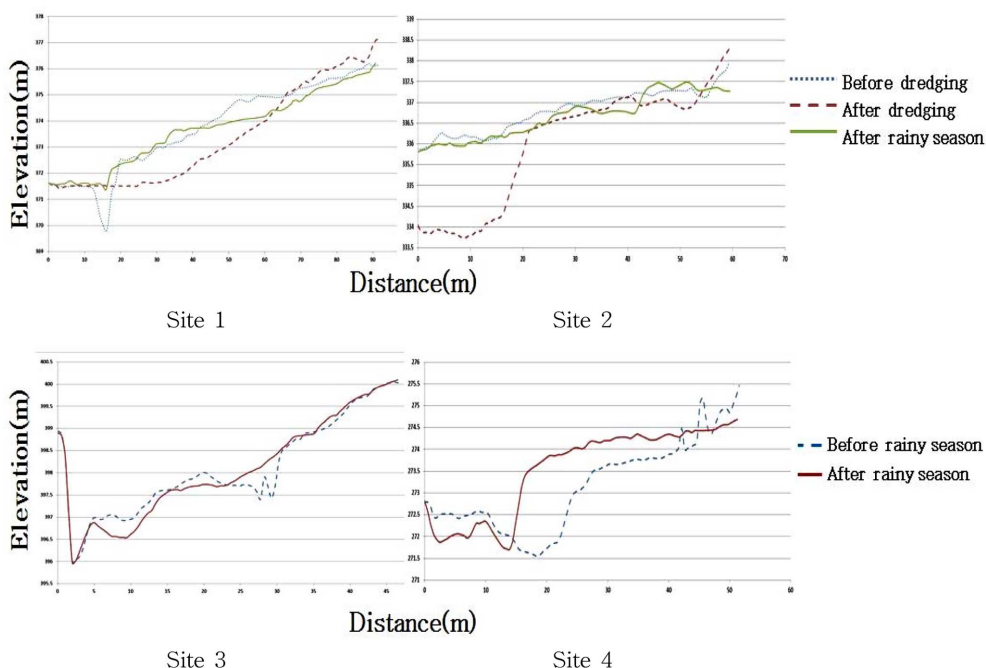


Figure 3. Drawing of longitudinal section at each site.

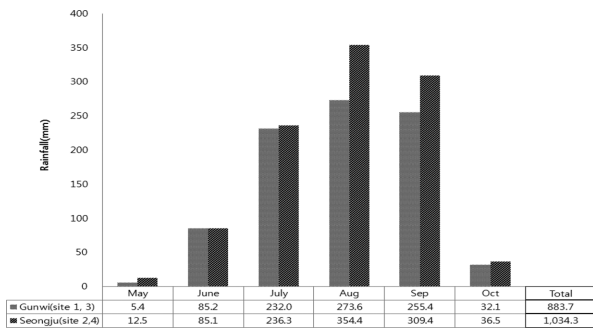


Figure 4. Rainfall of research site during investigation period.

결과 및 고찰

1. 경사도 변화 평가

1) 준설을 시행한 사방댐 지역의 경사도 변화

Site 1 지역의 준설전에는 경사도 5°~10°의 분포면적이 984.75 m²로 가장 많은 면적을 차지하고 있었으나, 준설

후와 우기후에는 0°~5°의 분포면적이 각각 1,136.75 m², 1,030.50 m²로 가장 많이 나타났다(Table 4).

토양침식 위험이 상대적으로 높은 20°~40°가 차지하는 비율이 준설전 13.2%, 준설후 19.2%, 우기후 18.1%로 나타나 준설직후에는 토양침식이 일어날 가능성이 있는 범위가 증가하였고, 우기를 지나면서 조금 감소하였다(Figure 5).

Site 2에서는 준설시행 전·후에 경사도 5° 이하의 분포면적이 각각 1,009.75 m², 1,028.75 m²로 가장 많은 분포면적을 보였으나, 우기후에는 638.25 m²로 급감하였고 5°~10°의 분포면적이 678.25 m²로 가장 많은 것으로 나타났다(Table 5).

토양침식의 가능성이 높은 경사도가 분포하는 비율이 준설전 3.9%, 준설후 10.8%, 우기후 13.1%로 나타나, 준설후 토양침식이 일어날 가능성이 있는 범위가 증가하였다(Figure 5). 우기후 사방댐이 재차 만사되었지만, 준설전보다도 토양침식 위험이 있는 경사도의 비율이 약 10% 증가하였다. 따라서 경사도 분석결과, 준설을 시행하게 되면

Table 4. Slope area and ratio at site 1.

	Before dredging		After dredging		After rainy season	
	Area(m ²)	Ratio(%)	Area(m ²)	Ratio(%)	Area(m ²)	Ratio(%)
Less than 5°	900.50	27.8	1,136.75	35.0	1,030.50	31.8
5°~10°	984.75	30.4	703.50	21.7	902.25	27.8
10°~15°	486.00	15.0	380.75	11.7	435.50	13.4
15°~20°	295.25	9.1	347.50	10.7	249.50	7.7
20°~25°	201.00	6.2	289.50	8.9	241.25	7.4
25°~30°	115.25	3.6	193.50	6.0	177.75	5.5
30°~35°	72.25	2.2	103.75	3.2	108.25	3.3
35°~40°	40.25	1.2	35.75	1.1	58.75	1.8
40°~45°	39.50	1.2	17.00	0.5	27.50	0.8
45°~50°	37.50	1.2	16.75	0.5	9.75	0.3
Over 50°	71.00	2.2	18.50	0.6	2.25	0.1
Total	3,243.25	100.0	3,243.25	100.0	3,243.25	100.0

Table 5. Slope area and ratio at site 2.

	Before dredging		After dredging		After rainy season	
	Area(m ²)	Ratio(%)	Area(m ²)	Ratio(%)	Area(m ²)	Ratio(%)
Less than 5°	1,009.75	45.5	1,028.75	46.4	638.25	28.8
5°~10°	787.25	35.5	587.50	26.5	678.25	30.6
10°~15°	210.50	9.5	223.25	10.1	376.00	16.9
15°~20°	85.00	3.8	130.50	5.9	216.25	9.7
20°~25°	30.50	1.4	117.00	5.3	119.00	5.4
25°~30°	21.00	0.9	79.25	3.6	81.25	3.7
30°~35°	13.50	0.6	32.75	1.5	51.75	2.3
35°~40°	20.75	0.9	10.75	0.5	38.00	1.7
40°~45°	11.25	0.5	8.50	0.4	19.50	0.9
45°~50°	5.50	0.2	0.00	0.0	0.00	0.0
Over 50°	23.25	1.0	0.00	0.0	0.00	0.0
Total	2,218.25	100.0	2,218.25	100.0	2,218.25	100.0

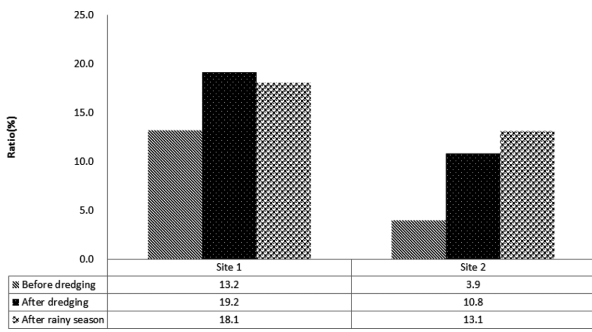


Figure 5. Slope distribution ratio in soil erosion hazard area at site 1, 2.

Table 6. Slope area and ratio at site 3.

	Before rainy season		After rainy season	
	Area(m ²)	Ratio(%)	Area(m ²)	Ratio(%)
Less than 5°	119.75	14.9	105.00	13.0
5° ~ 10°	225.75	28.0	213.75	26.6
10° ~ 15°	123.25	15.3	142.00	17.6
15° ~ 20°	100.00	12.4	93.25	11.6
20° ~ 25°	64.00	8.0	87.00	10.8
25° ~ 30°	44.75	5.6	45.50	5.7
30° ~ 35°	32.25	4.0	41.50	5.2
35° ~ 40°	40.25	5.0	24.00	3.0
40° ~ 45°	19.75	2.5	15.00	1.9
45° ~ 50°	11.75	1.5	7.50	0.9
Over 50°	23.50	2.9	30.50	3.8
Total	805.00	100.0	805.00	100.0

침식의 위험구간이 증가하는 것으로 나타났다. 토양침식이 일어나기 쉬운 경사도가 증가하였다는 것은 사방댐 준설로 인해 급변한 지형이 형성되어 교란이 심하게 일어났고, 경사도가 급변한 지역에서 단시간에 퇴적이 일어나 계상구배가 안정화되지 못했기 때문으로 판단된다.

2) 준설을 시행하지 않은 사방댐 지역의 경사도 변화

Site 3 지역의 우기전·후의 경사도 5°~10°가 각각 225.75 m², 213.75 m²로 가장 많은 면적을 차지하고 있었으나, 전체적으로는 우기전·후의 큰 변화 없이 고른 분포로 나타났다(Table 6).

준설을 시행하지 않은 Site 3에서 20°~40°가 차지하는 비율은 우기전 22.5%, 우기후 24.6%로 나타나 준설지보다 침식 위험이 있는 범위의 수치가 높게 나타났다(Figure 6). 이는 만사되지 않은 사방댐 대수면에서부터 상류 지형의 경사도가 높고, 우기시 유수와 함께 사방댐 물빼기 구멍을 통한 침식이 발생하여 만사되지 않은 사방댐의 대수면 부분에 영향을 미친것으로 판단된다.

Site 4에서 우기전 가장 많은 면적을 차지하는 경사도는 5°~10°로 분포면적이 235.25 m²로 가장 많은 것으로 나타

Table 7. Slope area and ratio at site 4.

	Before rainy season		After rainy season	
	Area(m ²)	Ratio(%)	Area(m ²)	Ratio(%)
Less than 5°	153.25	15.3	361.25	36.1
5° ~ 10°	235.25	23.5	302.25	30.2
10° ~ 15°	160.00	16.0	104.25	10.4
15° ~ 20°	126.25	12.6	84.50	8.4
20° ~ 25°	89.00	8.9	62.00	6.2
25° ~ 30°	63.25	6.3	33.00	3.3
30° ~ 35°	51.50	5.1	18.50	1.8
35° ~ 40°	34.25	3.4	19.00	1.9
40° ~ 45°	27.50	2.7	16.50	1.6
45° ~ 50°	15.00	1.5	0.00	0.0
Over 50°	46.00	4.6	0.00	0.0
Total	1,001.25	100.0	1,001.25	100.0

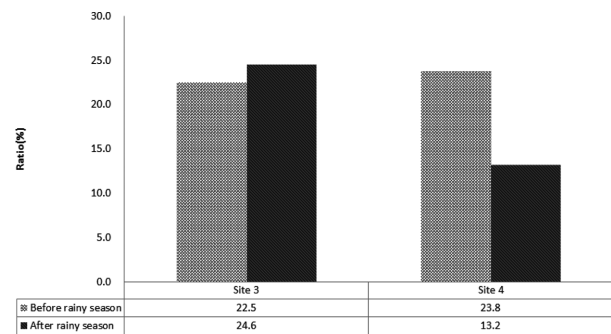


Figure 6. Slope distribution ratio in soil erosion hazard area at site 3, 4.

났으나, 우기후에는 5° 이하의 분포면적이 361.25 m²로 가장 많이 나타났다. 전체적으로는 급경사지의 분포가 줄었고 완경사지의 분포가 증가하였다(Table 7).

토양침식의 가능성이 높은 경사도가 분포하는 비율이 우기전 23.8%, 우기후 13.2%로 그 비율이 감소하였다(Figure 6). 만사되지 않은 사방댐에서 우기를 지나면서 퇴적물이 축적되어 평탄해졌기 때문에 침식의 위험이 있는 범위가 감소한 것으로 판단된다.

준설을 시행한 사방댐과 시행하지 않은 사방댐 각각 두 곳의 평균값을 통한 정량적 결과는 침식의 위험이 상대적으로 높은 경사도가 차지하는 범위의 비율이 준설을 시행한 사방댐에서는 준설전 8.5%, 준설후 15.0%, 우기후 15.6%로 점점 증가하는 것으로 나타났다(Figure 7). 준설 전에는 만사된 사방댐에서 토양침식이 일어날 수 있는 구간의 비율이 낮았으나, 준설로 인해서 퇴사선의 교란이 일어났기 때문에 토양침식이 일어날 수 있는 구간의 비율이 증가한 것으로 판단된다. 그러나 준설을 시행하지 않은 사방댐에서는 우기전 23.1%, 우기후 18.9%로 비율의 수치는 준설지보다 높지만, 우기를 지나면서 감소하는 경향으로 나타났다. 또한, 준설을 시행한 사방댐에서 침식의 위

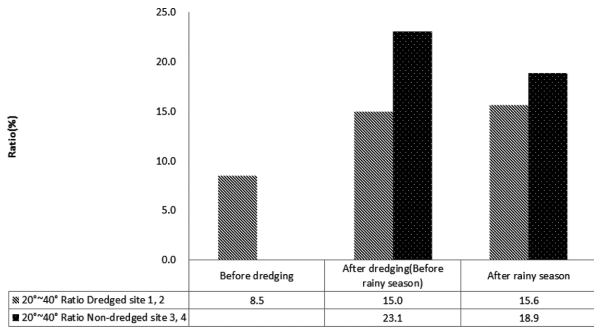


Figure 7. Slope distribution ratio in soil erosion hazard area at dredged site and non-dredged site.

험이 상대적으로 높은 경사도가 차지하는 비율이 준설전 8.5%로 나타나 만사된 사방댐에서 퇴사선내의 퇴적물에 대한 안정성이 가장 높은 것으로 나타났다. 그러나 준설을 시행하지 않은 사방댐에서는 사방댐 신설후 만사되지 않은 상태 즉, 퇴사선이 불안정한 상태이기 때문에 23.1%로 침식 위험성의 범위가 차지하는 비율이 가장 높게 나타났다.

이러한 결과는 만사되지 않은 사방댐의 계상에서 침식과 퇴적이 반복적으로 일어나기는 하지만, 사방댐 시공후 계획퇴사선내에 토사가 퇴적되는 자연적인 현상으로서 물매의 안정화가 이루어지고 있는 것으로 판단된다.

2. 체적 변화 평가

- 1) 준설을 시행한 사방댐 지역의 체적 변화
사방댐 퇴사선내의 공간적 체적변화를 Figure 8에 나타

내었다. Figure 8(a)는 Site 1의 준설후 체적변화 결과로서 준설시행으로 인해 퇴사선내에서 침식이 일어났고, 준설 퇴적물을 축적해 놓은 좌안에서는 퇴적층이 두드러지게 많이 나타났다. Figure 8(b)는 준설시행 후부터 우기를 지나면서 전체 지형에서 침식과 퇴적이 같이 일어난 것으로 나타났다. 준설로 인해 형성된 ㅁ 지형에서는 퇴적이 두드러지게 나타났고, 좌안에서는 축적해놓은 준설 물질들로 인해서 침식이 많이 일어난 것으로 나타났다.

준설시행으로 인한 Site 1의 침식량은 1,863.8 m³, 퇴적량은 1,227.7 m³로서 침식된 양은 636.0 m³ 준설하였다고 추정할 수 있다. 우기후에는 침식량 683.9 m³, 퇴적량 1,791.7 m³로 준설후 우기를 지나면서 1,107.8 퇴적된 것으로 나타났다(Table 8).

연구대상지의 유역면적 및 조사범위의 면적이 서로 다르기 때문에 조사범위내의 단위면적당(m²)으로 나누어 비교하였다. Site 1의 m²당 체적변화량은 준설후 -0.2 m³/m² 침식, 우기후 0.3 m³/m² 퇴적되었다(Figure 9).

Figure 8(c)는 Site 2의 준설후 체적변화의 결과로서 준설시행으로 인해 퇴사선내에서 침식이 많이 일어났다. Figure 8(d)는 우기를 지나면서 준설로 인해 형성된 ㅁ 지형에서는 다시 만사가 되었고, 그 상류부에서는 침식이 일어난 것으로 나타났다.

Site 2의 침식량은 1,670.8 m³, 퇴적량은 59.9 m³로서 1,610.9 m³ 준설한 것으로 나타났고, 우기후에는 침식량 263.2 m³, 퇴적량 1,618.7 m³로 준설후 우기를 지나면서 1,355.5 퇴적되었다(Table 8). 단위면적당(m²) 체적변화량은 m²당 준설후 -0.7 m³/m² 침식, 우기후 0.6 m³/m² 퇴적

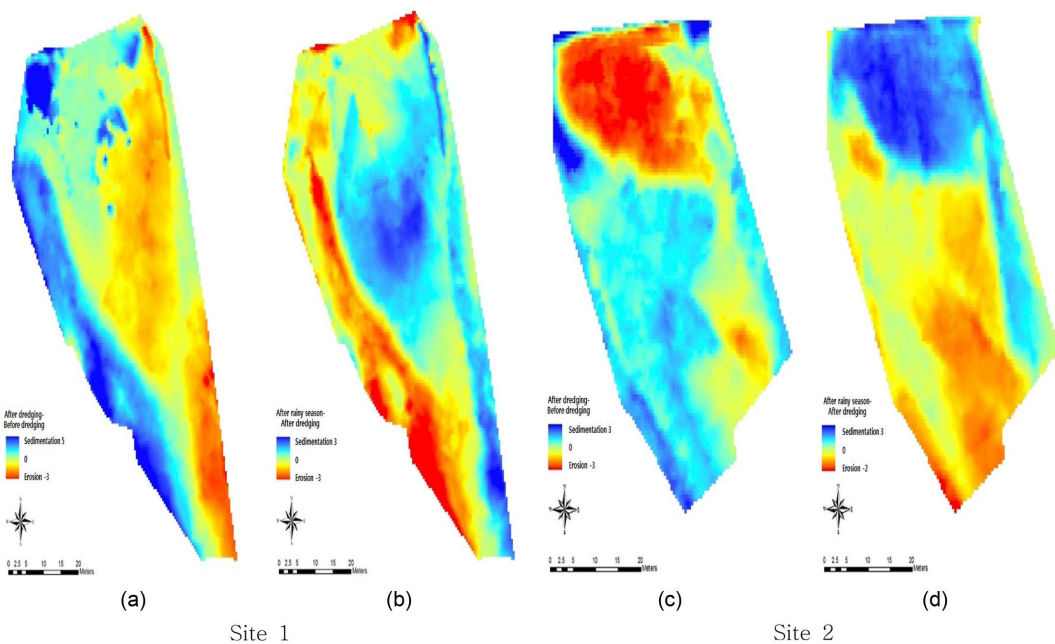


Figure 8. Sediment volume change and distribution status of erosion • sedimentation occurrence area at site 1, 2. (A,C: After dredging-Before dredging volume change distribution, B,B':After rainy season-After dredging volume change distribution)

Table 8. Sediment volume and area change at site 1, 2.

		After dredging-Before dredging		After rainy season-After dredging		
Site 1	Sediment volume	Erosion (m ³ , -)	-1,863.8	-636.0	-683.9	1,107.8
		Sedimentation (m ³)	1,227.7		1,791.7	
	Area	Erosion area (m ² , -)	-1,989.3	-735.3	-1,014.0	1,215.3
		Sedimentation area (m ²)	1,254.0		2,229.3	
Site 2	Sediment volume	Erosion (m ³ , -)	-1,670.8	-1,610.9	-263.2	1,355.5
		Sedimentation (m ³)	59.9		1,618.7	
	Area	Erosion area (m ² , -)	-2,011.3	-1,804.3	-670.3	877.8
		Sedimentation area (m ²)	207.0		1,548.0	

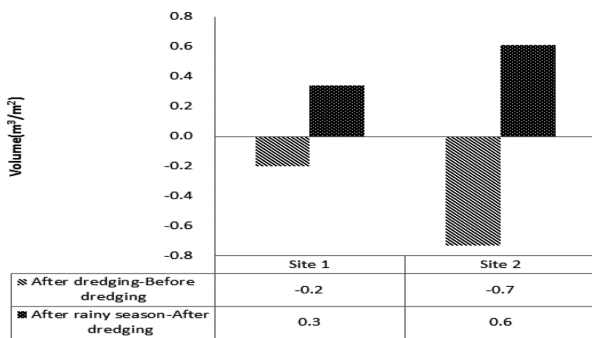


Figure 9. Sediment volume change per unit area at site 1, 2.

되었다(Figure 9).

2) 준설을 시행하지 않은 사방댐 지역의 체적 변화

Figure 10(a)는 Site 3에서 우기후의 공간적 체적변화를 나타내고 있다. 전체적으로 침식과 퇴적이 비슷한 크기의 분포로 나타났고, 준설지역과 비교해보면 침식이나 퇴적 활동 중 어느 하나가 집중적으로 나타나지 않고, 침식과 퇴적활동이 여러 구역에서 산발적으로 일어난 것으로 나타났다.

Site 3의 우기후 침식량은 97.1 m³, 퇴적량은 79.5 m³로 나타났다. 전체적으로 17.6 m³ 침식이 일어난 것으로 나타났다(Table 9). 만사되지 않은 사방댐에서 우기후에 퇴적보다 침식이 더 많이 나타난 것은 만사되지 않은 사방댐에서 강우시 물빼기구멍을 통하여 유수와 함께 일부토사가 하류로 유실되었기 때문에 판단된다. 하지만, 본 자료를 그대로 이용하여 준설지와 비준설지의 토사유출량을 비교할 경우 비준설지의 토사유출량을 과소평가할 우려가 있다. 따라서, 본 연구에서는 추가적으로 비준설지에서 토사가 유출되지 않고 모두 사방댐에 저사되었을 경우를 가정한 분석을 실시하였다. 이 경우 사방댐에서 상류 20 m지점까지 토사가 100% 퇴적된 것으로 가정하여 (300 m³, 20 × 10 × 1.5) 분석하였다.

Site 3에서 하류로의 토사유출 없이 20 m 지점까지 토사가 퇴적되었다고 가정한 결과, 단위면적당(m²) 체적변

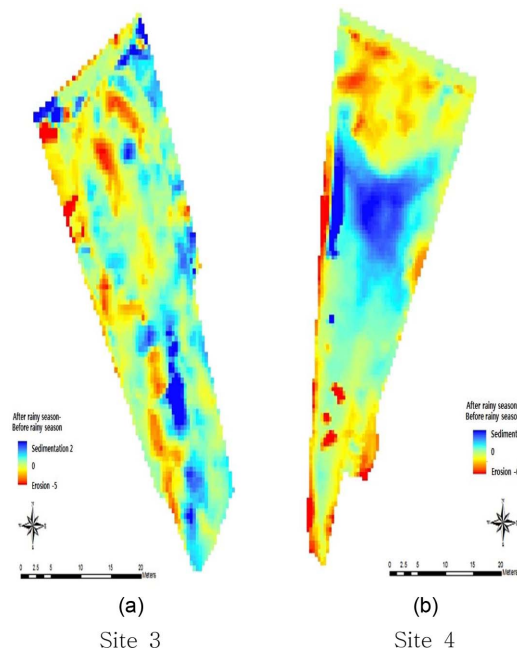


Figure 10. Sediment volume change and distribution status of erosion · sedimentation occurrence area at site 3, 4. (A, B: After rainy season-Before rainy season volume change distribution)

화량은 m²당 우기후 0.4 m³/m² 퇴적된 것으로 나타났다(Figure 11).

Figure 10(b)는 Site 4의 우기후 체적변화의 결과로서 전체적으로 침식과 퇴적이 분포하는 것으로 나타났으나, 사방댐 상류부에서는 퇴적활동이 많이 일어난 것으로 나타났다.

Site 4의 우기후 침식량은 251.8 m³, 퇴적량은 449.7 m³로 나타났다. 전체적으로 197.8 m³ 퇴적되었으며, 우기를 지나면서 토사의 유입이 있었다(Table 9).

연구대상지의 단위면적당(m²) 체적변화량은 m²당 우기후 0.2 m³/m² 퇴적되었다(Figure 11).

준설을 시행한 사방댐과 준설을 시행하지 않은 사방댐 각각 두 곳의 평균값을 통한 정량적 결과는 준설을 시행한 사방댐에서 우기후 m²당 평균 퇴적량 0.5 m³/m², 준설

Table 9. Sediment volume and area change at site 3, 4.

			After rainy season- Before rainy season	Total sediment volume change	Hypothesis
Site 3	Sediment volume	Erosion (m ³ , -)	-97.1	-17.6	300
		Sedimentation (m ³)	79.5		
	Area	Erosion area (m ² , -)	-437.3		
		Sedimentation area (m ²)	367.8		
Site 4	Sediment volume	Erosion (m ³ , -)	-251.8	197.8	-
		Sedimentation (m ³)	449.7		
	Area	Erosion area (m ² , -)	-416.0		
		Sedimentation area (m ²)	585.3		

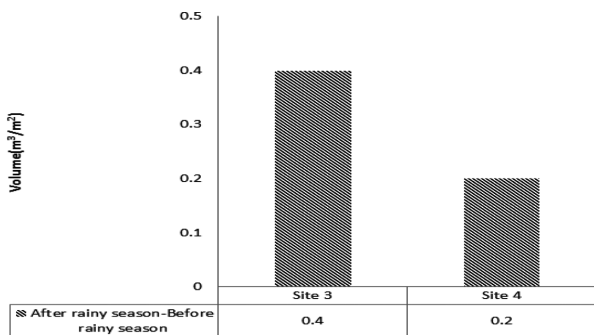


Figure 11. Sediment volume change per unit area at site 3, 4.

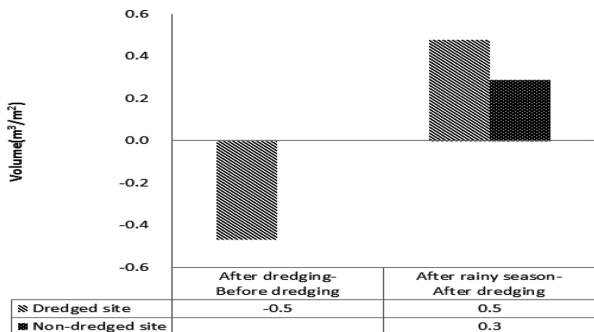


Figure 12. Sediment volume change per unit area at dredged site and non-dredged site.

을 시행하지 않은 사방댐에서는 0.3 m³/m²로 준설을 시행한 사방댐에서 우기를 지나면서 1.7배 많은 토사가 유입되었다(Figure 12).

이러한 결과는 준설작업이 계상물매의 안정성에 미치는 영향을 알 수 있는 결과로서, 준설작업이 사방댐 직상류의 교란을 야기하고, 그로 인한 토사의 유입이 더 많이 일어난 것으로 판단된다. 또한 단위면적당(m²) 토사유출량을 이용하여 유역면적 전체의 토사유출량을 추정해 볼 수 있다. 유역면적 전체에서는 준설을 시행하지 않은 사방댐이 준설을 시행한 사방댐보다 1.5배 많은 토사가 유입되었는데, 이는 사방댐 준설이 유역전체의 토사유출에 미치는 영향은 미비하지만, 준설작업 범위내와 직상류에

많은 물리적 교란을 야기하기 때문으로 판단된다.

강우량이 두 지역의 토사유출에 미치는 영향은 m²/mm 당 균위 0.00079 m³/m²/mm, 성주 0.00077 m³/m²/mm의 토사유출이 일어나 두 지역에서 약 150 mm의 총 강우량 차이는 있었으나, 강우량에 대한 토사유출량 변화에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 향후 다양한 유역단위별 토사유출량 및 유역면적이 유사한 지역에서 준설지와 비준설지의 토사유출량에 대한 조사가 필요할 것이다.

결론

준설을 시행한 사방댐에서 준설전·후 및 우기후의 경사도와 체적분석을 통하여 준설작업이 퇴사선내의 계류에 미치는 영향은 다음과 같다.

1. 토양침식 유발의 위험이 높은 경사도(20°~40°)가 차지하는 비율이 준설을 시행한 사방댐의 경우, 준설후(우기전) 15.0%, 우기후 15.6%로 더 증가하였고, 준설을 시행하지 않은 사방댐에서는 우기전 23.1%, 우기후 18.9%로 감소하였다. 그러나 단순 수치적으로는 준설을 시행하지 않은 사방댐에서 더 높게 나타났지만, 전체 비율은 감소하는 경향으로 나타났다. 준설을 시행한 사방댐에서는 준설작업 후 재만사가 되어도 준설직후처럼 토양침식의 위험이 있는 경사도가 증가하였고, 준설을 시행하지 않은 사방댐에서는 분포비율이 줄어들었기 때문에 사방댐에 토사가 자연적으로 퇴적되어 안정화 되어가는 것으로 판단된다.

2. 준설을 시행한 사방댐에서 우기후의 조사면적에 대한 m²당 퇴적량은 0.5 m³/m², 준설을 시행하지 않은 사방댐 0.3 m³/m²로 준설을 시행한 사방댐에서 m²당 1.7배 더 많은 토사가 유입되었다. 이는 준설을 시행한 사방댐에서 토사의 유입이 많이 발생한다는 정량적인 결과로서, 준설이 작업의 범위내와 직상류에 물리적 교란을 일으켜 계류의 침식을 유발하는 것으로 판단된다. 또한 조사대상지의 강우량 차이는 토사유출량에 미치는 영향이 없는 것으로

나타났다.

본 연구 결과는 준설을 시행한 사방댐의 지형변화에 대한 기초자료를 제공하고 준설작업에 있어서 계상의 물리적 안정성을 고려해야하는 근거를 제시할 수 있을 것이다. 그러나 연구대상지가 경북지역내의 사방댐 준설지 2곳이라는 자료개수와 유역면적이 서로 다르다는 한계가 있었다.

향후, 매년 지속적으로 실시하고 있는 사방댐 관리 사업에서 지역, 지질, 유역면적, 댐규모 등 다양한 인자를 고려하여 더 많은 준설지에서의 지형변화와 물리적 교란에 대한 정확한 메커니즘에 관한 연구가 수행되어야 할 것이다. 또한 사방댐 준설작업의 형태와 규모, 작업시기 등 다양한 연구가 지속적으로 이루어질 필요가 있다.

References

- Choi, K. 2001. Occurrence status and causes of landslide in Korea. *Journal of KOSHAM* 1(3): 7-14.
- Du, J.C. and Teng, H.C. 2007. 3D laser scanning and GPS technology for landslide earthwork volume estimation. *Automation in Construction* 16: 657-663.
- Dunn, M. and Hickey, R. 1998. The Effect of Slope Algorithms on Slope Estimates within a GIS. *Cartography* 27(1): 9-15.
- Jang, C.L. 2010. Adjustment processes of a disturbed channel by dredging. *Magazine of Korea water resources association* 43(3): 29-33.
- Jang, C.L. and Yoon, J.H. 2009. Experimental Study on Adjustment Processes of the Disturbed Channel by Dredging. *Korea Society of Civil Engineers* 2009(10): 739-742.
- Jun, B.H., Jang, C.D., and Kim, N.G. 2010. Analysis of Erosion and Deposition by Debris-flow with LiDAR. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 13(2): 54-63.
- Kim, W.Y. and Chae, B.G. 2009. Characteristics of Rainfall, Geology and Failure Geometry of the Landslide Areas on Natural Terrains, Korea. *The Journal of Engineering Geology* 19(3): 331-344.
- Kim, Y.P., Lee, K.H., and Song, S.T. 2008. Analysis of Soil Erosion Hazard Zone in Gayasan National Park. *Korea Institute of Forest Recreation* 12(3): 1-11.
- Korea Forest Service. 2007. The history of 100 years of erosion control works in Korea. pp. 838.
- Korea Forest Service. 2011. Developing on the types of specific multi-functional debris barrier. pp. 294.
- Lee, S.W. 2011. Application of RUSLE Model in Prediction of Soil Loss at Small Mountainous Area. *Graduate School of Forest Resources*. Yeungnam University. pp. 56.
- Lee, S.Y. 2007. Monitoring of the Landslide Using the Terrestrial LiDAR. *Graduate School of Civil Engineering*. Kangwon University. pp. 146.
- Mitasova, H., Hardin, E., Starek, M.J., Harmon, R.S., and Overton, M.F. 2011. Landscape dynamics from LiDAR data time series. In: *Geomorphometry 2011*. Hengl, T., Evans, I.S., Wilson, J.P. and Gould, M. (eds.). Redlands, CA. p. 3-6.
- Park, J.H., Ma, H.S., Kim, K.H., and Youn, H.J. 2011. Influences of the Construction of the Torrent Control Structure using Customized Tetrapods on the Stream Water Quality at Valley. *Journal of Korean Forestry Society* 100(1): 105-111.
- 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(2): 191-198.
- Ryu, T.K. and Jang, K.K. 1998. Effect of Soil Erosion Control Dam in the Hillside Area. *Journal of Life Science and Natural Resources Research*. Institute of Life Science and Natural Resources 20: 42-47.
- Scheidt, C., Rickenmann, D., and Chiari, M. 2008. The use of airborne LiDAR data for the analysis of debris flow events in Switzerland. *Natural Hazards and Earth System Science* 8: 1113-1127.
- Woo, C.S., Youn, H.J., Lee, C.W., and Lee, K.S. 2012. Estimation of Spatial Soil Distribution Changed by Debris Flow using Airborne Lidar Data and the Topography Restoration Method. *Journal of Korean Forestry Society* 101(1): 20-27.

(2014년 3월 27일 접수; 2014년 6월 3일 채택)