

강우자료를 이용한 사방댐 배면 퇴적물의 준설시기 선정

송영석^{1*} · 김민석² · 정인근³

¹한국지질자원연구원 지질환경연구본부, 지질환경재해연구센터장, 책임연구원

²한국지질자원연구원 지질환경연구본부, 선임연구원

³(주)케이씨티이엔씨, 대표이사

Suggestion on the Dredging Time of Sediments Behind Debris Barrier Using Rainfall Data

Young-Suk Song^{1*} · Minseok Kim² · In-Keun Jung³

¹Geologic Environment Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Head of Geo-Environmental Hazard Research Center, Principal Researcher

²Geologic Environment Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Senior Researcher

³KCT E&C., President

Abstract

The rainfall intensity-duration curve (I-D curve) was used for selecting the dredging time of sediments behind a debris barrier which is located at the study area in Inje-gun, Kangwon Province. The I-D curve was newly suggested by using the data of rainfall-induced landslides for about 30 years from June to September in Kangwon Province. According to the monitoring results, the landslides have been not occurred during the monitoring period of the dredged sediments management system at the study area, and also all of the rainfall events were located below the I-D curve. The weight of the dredged sediments measured at the management system in the field was increased but the weight increment was small. It means that the increase of the dredged sediments was not the effect of landslide but the effect of soil erosion at the ground surface due to heavy rainfall. The weight of the dredged sediments behind a debris barrier could be known in real time using the rainfall data measured at the management system. Also, when the I-D curve is used with the management system, it is possible to select the optimum dredging time for sediments behind debris barrier.

Keywords: debris barrier, dredged sediments management system, dredging time, I-D curve, rainfall data

OPEN ACCESS

*Corresponding author: Young-Suk Song
E-mail: yssong@kigam.re.kr

Received: 18 January, 2019

Revised: 18 March, 2019

Accepted: 25 March, 2019

© 2019 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/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

초 록

준설퇴적물 관리시스템이 설치된 사방댐(강원도 인제군)을 대상으로 강우강도-강우지속시간 한계곡선(I-D curve)을 이용하여 사방댐 배면의 퇴적물에 대한 준설시기를 선정하였다. 강원지역에서 약 30년 동안 6-9월 사이의 집중호우로 발생한 산사태 자료를 이용하여 I-D curve를 제안하였다. 준설관리시스템의 운영기간 동안 연구지역에서는 산사태가 발생되지 않았으며, 모든 강우사상은 I-D curve 아래에 위치하고 있다. 준설퇴적물 관리시스템에 대한 모니터링 결과 준설퇴적물 관리시스템에서 측정된 준설퇴적물 하중은 증가 양상을 보였으나 증가량은 적은 것으로 나타났다. 따라서 준설퇴적물의 증가는 산사태에 의한 것이 아니라 집중호우시 산사태발생부에서 발생한 일부 토사유실에 의한 것임을 알 수 있다. 준설퇴적물 관리시스템에 설치된 강우자료를 활용하여 사방댐 배면 준설퇴적물의 양을 실시간으로 확인할 수 있으며, 강우 한계곡

선(I-D curve)을 함께 활용할 경우 사방댐 배면의 퇴적물에 대한 최적의 준설시기 선정이 가능하게 된다.

주요어: 사방댐, 준설퇴적물 관리시스템, 준설시기, 강우강도-강우지속시간 한계곡선, 강우자료

서론

사방댐은 산사태 발생시 1차적으로 인하여 산지 상류에서 내려오는 토사 혹은 토석과 유송잡물 등을 차단하고, 유속을 저하시켜 산지 하류지역의 2차 피해를 방지하기 위한 시설물이다. 우리나라의 경우 토사재해 방지를 위하여 1950년대부터 다양한 사방 시설물이 설치되고 있으며, 2003년부터 281개로 본격적으로 사방댐이 설치되었다. 2006년 이후 사방댐 설치 개수가 급격하게 증가하였으며 2009년부터는 매년 800개 이상의 사방댐이 설치되고 있다. 특히, 2006년 7월 집중호우시 강원도 인제군 어두원리의 경우 사방댐 설치에 2억 원을 투자하여 산사태 피해를 입지 않았으나 인접한 덕산리의 경우 산사태로 인하여 3명이 사망하고 382억 원의 재산피해를 입어 사방댐의 필요성이 입증된 바 있다(Kangwon National University, 2010).

하지만 2008년 7월 감사원보고서에 따르면 강원도 양구군 등 29개 시군에 설치된 사방댐의 유지관리 실태를 현장 점검한 결과 약 33%의 사방댐이 본체 균열 및 미준설 등으로 집중호우시 사방댐의 기능을 발휘하기 힘든 상황으로 방치되어 있는 것으로 조사되었다. 또한 Lee et al.(2013)에 의하면 강원지역 사방댐에 대한 육안점검 결과, 제체, 측벽, 물받이 등에 국부적으로 다양한 훼손유형이 발견되었다. 따라서 산림청에서는 사방시설의 유지관리 매뉴얼, 사방댐 관리의 행정규칙 및 관련 법률을 제정하여 관리해오고 있다.

그러나 사방댐은 현재까지 현장점검 및 육안검사를 토대로 관리되고 있으므로 적절한 사방댐의 유지관리시기의 선정이 불가능한 상태이다. 사방댐의 기능을 최적으로 유지하기 위하여 사방댐 배면 준설퇴적물을 효과적으로 관측할 수 있는 준설퇴적물 관리시스템을 개발하였다. 개발된 사방댐 배면 준설퇴적물 관리시스템의 효율적인 활용과 관리를 위해서는 유지관리를 위한 관리기준의 제안이 필요하다.

본 연구에서는 강우강도와 지속시간의 상관관계를 이용하여 사방댐 배면의 퇴적물에 대한 준설시기를 선정하고자 한다. 즉 Caine(1980)이 제안한 강우강도-강우지속시간 한계곡선(I-D curve)을 활용하여 산사태 발생여부를 판단하고, 현장에 설치된 준설퇴적물 관리시스템에서 측정된 결과와 비교 분석한다. 이를 토대로 강우에 따른 사방댐 배면 퇴적물의 준설시기를 선정하고자 한다.

사방댐 배면 준설퇴적물 관리시스템 적용사례

준설퇴적물 관리시스템

사방댐 배면 준설퇴적물 관리시스템은 각종 센서를 이용하여 사방댐 배면 준설퇴적물의 하중을 측정하기 위하여 개발되었다. Fig. 1은 사방댐 배면 준설퇴적물 관리시스템의 개략도를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 준설퇴적물 관리시스템은 3개의 측정유닛으로 구성되어 있다. 먼저 강우를 측정하기 위한 Tipping Bucket 타입의 강우계, 사방댐 배면의 준설퇴적물 하중을 측정하기 위한 하중측정계, 사방댐 배면 수위를 측정하기 위한 수위계로 구성되어 있다. 특히 준설퇴적물의 중량을 측정하기 위한 하중측정계는 자체 제작한 것이다. Table 1은 사방댐 배면 준설퇴적물 관리시스템의 측정유닛을 정리한 것이다(Song et al., 2018).

사방댐 배면 준설퇴적물 관리시스템에는 각종 센서로부터 측정된 자료를 저장, 관리 및 전달하기 위한 Data

Acquisition System(DAS)이 포함되어 있다. 현장에서 측정된 자료의 흐름을 살펴보면 각종 측정유닛으로부터 측정된 자료는 Multiplexer를 통하여 DAS 내의 Data Logger에 저장된다. Multiplexer는 다양한 신호를 받아서 Data Logger에 송신이 가능한 자료로 변경 및 제공해주는 장치이다. 그리고 측정 및 저장된 자료는 CDMA 통신시스템을 이용하여 사무실에서 전송되어 진다. 한편 DAS에 전력을 공급하기 위하여 태양광을 이용한 발전시스템인 Solar system을 활용하였다 (Song et al., 2018).

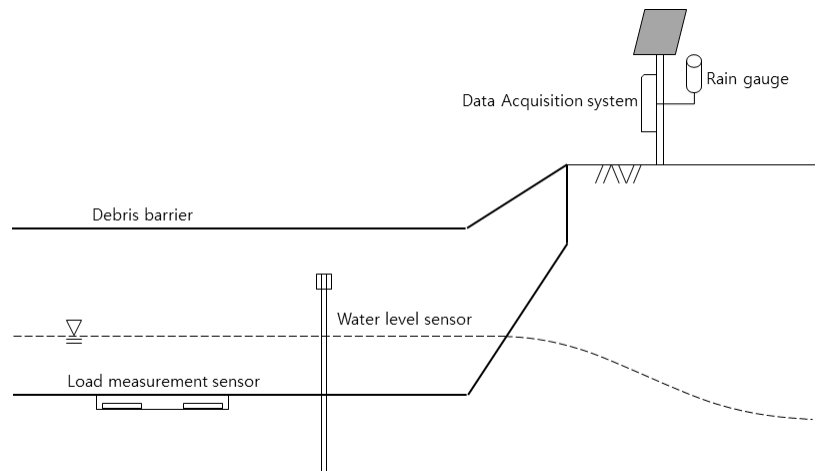


Fig. 1. Schematic diagram of the dredged sediment management system (Song et al., 2018).

Table 1. Measurement units in the dredged sediment management system (Song et al., 2018)

Measurement list	Measurement units	Model
Rainfall	Rainfall tipping bucket	TR-525M, Texas electronics - Resolution : 0.1 mm - Accuracy : 1.0% up to 50 mm/hr
Water level	Water level meter	CWL-5, ZIS - Rated capacity : 2-5 kgf/cm ² - Rated output : 0.6-1 mV/V
Weight of sediments	Load cell system	Self-production - Rated capacity : 0.1-15 tf - Rated output : 1-1.5 mV/V

준설퇴적물 관리시스템 현장적용

사방댐 배면 준설퇴적물 관리시스템은 강원도 인제군 인제읍 덕산리 산 14-2 일대의 사방댐에 설치되었다. 대상지역은 2006년과 2007년 집중호우로 인하여 대규모 토석류 산사태가 발생된 현장이다. 강원도 인제군 인제읍 덕산리 일대 1개의 유역으로 시점부에서 2개의 산사태가 발생되어 계곡부에서 합쳐졌으며, 이후 하부로 사태물질이 흘러내린 토석류 발생 현장이다. 현장조사결과 대상지역의 경우 4개의 사방댐이 계곡의 중하류부에 설치되어 있는 것으로 나타났다. 특히 하류부에는 대형 슬릿댐과 콘크리트 사방댐이 1개씩 설치되어 있다.

Table 2는 대상지역에 인접한 군량관측소에서 2007년 집중호우로 산사태가 발생된 시기의 강우자료를 나타낸 것이다. 대상지역의 강우자료를 토대로 산사태가 발생된 시기의 최대 강우강도와 1일 최대강우량을 조사하였다. 표에서 보는 바와 같이 최대강우강도는 62 mm/hr이며 1일 최대강우량은 227 mm, 그리고 4일 누적강우량이 474 mm인 것으로 조사되었다.

Table 2. Precipitation data during the period of landslide occurrence (Gunryang observatory)

Location	Maximum rainfall intensity		1-day maximum accumulated rainfall		Accumulated rainfall (4 days)	
	mm/hr	date	mm	date	mm	period
Inje-gun Inje-eub (Gunryang observatory)	62	2007.7.15.	227	2007.7.15.	474	2007. 7.17-7.20

Fig. 2는 사방댐 배면의 준설퇴적물 관리시스템이 설치된 위치를 나타낸 것이다. 준설퇴적물 관리시스템의 설치위치는 기존 산사태 발생이력, 사방댐 배면 준설퇴적물의 변화, 측정센서의 시공성, 준설퇴적물 관리시스템의 유지관리 등을 고려하여 선정하였다.

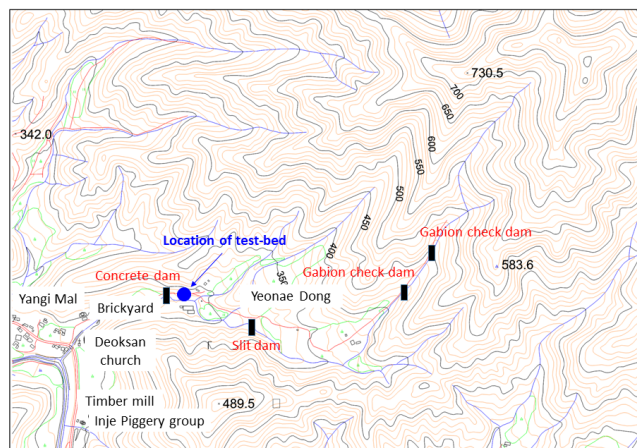


Fig. 2. Location of the dredged sediment management system (Song et al., 2018).

한편, 사방댐 배면의 다양한 변화를 관찰하기 위하여 현장에 웹카메라를 설치하였다. Fig. 3은 웹카메라로 촬영된 현장의 모습을 나타낸 것으로 각종 측정유닛이 사방댐 주변에 설치되어 있음을 알 수 있으며, 이를 통하여 현장의 상황을 실시간으로 확인할 수 있다.



Fig. 3. Panoramic view of the dredged sediment management system in the study area.

강우자료를 이용한 산사태 발생기준 제안

본 절에서는 1970년부터 2012년까지 강원지역에서 6-9월 사이의 집중호우로 야기된 산사태 중 각 지자체 및 언론매체에서 조사, 보도하여 발생지점의 위치와 시간이 확인되고 강우자료를 획득할 수 있는 총 37개 지역의 산사태 자료를 대상으로 분석하였다. 특히 1970년대에서 1990년대에 발생한 산사태 관련 정보는 네이버 뉴스 라이브러리(<http://newslibrary.naver.com>)를 통해 수집하였다. Table 3은 연대별 산사태 발생건수를 나타낸 것이다.

Table 3. Number of landslide occurrence according to chronological period

Chronological period	No. of landslide
1970s (1970~1979)	7
1980s (1980~1989)	2
1990s (1990~1999)	8
2000s (2000~2009)	14
2010s (2010~2012)	6
Total	37

강우자료는 기상청 홈페이지(<http://kma.go.kr>)에서 제공하는 기상관측소의 일별 시간값 및 자동기상관측소(Automatic Weather Station: AWS)의 방재기상자료와 국가수자원관리종합정보시스템 홈페이지(<http://wamis.go.kr>)에서 제공하는 국토해양부 및 한국수자원공사 우량관측소의 실시간 자료를 포함하여 총 46개 관측소의 시간단위 강우자료를 이용하였다. Table 4는 본 연구에서 활용된 기상관측소 수를 나타낸 것이다.

또한 강우자료는 산사태 발생지점으로부터 가장 근접한 지점에 위치한 기상관측소에서 수집하였으며, 산사태 발생지점으로부터 기상관측소까지의 거리는 평균적으로 4.6 ± 2.9 km에 해당한다.

Table 4. Number of weather station applied in this study

Number of weather station				
KMA		WAMIS		Total
WS	AWS	MLTMA	KWRC	
15	3	24	4	46

KMA: Korea Meteorological Administration

WAMIS: Water Management Information System

WS: Weather Station

AWS: Automatic Weather Station

MLTMA: Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs

KWRC: Korea Water Resource Corporation

강우분석은 태풍 또는 집중호우의 영향에 따른 강우개시 직후부터 산사태 발생 유발강우 및 단일 호우사상으로 정의하고 이에 대한 강우지속시간(Duration, hrs)과 평균강우강도(intensity, mm/hr)를 계산하여 수행하였다. Fig. 4는 강우지속 시간과 평균강우강도 산정에 대한 개념도를 나타낸 것이다. 여기서, 단일호우사상은 선행연구(National Institute for Disaster Prevention, 2005; Saito et al., 2010; Yune et al., 2010)에서 제시한 방법에 따라 강우개시 전 최소 24시간 이상의

무강우 시간을 기준으로 구분하였다.

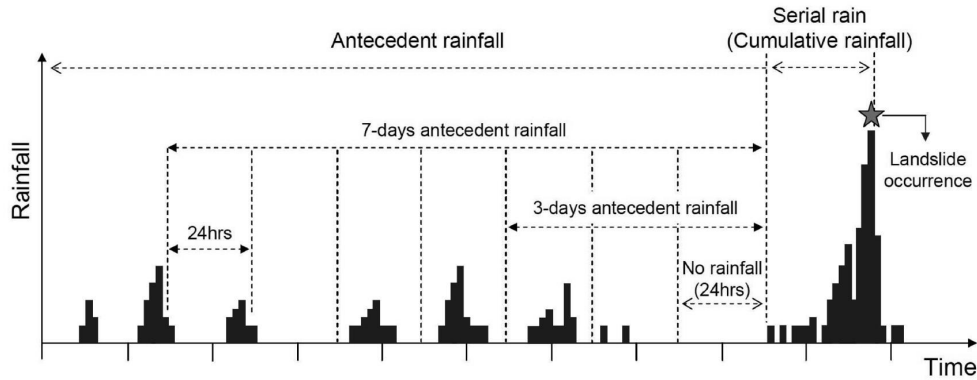


Fig. 4. Concept on the estimation of rainfall duration and intensity.

산사태 유발강우의 강우강도와 지속시간의 상관관계는 Caine(1980)이 제안한 식을 이용하였으며, 이는 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$I = \alpha D^\beta \tag{1}$$

여기서, I 는 평균강우강도(mm/hr), D 는 강우지속시간(hrs), α 와 β 는 계수이다.

Fig. 5는 강원도 지역의 강우강도와 강우지속시간에 대한 상관관계를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 강우강도와 강우지속시간은 반비례 관계를 보인다. 한편, 산사태 유발강우의 강우강도-지속시간에 대한 한계곡선(threshold)은 최하위 값을 기준으로 선정하였다. 이와 같이 선정된 강우강도-지속시간에 대한 한계곡선식은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$I = 11.72D^{-0.20} \tag{2}$$

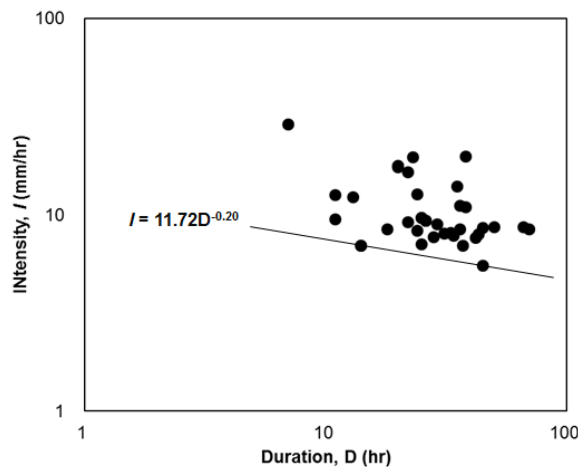


Fig. 5. Proposal of the threshold between rainfall intensity and duration to predict landslide occurrence.

상기 제안된 강우강도와 강우지속시간과의 한계곡선(I-D curve)을 이용하여 연구지역에 대한 산사태 발생가능성을 파악하는데 참고자료로 활용할 수 있다. 만약 제안된 한계곡선(I-D curve)을 초과하는 강우가 발생하는 경우 지표침식을 포함한 산사태의 발생가능성이 높아지므로 사방댐 배면에 퇴적되는 준설퇴적물 관리에 주의를 기울여야 할 것이다.

측정결과 분석 및 고찰

측정결과

현장에 설치된 사방댐 배면 준설퇴적물 관리시스템에서 측정된 강우자료를 활용하여 산사태 발생여부를 평가하고, 이를 토대로 준설퇴적물 관리시스템의 유지관리를 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

Fig. 6은 대상지역에 설치된 강우계와 수위계를 이용하여 강우에 따른 사방댐 배면에서의 수위변화를 나타낸 것이다. 이미지에서 보는 바와 같이 측정기간은 2017년 5월 17일부터 10월 12일까지이며, 산사태가 많이 발생하는 우기철인 6월부터 9월 사이의 측정자료를 포함하고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 강우가 증가하는 경우 사방댐 배면의 수위도 동일한 패턴으로 증가하는 것으로 나타났다. 특히 40 mm 이상의 강우량이 발생하는 경우 사방댐 배면의 수위는 급격하게 증가함

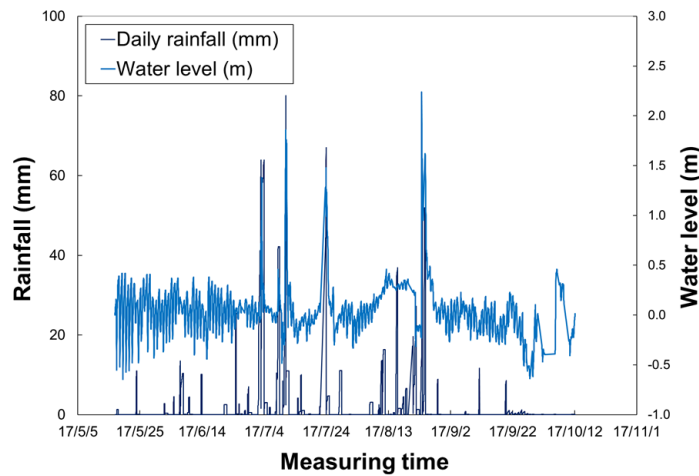


Fig. 6. Variation on the water level behind debris barrier according to rainfall.

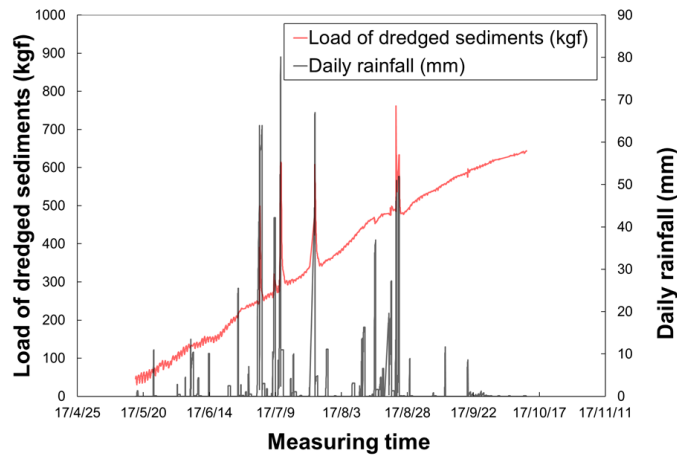


Fig. 7. Variation on the weight of the dredged sediments behind debris barrier according to rainfall.

을 알 수 있다. 즉, 수위가 급격하게 증가하는 시점과 40 mm 이상의 강우가 발생하는 시점이 일치하는 것으로 나타났다.

Fig. 7은 사방댐 배면에 설치된 수위계와 하중측정계로부터 측정된 수위와 준설퇴적물의 하중변화를 함께 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 40 mm 이상의 강우가 발생된 경우 사방댐 배면에서 측정된 준설퇴적물의 하중은 급격하게 증가하였다가 다시 감소하는 것으로 나타났다. 사방댐 배면에서 측정되는 준설퇴적물의 하중은 지속적으로 증가함을 알 수 있으나, 증가된 하중의 크기는 작은 것으로 나타났다.

준설시기 선정을 위한 적용성 검토

사방댐 배면 준설퇴적물 관리시스템에서 측정된 강우자료와 제안된 강우 한계곡선(I-D curve)을 비교하여 해당지역에 대한 강우 한계곡선(I-D curve)과 준설시기 선정에 대한 적용성을 검토하였다.

Fig. 8은 강원지역의 강우강도-강우지속시간 한계곡선과 연구지역에서의 강우자료를 함께 도시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 연구기간 동안의 강우사상은 모두 강우강도-강우지속시간 한계곡선(I-D curve)의 아래에 존재하는 것으로 나타났다. 실제로 해당지역에서는 모니터링 기간 동안 산사태가 발생되지 않았고, 발생한 강우사상이 모두 강우 한계곡선(I-D Curve)의 아래에 존재하고 있으므로 강우 한계곡선(I-D Curve)은 사방댐의 준설시기를 선정하는데 활용이 가능함을 알 수 있다.

그리고 준설퇴적물 관리시스템에서 측정된 준설퇴적물 하중은 증가하는 것으로 나타났으나 준설퇴적물의 양은 작게 발생되었다. 즉 실제 발생한 준설퇴적물은 산사태에 의한 것이 아니라 집중호우시 산지표층부에서 소량의 토사유실에 의한 것임을 알 수 있다. 따라서 준설퇴적물 관리시스템에 설치된 강우자료와 제안된 강우 한계곡선(I-D Curve)을 활용하여 사방댐 배면의 준설퇴적물을 증가시키는 산사태 발생을 간접적으로 예측할 수 있으며, 이를 토대로 사방댐 배면퇴적물의 준설시기를 선정할 수 있을 것으로 판단된다.

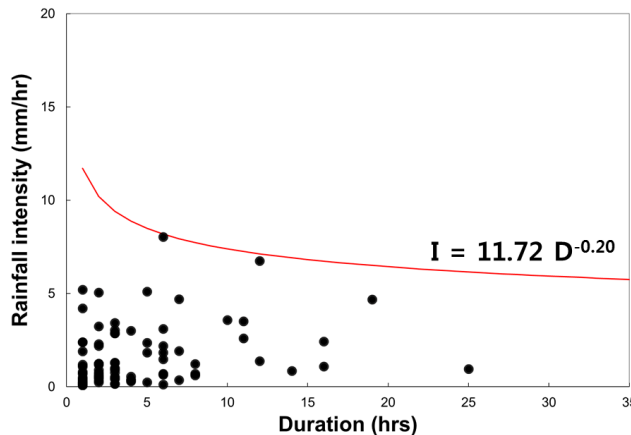


Fig. 8. Field monitoring result of applying the threshold between rainfall intensity and duration.

결론

본 연구에서는 사방댐 배면 준설퇴적물 관리시스템의 계측결과와 제안된 한계곡선(I-D curve)을 활용하여 사방댐 배면 퇴적물의 준설시기를 선정하는 방안을 제시하였다. 사방댐 배면의 준설퇴적물 관리시스템을 개발하여 연구지역의 강우량과 사방댐 배면의 퇴적물을 측정하였으며, 강우강도와 강우지속시간의 상관관계를 활용하여 강원지역의 강우 한계곡

선(I-D curve)을 제안하였다. 이들 측정결과와 제안된 강우 한계곡선(I-D curve)을 활용하여 연구지역의 사방댐 배면의 퇴적물에 대한 준설시기 선정방안을 제시할 수 있으며, 이들 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 사방댐 배면 준설퇴적물 관리시스템은 강원도 인제군 인제읍 덕산리 일대의 사방댐을 대상으로 설치하였으며, 준설퇴적물 관리시스템은 강우계, 하중측정계 및 수위계로 구성되어 있다.
- (2) 1970년부터 2012년까지 6-9월 사이의 집중호우로 강원지역에서 발생된 산사태 자료를 활용하여 강우 한계곡선(I-D curve)을 제안하였으며, 제안된 강우 한계곡선(I-D curve)은 $I = 11.72D^{-0.20}$ 로 정의할 수 있다.
- (3) 연구기간 동안의 강우사상은 모두 강우 한계곡선(I-D Curve)의 아래에 존재하였고 해당지역에서는 산사태가 발생되지 않았으므로 제안된 강우 한계곡선(I-D Curve)은 사방댐의 준설시기를 선정하는데 적용이 가능함을 알 수 있다.
- (4) 사방댐 배면의 준설퇴적물 관리시스템에서 측정된 준설퇴적물 하중은 지속적으로 증가하고 있으나 준설퇴적물의 양은 적게 나타났으며, 준설퇴적물의 증가는 집중호우시 산지표층부에서 일부 토사유실에 의한 것으로 판단할 수 있다.
- (5) 준설퇴적물 관리시스템의 측정결과를 토대로 사방댐 배면 준설퇴적물의 양을 실시간으로 확인할 수 있으며, 강우 한계곡선(I-D curve)을 함께 활용할 경우 사방댐 배면의 퇴적물에 대한 최적의 준설시기 선정이 가능하게 된다.

사사

본 연구는 한국지질자원연구원 주요사업인 “기후변화 적응 산사태 조기경보기술 및 지질환경재해 리스크 제어기술 개발 (19-3413)”과제의 일환으로 수행되었습니다.

References

- Caine, N., 1980, The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows. *Geografiska Annaler*, 62A, 23-27.
- Kangwon National University, 2010, Research on the construction method of Eco-Green erosion control dam for reducing damage from debris flow, Natural Hazard Mitigation Research (NEMA-09-NH-06), National Emergency Management Agency, 132p.
- Lee, J.H., Chun, K.W., Lee, S.M., Park, J.H., Kim, B.K., Kim, S.W., Seo, J.I., 2013, A study on the safety inspection of erosion control facilities (I): In case of check dam located in the Gangwon region, *Journal of Forest Science*, 29(3), 226-236 (in Korean with English abstract).
- National Institute for Disaster Prevention, 2005, A study on the monitoring & detection of slope failure (II): focusing on the application of rainfall data, 234p.
- Saito, H., Nakayama, D., Matsuyama, H., 2010, Relationship between the initiation of a shallow landslide and rainfall intensity-duration thresholds in Japan, *Geomorphology*, 118, 167-175.
- Song, Y.S., Yun, J.M., Jung, I.G., 2018, Development of the dredged sediments management system and its managing criteria of debris barrier, *Journal of Korean Geosynthetics Society*, 17(4), 267-275 (in Korean with English abstract).
- Yune, C.Y., Jun, K.J., Kim, K.S., Kim, G.H., Lee, S.W., 2010, Analysis of slope hazard-triggering rainfall characteristics in Gangwon Province by database construction, *Journal of the Korean Geotechnical Society*, 26(10), 27-38 (in Korean with English abstract).