

The Effect of Side Screen Attached to Flat-board Debris-flow Breaker on Damage Reduction

Jin Hak Kim^{1#}, Kun Woo Chun¹⁺, Jung Il Seo²⁺, Youn Tae Lee¹, Kye Won Jun³

¹ Department of Forest Resources, College of Forest and Environmental Sciences, Kangwon National University, 1 Kangwondaehak-gil, Chuncheon, Gangwon-do, Korea

² Department of Forest Resources, College of Industrial Sciences, Kongju National University, 54 Daehak-ro, Yesan, Chungcheongnam-do, Korea

³ Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University, 346 Joongang-ro, Samcheok, Gangwon-do, Korea

Abstract

The objectives of this study were to evaluate effects of the flat-board debris-flow breaker (FDB) equipped with side screen and to derive an optimal slit aperture of the side screen for maximizing its positive effects. The results showed that only a few small-sized materials were passed through side screen, causing storage at both sides of FDB. Instead, a massive amount of large-sized materials was trapped on the upper surface of FDB regulated by side screen, and this coarse layer was filled with fine sediment. This fining may not allow passage of even fine materials from upper to lower surface of FDB. Meanwhile, concerning the damage reduction by debris flows, there was no functional difference between the mean and maximum grain-size slit apertures. However, because a larger slit aperture of the screens has an advantage in reducing construction costs, the slit aperture of FDB should be matched to the maximum grain size of bed materials.

Key words: debris flows, experimental flume, slit aperture, bed-material, grain-size

1. 서론

생활권 산록부에서의 토사재해로 인한 피해를 최소화하기 위한 방안으로서 주거지를 보전대상으로 하는 이동토석의 포착, 유도 및 퇴적을 촉진하기 위한 토목공과 식생공이 조화된 종합적 기술로서의 사방사업이 요구되고 있다. 또한, 생활권 지역의 경우 토지이용 특성상 지금까지 시공해오던 통상적인 사방시설의 시공

에 제약이 따를 수 있으며, 이와 더불어 경관성과 생태성을 충분히 고려한 시공이 요구되므로 기존과 다른 새로운 개념의 사방공법이 개발·적용되어야 할 필요성이 있다. 이러한 관점에서 국내에서는 과거 10여 년간 다양한 관련 연구(예: Korea Forest Service, 2003, 2006; National Disaster Management Research Institute, 2004, 2005, 2006; Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement, 2009; Korea

[#] The 1st author: Jin Hak Kim, Tel. +82-33-250-7311, e-mail, jh-kim@kangwon.ac.kr

⁺ Corresponding author: Kun Woo Chun, Tel. +82-33-250-8313, e-mail, kwchun@kangwon.ac.kr

Jung Il Seo, Tel. +82-41-330-1302, e-mail, jiseo.watershed@gmail.com

Infrastructure Safety & Technology Corporation, 2010; Research Institute for Gangwon, 2011)가 수행되어 왔다. 그러나 일련의 선행연구에도 불구하고 급증하고 있는 도시적 토지이용에 의해 발생하는 생활권 토사재해를 예방하고, 나아가 그 피해를 저감시키기 위한 새로운 사방 개념의 정립 및 관련 기술의 개발이 미흡하여 향후 발생할 수 있는 생활권에서의 토사재해 대책 수립에 큰 어려움이 예상되었다.

최근 우리나라에서는 다행스럽게도 이러한 문제를 해결하고자 생활권 산록지역을 대상으로 하는 ‘도시사방’이라는 새로운 개념이 대두되었다. 즉, Korea Forest Service(2016)은 도시사방을 ‘도시지역 및 그 주변 2km 구역 내의 하천이나 계류에 실시하는 사업’ 혹은 ‘도시지역 주변 2km에서 상류의 유역면적이 10km² 이하인 하천이나 계류에 실시하는 사업’으로 정의하였다. 또한, 이미 개발이 진행된 생활권지역에서는 사방 시설을 배치할 수 있는 공간을 확보하기 어려울 뿐만 아니라 형식 및 규모의 측면에 있어서도 경관적·생태적 요소로서의 기능을 고려하여야 한다는 점에 착안하여 이미 개발된 지역과 앞으로 개발될 지역으로 구분한 후, 각각의 지역적 조건에 적합한 사방공법을 채택하여 단계적으로 시공할 것을 제안하였다.

이와 더불어 Korea Forest Service(2016)은 도시사방의 구조물 대책으로서 생활권 산록부에 적용 가능한 기존 사방기술의 재분류와 새로운 사방공법의 개발 및 활용방안을 제시하기도 하였다. 특히, 국내에 아직 도입되지 않은 몇몇의 새로운 사방공법들을 소개하였으며, 그 중 하나가 제한된 퇴사공간에서 우수로부터 토사토석 및 유목을 순간적으로 분리시켜 퇴적을 유도하는 바닥스크린이다.

이러한 바닥스크린을 연구소재로 Kim, *et. al.*(2016)은 산지토사재해가 발생하는 계류에 있어서 상류로부터 유입되는 토석류에 대한 바닥스크린의 기능적 효과와 그에 따른 바닥스크린의 최적 순간격을 파악하였다. 그 결과, 바닥스크린이 토석류의 우수와 토석을 순간적으로 분리하여 운동에너지를 급격히 감소시킴으로써

토석류의 유출량을 급격하게 감소시키는 데 효과적인 것을 확인할 수 있었다. 특히, 바닥스크린의 순간격이 계상재료의 평균입경과 동일한 경우에 토석류의 퇴적을 유도하는 바닥스크린의 양적·질적 기능이 극대화되는 것을 알 수 있었다.

그러나 바닥스크린의 순간격이 계상재료의 평균입경과 동일한 최적 순간격의 경우에도 바닥스크린의 상단 면부에 포착된 토석의 양이 총 유입량의 40%에 미치지 못하였으며, 특히 바닥스크린의 측면부로 토석이 이탈하는 양이 매우 많은 것으로 나타나 바닥스크린의 구조적 한계를 확인할 수 있었다. 이는 바닥스크린의 상단면에 다양한 입경의 토석이 쌓이면서 토석류의 선단부에 뒤따르던 석력을 고농도로 포함하는 후속류의 이동방향이 측면방향으로 변화한 것으로 판단하였다. 이상과 같은 현상은 Kiyono, *et. al.*(1986)의 현지실험에서도 계폭의 횡방향 규제가 충분히 이루어지지 않는 바닥스크린에서는 토석류의 후미가 바닥스크린의 측면 방향으로 유향이 변화하는 현상이 동일하게 지적되었다.

이러한 문제를 해결하기 위한 대책의 일환으로 이 연구에서는 토석류 피해저감에 효과적인 바닥스크린의 기능을 더욱 극대화하기 위하여 바닥스크린의 양쪽 측면부에 측면스크린을 부착하는 방안을 강구하였다. 즉, 측면스크린이 부착된 바닥스크린을 활용하여 토석류의 측면유출에 대한 저감효과를 정량적으로 파악하고, 나아가 측면스크린의 적정 순간격 결정에 필요한 정량적인 근거를 제시하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 측면스크린의 제원

실험에 사용한 모형수로의 형상은 기본적으로 Kim, *et. al.*(2016)과 같다(Figure 1). 다만, 바닥스크린의 구조적 한계를 보완하기 위한 측면스크린은 앞선 Kim, *et. al.*(2016)에서 최적의 순간격으로 파악된 3mm 바닥스크린의 좌측과 우측에 부착시키는 형태로 설계하였으며, 설치 시의 경사는 바닥스크린의 상부에 위치한

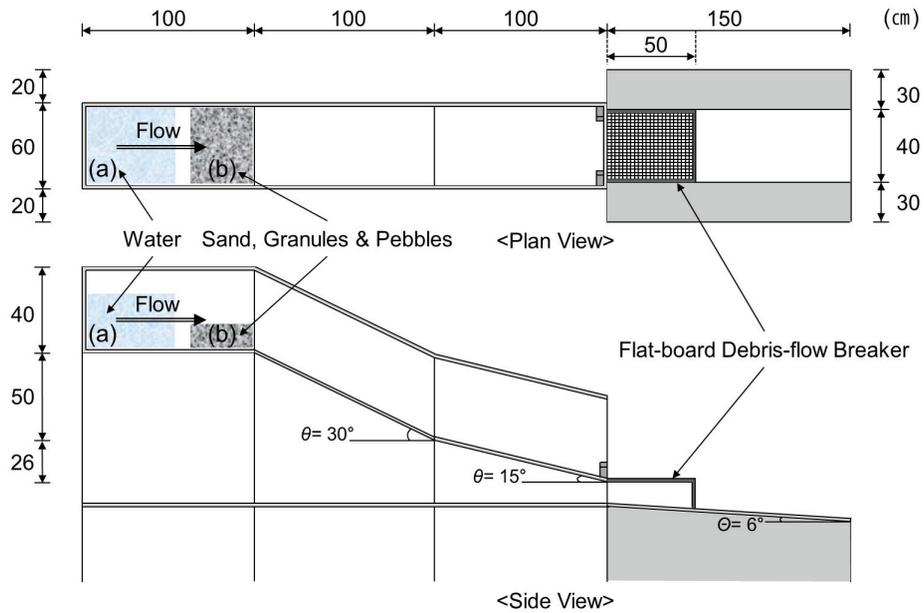


Figure 1. Schematic diagram of the experimental flume used by Kim, *et. al.*(2016)

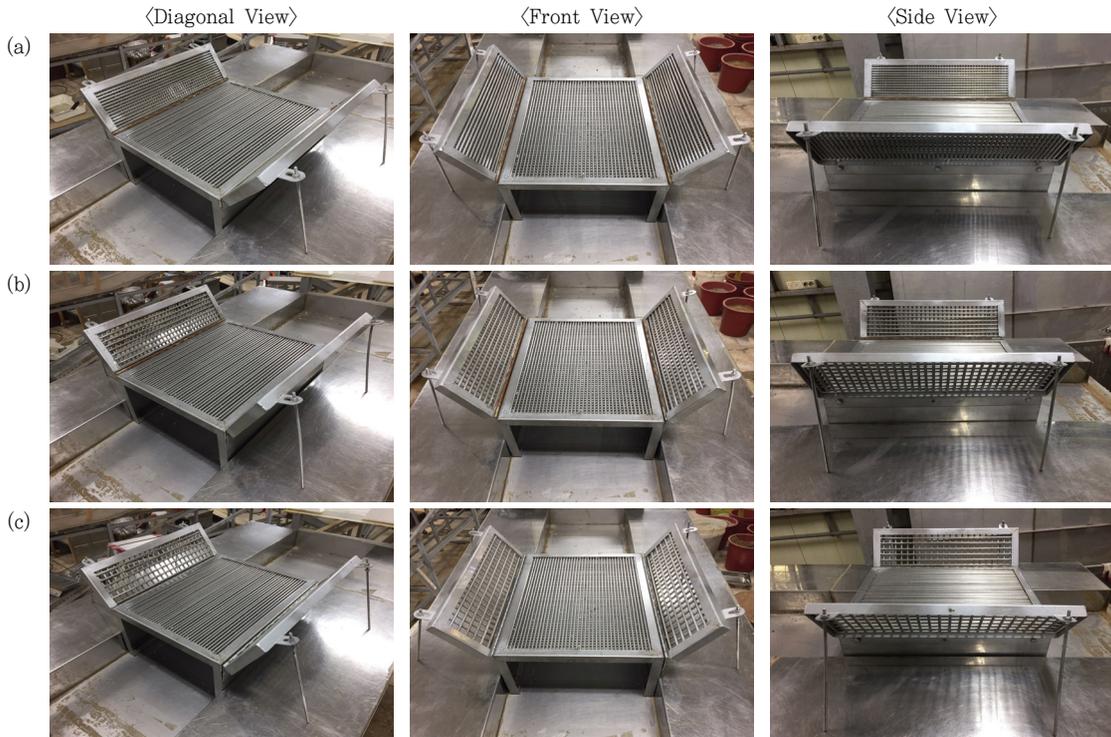


Figure 2. Flat-board debris-flow breaker equipped side screens in the experimental flume

The side screens have slit apertures with (a) 3-mm wide, (b) 9-mm wide, and (c) 15-mm wide

양어깨 물매와 동일하게 1 : 0.5로 설정하여 어깨부와 밀착되도록 함으로써 토석류의 충격력에 의한 영향을 최소화 하였다(〈Figure 2〉). 측면스크린은 길이 50cm, 폭 20cm로, 바닥스크린과 동일하게 스테인리스 재질

로 제작하였으며, 바닥스크린의 순간격이 3mm일 경우에 한하여 측면스크린의 순간격을 각각 3mm, 9mm 및 15mm로 설정하여 토석류의 포착효과가 최대로 발휘되는 측면스크린의 순간격을 파악하고자 하였다.

2. 실험조건 및 방법

실험조건은 전술한 바와 같이 순간격이 3mm인 바닥스크린에 순간격이 각각 ① 3mm, ② 9mm 및 ③ 15mm인 측면스크린을 설치한 경우로 구분하였으며, 실험결과는 Kim, *et. al.*(2016)에서 얻어진 측면스크린을 부착하지 않은 순간격 3mm 바닥스크린의 실험결과와 비교하여 해석하였다.

한편, 기본적인 실험재료 및 방법은 Kim, *et. al.*(2016)과 동일하며, 이 연구에서 수행된 모든 실험은 5회씩 반복하였다.

3. 통계해석

모형실험으로부터 관측된 공급재료의 퇴적구역별 포착량 데이터와 이를 참고로 하여 추정된 유출량 데이터는 (i) 측면스크린을 부착하지 않은 바닥스크린을 설치할 경우, (ii) 순간격 3mm의 측면스크린을 부착한 바닥스크린을 설치할 경우, (iii) 순간격 9mm의 측면스크린을 부착한 바닥스크린을 설치할 경우, 그리고 (iv) 순간격 15mm의 측면스크린을 부착한 바닥스크린을 설치할 경우 등, 4개 그룹으로 나누어 일원분산분석(One-way ANOVA)을 통한 그룹 간 통계적 차이를 검토한 후, Tukey-HSD의 사후검정을 실시하였으며, 통계적 유의수준은 $\alpha=0.05$ 수준으로 설정하였다.

분석에 앞서 이 논문에서 사용된 모든 변수들은 Kolmogorov-Smirnov 검정에 의하여 정규성 검토를 실시하였으며, 모든 통계처리는 SPSS Statistics 21을 이용하였다.

III. 결 과

1. 측면스크린의 순간격이 공급재료의 유출에 미치는 영향

순간격이 3mm인 바닥스크린에 (순간격이 각각 3mm, 9mm 및 15mm인) 측면스크린을 부착한 경우에 있어서 총 포착량으로부터 산출된 유출량의 변화를 측면스크린을 부착하지 않은 경우와 비교한 결과는

(Figure 3)과 같다. 분석결과, (순간격의 크기가 공급재료의 평균직경과 일치하는) 순간격 3mm의 측면스크린을 부착한 바닥스크린에서는 총 9,000g의 공급재료 중에서 6,945g(77.2%)이, (순간격의 크기가 공급재료의 최대직경에 해당하는) 순간격 9mm의 측면스크린을 부착한 바닥스크린에서는 6,670g(74.1%)이, 그리고 (순간격의 크기가 최대입경의 약 1.5배에 해당하는) 순간격 15mm의 측면스크린을 부착한 바닥스크린에서는 6,624g(73.6%)이 평균적으로 포착되는 것으로 나타났다. 즉, 순간격이 3mm, 9mm 및 15mm인 측면스크린을 부착한 바닥스크린에 의하여 총 9,000g의 공급재료 중 각각 22.8%(2,055g), 25.9%(2,330g), 그리고 26.4%(2,376g)에 해당하는 양이 평균적으로 유출된 것으로 추정되었다. 이들은 측면스크린을 부착하지 않은 바닥스크린의 경우의 평균 총 유출량인 2,684g(총 공급량 중 29.8%)에 비하여 평균 7.0%p, 3.9%p 및 3.4%p 감소한 결과이다. 그러나 이들 사이에서는 통계적으로 뚜렷한 차이를 발견할 수는 없었다. 즉, 순간격 3mm, 9mm 및 15mm인 측면스크린을 부착한 바닥스크린 중에서 순간격 3mm인 측면스크린을 부착한 경우만이 유일하게 측면스크린을 부착하지 않은 경우와 통계적 차이를 나타내었다. 그에 반하여, 측면스크린의 순간격 차이로부터 야기되는 유출량의 통계적 차이는 나타나지 않았다.

한편, 측면스크린을 부착하지 않은 바닥스크린과 순간격이 각각 3mm, 9mm 및 15mm인 측면스크린을 부착한 바닥스크린을 통과한 공급재료의 입경조성을 파악한 결과는 (Figure 4)와 같다. 즉, 측면스크린을 부착하지 않은 바닥스크린에 퇴적된 공급재료를 이용하여 하류로 유출된 토사의 입경조성을 추정한 결과, sand, granule 및 pebble의 평균 구성비가 각각 48.6%, 38.9% 및 12.6%로 나타나 공급재료 중 입경이 작은 것을 중심으로 하류로 유출된 것을 확인할 수 있었다. 그러나 측면스크린을 부착한 바닥스크린을 통과하여 유출된 sand, granule 및 pebble의 평균 구성비를 살펴보면, 측면스크린의 순간격이 3mm의 경우 각각

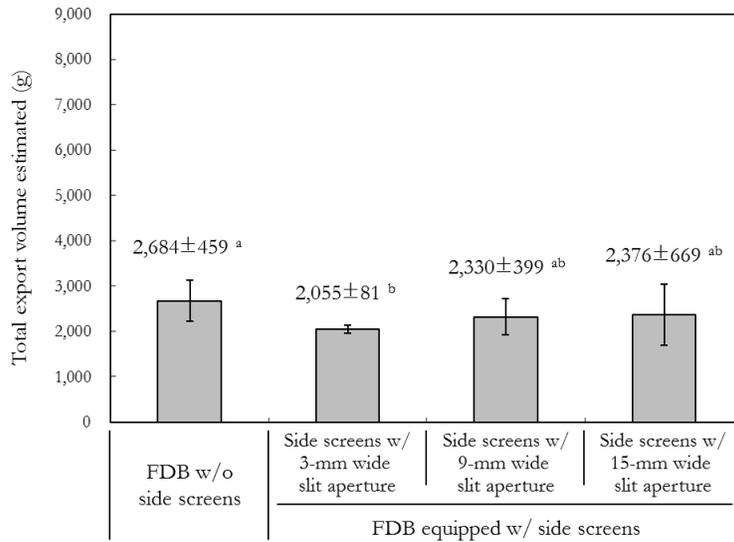


Figure 3. Differences in total export volume estimated according to absence and slit apertures of the side screens equipped to flat-board debris-flow breaker (FDB) when the bed-materials with 9,000g were supplied

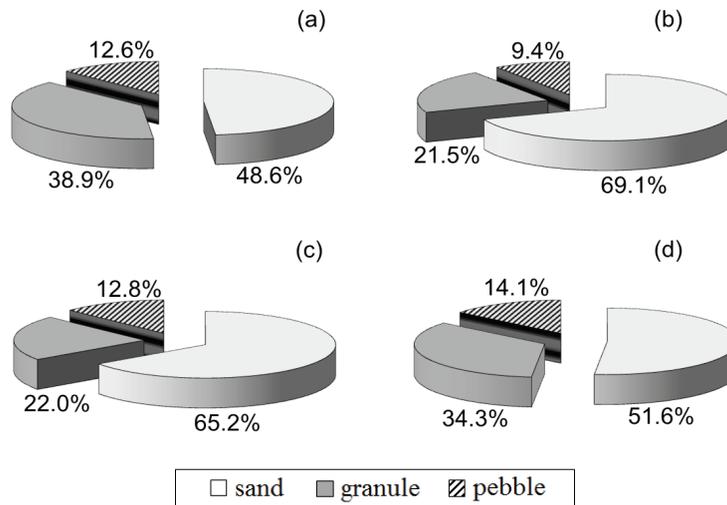


Figure 4. Proportions of each material's exported volume to total supplied volume (a) Flat-board debris-flow breaker (FDB) without side screens, (b) FDB equipped side screens with the 3-mm wide slit aperture, (c) FDB equipped side screens with the 9-mm wide slit aperture, (d) FDB equipped side screens with the 15-mm wide slit aperture

69.1%, 21.5% 및 9.4%, 측면스크린의 순간격이 9mm의 경우 각각 65.2%, 22.0% 및 12.8%, 그리고 측면스크린의 순간격이 15mm의 경우 각각 51.6%, 34.3% 및 14.1%로 나타났다. 즉, sand의 유출량은 각각 20.5%p, 16.6%p 및 3.0%p 증가한 반면, granule의 유출량은 각각 17.4%p, 16.9%p 및 4.6%p 감소하는 것으로 나타나 입경이 작은 공급재료의 유출이 증가한 것으로 파악되었다.

2. 측면스크린의 순간격이 바닥스크린 측면부로의 공급재료 이탈에 미치는 영향
순간격이 3mm인 바닥스크린에 (순간격이 각각 3mm, 9mm 및 15mm인) 측면스크린을 부착한 경우에 있어서 바닥스크린의 측면부로 이탈되는 양의 변화를 측면스크린을 부착하지 않은 경우와 비교한 결과는 <Figure 5>와 같다. 먼저 바닥스크린에 측면스크린을 부착하지 않은 경우의 측면부 이탈량은 평균 1,390g으

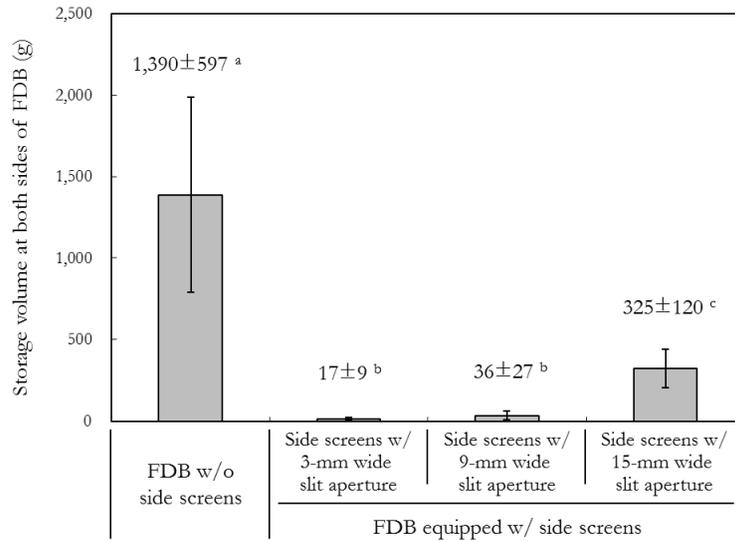


Figure 5. Differences in volume stored at both sides of flat-board debris-flow breaker (FDB) according to absence and slit apertures of the side screens equipped to FDB when the bed-materials with 9,000 g were supplied

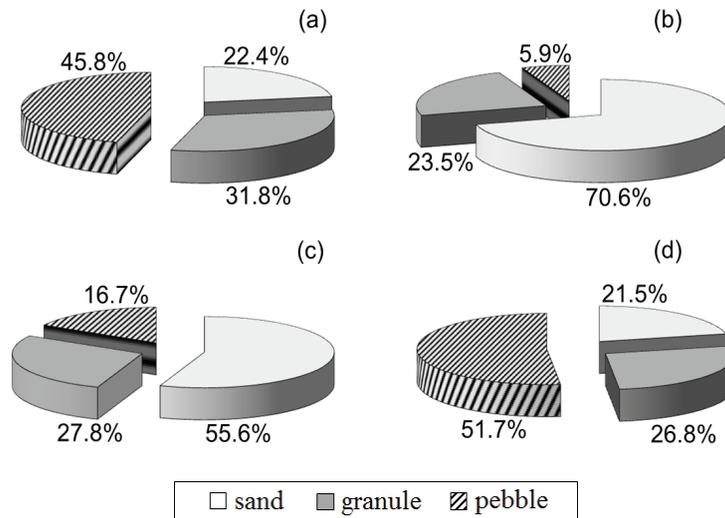


Figure 6. Proportions of each material's stored volume to total stored volume at both sides of flat-board debris-flow breaker (FDB)

(a) FDB without side screens, (b) FDB equipped side screens with the 3-mm wide slit aperture, (c) FDB equipped side screens with the 9-mm wide slit aperture, (d) FDB equipped side screens with the 15-mm wide slit aperture

로 나타났으며, 이는 총 공급량의 15.4%에 해당한다. 이에 반하여, 순간격 3mm, 9mm 및 15mm인 측면스크린을 부착한 바닥스크린에서의 측면부 이탈량, 즉 측면스크린 통과량은 각각 평균 17g, 36g 및 325g으로 나타났으며, 이는 총 공급량의 0.2%, 0.4% 및 3.6%를 점유하는 양이다. 결과적으로, 순간격 3mm, 9mm 및 15mm인 측면스크린을 바닥스크린에 부착함으로써 측면부 이

탈량이 각각 15.2%p, 15.0%p 및 11.8%p 만큼씩 명확하게 감소하는 것을 알 수 있었다. 그러나 한편 측면스크린의 순간격이 3mm와 9mm일 경우의 측면부 이탈량 간에는 통계적으로 유의한 차이를 확인할 수 없었다.

한편, 바닥스크린의 측면부로 이탈된 공급재료의 입경조성을 파악한 결과는 <Figure 6>과 같다. 먼저 측면스크린을 부착하지 않은 바닥스크린의 측면부로 이탈

된 공급재료의 sand, granule 및 pebble의 평균 구성비는 각각 22.4%, 31.8% 및 45.8%로 나타났다. 그러나 측면스크린의 순간격이 3mm인 바닥스크린에서는 각각 70.6%, 23.5% 및 5.9%로, 측면스크린의 순간격이 9mm인 바닥스크린에서는 각각 55.6%, 27.8% 및 16.7%로, 그리고 측면스크린의 순간격이 15mm인 바닥스크린에서는 각각 21.5%, 26.8% 및 51.7%로 나타났다. 즉, 순간격이 15mm인 측면스크린을 부착한 경우를 제외한 순간격이 3mm 또는 9mm의 측면스크린을 부착한 경우 sand가 각각 48.2%p와 33.2%p 증가한 반면, pebble은 각각 39.9%p와 29.1%p 감소한 것으로 나타났다. 이는 측면스크린이 부착되지 않은 경우에 이탈되던 큰 입径의 공급재료들이 측면스크린의 부착으로 인해 측면부로의 이탈이 차단된 것으로 파악되었다.

3. 측면스크린의 순간격이 바닥스크린

상단면부에서의 공급재료 포착에 미치는 영향 측면스크린을 부착하지 않은 경우와 순간격 3mm, 9mm 및 15mm의 측면스크린을 부착한 경우에 있어서 바닥스크린의 상단면부에 포착된 공급재료의 양은 <Figure 7>과 같다. 먼저 측면스크린을 부착하지 않은 바닥스크린의 경우 전체 공급량의 39.3%에 해당하는

3,537g의 공급재료가 바닥스크린의 상단면부에 포착되었다. 반면, 순간격이 3mm, 9mm 및 15mm인 측면스크린을 부착한 바닥스크린에서는 각각 6,436g(총 공급량의 71.5%), 5,797g(64.4%) 및 5,357g(59.5%)이 포착되었다. 즉, 바닥스크린만을 설치한 경우에 비하여 순간격 3mm, 9mm 및 15mm 측면스크린을 부착한 바닥스크린에서의 포착량이 각각 32.2%p, 25.1%p 및 20.2%p 증가한 것으로 나타났다. 그러나 최대 평균값을 나타낸 3mm 순간격의 측면스크린을 부착한 바닥스크린의 경우와 두 번째로 큰 평균값을 나타낸 9mm 순간격의 측면스크린을 부착한 바닥스크린의 경우는 통계적으로 유의한 차이를 나타내지는 않았다.

한편, 바닥스크린의 상단면부에 퇴적된 공급재료의 입경조성을 파악한 결과는 <Figure 8>과 같다. 즉, 측면스크린을 부착하지 않은 바닥스크린의 상단면부에 퇴적된 sand, granule 및 pebble의 평균 구성비는 각각 15.0%, 31.1% 및 54.0%로 나타났다. 그러나 측면스크린의 순간격이 3mm인 바닥스크린에서는 각각 22.1%, 36.5% 및 41.3%, 측면스크린의 순간격이 9mm인 바닥스크린에서는 각각 20.8%, 36.7% 및 42.5%, 그리고 측면스크린의 순간격이 15mm인 바닥스크린에서는 각각 24.9%, 31.2% 및 43.9%로 나타났다. 즉, sand

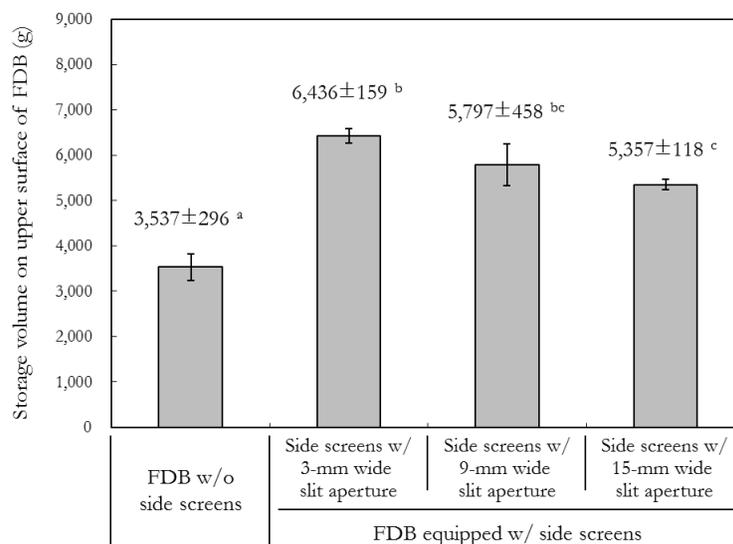


Figure 7. Differences in volume stored on the upper surface of flat-board debris-flow breaker (FDB) according to absence and slit apertures of the side screens equipped to FDB when the bed-materials with 9,000 g were supplied

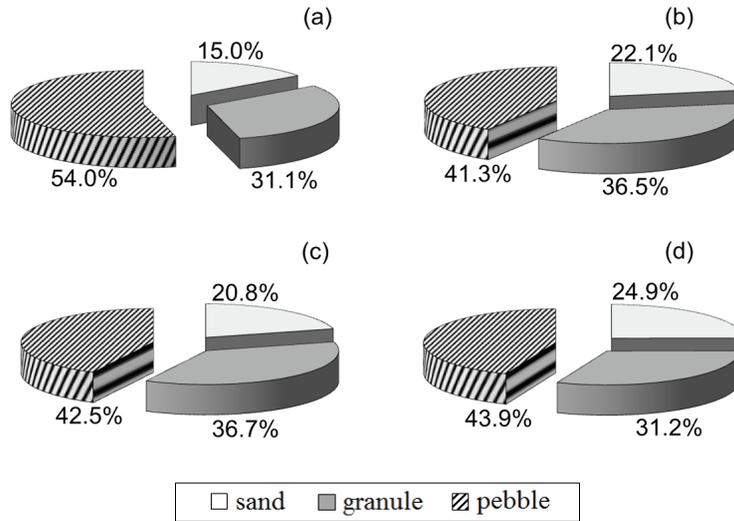


Figure 8. Proportions of each material's stored volume to total stored volume on the upper surface of flat-board debris-flow breaker (FDB)

(a) FDB without side screens, (b) FDB equipped side screens with the 3-mm wide slit aperture, (c) FDB equipped side screens with the 9-mm wide slit aperture, (d) FDB equipped side screens with the 15-mm wide slit aperture

가 각각 7.1p, 5.8p 및 9.9p, granule이 각각 5.4p, 5.6p 및 0.1p 증가한 반면, pebble은 각각 12.7p, 11.5p 및 10.1p 감소한 것으로 나타나 측면스크린의 부착 후 바닥스크린의 상단면부에 포착되는 계상재료의 입경이 작아진 것을 확인할 수 있었다.

4. 측면스크린의 순간격이 바닥스크린

하단면부에서의 공급재료 퇴적에 미치는 영향 바닥스크린의 하단면부에서는 바닥스크린의 상단면부와 상반되는 경향이 나타났다(〈Figure 9〉). 즉, 측면스크린을 부착하지 않은 바닥스크린에서는 1,034g(전체 공급량의 11.5%), 순간격이 3mm인 측면스크린을 부착한 바닥스크린에서는 102g(1.1%), 순간격이 9mm

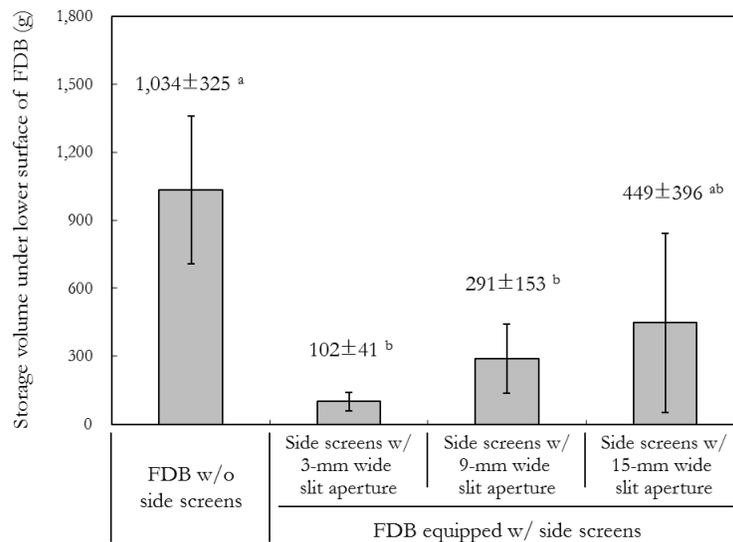


Figure 9. Differences in volume stored under the lower surface of flat-board debris-flow breaker (FDB) according to absence and slit apertures of the side screens equipped to FDB when the bed-materials with 9,000 g were supplied

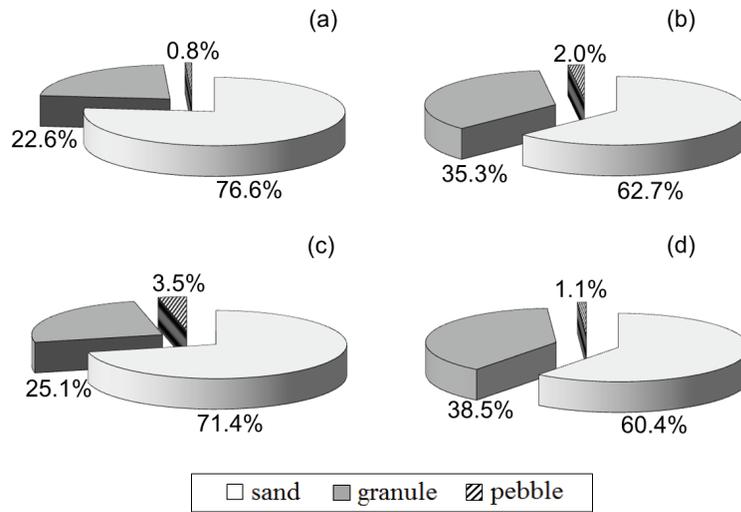


Figure 10. Proportions of each material's stored volume to total stored volume under the lower surface of flat-board debris-flow breaker (FDB)

(a) FDB without side screens, (b) FDB equipped side screens with the 3-mm wide slit aperture, (c) FDB equipped side screens with the 9-mm wide slit aperture, (d) FDB equipped side screens with the 15-mm wide slit aperture

인 측면스크린을 부착한 바닥스크린에서는 291g(3.2%), 그리고 순간격이 15mm인 측면스크린을 부착한 바닥스크린에서는 449g(5.0%)의 공급토사가 퇴적되었다. 결과적으로 순간격 3mm, 9mm 및 15mm 측면스크린을 부착한 바닥스크린에 의해 각각 10.4%p, 8.3%p 및 6.5%p가 감소하는 것으로 나타났다. 그러나 바닥스크린의 상단면부에서와 동일하게 3mm 순간격의 측면스크린을 부착한 바닥스크린의 경우와 9mm 순간격의 측면스크린을 부착한 바닥스크린의 경우는 통계적으로 유의한 차이가 나타나지는 않았다.

한편, 바닥스크린의 상단면부로부터 하단면부로 투과한 후 곧바로 퇴적된 공급재료의 입경조성을 파악한 결과는 <Figure 10>과 같다. 먼저 측면스크린을 부착하지 않은 바닥스크린의 하단면부에 퇴적된 sand, granule 및 pebble의 평균 구성비는 각각 76.6%, 22.6% 및 0.8%로 나타났다. 그러나 측면스크린의 순간격이 3mm인 바닥스크린에서는 각각 62.7%, 35.3% 및 2.0%, 측면스크린의 순간격이 9mm인 바닥스크린에서는 각각 71.4%, 25.1% 및 3.5%, 그리고 측면스크린의 순간격이 15mm인 바닥스크린에서는 각각 60.4%, 38.5% 및 1.1%로 나타났다. 즉, 바닥스크린에 순간격

3mm, 9mm 및 15mm의 측면스크린을 부착함으로써 sand가 각각 13.9%p, 5.2%p 및 16.2%p 감소하는 것으로 나타났으며, granule이 각각 12.7%p, 2.5%p 및 15.9%p 증가하는 것으로 나타났다. 결과적으로 바닥스크린에 측면스크린을 부착하게 되면, 바닥스크린의 직하부에 퇴적되는 공급재료는 입경이 큰 토사의 구성비가 다소 증가한 반면, 입경이 작은 토사의 구성비는 다소 감소하는 것으로 나타났다.

IV. 고찰

1. 측면스크린이 부착된 바닥스크린에 의한 토석류 피해저감 효과

바닥스크린의 토석류 포착기능을 극대화하기 위한 방안을 강구하기 위하여 바닥스크린에 측면스크린을 부착하여 모형실험을 실시하였다. 그 결과, 바닥스크린에 측면스크린을 부착함으로써 (비록 통계적으로 유의한 차이는 확인할 수 없었지만) 계상재료의 유출량은 감소하고, 이 유출량 중 입경이 작은 계상재료의 점유율은 증가하는 경향이 나타났다(<Figure 3>과 <Figure 4>). 이는 바닥스크린에 부착된 측면스크린이 토석류 포착에

양적·질적으로 영향을 미친다는 것을 의미한다.

먼저 바닥스크린에 부착된 측면스크린부를 통과한 계상재료를 바닥스크린만을 설치하였을 경우와 양적으로 비교한 결과, 바닥스크린에 측면스크린을 부착함으로써 측면부로 이탈하는 양이 감소하는 것으로 나타났다(Figure 5). 또한, 바닥스크린의 상단면부에서의 포착량은 바닥스크린만을 설치하였을 때에 비하여 측면스크린을 부착한 바닥스크린에서 대폭 증가한 것으로 나타났다(Figure 7). 이러한 일련의 현상들은 바닥스크린이 계폭을 충분히 확보하지 못하여 횡방향의 규제가 되지 않을 때에 야기될 수 있는 구조적인 문제를 측면스크린의 부착으로 해결할 수 있다는 것을 보여준다. 즉, 바닥스크린 상에서 토석류의 선단부를 뒤따르던 유수와 토석이 바닥스크린의 좌우 방향으로 편류하여 유하하는 현상이 발생하게 되지만, 측면스크린을 설치함으로써 편류를 차단하고 결국 바닥스크린 상에서 토석을 포착시킨 것으로 판단된다. 이러한 현상은 Imai, *et. al.*(1989)의 보고와도 일치하는 결과이다.

한편, 바닥스크린에 측면스크린을 부착함으로써 측면스크린부를 통과하여 이탈되는 계상재료의 입경이 전체적으로 작아지는 것을 확인할 수 있었다(Figure 6). 동시에 바닥스크린의 상단부면에 포착되는 공급재료는 입경이 작은 토사의 구성비가 증가한 반면, 입경이 큰 토사의 구성비는 상대적으로 감소되는 것으로 나타났다(Figure 8). 일반적으로 상류로부터 세립질의 토사가 지속적으로 공급하게 되면, 이 세립질의 토사가 계상의 자갈이나 호박돌 사이의 간극을 메우게 됨으로써 계상물질의 세립화가 진행된다(Parker, 1978; Parker & Klingeman, 1982; Lisle & Hilton, 1999). 이 연구에서도 바닥스크린의 상단면에 큰 입경의 토석이 일시에 많은 양이 포착된 후, 이 두터운 퇴적층의 공극을 후속류를 구성하는 작은 입경의 계상재료가 메우는 과정에서 세립화가 조장된 것으로 추정되며, Imai, *et. al.*(1989)의 연구결과와 같이 이러한 (측면스크린을 부착한 바닥스크린의 상단면부에서의) 세립화가 결국 바닥스크린의 상단면부로부터 하단면부로의 투과가 차단

된 원인으로 판단된다(Figure 9).

2. 바닥스크린에 부착된 측면스크린의 적정 순간격의 결정

이상에서 알 수 있듯이 측면스크린을 부착하지 않은 바닥스크린과 순간격이 3mm, 9mm 및 15mm인 측면스크린을 부착한 바닥스크린에 의하여 관측된 평균 총 퇴적량(각각 6,316g, 6,945g, 6,670g 및 6,624g) 중에서 통계적으로 유의한 차이가 전혀 나타나지 않은 어깨부 퇴적량(각각 $355\pm 51g$, $390\pm 88g$, $546\pm 219g$ 및 $493\pm 177g$)을 제외한 나머지 모든 퇴적장소(바닥스크린의 측면부, 상단면부 및 하단면부)에서 순간격 3mm의 측면스크린을 부착한 바닥스크린이 토석 포착효과가 가장 우수하였으며, 이어서 순간격 9mm의 측면스크린을 부착한 바닥스크린이 효과적인 것으로 나타났다. 그러나 순간격 3mm와 9mm의 측면스크린을 부착한 바닥스크린에 있어서 계상재료의 측면스크린 통과 후의 이탈량, 바닥스크린 상단면부에서의 포착량 및 바닥스크린 직하부에서의 퇴적량은 통계적으로 유의한 차이를 나타내지는 않았다(Figure 5), (Figure 7) 및 (Figure 9). 다시 말하자면, 순간격이 3mm인 측면스크린을 부착한 바닥스크린 만큼 순간격이 9mm인 측면스크린을 부착한 바닥스크린도 토석류로 인한 피해의 저감에 효과적인 것으로 나타났다.

일반적으로 토석류의 선단부는 주로 입경이 큰 토석들로 구성된다(Suwa, 1988). 이러한 토석류의 유동이 계상에서 수직으로 시공하는 철강재 투과형 사방구조물에 의해 저지될 경우, 구조물의 부재간격은 가장 큰 입경의 토석을 위주로 하여 메워지게 된다(Mizuhara, *et. al.*, 1995). 따라서 Chun(2012)은 철강재 투과형 사방구조물의 부재 순간격을 (구조물 위치를 중심으로 상하 200m 범위 내에 분포하는) 계상재료의 최대입경을 참고로 결정할 것을 제안하였으며, 이 연구의 결과 역시 바닥스크린에 수직방향으로 부착되는 측면스크린의 순간격 결정에도 동일한 기준이 적용될 수 있음을 정량적으로 뒷받침하고 있다. 또한, 이 연구의 결과에 의하면

순간격이 9mm인 측면스크린을 부착한 바닥스크린의 하단면부에 퇴적된 공급재료 중에서 sand의 점유율이 71.4%에 달하고, granule의 점유율이 25.1%에 불과한 것으로 나타났다(Figure 10)). 이는 순간격이 3mm인 측면스크린을 부착한 바닥스크린에 있어서 sand의 점유율(62.7%)보다 8.7%p 높고, granule의 점유율(35.3%)보다 10.2%p 낮은 수치이다. 바닥스크린의 구조적 특성상 큰 입径의 토석이 바닥스크린의 하부로 낙하되는 것을 방지하여야 한다는 점을 고려할 때, 순간격이 9mm인 측면스크린을 부착한 바닥스크린 하부에서의 질적 평가 결과는 매우 이상적으로 볼 수 있다.

이와 같은 이유에 근거하여 바닥스크린에 부착하는 측면스크린의 순간격은 계상재료의 최대입경으로 설정하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 일반적으로 바닥스크린이나 버트리식식 사방댐과 같은 철강재 투과형 사방구조물은 시공현장에서 조립이 이루어지며, 이 과정에서 부재의 순간격은 시공비를 결정하는 매우 중요한 요소가 된다. 따라서 부재의 순간격을 계상재료의 평균입경이 아닌 최대입경으로 설정하는 것은 시공기간을 단축시키고, 시공의 난이도 낮추며, 시공 시 투입 인력을 줄임으로써 결국 '최적의 시공비 투입'을 통한 '최대의 토석류 피해저감 효과'를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

V. 결론

이 연구는 생활권 주변 산록부에 있어서 산지토사재해를 방지하기 위한 바닥스크린의 토석류 포착효과를 극대화하기 위하여 측면스크린을 부착하여 토석류의 측면유출에 대한 저감효과를 정량적으로 파악하고, 나아가 측면스크린의 적정 순간격 결정에 필요한 정량적인 근거를 제시하고자 진행하였다. 그 결과, 측면스크린의 순간격이 계상재료의 최대입경일 때에 토석류 포착능이 질적·양적으로 극대화되는 것으로 나타났으므로, 이를 고려하여 측면스크린의 순간격을 결정한다면 시공비 절감을 기여할 수 있을 것으로 판단하였다.

그러나 한편으로는 바닥스크린에 측면스크린을 부착하였음에도 불구하고 상류로부터 이동되는 계상재료를 완벽하게 처리하는 데에는 한계가 있는 것으로 나타났다. 이는 이 실험에서 상정한 계상의 조건 하에서 토석류의 규모 및 진입속도 등에 대한 바닥스크린의 규모가 충분히 반영되지 못한 것에 기인한 것으로 추정된다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위하여 계상조건의 변화와 토석류 발생량에 대한 정확한 예측을 근거로 바닥스크린의 종단적 규모인 길이에 관한 분석이 수행되어야 할 것이며, 나아가 이러한 정량적 기준을 근거로 바닥스크린의 설계 및 시공기준이 정립되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 산림청 '임업기술연구개발사업(과제번호: S111215L050110)'의 지원에 의하여 이루어진 것임.

References

- Chun, Kum Woo. 2012. *Design Manual for Steel Erosion Control Facilities*. Daejeon: Korea Forest Professional Engineer Association(KFPEA).
- Imai, Kazuyuki, Noboru Miyamoto, and Takahisa Mizuyama. 1989. Test of a Debris-flow Breaker at the Valley, Mt. Yakedake (Part-2). *International Journal of Erosion Control Engineering*. 42(2): 16-20.
- Kim, Jin Hak, Kun Woo Chun, Jung Il Seo, Suk Woo Kim, Ju Ung Yun, and Kye Won Jun. 2016. An Examination of Optimum Slit Aperture Suited to Flat-board Debris-flow Breaker in Residential Piedmont Areas. *Crisisonomy*. 12(4): 73-83.
- Kiyono, Masao, Hidenori Miyakoshi, Shinji Uehara, and Takahisa Mizuyama. 1986. Test of a Debris-flow Braker in Valley Kamikami, Mt. Yake-dake. *International Journal of Erosion Control Engineering*. 39(3): 15-19.
- Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement. 2009. *The Improvement of Road Facility Criteria for Debris-flow*.

- Anyang, Gyeonggi: KAIA.
- Korea Forest Service. 2003. *A Study on the Landslide-triggering Causes and the Relevant Precautionary Measures*. Daejeon: KFS.
- Korea Forest Service. 2006. *Development of Technology Control for Woody Debris Flow*. Daejeon: KFS.
- Korea Forest Service. 2016. *Establishment of Urban Erosion Control Works and Development of New Prevention Methods*. Daejeon: KFS.
- Korea Infrastructure Safety & Technology Corporation. 2010. *Investigation Method for Measures to Debris-flow Disaster*. Jinju, Gyeongnam: KISTEC.
- Lisle, Thomas E. and Sue Hilton. 1999. Fine Bed Material in Pools of Natural Gravel Bed Channels. *Water Resources Research*. 35(4): 1291-1304.
- Mizuhara, Kunio, Kouichi Ogawa, and Akio Yazawa. 1995. Studies on Channel Bed Deformation due to Debris Flow and Debris Flow Control Using Grid-type Dams. *International Journal of Erosion Control Engineering*. 48(2): 12-21.
- National Disaster Management Research Institute. 2004. *A Study on the Debris-flow and Mitigation Techniques*. Ulsan: NDMI.
- National Disaster Management Research Institute. 2005. *A Study on the Monitoring and Detection of Slope Failure (I): Field Investigation and Case Studies*. Ulsan: NDMI.
- National Disaster Management Research Institute. 2006. *A Study on the Monitoring and Detection of Slope Failure (II): Focusing on the Application of Rainfall Data*. Ulsan: NDMI.
- Parker, Gary. 1978. Self-formed Straight Rivers with Equilibrium Banks and Mobile Bed (II): The Gravel River. *Journal of Fluid Mechanics*. 89(1): 127-146.
- Parker, Gary, and Peter C. Klingeman. 1982. On Why Gravel-bed Streams Are Paved. *Water Resources Research*. 18(5): 1409-1423.
- Research Institute for Gangwon. 2011. *A Basic Study on the Development of the Guideline on Setting Flow Hazard*. Chuncheon, Gangwon: RIG.
- Suwa, Hiroshi. 1988. Focusing Mechanism of Large Boulders to a Debris-flow Front. *Annals of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University*. 31: 139-151.

Korean References Translated from the English

- 강원발전연구원. 2011. 토석류 위험지구 설정 지침 개발을 위한 기초 연구. 강원 춘천: 강원발전연구원.
- 국립방재연구소. 2004. 토석류의 발생작용 및 피해저감에 관한 연구. 울산: 국립방재연구소.
- 국립방재연구소. 2005. 사면붕괴 감지 및 관측에 관한 연구 (I): 현장조사 및 국내외 사례를 중심으로 울산: 국립방재연구소.
- 국립방재연구소. 2006. 사면붕괴 감지 및 관측에 관한 연구 (II): 강우량 자료 활용 방안을 중심으로 울산: 국립방재연구소.
- 김진학, 전근우, 서정일, 김석우, 윤주용, 전계원. 2016. 생활권 산록지역에 있어서 토석류 피해 저감을 위한 철강재 바닥스크린의 최적 순간격 파악. *Crisisonomy*. 12(4): 73-83.
- 산림청. 2003. 산사태 발생원인 및 예방대책에 관한 연구. 대전: 산림청.
- 산림청. 2006. 유목 및 토석류 제어기술 개발. 대전: 산림청.
- 산림청. 2016. 도시사방의 확립 및 신공법 개발. 대전: 산림청.
- 시설안전관리공단. 2010. 토석류재해대책을 위한 조사법. 경남 진주: 시설안전관리공단.
- 전근우. 2012. 강제사방구조물 설계편람. 대전: 사단법인 한국산림기술사협회.
- 한국건설교통기술평가원. 2009. 토석류 대비 도로시설물 설계 기준 개선 연구 보고서. 경기 안양: 한국건설교통기술평가원.

Japanese References Translated from the English

- 清野雅雄, 宮越英紀, 上原信司, 水山高久. 1986. 底面水抜きスクリーンの現地試験. *砂防学会誌*. 39(3): 15-19.
- 諏訪 浩. 1988. 土石流先端への大岩塊の集中機構. *京都大學防災研究所年報*. 31: 139-151.
- 今井一之, 宮本登, 水山高久. 1989. 底面水抜きスクリーンの現地試験(続報). *砂防学会誌*. 42(2): 16-20.
- 水原邦夫, 小川恒一, 矢澤昭夫. 1995. 格子型ダムによる河床変動と土石流制御に関する研究. *砂防學會誌*. 48(2): 12-21.

철강재 바닥스크린의 토석류 피해저감 기능 극대화를 위한 측면스크린의 부착 효과

국문초록 이 논문에서는 바닥스크린의 토석류 피해저감 기능을 더욱 극대화하기 위하여 바닥스크린에 측면스크린을 부착하여 그 효과를 파악함으로써 측면스크린의 적정 순간격을 도출하고자 하였다. 그 결과, 바닥스크린에 측면스크린을 부착함으로써 작은 입경의 공급재료가 소량 측면스크린을 통과하였다. 그 대신에 바닥스크린의 상단면부에는 토석류의 선단부를 구성하던 큰 입경의 토석들이 측면스크린에 의해 규제된 유로폭 내에서 다량 포착된 후, 이 두터운 조립질층의 공극을 작은 입경의 계상재료가 메워 세립화되는 것으로 나타났다. 이러한 세립화는 결국 바닥스크린의 상단면부로부터 하단면부로의 토사 투과를 차단하여 결국 바닥스크린 하단면부에서의 퇴적량은 감소하였다. 한편, 이러한 바닥스크린의 기능 향상은 측면스크린의 순간격이 계상재료의 평균입경 및 최대입경에 일치할 경우가 동일하게 나타났다. 그러나 스크린 부재의 순간격이 클수록 시공비 절감에 유리할 것으로 추정되며, 따라서 바닥스크린에 부착하는 측면스크린의 순간격은 계상재료의 최대입경과 동일하게 하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

주제어 : 토석류, 모형수로, 순간격, 계상재료, 입경크기

Profiles **Jin Hak Kim** : He is in a research course in the Department of Forestry and Environmental Systems, College of Forest and Environmental Sciences, Kangwon National University in Korea, and has finished all the required courses for graduation. His research interests include debris-flow mechanism, urban erosion control works and related structures, and flume test(jh-kim@kangwon.ac.kr).

Kun Woo Chun : He received his Ph.D. degree from Hokkaido University, Japan in 1987. He is a Professor of the Department of Forest Resources, College of Forest and Environmental Sciences, Kangwon National University, in which he has taught since 1987. His interesting subject and area of research and education is erosion control engineering, forest hydrology and revegetation engineering. He has the published 266 articles in journals and the written 20 books (including co-author books)(kwchun@kangwon.ac.kr).

Jung Il Seo : He received his Ph.D. degree with the theme entitled 'Spatial and temporal variations in the fluvial export of large woody debris at the watershed scale' from Hokkaido University, Japan in 2008. He is an Assistant Professor in the Department of Forest Resources at Kongju National University since 2013. His interests of research and education include the fluvial & non-fluvial processes, channel morphology, riparian dynamics & ecological response, and watershed conservation & restoration. He has the published 46 articles in national/international journals and the written 3 co-author books(jiseo.watershed@gmail.com).

Youn Tae Lee : He is in a research course in the Department of Forestry and Environmental Systems, College of Forest and Environmental Sciences, Kangwon National University in Korea, and has finished all the required courses for graduation. His interesting subject and area of research are debris-flow mechanism, mountainous disaster prevention and management(ytlee8511@gmail.com).

Kye Won Jun : He received his Ph.D. degree from Chungbuk National University, Korea in 2004. He is a Professor of the Graduate School of Disaster Prevention, Kangwon National University, in which he has taught since 2004. His interesting subject and area of research and education are flood prevention, mountainous disaster prevention, and natural disaster prevention & management. He has published 62 articles in journals and written 7 books (including co-author books)(kwjun@kangwon.ac.kr).