

신소재 활용 제방의 월류 붕괴 경감 효과 분석

고동우, 강준구*
한국건설기술연구원 하천실험센터

Analysis of Breach Mitigation Effect on Levee made with New Substance by Overtopping

Dong-Woo Ko, Joon-Gu Kang*

River Experiment Center, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요약 최근 전 세계적으로 이상기후에 따른 국지성 폭우로 인한 홍수 발생과 하천제방의 노후화로 인하여 제방이 소실되고 저지대에서의 엄청난 재산 피해 및 인명 피해가 발생되고 있다. 특히 월류에 의한 제방붕괴는 약 40%에 달하는 것으로 보고되고 있다. 본 연구는 월류에 의한 제방붕괴의 원인 및 메커니즘을 파악하기 위해 수리모형실험을 수행하였고 제방의 내구성 향상을 위한 친환경 신소재인 바이오폴리머를 이용하여 월류에 따른 제방사면의 안정성 및 붕괴지연효과 등을 평가하였다. 영상계측장치를 이용한 실험분석 결과, 제방사면에 신소재 적용 시 총 제방붕괴시간은 흙 제방과 비교했을 때 약 2.25배의 차이를 보였고 신소재가 적용되지 않은 흙 제방의 경우 초기 붕괴발달속도가 약 1.43배 빠르게 나타났으며 시간이 지날수록 제체가 급격하게 붕괴되는 것을 관찰할 수 있었다. 또한 신소재 적용 제방의 붕괴메커니즘은 흙 제방에 비해 확연히 다르게 나타났으며 월류 흐름에 저항하여 사면침식속도를 경감시킴으로써 급격한 제체붕괴 예방이 가능한 것으로 평가되었다.

Abstract Levee breaches can result from flooding due to torrential rainfalls, which are linked with recent abnormal climates and the aging of river levees. Breaches have caused enormous property damage and human casualties in lowland areas. Overtopping was found to be the cause for approximately 40% of all cases of breach. In this study, the reasons and mechanisms behind levee breaches were analyzed using hydraulic model testing. The overtopping stability and time delay effect of breaches were assessed for levees made with a new environmentally friendly substance. Image analysis revealed that the total breach time of the levees made with the new substance was about 2.25 times greater than that of an earthen levee. The initial breach rate of a general earthen levee was about 1.43 times higher than that of levees covered with the new substance, and the body collapsed rapidly. The breach mechanisms of levees covered with the new substance were completely different, and it is possible to prevent rapid breaches by mitigation of the breach speed on the slope by resisting overtopping.

Keywords : Hydraulic model, Image analysis, Levee breach, New substance, Overtopping

1. 서론

하천 제방은 저지대에서 발생하기 쉬운 홍수 범람의 피해로부터 보호하는 역할 뿐 아니라 생태계적으로 육지와 강의 연결고리를 담당하는 중요한 역할을 하는 구조

물이다. 제방붕괴로 인한 피해 예측, 피해경감 대책 등의 목적으로 수리모형실험을 통한 많은 연구가 여러 연구자들로부터 선행되어오고 있지만 제방붕괴의 원인 및 메커니즘의 이해는 여전히 불확실한 것으로 평가되고 있다 [1-4]. 이러한 제방붕괴에 따른 방재대책을 수립하기 위

본 논문은 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(17AWMP-B114119-02)에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Joon-Gu Kang(KICT)

Tel: +82-54-843-1822 email: jgkang02@kict.re.kr

Received November 6, 2017

Revised December 21, 2017

Accepted February 2, 2018

Published February 28, 2018

해서는 여러 조건에서의 실험 데이터가 축적되어야 하며 향후 수치모델을 이용한 검증과정을 통해 제방붕괴 예측을 위한 연구가 활발히 수행되어야 한다.

현재까지 국내·외 제방실험에 대한 연구동향을 살펴보면 Kim et al.[5-6]은 제방고 변화에 따른 붕괴메커니즘 분석과 붕괴각 및 붕괴율 등 붕괴매개변수 변화특성에 관한 연구를 수행하여 실제 제방실험을 통한 현장실물 붕괴매개변수를 예측하였으며, 최근 모형제방과 실물제방을 대상으로 실험을 수행하여 월류에 의한 붕괴메커니즘을 규명하는 연구도 수행하였다. Feliciano et al.[7]은 토사밀도, 함수율, 일축압축강도 등 토질특성에 따른 제방붕괴 영향에 관한 실험을 통해 재료에 따른 붕괴메커니즘 및 시간에 따른 붕괴양상을 단계별로 분석하였다.

한편, 일본의 경우 매년 토목연구소 치요다(Chiyoda) 실험수로에서는 실규모(Real-scale) 제방붕괴의 원인 분석을 위해 여러 조건에서의 실험연구가 수행되어 오고 있지만 2015년 9월 기록적인 폭우로 인해 이바라키 현 키누강(Kinu river)의 동쪽 제방이 200m 정도 유실되어 막대한 침수피해가 발생하였고, 국내에서도 2016년 단 시간에 집중된 호우로 인해 울산의 신명천과 보은천의 제방이 붕괴되어 주택, 도로 및 차량 등에서의 침수피해가 발생하는 등 이러한 제방붕괴에 따른 피해는 계속해서 발생하고 있다(Fig. 1).



Fig. 1. Levee breach on Kinu river in Japan

선진사회를 실현하기 위해서는 홍수 발생에 따른 제방의 침식 대책을 본격적으로 추진해나가는 것이 필수적이며 이러한 불안정 제방에 대한 보강대책을 수립해나가는 과정으로써 친환경 신소재를 활용하여 제방을 보호하는 연구가 본 연구단에서 진행되고 있다.

Chang et al.[8]에 의하면 제방의 안정화 및 개선을 위한 방법으로 시멘트와 같은 혼합물질을 사용해왔으나 이

는 온실가스 배출을 야기하는 문제를 가지고 있기 때문에 환경 친화적이고 지속 가능한 대안에 대한 수요가 증가하고 있는 추세이다. 최근 들어 미생물 유도 및 생물고분자와 같은 대안 연구가 활발히 이루어지고 있는 시점에서 바이오폴리머는 미생물에 의해 유도된 고 인장, 인체 무해성 등 환경 친화적인 물질로 경제적 타당성인 측면에서 시멘트와 비교분석 되어야 하고 현장에서의 바이오폴리머 적용 가능성, 신뢰성 및 내구성 확인 등 성능을 보장하기 위한 지속적인 연구를 제안하고 있다.

이에 본 안동하천실험센터에서는 중규모 제방을 직접 제작하여 수리모형실험을 수행하였으며 다양한 영상장치를 이용한 계측시스템 구축을 통한 초기 붕괴위치 및 붕괴과정 등 붕괴메커니즘을 분석하였다. 또한 친환경 신소재 바이오폴리머를 제방에 적용하여 제방의 안정성 및 성능 평가를 통해 제방의 내구성 향상, 환경성 강화 등 안전하고 환경적인 제방축조를 위한 기술 개발 연구를 수행하였다.

2. 수리실험

2.1 실험조건 및 장치

본 실험에서는 제방실험 특성 상 소규모 수리모형실험에서 발생할 수 있는 축적효과(Scale effect)를 최소화하고 실제 제방에서 월류에 의해 발생하는 제체의 붕괴 거동 현상을 재현하기 위하여 안동하천실험센터 내 사행수로(A3) 하류부에 제방 높이 1m, 천단면 폭 1m, 너비 3m, 사면경사 1:2, 총 길이 5m의 중규모 제방을 제작하였다(Fig. 2). 실험수로 내 영상계측대차를 설치하여 고프로 5대, 디지털 카메라 1대, 360도 VR 카메라 3대를 각각 제체붕괴부 정면 및 양 측면에 배치한 후 다수의 카메라를 이용한 제방 경사면에서의 세굴 진행, 붕괴 단면 확대 등 붕괴메커니즘을 검토하고자 모든 실험 과정을 촬영하였으며 제체 천단면에서 발생하는 붕괴양상은 드론을 활용하여 촬영하였다(Fig. 3). 향후 경사면에서의 유속이 붕괴 발달에 미치는 영향을 분석하기 위하여 디지털 카메라를 이용한 PIV 실험영상을 추가로 촬영하였다.



Fig. 2. View of levee model

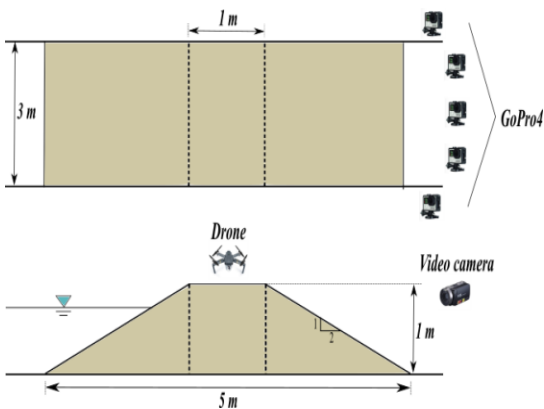


Fig. 3. Measuring device

수리실험 조건은 제방사면에 신소재가 적용된 조건과 그렇지 않은 일반 흙 제방을 비교하여 실험하였다. 현재 신소재를 제방사면에 적용하기 위한 스프레이형 피복장치가 개발 중인 단계로 이번 실험에서는 공동연구기관 카이스트(Kaist)에서 제시된 레시피(바이오폴리머 1g: 물 10g: 모래 50g)에 따라 신소재와 흙을 적정 비율로 혼합한 Bio-soil을 1cm 두께로 직접 사면에 피복하여 신소재 활용 시 제방의 안정성 및 붕괴지연효과 등을 평가하였다. 일부 실험의 경우 다짐도가 균일하지 못하여 토사의 붕괴부가 과장되게 발생하는 경우도 있어 각 실험 조건 별 안정된 실험결과를 도출하기 위해 2회씩 반복실험을 수행하였다(Table 1).

Table 1. Experimental Cases

no.	Material	Covering layer	Thickness
1	Sand	N/A	-
2		New substance	1cm
3		N/A	-
4		New substance	1cm

2.2 실험방법

2.2.1 실험모형제작

제방모형 조성은 5mm이하 모래선별을 위한 체가름 작업을 통해 채취된 모래시료를 사용하였으며 굴삭기 (0.2m³)를 이용하여 3m 높이에서 낙하시켜 기본적인 제체지반을 조성 한 뒤 20cm 높이 간격으로 물다짐을 반복적으로 수행하여 견고한 제방을 구축하였다(Fig. 4). 신소재 적용 시에는 제공받은 레시피를 기반으로 먼저 분말형태의 바이오폴리머를 물과 희석하여 만들어진 바이오폴리머 용액을 흙과 혼합한 뒤 제방표면에 미장작업을 수행하여 실험조건에 맞는 일정한 두께로 피복하였다. 이후 월류 붕괴 실험이 가능한 3~5일의 양생기간을 거쳐 실험을 진행하였다(Fig. 5).

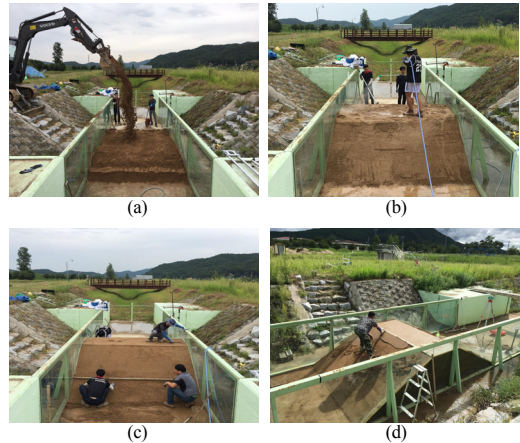


Fig. 4. Creation of levee model

- (a) Foundation (b) Water binding
- (c) Hand finishing (d) Covering a new substance

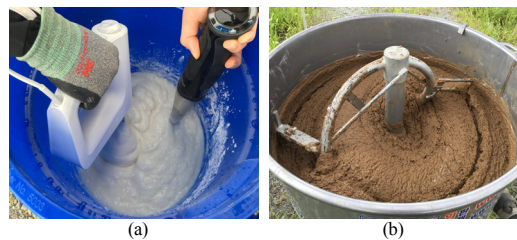


Fig. 5. Making a bio-soil

- (a) Mixing with bio-polymer and water
- (b) Mixing with bio-polymer solution and soil

2.2.2 실험유량조정

본 실험에서는 기존 흐름형태인 A3수로 상류로부터 유량을 유입하여 월류 제방붕괴를 유도하지 않고 실험에 영향을 받지 않는 A1수로에서 3m³/s 유량을 유하한 뒤 하류단 유출수조에서의 수위를 서서히 끌어올리는 조건을 형성하여 유출수조에서 A3수로 하류단으로 유량을 역류시켜 월류하는 형태로 실험을 진행하였다. 이는 A3수로 길이가 약 600m에 달해서 제방모형이 설치된 하류단까지 유량이 도달하기에 상당한 시간이 걸리는 것을 해결하기 위한 하나의 방법이다. 또한 제방붕괴 시 제외 지 측으로의 급격한 수위저하를 발생시키지 않는 실제 현장 조건을 재현하고자 상대적으로 상류단 수로에서의 유하유량 조건보다 방대한 유출수조에서 역으로 흐름을 유도하였다(Fig. 6).

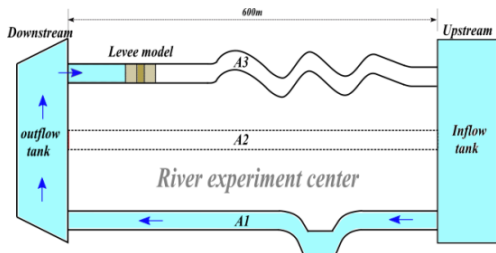


Fig. 6. Adjusting the discharge in REC

2.3.3 대상토사

본 실험에 사용된 토사는 통일분류법에 근거하여 #200 통과량 50%이하인 입도가 균일한 사질토(SW)이다(Fig. 7). 이러한 균열에 취약한 흙을 사용함으로써 바이오폴리머와 가장 취약한 재료와의 조합을 통해 바이오폴리머의 성능을 확인하고 이때 월류 붕괴단면의 형성을 유도하기 위함이다.

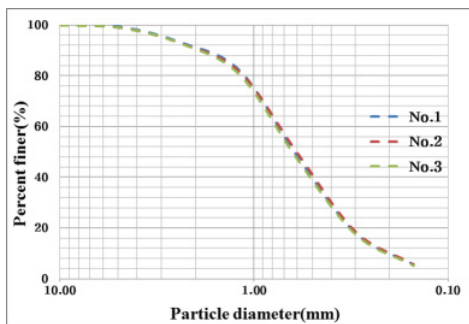


Fig. 7. Grain size distribution

3. 실험결과

3.1 신소재 적용에 따른 붕괴메커니즘

Table 2는 일반 흙 제방과 신소재 적용 제방에서의 시간에 따른 월류 붕괴 양상을 비교하여 나타낸 것이다.








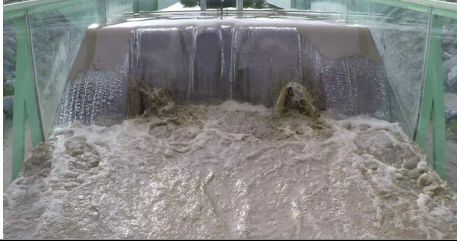
1단계는 월류가 시작되고 30초 후의 제방붕괴 양상이며 흙 제방의 경우, 제내지 측으로 월류가 발생하는 시점에서부터 제방 천단면 및 사면에서 침식이 시작되는 것을 관찰할 수 있다. 이는 제방사면에 초기 흐름이 형성되어 침식현상으로 전개하는 주 흐름 수로를 발달시키는 단계로 볼 수 있다. 신소재 적용 제방의 경우에도 일부 피복층에서 크랙(Crack)으로 인해 발생한 틈 사이로 물이 침투하여 피복층이 벗겨져나가거나 점점 부풀어 오르는 현상을 볼 수 있다. 이는 신소재가 양생되는 과정에서 일부 고결이 되지 않은 부분이 있거나 Bio-soil이 이러한 흐름에 반응하여 용해되는 현상이 일어난 것으로 판단되며 이러한 문제는 향후 거듭된 현장실험결과를 기반으로 신소재 성능을 개선해 나가야 할 것으로 사료된다.

2단계는 월류가 시작되고 60초 후의 제방붕괴 양상을 보여주고 있으며 흙 제방의 경우, 제방사면에서의 지속적인 흐름과 유속 발달로 인해 물길방향으로 침식되어 작은 골짜기 형태의 구곡침식(Gully erosion)으로 발달되는 것을 볼 수 있다. 이러한 형태의 침식은 월류 수심이 낮을 때 발생하는 것으로 월류 수심이 높을 때는 발생되지 않는 것으로 실험을 통해 확인이 되었다. 신소재 적용 제방의 경우, 크랙으로 벗겨진 부분을 중심으로 월류되는 흐름에 의해 발생된 에너지가 내부 흙에 전달되어 흙출 현상(Soil-scour)이 발생되었다. 이로 인해 제방 하단부 사면을 따라 침식 수로를 형성하여 수직침식으로 진전되는 전 단계로 볼 수 있다.

3단계는 월류가 시작되고 90초 후의 제방붕괴 양상으로 흙 제방의 경우, 천단면에서의 침식으로 인해 월류 흐름이 계단형태로 발달하고 있다. 지속적인 흐름으로 붕괴폭이 확대되며 월류량이 증대하여 체체의 침식이 가속화되고 월류 단면에서 직각형태의 수직침식이 발생한다. 신소재 적용 제방의 경우, 제방사면 상단부에서 월류 흐름에 저항하여 발생된 강한 수직흐름에 의해 사면 하단부에서 국부적인 세굴이 발생하여 수직침식 형태로 발달하는 양상으로 붕괴가 진행되었다.

4단계는 흙 제방의 경우 월류 시작 120초 후의 붕괴 양상이며 신소재 적용 제방은 월류 시작 240초 후의 붕

Table 2. Breaching shape

Step	Earthen levee	Levee covered with new substance
1		
2		
3		
4		

괴 양상을 보여준다. 흙 제방에서는 제체 천단면의 완전 붕괴 및 월류량의 급격한 증대로 인해 제체붕괴부에서의 수위가 상승하여 깊은 파괴면이 발생하고 강한 소류력에 의해 최대 붕괴폭까지 도달하는 단계다. 이후 계속되는 파괴 흐름에 의해 제방 전체가 소실되면서 제방붕괴 흐름이 종료된다. 신소재 적용 제방에서는 천단면에서의 지속적인 강한 수직흐름으로 인해 국부세굴이 반복되고 있으며 이때 수직침식이 가속화된다. 또한 제방 상단부에서의 침식이 발달하여 좌우측의 붕괴단면이 확대되는 것을 관찰 할 수 있다. 이후 300초까지도 붕괴폭이 점진적으로 확대되는 양상을 보여주고 있으나 흙 제방과 비교했을 때 천단면에서의 침식은 관찰되지 않았으며, 전

체적으로 침식되는 면적은 현저히 줄어드는 것으로 분석된다.

3.2 제방표면 손실률 산정

영상계측시스템을 통해 촬영된 실험영상을 편집 및 분석하여 시간 흐름에 따른 붕괴규모를 검토하였다. 영상을 이용한 분석방법은 실제 월류로 인한 제체붕괴가 이뤄지면서 발생하는 전체 토사유출량을 산정하기에는 불확실한 측면이 존재하거나 오차가 발생할 가능성이 크다. 따라서 정량적으로 분석이 가능한 제방사면에서의 붕괴단면을 대상으로 선정하여 검토하였다. 분석방법은 먼저 제방사면을 대상으로 촬영된 영상을 시간 단위로

캡처(Capture)하여 보정한 뒤 붕괴 범위 지정을 위한 디지털화(Digitizing) 작업을 수행하였다(Fig. 8).

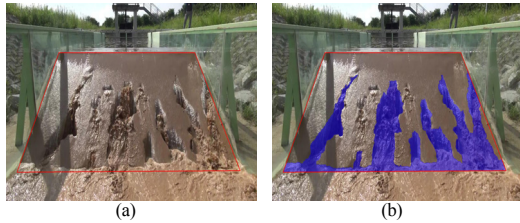


Fig. 8. Analysis of images
 (a) Digitizing of slope
 (b) Digitizing of breach range

이후 그래픽 소프트웨어를 이용하여 대상 면적에 해당되는 픽셀기반 분석을 통해 30초 단위로 붕괴규모를 산정하여 표면 손실률을 산정하였다. 이때 월류가 되는 시점이 붕괴율 0%로 가정을 하였고 표면 손실률이 90%가 넘는 시점에서는 같은 조건의 연속실험에도 불구하고 일치하지 않는 경향을 보이거나 일정한 데이터 값을 얻기가 어려우므로 분석 범위에서 제외하였다.

Table 3은 실험 조건 별 월류에 의한 제방표면 손실률을 시간에 따라 나타낸 것이다. 흙 제방의 경우(Case 1, 3) 월류 시점 30초에서 23~24%, 60초에서 60~64%, 90초에서 80~81%, 120초에서 86~88%의 손실률을 각각 보이고 있다. 손실률의 오차는 1~4%로 나타났으며 이는 2회에 걸쳐 수행된 반복실험이 동일한 조건에서 비슷한 양상으로 붕괴가 진행되었다는 것을 입증하고 있다. 신소재 적용 제방의 경우(Case 2, 4) 월류 시점 30초에서 1~2%, 60초에서 2~42%, 90초에서 27~63%, 120초에서 54~69%, 150초에서 67~78%, 180초에서 72~81%, 210초에서 74~84%, 240초에서 78~87%, 270초에서 88~90%의 손실률을 각각 나타냈다. 60초와 90초에서의 손실률에서 큰 편차를 보이고 있는데 이는 앞서 언급됐듯이 양생되는 과정에서 발생한 크랙의 비율이 초반 붕괴율에 크게 영향을 미치는 것으로 판단되며 시간이 지날수록 10% 이내로 오차가 줄어드는 것을 확인할 수 있다(Fig. 9).

Table 3. Loss rate of levee slope

Case no.	Time(s)	Total pixel number	Loss	Loss rate(%)
1	30	105,000	25,688	24
	60		63,041	60
	90		84,643	81
	120		90,405	86
2	30		975	1
	60		2,209	2
	90		27,928	27
	120		56,988	54
	150		70,815	67
	180		75,617	72
	210		77,872	74
	240		82,050	78
3	270		92414	88
	30		23,919	23
	60		67,585	64
	90		84,522	80
4	120		92,831	88
	30		2,298	2
	60		44,510	42
	90		66,387	63
	120	72,575	69	
	150	81,856	78	
	180	85,047	81	
	210	87,851	84	
	240	91820	87	
	270	94350	90	

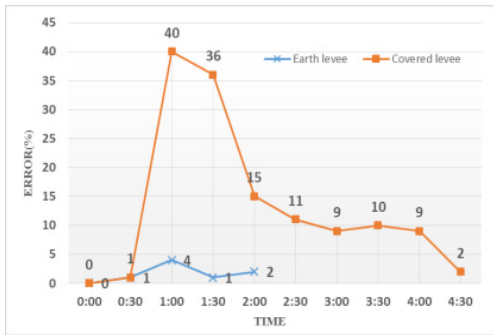


Fig. 9. Error rate

신소재 적용 시 총 제방붕괴시간은 흙 제방과 비교했을 때 약 2.25배의 차이를 보이고 있으며 픽셀기반 분석을 통한 시간에 따른 제방표면 손실률을 분석한 결과, 흙 제방은 신소재 적용 제방에 비해 초기 붕괴속도가 최소 약 1.43배 빠르게 나타났으며 시간이 지날수록 급격하게 붕괴되는 것으로 평가되었다(Fig. 10).

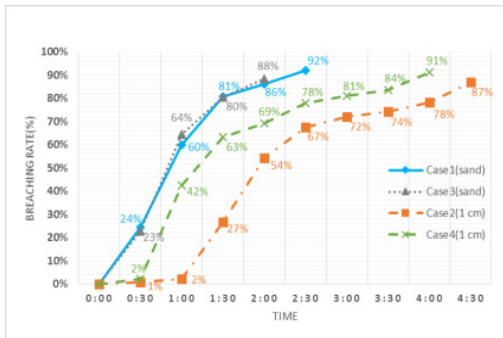


Fig. 10. Breaching rate

4. 결론

본 연구에서는 안동하천실험센터 내 중규모 제방모형을 제작하여 제방붕괴모형실험을 수행하였다. 실험결과 다양한 영상장치를 이용하여 제방 월류 붕괴메커니즘을 분석하고 픽셀기반의 영상분석기법적용을 통한 시간에 따른 제방사면에서의 붕괴규모를 산정하여 신소재 활용 제방의 안정성을 평가하였다.

월류에 의한 제방붕괴양상 변화는 총 4단계로 분류하였다. 일반 흙 제방과 신소재 적용 제방을 비교한 결과, 시간의 흐름에 따라 강한 소류력에 의해 수직형태로 침식이 발달하는 공통된 붕괴양상을 보이지만 동일 시간

흐름에서의 흙 제방과 신소재 적용 제방의 월류 붕괴메커니즘은 확연히 다르게 나타났다. 픽셀기반 분석을 통한 제방표면 손실률을 분석한 결과, 신소재 적용 시 총 제방붕괴시간은 흙 제방과 비교했을 때 약 2.25배의 차이를 보였고 신소재가 적용되지 않은 흙 제방의 경우 초기 붕괴발달속도가 약 1.43배 빠르게 나타났으며 시간이 지날수록 급격하게 붕괴되었다.

이러한 연구는 실제 제방붕괴 시 비상대처계획 수립에 필요한 기초자료로 활용이 가능할 것으로 보이며 신소재 적용 시 월류 흐름에 따른 제방사면의 붕괴속도가 경감되어 붕괴지연효과가 있는 것으로 판단되나 지속적인 현장테스트를 통하여 신소재의 성능을 개선해 갈 필요가 있다고 사료된다.

References

- [1] G. J. Hanson, K. R. Cook, S. L. Hunt, "Physical Modeling of Overtopping Erosion and Breach Formation of Cohesive Embankments", *American Society of Agricultural Engineers*, vol. 48, no. 5 pp. 1783-1794, September, 2005.
- [2] Y. H. Joo, C. G. Yeo, S. O. Lee, "Retardation Effect on the Breach of the Earth Filled Embankment Using the Stiffener during Overtopping", *J. Korean Society of Civil Engineers*, vol. 33, no. 4 pp. 1377-1387, July, 2013. DOI: <https://doi.org/10.12652/Ksce.2013.33.4.1377>
- [3] Y. Kurakami, Y. Nihei, K. Yada, T. Yamazaki, S. Yamaguchi, S. Kawabe, Y. Kikuchi, F. Tatsuoka, "Reinforcing Technology of River Levee for Increasing Resistance against Overflow Erosion", *J. Japan Society of Civil Engineers*, vol. 69, no. 4 pp. 1219-1224, 2013. DOI: https://doi.org/10.2208/jscejhe.69.1_1219
- [4] D. Tobita, T. Kakinuma, H. Yokoyama, A. Takeda, "Quantification of Levee Breach Volume Base on Levee Breach at the Chiyoda Experimental Flume", *J. Japan Society of Civil Engineers*, vol. 2, no. 1 pp. 136-143, 2014. DOI: https://doi.org/10.2208/journalofjsce.2.1_136
- [5] J. M. Kim, W. B. Cho, B. H. Choi, E. H. Oh, "Model Tests for Deriving Failure Parameter during Levee Overflow", *J. Korean Geosynthetics Society*, vol. 14, no. 2 pp. 11-21, June, 2015. DOI: <https://doi.org/10.12814/jkgss.2015.14.1.011>
- [6] J. M. Kim, M. C. Park, I. J. Moon, Y. H. Jin, "Model Tests for Examination of Overflow Failure Mechanism on River Levee", *J. Korean Geosynthetics Society*, vol. 16, no. 1 pp. 41-52, March, 2017. DOI: <https://doi.org/10.12814/jkgss.2017.16.1.041>
- [7] J. A. Feliciano C, J. Imran, M. Hanif C, "Experimental Investigation of the Effects of Soil Properties on Levee Breach by Overtopping", *J. Hydraulic Engineering*, vol. 141, no. 4, April, 2015. DOI: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000964](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000964)

- [8] I. H. Jang, J. Y. Im, G. C. Cho, "Introduction of Microbial Biopolymers in Soil Treatment for Future Environmentally-Friendly and Sustainable Geotechnical Engineering", *Substantiality*, vol. 8, no. 3, March, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/su8030251>

고 동 우(Dong-Woo Ko)

[정회원]



- 2015년 9월 : 교토대학교 사회기반 공학 (공학박사)
- 2016년 5월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 박사후연구원

<관심분야>

수리학, 토목공학, 방재

강 준 구(Joon-Gu Kang)

[정회원]



- 2002년 2월 : 명지대학교 토목환경 공학과 (공학박사)
- 2003년 9월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 연구위원

<관심분야>

수리학, 토목공학