

## 토양 손실 평가에 의한 식생매트의 허용 소류력 결정

이두한<sup>1\*</sup>, 이동섭<sup>1</sup>, 김명환<sup>1</sup>  
<sup>1</sup>한국건설기술연구원 하천해안연구실

### Determination of Permissible Shear Stresses on Vegetation Mats by Soil Loss Evaluation

Du Han Lee<sup>1\*</sup>, Dong Sop Rhee<sup>1</sup> and Myounghwan Kim<sup>1</sup>

<sup>1</sup>River and Coastal Research Division, Korea Institute of Construction Technology

**요 약** 친환경 하천사업의 활성화로 식생매트의 사용은 증가하고 있으나 수리적 안정성에 대한 평가방법은 제시되지 않은 실정이다. 본 연구는 호안용 식생매트 제품의 객관적인 수리안정성 시험 기법 개발을 위해 수행하였다. 이를 위해서 식생매트 2종에 대한 실규모 실험을 수행하여 수리량을 측정하고 분석하여 작용 소류력을 계산하였다. 작용 소류력에 대한 토양손실평가를 위하여 지상라이다에 의한 측량을 수행하고 실험 전후의 하상고 변화를 평가하여 토양손실지수(CSLI)를 산정하였으며, 작용 소류력과 함께 도시하여 허용 소류력을 정량적으로 평가하였다. 하상고에 대한 정밀 측량 결과 분석에 의해서 식생매트가 안정한 경우에는 하상 변동이 국부적으로 제한되나, 불안정으로 판정되는 경우에는 식생매트 하부에서 비교적 큰 규모의 하상 변동이 발생하며 이는 자연 하상의 거동과 유사함을 확인하였다. 이상의 연구를 통해서 ASTM D 6040에 의한 식생매트의 허용 소류력 평가가 파괴 메카니즘 및 토양손실판정 기준에서 유효함을 확인할 수 있었다.

**Abstract** By the activation of environment-friendly river works, application of vegetation mats is increasing, however, evaluation techniques for hydraulic stability of vegetation mats are not presented. This study is conducted to develop the objective test method for vegetation mats. Two kind of vegetation mats are tested by the real scale experiments, and hydraulic quantities are measured and analyzed to evaluate acting shear stresses. To evaluate soil loss, Terrestrial 3D LiDAR measurement is conducted and soil loss index are calculated from changes of bed elevation. Quantified evaluation for permissible shear stresses is conducted by graphical method for acting shear stresses and soil loss index. By the results of precision survey, changes of sub soil are limited to local range in stable cases and relatively large changes of sub soil which is similar to natural river bed are detected in unstable cases. From the study, evaluation of permissible shear stresses by ASTM D 6040 is available in the failure mechanism and failure criteria by soil loss index.

**Key Words** : Vegetation mats, Permissible shear stress, Terrestrial LiDAR, Soil loss index

### 1. 서론

식생매트는 천연재료 또는 합성 섬유를 이용하여 매트 구조를 형성하고 자연적 또는 인위적 식생 활착을 유도하여 흩사면을 보호하는 재료로 성토 및 절토지의 사면 보호 뿐만아니라 하천의 침식 및 세굴 방지용으로 국내

에서 널리 사용되고 있다. 과거에는 하천의 제방, 고수부지, 하안 등의 보호가 필요한 경우에는 콘크리트 블록이 주로 사용되었으나 1990년대 후반부터는 생태적으로 유리한 식생매트의 사용이 증가하고 있다.

제방호안, 저수호안 및 고수부지 등에 적용되는 하천 공사용 자재들은 홍수 시의 안정성을 보장하기 위해서

본 연구는 한국건설기술연구원의 2013년 주요사업 ‘친환경 식생매트 제품 수리 안정성 시험 기술 개발’에 의해 수행됨

\*Corresponding Author : Du Han Lee(Korea Institute of Construction Technology)

Tel: +82-31-910-0269 email: dhlee@kict.re.kr

Received October 10, 2013

Revised (1st October 24, 2013, 2nd November 5, 2013)

Accepted November 7, 2013

적용 구간의 설계홍수시의 작용력 즉, 소류력에 대한 안정성이 보장되어야 한다. 그러나 국내에서는 하천공사용 자재들에 대한 허용 소류력에 대한 명확한 규정이 없는 상태로 홍수 시에 식생매트 등의 유실이 빈번하게 발생하고 있다.

미국의 경우에는 국내의 식생매트에 해당하는 두루마리형 침식방지 제품(RECP, Rolled Erosion Control Product)에 대한 허용 소류력 및 허용유속 평가를 위한 시험기준으로 ASTM D 6040(ASTM)[1]이 제시되어 있다. 식생매트 제품에 대한 시험은 강제 사항은 아니나, 설계시방서 등에서 설계 소류력에 저항할 수 있는 제품을 사용하도록 규정하고 있는 경우가 대부분이다. 실제 미국에서 사용되는 호안용 식생매트는 ASTM 기준에 의한 실규모 실험을 수행하고 그 결과를 해당 제품설명서에 허용 소류력과 허용 유속으로 제시하고 있다[2].

국내의 경우에는 하천공사에서 식생매트의 사용이 증가하고 있지만 기본적인 물성치 외에 치수 안정성과 직접적인 관련이 있는 허용 소류력 또는 허용 유속이 제시되는 경우가 거의 없다. 국토해양부 부산지방국토관리청에서 제시한 하천공사설계실무요령[3]에서도 ‘식생매트의 선정은 유속, 소류력의 크기에 따라 적정한 재료를 선정하여 매트의 손상을 사전에 방지하여야 한다’라고 규정하고 있지만 매트 재료의 인장강도, 연신율, 중량, 두께 등에 대한 성능 확인만 제시하고 있으며 허용 소류력 또는 허용 유속에 대한 성능제시 및 확인에 대한 사항은 없는 상황이다. 또한 이와 관련된 정부차원의 제품표시 규격 및 관련 시험항목도 없는 실정이다.

본 연구는 하천용 식생매트 제품의 허용 소류력 결정을 위한 시험방법 개발의 일환으로 수행되었다. ASTM D 6040에 의한 실험을 수행하고 소류력 및 토양손실을 평가하여 정량적인 식생매트 허용 소류력 평가기법을 제시하고자 한다.

## 2. 연구 동향

식생매트의 수리적 안정성에 대한 연구는 국내외에서 다수 수행되었다. McCullah와 Howard [4]는 짚과 코코넛 등으로 만든 13종의 천연섬유 매트에 대한 사면 토양 유실 실험을 수행하여 식생매트가 없는 경우에 비해 81%의 토양 유실 감소 효과를 확인하였다. Casas 등[5]은 5종의 식생매트에 대하여 식생 활착율을 실험하였다. Bhatia 등[6]은 7종의 천연 및 합성 섬유 매트의 식생 성장율과 하도 보호 효과를 실험하였다. Smith 등[7]은 6종의 천연 및 합성 섬유 매트의 식생 성장과 침식방지효과에 대한

실험을 수행하였다.

서영민 등[8]은 실내실험을 통해서 식생매트에 의한 작용 소류력의 저감효과를 평가하였다. 이동섭 등[9]은 2종의 식생매트에 대하여 현장실험 및 실험실 실험을 통해서 안정성을 평가하였다. 한은진 등[10]은 수리실험 및 수치모의를 통해 식생매트 공법의 유실율과 수리적 안정성을 평가하였다. 김현우 등[11]은 실내실험에 의해 식생매트에 사용되는 앵커핀 4종의 인발력을 평가하였다. 장창래 등[12]은 실내실험을 통해서 식생매트의 부식포가 내침식성에 미치는 영향을 평가하였다. 이두한 등[13]은 실규모 실험장인 안동하천실험센터에서 식생이 없는 상태에서 2종의 식생매트에 대한 수리특성시험을 수행하여 파괴 조건을 정성적으로 제시하였다.

본 연구에서는 이두한 등[13]의 실험에서 측정된 하상고 변화를 분석하여 소류력에 따른 식생매트의 손실을 평가하고 허용 소류력을 결정하고자 한다.

## 3. 실규모 실험체 설치 및 실험

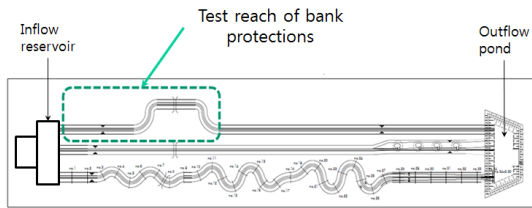
ASTM D6460에 제시된 현장 시험 방법을 요약하면 다음과 같다.

- ① 2.8 m/s 이상의 유량공급이 가능한 사다리꼴 또는 직사각형 시험수로에서 수행함
- ② 기반층의 두께는 30.5 cm 이상으로 구성하고 모래 및 실트질 재료를 이용하여 90±3%로 다짐
- ③ 식생이 없는 조건에서 시험 유량 유지시간은 30분이며 식생이 있는 조건에서 1시간 동안 유량을 유지함
- ④ 시험 종료후 식생의 밀도, 식생매트의 상태, 하상 토양의 상태 등을 검사함
- ⑤ 식생이 없는 경우에는 평균 토양 손실이 12.7 mm를 초과하는 상황을 발생시켜 안정성을 평가
- ⑥ 공급유량, 유속, 수심 등을 이용하여 평균유속 및 소류력을 계산

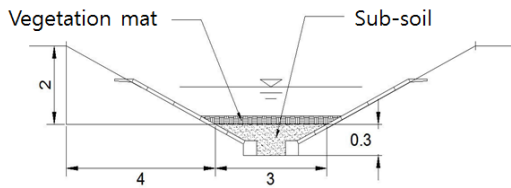
본 연구는 실규모 식생매트 실험체 2종에 대해서 수행하였고 식생이 없는 상태의 수리특성을 검토하였다. 실규모 실험은 경상북도 안동에 위치한 한국건설기술연구원 하천실험센터의 실규모 수로 중 고속수로의 호안시험구간에서 수행하였다(Fig. 1 및 Fig 2). 실험수로의 총연장은 594 m인데 본 연구에서는 상류 급경사부(1/80) 100m 구간에서 10m 단위로 두 개의 기준틀을 설치하여 시험을 수행하였다(Fig. 3).



[Fig. 1] KICT River Experiment Center



[Fig. 2] Location of test reach



[Fig. 3] Installation section of a vegetation mat(unit:m)

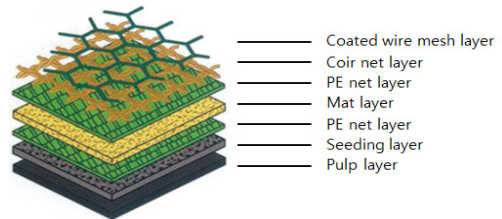
식생매트 실험체는 국내 기성제품으로 표면이 코이어 네트층(B형)으로 구성된 제품과 코이어네트층 위에 코팅 철망이 보강된 제품(A형)의 2종으로 하였으며 상세 사양은 Table 1 및 Fig. 4와 같다. A형은 B형 상층에 코팅 철망이 보강되어 토양 유실에 대한 저항성이 높을 것으로 예상되는데, 유사한 소류력 상황에서 토양 손실량이 큰 경우와 작은 경우의 하상변동 거동의 비교를 위해서 두 제품을 선정하였다.

실험체를 실험수로 내에 10m 구간에 각각 설치하였으며 기반층은 모래로 구성하였고 매트 제조사에서 제시된 표준 시공법에 따라 고정핀 등을 설치하였다. 설치 후의 상황은 Fig. 5와 같다.

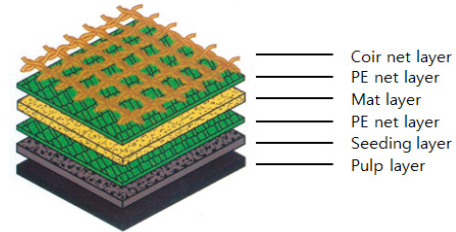
[Table 1] Specifications of tested vegetation mats

Item	Type A	Type B
Thickness (mm)	30	18
unit weight (kg/m <sup>2</sup> )	2.2	0.8
Length of anchor (cm)	50 and 30(mixed)	30

Type A



Type B



[Fig. 4] Composition of tested vegetation mats

시험 유량은 ASTM 기준에 따라 30분간 유하하였으며 유하시간 동안 하도 중앙부에서 1m 간격으로 수위 및 유속을 측정하였다(Fig. 5). 하상의 변화를 관측하기 위해서 지상라이더를 이용하여 시험 전후의 하상을 측정하였다.

지상라이더(Terrestrial Light Detection And Ranging)는 센서로부터 목표물까지 레이저 광선이 왕복하는 시간을 측정하는 원리로 목표물의 정밀한 3차원 좌표를 획득하는 장비이다. 지상라이더의 거리측정 방식은 레이저 펄스가 목표물까지 왕복하는 시간을 측정하는 pulse ranging 방식과 레이저 광선의 위상치를 측정하는 continuous wave ranging 방식으로 구분된다. 본 연구에서 이용한 지상라이더는 RIEGL 사의 LMS-Z390i로 pulse ranging 방식이며 정확도는 50 m 거리에서 6 mm 정도를 나타내는데 후처리 작업을 통해서 2 mm 정확도로 지형 모델링이 가능하다. 측정 속도는 최대 초당 11,000 지점이며 측정 분해능은 수평 및 수직 방향에 대해 모두 0.001° 이다.

시험 유량은 펌프를 통해서 유입수로 공급되는데 유입수조의 수위변화를 측정하여 공급유량을 산정하였다. 실험 조건 및 분석된 소류력은 Table 2와 같다. 자세한 실험결과는 이두한[13]에 제시되었으며 본 논문에서는 토양 손실 평가에 의한 한계 소류력 분석을 수행하였다.



<Type A>



<Type B>

[Fig. 5] Installation of vegetation mats



[Fig. 6] Test and measurement of vegetation mats

[Table 2] Test conditions and shear stresses

Case No.	Discharge (m <sup>3</sup> /sec)	Bed slope	Shear stresses (N/m <sup>2</sup> )	
			Type A	Type B
case1	4.17	1/80	21.76	21.58
case2	5.70	1/80	33.73	26.05
case3	7.56	1/80	43.74	50.10

#### 4. 토양 유실 평가

실험유량에 대한 식생매트의 손상유무는 정성적인 평가와 정량적인 평가로 판정한다. ASTM D 6460에서는 다음과 같은 상황이 발생하면 해당 소류력에서 손상이 발생하여 불안정한 것으로 평가한다.

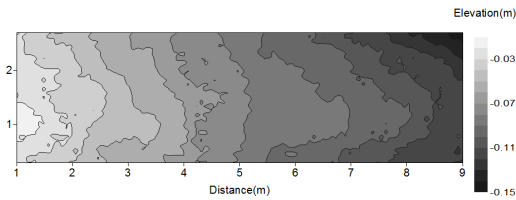
- ① 대규모 파괴 발생
  - ② 12.7 mm(0.5인치) 이상의 평균 토양 손실 발생
  - ③ 식생매트 세굴로 매트 하부에 지속적인 흐름이 발생
- 대규모 파괴 또는 매트 하부의 지속적인 흐름 발생은 실험 후에 육안으로 쉽게 확인할 수 있는 상황이며 이와 같은 손상 상황이 발생하는 경우에는 평균 토양 손실이 12.7 mm 이상으로 발생하게 된다. 따라서 평균 토양 손실량에 의한 평가로 식생매트의 한계 소류력은 정량적으로 판정할 수 있다.

토양 손실 평가는 실험 전후의 시험체 하상에 대한 측정 자료에서 Clopper 토양손실지수(CSLI, Clopper Soil Loss Index)를 구하여 평가하는데 계산식은 다음과 같다.

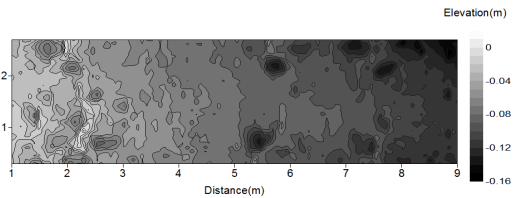
$$CSLI = C_T / A_T \times 100$$

여기서 *CSLI*는 Clopper 토양손실지수로 단위는 cm이며, *C<sub>T</sub>*는 유실 체적(cut volume)으로 단위는 m<sup>3</sup>, *A<sub>T</sub>*는 흐름 면적(wetted channel area)으로 단위는 m<sup>2</sup>이다. 토양손실지수는 실험 후의 식생매트의 평균 토양손실고를 나타내며 이 값이 12.7mm 이상이면 손상이 발생한 것으로 판정한다.

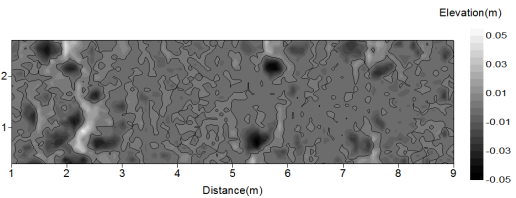
본 연구에서는 정확한 시험체의 하상 변화 측정을 위해서 식생매트 설치 전의 하상을 측정하고, 실험 유량 유하 후에는 식생매트를 완전히 제거하여 하상을 측정하였다. 측정 장비는 지상라이더를 이용하여 정밀하게 측정하였다. 실험 전, 실험 후, 전후 하상 차 등의 측정 결과를 도시하면 Fig. 7과 같다.



(a) Bed elevation before the test



(b) Bed elevation after the test



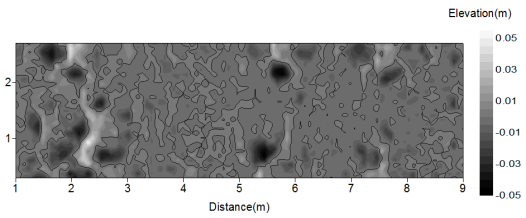
(c) Changes of bed elevation

[Fig. 7] Changes of bed elevation(case1, Type A)

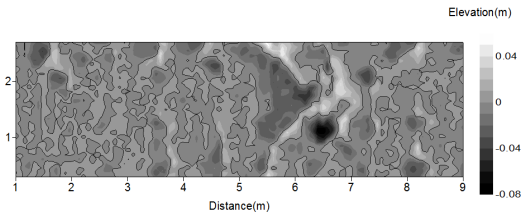
Fig. 7에서 보는 것과 같이 실험 전 하상(Fig. 7 (a))은 하상 경사에 의해 좌측에서 우측으로 경사를 형성하고 있으며 실험 후 하상(Fig. 7 (b))은 토양의 유실 및 하상의 이동으로 변동된 양상을 나타내고 있다. Fig. 7의 (a)와 (b)는 표고의 영점을 상류 경계면으로 두어 기준점이 동일하다. Fig. 7 (c)는 Fig. 7 (b)에서 Fig. 7 (a)를 제한 순수한 실험 전후의 하상고 차이를 도시한 것으로 음의 값이 토양이 손실된 부분을 나타내며, 양의 값은 토양이 퇴적된 부분을 나타내고 있다. Fig. 7의 경우에는 토양이 유실된 부분이 전체적으로 고르게 분포하고 있으며 국부적으로 최대 약 50mm의 유실이 발생한 지점이 나타나고 있다.

일반적인 미국의 식생 매트 실험의 경우[14]에는 하상고 측정을 0.6 m 폭의 수로에서 폭 방향으로 3개 지점, 길이 방향으로 0.6 m 당 1개 지점에 대해서 수행한다. 이로 인하여 측정 지점의 국부적인 영향을 받으며 하상의 침식과 퇴적이 형성되는 양상을 파악할 수 없는 한계가 있다.

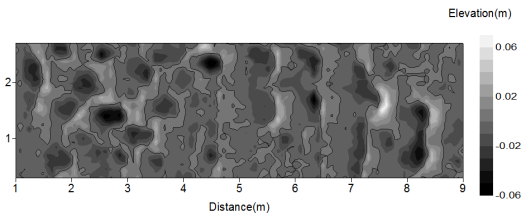
본 연구에서 각 실험당 실험 구간에서 2만개 이상 지점에서 하상고 자료를 획득하였다. Fig. 7에서 제시한 과정에 의해 실험 전후 하상고 차이를 구하였는데 이를 식생매트 종류 및 실험케이스 별로 도시하면 Fig. 8 및 Fig. 9와 같다. 이를 통해서 실험 유량에 따른 식생 매트 하부 하상의 침식과 퇴적 발생의 상세한 양상을 파악할 수 있다.



(a) Changes of bed elevation(case 1)

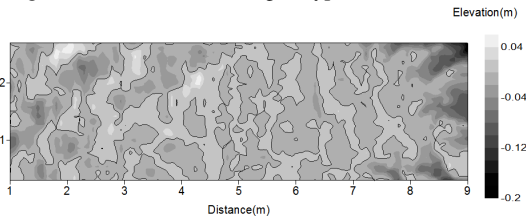


(b) Changes of bed elevation(case 2)

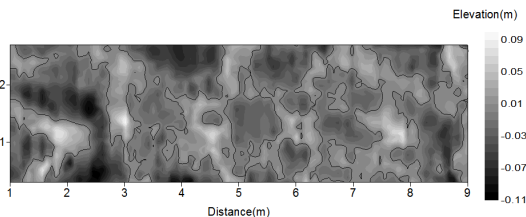


(c) Changes of bed elevation(case 3)

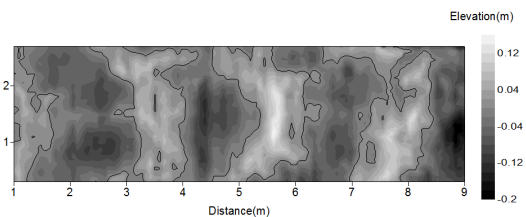
[Fig. 8] Bed elevation changes(Type A)



(a) Changes of bed elevation(case 1)



(b) Changes of bed elevation(case 2)



(c) Changes of bed elevation(case 3)

[Fig. 9] Bed elevation changes(Type B)

본 실험에서는 상류에서의 유사공급이 없는 상태이므로 실험 구간 내부에서 발생한 퇴적은 실험 구간 내부에서 발생한 침식도가 퇴적된 것으로 추정할 수 있다. Fig. 8 및 Fig. 9에서는 토양손실에 따른 침식과 퇴적 영역의 분포에서 특징적인 면을 찾을 수 있다. 토양 손실이 가장 작게 발생한 Fig. 8 (a)의 경우에는 전체적으로 침식의 경향이 보이면서 국부적으로 중소규모의 퇴적 영역이 무작위적으로 나타나는데, 그 분포는 전체적으로 균일하게 볼 수 있다. 토양 손실이 다소 진행된 Fig. 8 (b)의 경우에는 소규모 퇴적 영역이 서로 연결되면서 보다 큰 중규모의 퇴적영역이 형성되며 그 분포는 무작위하고 전체적으로는 균일하게 나타난다. 토양 손실이 보다 더 진행된 Fig. 8 (c)의 경우 소규모 퇴적 영역이 감소되면서 대부분 중규모의 퇴적 영역이 형성되며 침식 영역도 보다 크게 형성되는 양상을 나타낸다. A형 보다 토양 손실이 크게 나타난 Fig. 9의 결과에서도 위와 같은 경향이 나타난다. Fig. 9 (a)의 예서는 퇴적영역이 크게 형성되면서 서로 연결된 양상을 나타내며, Fig. 9 (b)에서는 이 경향이 심화되어 실험 구간 내에서 5개 정도의 대규모 퇴적 영역과 침식 영역이 구분되어 나타난다. Fig. 9 (c)에서는 확실히 구분되는 4개의 대규모 퇴적 영역과 침식 영역이 나타나며 이 과정에서 Fig. 8 (a)에서 나타난 퇴적 영역의 무작위성과 균일성은 완전히 사라진다.

하상고 변화에 대한 정량적 분석을 위해 Table 3 및 Table 4와 같이 작용 소류력에 따른 최대 퇴적고, 최대 세굴심, 유실 체적, 퇴적 체적, 유실부 면적, 퇴적부 면적, 토양손실지수(CSLI) 등을 산정하였다. Table 3 및 Table 4에서 작용 소류력의 증가와 비례하는 항목은 유실 체적, 퇴적 체적, 퇴적 면적, 토양손실지수 등이며 최대 퇴적고, 최대 세굴심, 유실 면적 등은 일정한 관계를 나타내지 않았다. 최대 퇴적고와 최대 세굴심은 국부적인 흐름과 식생매트 구조의 상호 작용으로 편차가 심하여 식생매트의 전체적인 안정성을 평가하기에는 부적당하다고 판단된다. 유실 체적은 작용 소류력에 비례하여 일정한 관계를 나타내나 유실 면적은 일정한 관계를 나타내고 있지 않다. 유실 체적의 평균치로부터 산정되는 토양손실지수는 작용 소류력과 일정한 관계를 나타내어 허용 소류력 평가에 유용한 지표로 판단된다.

식생매트 A형의 경우에는 최대 유량에서도 기준 이하의 토양 유실이 발생하여 안정한 것으로 나타났으며 식생매트 B형의 경우에는 유량 케이스 2번 및 3번에서 파괴로 판정할 수 있는 토양 유실이 발생하였다. Fig. 8 및 Fig. 9에서 토양 유실이 기준 이하일 경우에는 유실부의 분포가 상대적으로 국부적으로 나타나며 유실부와 퇴적부가 고르게 분포되어 있음을 확인할 수 있다. Fig. 8의

(b) 및 (c)와 같이 토양 유실 정도가 심한 경우에는 유실부가 크게 형성되어 실험 구간 내에서 자연 상태 하상의 하상파와 유사한 유실 및 퇴적부가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 즉, 식생매트가 토양의 유실을 충분히 억제하지 못하고 유수에 의해 소규모의 여울과 소가 형성되는 것을 확인할 수 있다.

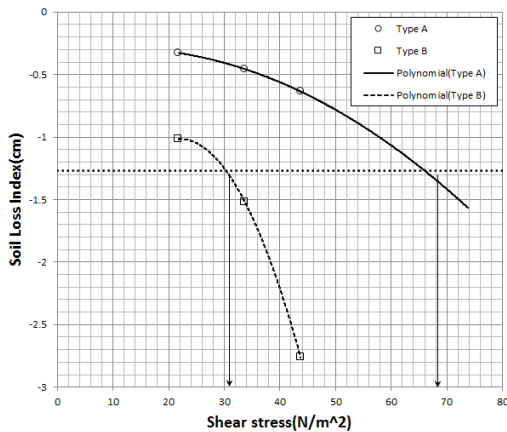
토양손실지수를 작용 소류력에 따라 도시하고 기준 손실고 12.7mm에 대해서 평가하면 Fig. 10과 같이 나타낼 수 있으며 이를 이용하여 식생매트의 허용 소류력을 정량적으로 평가할 수 있다.

[Table 3] Results of soil loss evaluation(Type A)

Item	case 1	case 2	case 3
Shear stresses (N/m <sup>2</sup> )	21.76	33.73	43.74
Maximum deposit height(mm)	53.1	65.9	50.8
Maximum scour depth (mm)	47.9	55.9	75.6
Total volume of soil loss(m <sup>3</sup> )	0.0628	0.0876	0.1221
Total volume of soil deposit(m <sup>3</sup> )	0.0235	0.0394	0.0473
Area of soil loss(m <sup>2</sup> )	12.88	11.41	12.70
Area of soil deposit(m <sup>2</sup> )	6.32	6.49	7.79
CSLI(mm)	3.3	4.6	6.4

[Table 4] Results of soil loss evaluation(Type B)

Item	case 1	case 2	case 3
Shear stresses (N/m <sup>2</sup> )	21.58	26.05	50.10
Maximum deposit height(mm)	54.3	96.0	158.3
Maximum scour depth (mm)	183.4	108.8	192.0
Total volume of soil loss(m <sup>3</sup> )	0.1952	0.2921	0.5306
Total volume of soil deposit(m <sup>3</sup> )	0.0426	0.1153	0.2562
Area of soil loss(m <sup>2</sup> )	12.34	11.75	11.34
Area of soil deposit(m <sup>2</sup> )	6.86	7.45	7.86
CSLI(mm)	10.2	15.2	27.6



[Fig. 10] Permissible shear stresses evolution by soil loss index

## 6. 요약 및 결론

하천용 식생매트는 설계 홍수시에 유실에 대한 안정성이 보장되어야 하며 이는 홍수시 하천에 작용하는 소류력(또는 유속)에 대한 허용 소류력(또는 허용 유속)으로 제시되어야 한다. 현재 이를 정량적으로 평가할 수 있는 유일한 방법은 실규모 실험을 수행하는 것이며 실험 및 분석 방법은 ASTM D 6040에 제시되어 있다. ASTM에 의해 허용 소류력을 정량적으로 평가하기 위해서는 실험시의 작용 소류력 및 토양 유실을 정확하게 측정하고 계산할 수 있어야 한다.

본 연구에서는 작용 소류력의 정확한 계산을 위해서 통제된 실규모 실험 수로에서 실험과 계측을 수행하였으며, 작용 소류력에 대한 토양손실을 정확하게 평가하기 위하여 지상 LIDAR에 의한 측량 및 분석을 수행하였다. 실험 전후의 하상고 변화를 평가하여 토양손실지수(CSLI)를 산정하였으며, 작용 소류력과 함께 도시하여 허용 소류력을 정량적으로 평가할 수 있음을 보여주었다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 식생 매트 하부 하상의 변동을 지상 LiDAR를 이용하여 정밀 측정하여, 토양 유실 정도에 따른 유실부와 퇴적부의 양상 변화를 제시하였다. 식생 매트가 안정한 조건에서는 퇴적부가 소규모로 형성되어 하상의 변형이 국부적으로만 발생되나, 유실량이 증가할수록 국부적인 유실부와 퇴적부의 규모가 커지며, 완전한 파괴가 진행된 경우에는 자연 하상과 유사한 소규모의 여울-소 구조가 형성됨을 확인하였다.

- 2) 유실부 및 퇴적부의 면적 및 체적 분석 결과, 작용 소류력에 대해서 유실부 및 퇴적부의 체적은 비례하는 것으로 나타나며 이로부터 산정된 토양손실지수가 작용소류력에 비례하여 식생매트 파괴의 정량적 기준이 될 수 있음을 확인하였다. 그러나, 토양손실기준인 12.7mm에 대해서는 보다 많은 자료 축적을 통해서 추가적인 검토가 필요한 것으로 판단된다.
- 3) 유실면적은 작용 소류력과 비례하지 않고, 유실부의 분포도 작용 소류력의 증가에 따라 다른 양상을 나타내므로, 토탈스테이션과 같은 지점 측량에 의해 토양 손실을 판정할 경우에는 국부적인 세굴과 퇴적 양상이 토양손실지수 산정에 미치는 영향을 최소화할 필요가 있으며, 이를 위해 하상고 측정 지점의 개수 및 위치에 대한 고려가 필요한 것으로 판단된다.

## References

- [1] ASTM , "ASTM D6460-07 Standard Test Method for Determination of Rolled Erosion Control Product Performance in Protectiing Eathen Channels from Stormwater-Induced Erosion", 2007.
- [2] Moritime Hydrosed, GreenArmor 7020 Extend the Boundaries of Natural Vegetation, 2008.
- [3] Busan regional constrction management administration, Design guideline for river works, 2009.
- [4] McCullah, J., and Howard, V., "Shasta College erosion control blanket study, research quantifies erosion from slopes", Land and Water, Sept/Oct, 2000, 44:5, 2000.
- [5] Casas, B., Montavez, I., Bertran, M., Sanchis, E., and Fos, M., "Evaluation of different erosion control covers in the revegetation of slope areas", Proceedings of 33rd Annual Conference, International Erosion Control, Association (IECA), Orlando, Florida, February 2002, 31-36, 2002.
- [6] Bhatia, S.K., Rao, G.V. and Smith, J.L., "International Practices and Guidance: Natural-Fiber Rolled Erosion Control Products, International Conference on Scour and Erosion 2010, ASCE, 2010.
- [7] Smith, J.L., Bryz-Gornia, C.J., Bhatia, S.K., and Walowsky, D., "A comparative study of RECPs: lab testing and field performance", GeoFrontiers 2005, TX, Jan., 2005.
- [8] Seo, Young-Min, Lee, Seung-Yun, Heo, Chang-Hwan,

and Jee, Hong-Kee, "Reduction of Tractive Force by Revetment Mattress/Filter", Journal of the Environmental Sciences, Vol. 15, No. 1, pp. 33-43, 2006.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5322/JES.2006.15.1.033>

[9] Rhee, Dong Sop, Ahn, Hong Kyu, Woo, Hyoseop, Kwon, Bo Ae, "Application and Assessment of New Vegetation Revetment Techniques Considering Safety and against Flood and Environmental Performance", Journal fo Korea Water Resources Association, Vol. 40, No. 2, pp. 125-134, 2007.

DOI: <http://dx.doi.org/10.3741/JKWRA.2007.40.2.125>

[10] Han, Eun Jin, Hwang, Soo Deok, Kim, Young Do, Park, Jae Hyun, Kim, Chul, "A Study on Hydraulic Stability of Vegetation Mat Method on High Water Revetment", Journal of Wetlands Research, Vol. 12, No. 2, pp. 75-89, 2010.

[11] Kim, Hyun Woo, Kim, Yun Hwan, Kim, Chul, "Study on the Characteristics of Uplift Capacity of Anchor Pin for Fixing the Vegetation Mat", 2011 Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference, pp. 319-324, 2011.

[12] Jang, Chang-Lae, Lee, Su Kyung, Kim, Ji Hak, "Experimental Study on the Resistance of Erosion of the River Banks Covered with Vegetation-Mat", 2011 Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference, pp. 346-350, 2011.

[13] Lee, Du Han, Kim, Dong-Hee, Kim Myounghwan, and Rhee, Dong Sop, "A real scale experimental study for evaluation of permissible shear stresses on vegetation mats, Journal of the Korean academia-Industrial cooperation society, Vol. 13, No. 12, pp. 6151-6158, 2012.

DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.12.6151>

[14] Sprague, C. J., Large scale channel erosion testing of ErosionControlBlanket.com's SC32BD, double net straw coconut blanket over loam, TRI/Environmental, Inc, 2013.

## 이 두 한(Du-Han Lee)

[정회원]



- 1994년 2월 : 서울대학교 공과대학 토목공학과(공학사)
- 1996년 2월 : 서울대학교 공과대학원 토목공학과(공학석사)
- 1996년 2월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 하천해안연구실 수석연구원

<관심분야>

수리학, 전산유체

## 이 동 섭(Dong Sop Rhee)

[정회원]



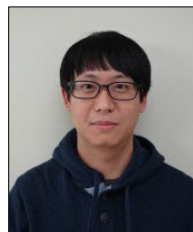
- 2000년 2월 : 서울대학교 대학원 토목공학과(공학석사)
- 2000년 1월 ~ 2002년 12월 : (주)금호엔지니어링 대리
- 2002년 12월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수석연구원

<관심분야>

토목공학, 수공학

## 김 명 환(Myounghwan Kim)

[정회원]



- 2003년 2월 : 경원대학교 공과대학 화학공학과 (화학공학학사)
- 2003년 8월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 전임연구원
- 2010년 8월 : 연세대학교 공과대학원 토목환경공학과 (수공학석사)

<관심분야>

하천수리학, 수리실험