

생분해성 식생호안블럭의 수리안정성 평가

김성중*, 김명환
한국건설기술연구원 수자원하천연구본부

Evaluation of Hydraulic Stability of Biodegradable Vegetation Revetment Block

Sung-Jung Kim*, Myounghwan Kim
Department of Hydro Science and Engineering Research,
Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요약 호안은 제방 또는 하안을 유수에 의한 파괴와 침식으로부터 직접 보호하기 위해 제방 앞비탈에 설치하는 구조물이다. 이러한 호안은 강우와 홍수로부터 수리안정성이 확보되어야 하는 것이 첫 번째 주요원칙이다. 본 연구는 생분해성 식생호안블럭을 대상으로 ASTM에서 제시된 시험법을 기반으로 수리안정성 평가를 위한 실험을 계획하였다. 호안공법의 실험체 모형은 현장에서 제작 설치되었으며, 저면폭 3 m, 만제폭 11 m, 1/70의 경사를 갖는 경사수로에서 실험을 수행하였다. 실규모 실험은 식생 활착 전·후 다양한 유량조건에 대하여 공법별 수리특성인자 계측을 수행하였다. 실험의 분석은 육안, 유속, 토양손실률, 소류력에 대하여 검토하였다. 실험결과 식생 미활착의 경우 비교적 쉽게 이탈이 발생하며 파괴가 발생하였다. 이에 반해 식생 활착 조건의 경우 식생으로부터 보호되는 영향으로 인해 시험체 이탈, 토양손실 등에 대한 안정성이 증가하였으며 식생 미활착 조건의 3배 이상의 소류력에 대한 안정성이 확보되는 것이 확인되었다.

Abstract A revetment is a structure installed on a slope in front of an embankment or riverbank to directly protect it from destruction and erosion caused by runoff. A revetment should have hydraulic stability when there is rainfall and flooding. In this study, an experiment was planned for the evaluation of hydraulic stability based on a test method presented by ASTM for biodegradability-based vegetation revetment methods. A test model of the revetment method was manufactured and installed, and experiments were performed on a trapezoidal-shaped sloped channel with a bottom width of 3 m, full levee width of 11 m, and slope of 1/70. A real-scale experiment was conducted for various flow conditions before and after vegetation establishment. Hydraulic stability was reviewed by measuring the hydraulic characteristic factors for non-vegetation and vegetation revetment methods. Analysis of the experiment was reviewed with respect to the visual inspection, velocity, soil loss rate, and tractive forces. As a result of the experiments, in the non-vegetation case, block break out occurred from current flow relatively easily, and destruction occurred. On the other hand, in the case of vegetation establishment conditions, the stability against specimen break out and soil loss was increased due to the effect of protection from vegetation, and it was confirmed that stability against tractive force was three times higher than that in non-vegetated conditions.

Keywords : Real Scale Experiment, Biodegradable Block, Vegetation Condition, Hydraulic Stability, Tractive Force

*Corresponding Author : Sung-Jung Kim(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)
email: jinx9482@kict.re.kr

Received September 28, 2022
Accepted December 7, 2022

Revised November 9, 2022
Published December 31, 2022

1. 서론

호안은 제방 또는 하안을 유수에 의한 파괴와 침식으로부터 직접 보호하기 위해 제방 앞비탈에 설치하는 구조물로 강우와 홍수로부터의 수리안정성이 확보되어야 한다. 호안공법과 관련하여 국토교통부(2016)는 하천공사설계실무요령에서 하도상황에 따른 적절한 공법들을 제시하고 있으며, 공법 적용에 따른 수리학적 인자(허용 유속 및 소류력)의 적정 범위 등을 제시하고 있다[1]. 실제로 적절한 호안공법 또는 제품의 선정을 위해서는 유속, 소류력 등이 반영된 수리안정성 검토가 필요하다. 그러나 현재 국내에는 이와 관련한 객관적인 평가나 시험 기준이 아직까지는 마련되어있지 않다. 이로 인해 국내에서는 실제 수리실험 결과를 사용하여 호안제품의 수리안정성을 제공하는 경우는 찾아보기 어려운 것이 현실이나 근래 들어 실규모 테스트가 가능한 시설의 확보가 이루어지면서 점차적으로 제품에 대한 성능테스트가 활성화 되고 있다. 주요 성능평가는 식생기반의 매트류를 대상으로 소류력 평가를 통해 제품의 안정성 검토를 수행하고 있다.

식생호안관련 연구동향으로 이동섭 등(2007)은 치수안정성을 고려한 식생호안공법의 치수안정성과 환경성을 검토하고자 현장실험과 수로실험으로 구분하여 호안공법의 녹화능력과 최대 적용 소류력 범위를 제시하였다[2]. 이두한 등(2012)은 식생매트 2종에 대한 실규모 실험을 수행하여 수리량을 측정하고 작용 소류력을 제시하였으며, 매트표면 손상 및 기반재 손상 유형 제시를 통해 안정성 확보에 대한 의견을 제시하였다[3]. 또한 2013년에는 실규모 실험 기반의 수리량 측정을 통해 토양손실 평가방법에 의한 토양손실지수(CSLI) 산정을 통한 식생매트의 허용 소류력 및 검토를 수행하여 토양손실평정 기준에서 유효함을 확인하였으며[4], 2020년 바이오폴리머 혼합토를 활용한 식생매트를 대상으로 손상과 토양유실량을 통해 시험체가 파손되는 소류력 조건을 제시하였다[5]. 박진오 등(2016)은 생분해성 플라스틱 식생매트를 대상으로 생분해 과정을 통해 인장강도 테스트를 실시하여 식생매트의 식생매트 실용화 가능성에 대한 연구를 수행하였다[6].

국외의 경우 McCulah와 Howard(2000)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[7]. 미국재료시험학회(ASTM, American Society for Testing and

Materials)는 개수로에 설치된 연결형 콘크리트 블록(Articulating Concrete Block, ACB)의 수리안정성 시험에 대하여 ASTM D 7276, 7277에서[8,9], 롤형매트(Rolled Erosion Control Product, RECP)의 우수로 인한 침식으로부터 수로를 보호하기 위한 성능측정에 대하여는 ASTM D6460에서 소개하고 있다[10].

기존의 실험연구는 식생을 기반으로 야자매트와 같은 친환경 재료를 사용한 호안공법을 대상으로 연구가 진행되었다. 그러나 식생매트기반의 호안공법은 식생 활착 전 갑작스런 홍수에 취약하여 완류하천에 적합한 공법이다. 근래 들어 다양한 친환경 재료를 사용한 공법들이 개발되고 있는데, 이러한 공법들은 기존 식생매트 기반 공법의 단점을 보완하기 위해 개발된 공법들이다. 특히 친환경 생분해블록은 초기 시공후 홍수대응과 식생 활착에 기여를 하며 이후 자연적으로 소실되어 친환경 호안을 조성하는 새로운 공법 중 하나이다. 이에 본 연구에서는 친환경재료(생분해블록)를 기반으로 개발된 호안공법을 대상으로 실규모 실험을 계획하고 수리특성 검토를 통해서 수리안정성 평가를 하고자 하였다.

2. 생분해성 식생호안 블록

생분해성 식생호안블록은 식생매트와 생분해 블록으로 구성되어 있다. 식생매트의 경우 Fig. 1과 같이 단면 구성이 되어있어 호안보호, 토사유실 방지등의 기능이 있으며, 식생매트는 초화류의 식생대 조성을 통해 수평, 곡면 등의 다양한 형태의 시공이 가능하다. 생분해 블록은 Fig. 2와 같은 형태로 되어 있으며 각각의 분절체는 식생매트와 결합되어 생태계 및 경관보전등 친수하천에 적합한 재질을 통해 호안보호 및 토사유실 방지 등의 역할을 수행한다.

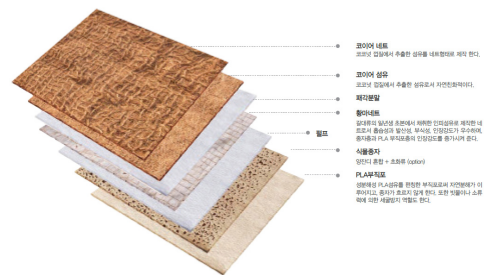


Fig. 1. Vegetable mat

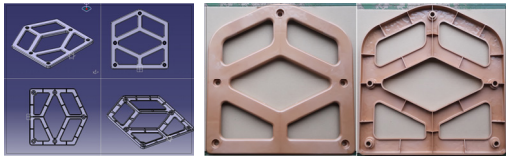


Fig. 2. Biodegradable block

3. 수리안정성 실험

3.1 실험의 준비

생분해블록의 수리안정성 실험은 경북 안동에 위치한 하천실험센터 내 경사수로에서 실험을 진행하였다(Fig. 3).



Fig. 3. River experiment center(REC, Andongsi)

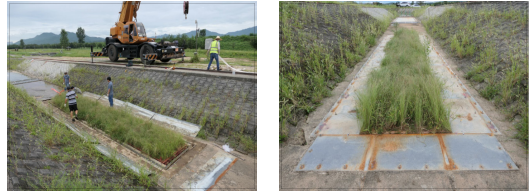
실규모 실험수로의 경우 유량공급은 최대 10.0 m³/s (최대)이며 저수로폭은 3.0 m이다. 만제폭은 11.0 m로 설계되었으며 1/70의 경사도의 가지고 있다. Fig. 4는 식생비활착 조건에서의 생분해 블록이 설치된 사진이며, Fig. 5는 식생 활착 조건을 조성하기 위한 과정을 타나낸 사진으로 Fig. 5(a)는 식생 활착을 위한 별도의 트레이에 공법의 적용에 필요한 생분해 블록의 설치 및 식생(양잔디 류)이 양육되는 과정을 나타내며, Fig. 5(b), Fig. 5(c)는 크레인을 이용한 설치 및 완료된 사진을 보여준다.



Fig. 4. Installation of biodegradable block for experiments(no vegetation)
(a) front view, (b) plan view



(a)



(b)

(c)

Fig. 5. Installation of biodegradable block for experiments(vegetation establishment)

(a) vegetation establishment for biodegradable block experiment, (b) installation, (c) front view

3.2 실험방법 및 조건

3.2.1 실험방법

서론에서 언급했듯이 현재 국내에는 호안재료의 수리안정성 검토와 관련한 객관적인 평가나 시험 기준이 마련되어 있지 않다. 따라서 이번 연구에서는 미국재료시험학회(ASTM)의 방법을 활용하여 제품의 수리안정성을 검토하였다. ASTM에서는 시험기준과 평가방법으로 구분하여 시험을 진행하며, ASTM D 6460[10]에서는 매트공법의 시험, 평가방법이 언급되며, ASTM 7276[8], 7277[9]에서는 호안블록의 시험 및 평가방법이 기술되어 있다. 본 연구의 대상은 PLA 블록을 사용하지만 설치방법이나 특성이 일반적인 호안블록 공법 보다는 식생매트 공법에 가까우므로 ASTM D 7277[9]의 방법을 수리안정성 검토에 적용하는 것은 적절하지 않다. 이에 본 연구에서는 ASTM D 6460[10]에 제시된 기준을 반영하여 검토하였다.

실험의 대상인 생분해 블록은 실규모 실험수로 하상에 설치하였다. 호안 제품을 수로 제방 사면에 설치하여 실험을 진행할 경우 동일 선상에서 제품의 작용하는 소류력이 비 균등하게 되어 제품이 가지는 성능의 한계점을 명확하게 분석하는 것이 어려워진다(Fig. 6). 이러한 문제로 미국재료시험학회에서도 호안 제품을 하상에 설치하여 시험을 진행한다.

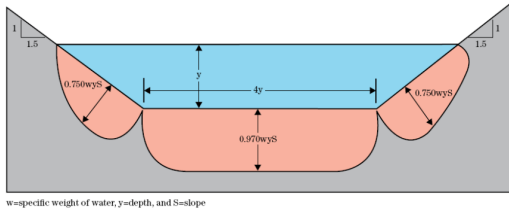


Fig. 6. Lateral distribution of shear stress in a trapezoidal channel(USDA, 2007)[11]

본 연구에서의 수리안정성 검토 방법은 다음과 같다.

- ① 호안제품의 설치가 가능한 길이 10 m, 폭 1.3 m의 실험 구조물에 마사토로 기반층을 조성하여 다짐을 진행하고 각각의 호안제품을 설치, ② 각각의 호안제품 시험체를 수로에 설치하고 레이저 레벨을 사용하여 방류전 측량을 실시, ③ 5분간 0.2 m³/s 유량으로 예비방류를 진행하고 곧이어 실험방류를 30분간 시작, ④ 방류되는 동안 제품의 파손에 의한 흐름변화 여부를 관찰하고 주요 측선에서 수리특성인자(수심 및 유속)를 측정, ⑤ 실험 도중 눈에 보이는 파손이 발생하지 않을 경우 방류량을 증가시키면서 ③~④의 단계를 4회 반복, 이와 같은 수리안정성 실험을 모두 마친후 유속, 수심 등을 이용하여 평균유속 및 소류력을 계산하고, 레벨 측량 결과를 이용해 토양손실을 산출한 후 제품이 파손되는 소류력 조건을 도출한다.

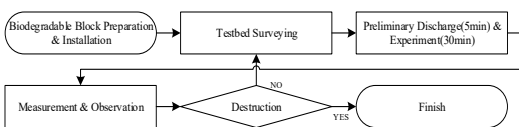


Fig. 7. Experiment Flowchart

3.2.2 실험조건

소류력 검토를 위한 생분해블록의 식생 미활착 및 활착조건에 대한 실험 조건은 Table 1과 같다. 실험 조건의 선정은 식생미활착 조건을 초기 기준으로 선정하며 점차적으로 유량을 증가시키면서 실험을 수행하였다. 실험장의 특성을 고려하여 펌프의 가동 개수로 계획하였

Table 1. Experimental conditions

conditions	no vegetation		vegetation		
	1st	2nd	1st	2nd	3rd
stabilization time(min)	5	5	5	5	5
stabilization discharge(m ³ /s)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
discharge(m ³ /s)	1.28	2.75	2.37	3.44	6.71
duration time(min)	30				

으며, Table 1에 제시된 유량값은 수로에서의 계측을 통해 산정된 유량값을 의미한다.

3.2.3 주요이론

본 실험은 수심이 얇은 고유속 상태에서 수행되므로 측정 시의 작은 오차에 의해 에너지 경사 및 소류력 계산에서 큰 오차를 발생시킬 수 있다. 따라서 유속 및 수위 측정 시 오차발생 요인을 최대한 감소시켜야 한다. 호안의 파괴 조건을 결정하는 기본적인 수리량은 유량 (Q), 평균유속 (V), 수심(y), 에너지경사(S_f), 조도계수(n), 소류력(τ) 등이 있다.

① 수심의 보정

수심은 수위와 표면고의 차이로 수로 경사 θ 로 보정한다.

$$y_i = (h_i - z_i) \cos \theta \quad (1)$$

여기서, y_i 는 i 지점의 수심, h_i 는 i 지점의 수위, z_i 는 i 지점의 하상고, θ 는 수로의 경사

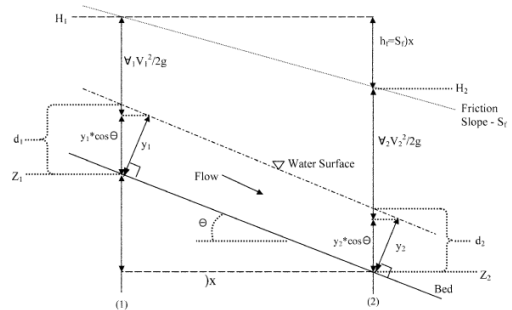


Fig. 8. Definition sketch(ASTM D6460, 2008)

② 에너지경사의 계산

각 측정에서의 에너지경사 S_f 는 다음 Eq. (2)로 계산한다.

$$S_{fi} = (n V_i)^2 \frac{1}{y_i^{4/3}} \quad (2)$$

여기서, n 은 매닝(Manning)의 조도계수, V_i 는 i 지점의 평균 유속

③ 총수두의 계산

총수두(EGL, Energy Grade Line elevation)는 각 측정에서 다음 Eq. (3)으로 계산. 에너지 경사 계산에서는 시험 구간의 경사를 대표하는 자료에 대해서 분석하여야 한다.

$$EGL_i = z_i + y_i \cos \theta + \frac{V_i^2}{2g} \quad (3)$$

④ 바닥 소류력의 계산

바닥면의 소류력은 Eq. (4)를 이용하여 계산되어 진다.

$$\tau_0 = \gamma y S_f \quad (4)$$

여기서, γ 는 물의 단위 중량으로 $9,810 \text{ N/m}^3$ 이며, 수심 y 는 하상에서 연직 방향의 수심. Eq. (4)에서 에너지 경사 S_f 를 계산하기 위해서는 2개 이상 측정에서의 자료와 대표 수심이 필요한데 에너지경사 S_f 는 일반적으로 측정 자료의 선형회귀분석을 통해서 결정되며, 대표 수심은 측정 수심을 평균하여 사용한다.

⑤ 토양손실의 평가

토양손실은 시험 전후 시험 지반의 측량 자료를 이용하며, 토양손실의 평가는 클라퍼(Clopper)의 토양손실지수(Clopper Soil Loss Index, CSLI)를 사용한다[10].

$$CSLI = C_T/A_T \times 100 \quad (5)$$

이 때, C_T 는 토양 유실 체적, A_T 는 수로에 설치된 호안 시험체 위로 물이 흐른 면적

⑥ 시험 소류력별 소류력-토양손실지수 분석

시험 유량에 따른 소류력별 토양손실지수는 선형회귀기법을 활용하여 계산한다. 단, 회귀 분석은 시험 소류력 범위 내에서만 내삽을 통해 사용하여야 하며, 외삽을 통해 계산하지 않는다. 회귀 분석에 의한 소류력-토양손실지수 분석에서 토양손실지수가 일정 기준에 해당하는 소류력을 허용 소류력으로 인정한다.

4. 수리안정성 평가 실험

수리안정성 실험은 앞서 언급된 실험방법을 토대로 계획된 유량조건을 대상으로 실험을 진행하였다. 각각의 실험은 파괴가 발생할 때 까지 유량을 증가시키며 실험이 진행하고 수위, 유속 및 유형(사진) 등 수리특성인자를 계속하였다.

4.1 식생 미활착 조건시 수리안정성 실험

생분해 블록(식생 미활착) 1차 실험에서는 Fig. 9에서와 같이 실험 도중이나 종료 후에 육안으로 확인되는 파손은 관찰되지 않는 것으로 확인되었다. 그러나 생분해

블록(식생 미활착) 2차 실험에서는 본 방류후 3분 후 Fig. 10과 같이 생분해 블록의 이탈이 발생하기 시작하여 유량공급을 중지하였다.



Fig. 9. Hydraulic stability test(1st, no vegetation)



Fig. 10. Hydraulic stability test(2nd, no vegetation)

4.2 식생 활착 조건시 수리안정성 실험

생분해 블록(식생 활착)의 1차 실험에서는 실험 도중 또는 종료 후에 육안으로 확인되는 파손은 관찰되지 않았다. 2차 실험에서는 일부구간에서 식생유실이 관측되었으나 심각한 토양의 유실은 발생하지 않는 것으로 확인되었다. 3차 실험에서는 일부 구간에서는 눈으로 확인되는 약간의 토양유실도 관찰되었으나 생분해 블록이 유실되는 파손은 발생하지 않는 것으로 확인되었다.



Fig. 11. Hydraulic stability test(1st, vegetation)
(a) front view, (b) plan view



Fig. 12. Hydraulic stability test(2nd, vegetation)
(a) before, (b) after



Fig. 13. Hydraulic stability test(3rd, vegetation)
(a) before, (b) after

4.3 실험결과

생분해성 식생호안블록의 수리안정성 평가를 위한 결과는 유속, 토양손실, 소류력을 대상으로 분석하였다.

4.3.1 유속에 의한 안정성 평가

호안공법의 안정성을 평가하는데 유속은 매우 중요한 수리학적 요소이다. 본 연구에서는 모든 실험조건이 사류의 조건을 형성하고 일방향의 흐름형태를 보이기 때문에 1차원 전자기 유속계를 사용하여 유속을 측정하였다. 측정된 실험자료는 Table 2에 나타내었다. 식생이 미활착된 생분해 블록실험에서 측정된 단면평균 유속은 2차 시험시 시험체의 파손이 발생하였기 때문에 2차 실험시 측정된 데이터는 신뢰할 수 없으며, 1차시 측정되었던 유속값인 2.52 m/s 의 단면평균유속이 시험체의 파괴 유속값으로 간주할 수 있다. 일반적으로 개수로에서의 난류강도는 바닥에서 최대를 이룬다. 본 실험과 같이 식생이 없는 개수로 흐름이라 가정하였을 때, 유수의 흐름으로 인해 발생하는 바닥에서의 마찰력인 소류력의 영향은 바닥면의 생분해 블록에 직접적으로 작용하게 되며, 특히 결합면의 취약구간에서 영향력이 크게 발생하게 됨으로써 재료의 파괴가 발생한 것으로 사료된다. 이에 반해 식생 활착시 생분해블록 실험에서는 최대 3.56 m/s의 유속 값으로 관측되었다. 이때 식생이 활착된 생분해블록의 경우 이탈 또는 파괴가 발생하지 않는 것을 확인할 수 있었다. 이는 유연한 식생에 가해진 유수력에 의해 흐름방향으로 자연스럽게 침수되며 늘어진 식생이 생분해블록을 보호하는 덮개 역할을 하고 있었기 때문에 생분해 블록 표면에는 전단력이 작용하지 않았기 때문으로 사료된다.

이두한 등(2012, 2020)[3,5]에 의해 수행되었던 기존 연구결과는 Table 3에 정리하였으며, Fig. 14에 평균유속과 유량과의 관계를 본 실험의 결과와 같이 도식하였다. 이들의 실험은 식생매트위 철망 또는 바이오폐리머

혼합토를 이용하여 실험을 수행하였으며, 실험결과 미활착 조건의 경우 평균유속은 유량조건에 따라 2.81~3.25 m/s의 범위로 관측되었으며, 식생이 활착된 경우에는 3.46~4.11 m/s의 범위로 계측되었다. 식생 활착 후 기존 연구와의 최대유속값은 본실험 3.56m/s, 기존연구 4.11m/s로 큰 차이를 보이지 않는 것으로 확인되었다. 이는 호안을 구성하는 공법과 식생조건으로 다르게 나타나는 조도의 차이로 인한 호안공법 자체의 고유한 결과로 본 실험값과의 비교를 검토하기에는 다소 무리가 있을 것으로 판단되지만 참고할만한 자료로는 가치가 있다고 판단된다.

Table 2. Mean Velocities by Experimental conditions

Experiment	no vegetation		vegetation		
	1st	2nd	1st	2nd	3rd
Discharge(m ³ /s)	1.28	2.75	2.37	3.44	6.71
Mean Velocity(m/s)	2.52	failure	2.28	3.15	3.56

Table 3. Mean Velocities Presents by Reference paper

References (Lee et al. 2012, 2020)	no vegetation			vegetation		
	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
Discharge(m ³ /s)	4.17	5.7	7.56	2.76	5.51	6.92
Mean Velocity(m/s)	2.81	3.04	3.25	3.46	4.02	4.11

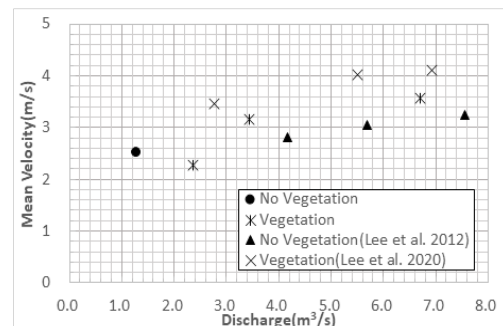


Fig. 14. Relationship between average velocity and discharge

4.3.2 토양손실에 의한 안정성분석

ASTM D 6460[10]에서 토양손실에 의한 평가는 실험을 종료한 후 측량 등을 이용한 토양 손실 평가를 통해 Clopper의 토양손실지수 1.27 cm을 적용하여 호안제품의 파손 여부를 판별한다. 본 연구에서는 실험전 측량 자료를 기반으로 실험후의 하상측량을 통해 세굴로 인해 유실된 체적을 비교하여 차이량을 산정하고, ASTM D

6460에서 제품의 파손여부를 결정하는 Clopper의 토양 손실지수 1.27 cm을 동일하게 적용하여 평가해보았다.

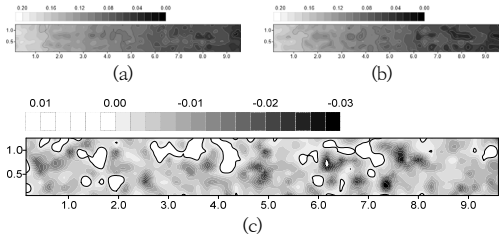


Fig. 15. Bed elevation contour(3rd, vegetation)
(a) before, (b) after, (c) variation of bed elevation

실험을 통한 토양손실량 및 손실계수는 Table 4와 같다.

Table 4. Soil loss Index by Experimental conditions

Title	no vegetation		vegetation		
	1st	2nd	1st	2nd	3rd
Discharge(m ³ /s)	1.28	2.75	2.37	3.44	6.71
Volume Loss(m ³)	0.047	failure	0.022	0.023	0.067
Area(m ²)	12.22		11.34	11.34	11.34
Soil Loss Index(cm)	0.39		0.20	0.21	0.59

분석결과를 살펴보면 생분해 블록(식생 미활착)의 토양손실지수는 파손 여부를 결정짓는 토양손실지수 1.27 cm 보다 낮은 값이나 2차 실험의 경우 본 방류 3분 만에 파손으로 인해 실험을 종료하였으므로 실험결과 값이 시험체의 손실이라고 판단할 수 있다. 생분해 블록(식생 활착)의 경우 토양손실지수는 0.20~0.59 cm의 범위로 나타났다으며 이는 ASTM D 6460에서 제안하는 제품 파손 시의 토양손실지수 1.27 cm에 한참 못 미치는 수치이므로 비교적 안정하다 판단할 수 있다. 식생유무에 따라 저유량조건시 토양손실량의 차이가 많이 나는 것을 확인할 수 있는데 이는 앞서 언급한 식생의 보호덮개 역할로 하여금 안정성을 확보하는 이유일 것으로 판단된다.

4.3.3 소류력 분석

소류력은 계측된 수리량을 통해 Eq. (4)에 의해 계산되어 진다. 계산결과는 Table 5와 같으며, Table 6에는 기존 이두한 등(2012, 2020)[3,5]에 의해 수행 연구결과를 나타내었다.

Table 5. Tractive forces by Experimental conditions

Title	no vegetation		vegetation		
	1st	2nd	1st	2nd	3rd
Discharge(m ³ /s)	1.28	2.75	2.37	3.44	6.71
Surface Slope(s _w)	0.014	failure	0.017	0.016	0.017
Roughness Coefficient(n)	0.013		0.023	0.019	0.019
Energy Slope(s _i)	0.013		0.018	0.017	0.016
Mean Depth(m)	0.16		0.29	0.33	0.47
Hydraulic Radius(m)	0.14		0.24	0.27	0.37
Tractive force(N/m ²)	19.52		53.04	55.02	71.84

Table 6. Tractive forces Presents by Reference paper

References (Lee et al. 2012, 2020)	no vegetation			vegetation		
	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
Discharge(m ³ /s)	4.17	5.7	7.56	2.76	5.51	6.92
Tractive force(N/m ²)	21.76	33.73	43.74	26.41	38.53	44.05

생분해 블록(식생 미활착) 수리안정성 실험에서 확인된 최대 허용 소류력은 19.52 N/m² 으로 산정되었다. 식생을 활착시킨 생분해 블록의 경우 최대 발생 소류력은 71.84 N/m² 으로 산정되었다. 이는 대략 4배정도의 소류력을 확보할 수 있는 것으로 확인할 수 있다. 이두한 등에 의해 수행되었던 기존 연구결과를 살펴보면 미활착 조건에서 관측된 최대 소류력은 43.74 N/m², 활착된 식생 조건에서는 44.05 N/m² 의 소류력으로 산정되었다. 기존 연구에서 최대 소류력의 차이가 발생하지 않은 것은 활착 후 조건에서 바이오폴리머 혼합토를 사용하고 식생매트 윗면에 철망과 같은 별도의 기술이 적용하지 않았기 때문이다. 본 연구결과와 비교하였을 때 활착 전 자료는 파괴로 인해 데이터가 부족하여 비교할 수는 없었지만 활착 후 조건에 대해서는 생분해 블록 사용시 기존 연구결과에 비해 1.6배 향상된 수치로 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

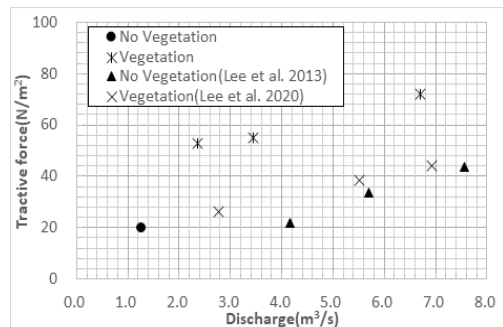


Fig. 16. Relationship of tractive force and discharge

소류력과 토양손실지수를 비교한 Fig. 17에서 실험결과를 비교하자면 식생 미활착시 토양손실지수를 기준으로 산정하였을 때 식생 활착 후 약 3배 정도의 소류력에 대한 능력을 확보하는 것으로 판단할 수 있다. 이러한 결과로 판단할 때 초기 식생 생육기간 중 홍수로부터 견딜 수 있는 안정성을 확보한다면 식생호안의 기능을 충분히 할 것으로 판단된다.

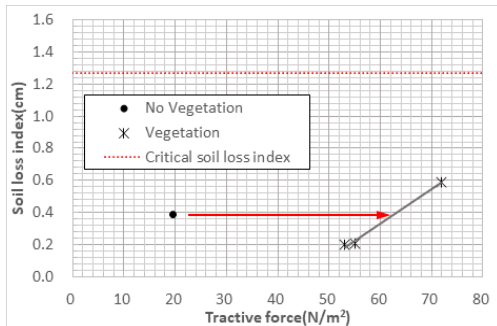


Fig. 17. Relationship of shear stress and soil loss index depending on the presence or absence of vegetation

5. 결론

본 연구는 식생매트와 생분해 블록으로 구성되어 있는 생분해성 식생호안블록을 대상으로 ASTM D 6460[10]의 방법을 준용하여 식생 활착 전·후에 대한 수리적 안정성 검토를 수행한 연구이다. 본 연구의 결과는 다음과 같다.

- [1] 식생 활착 전·후 조건에 대한 실규모 실험을 계획하였으며, 각각 실험에서의 단면평균유속은 식생 활착 전 2.52 m/s (2회 측정시 파괴)로 관측되었고, 식생 활착 후 조건에서는 3.56 m/s로 관측되었다.
- [2] 육안 및 3차원 스캔을 통한 하상변형 검토결과 식생 미활착 조건의 경우 생분해블록의 이탈이 발생하였으나 식생 활착 후 일부구간 식생 이탈이 관측되었으며, 토양의 유실로 인한 토양손실계수는 0.59 cm 이내로 검토되어 ASTM D 6460에서 제안하는 파손기준인 Clopper 토양손실지수 1.27 cm에 미치지 않는 안정적인 상태로 검토되었다.
- [3] 하상에 작용하는 마찰력인 소류력 계산결과 식생 미활착의 경우 19.52 N/m², 식생 활착의 경우

71.84 N/m²의 소류력 조건에서 안정한 것으로 확인되었다.

- [4] Clopper 토양손실지수[CSLI]를 이용한 분석에서 식생 활착 조건의 생분해 블록이 식생 미활착 조건일 때 보다 3배 이상의 수리안정성을 확보할 수 있는 것으로 확인되었다.

그러나 본 연구 대상인 생분해성 식생호안블록의 성능은 식생 활착 조건이 성립되었을 때 가장 효과적이며, 이를 위해서는 초기활착을 위한 생육조건(기간, 환경 등)이나 관리가 중요할 것으로 판단된다. 이러한 초기 관리만 잘 이루어진다면 성능과 더불어 생태계 보전 및 친수성 확보측면에서 친자연형 도시하천기술의 발전으로 이루어질 것을 기대한다.

References

- [1] Ministry of Land Infrastructure and Transport, "River Construction Design Standard", Ministry of Land Infrastructure and Transport(MOLIT), Korea, pp.135-138, 2016.
- [2] Rhee, D. S., Ahn, H. K., Woo, H. S., Kwon, B. A., "Application and Assessment of New Vegetation Revetment Techniques Considering Safety against Flood and Environmental Performance", *J of Korea Water Resources Association*, Vol.40, No.2, pp.125-134, 2007. DOI: <http://doi.org/10.3741/JKWRA.2007.40.2.125>
- [3] Lee, D. H., Kim, D. H., Kim, M. H., and Rhee, D. S., "A Real Scale Experimental Study for Evaluation of Permissible Shear Stresses on Vegetation Mats", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*. Vol. 13, No. 12, pp.6151-6158, 2012. DOI: <http://doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.12.6151>
- [4] Lee, D. H., Rhee, D. S. and Kim, M. H., "Determination of Permissible Shear Stresses on Vegetation Mats by Soil Loss Evaluation", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*. Vol.14, No.11, pp.5956-5963, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.11.5956>
- [5] Lee, D. H., Kim, M. H., "Evaluation of Critical Tractive Forces of Vegetation Mats Enhanced with Biopolymer Mixed Soil", *J of Korea Water Resources Association*, Vol. 53, No. 3, pp.167-179, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.3741/JKWRA.2020.53.3.167>
- [6] Park, J. O., Kim, H. S., Lee, S. H., "Characteristics of Biodegradable Plastic Vegetation Mats", *Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute*, Vol. 4, No. 2, pp.112-117, 2016. DOI: <http://doi.org/10.14190/JRCR.2016.4.2.112>
- [7] McCuloh, J., and Howard, V., "Shasta College erosion control blanket study, research quantifies erosion

from slopes”, Land and Water, Vol. 44, No.5, 2000.
http://www.landandwater.com/features/vol44no5/vol44no5_2.html

- [8] American Society for Testing and Materials, “ASTM D 7276-08 Standard Guide for Analysis and Interpretation of Test Data for Articulating Concrete Block (ACB) Revetment Systems in Open Channel Flow”, ASTM, USA, 2008.
 DOI: <http://dx.doi.org/10.1520/D7276-08>
- [9] American Society for Testing and Materials, “ASTM D 7277-08 Standard Guide for Performance Testing of Articulating Concrete Block (ACB) Revetment Systems for Hydraulic Stability in Open Channel Flow”, ASTM, USA, 2008.
 DOI: <http://dx.doi.org/10.1520/D7277-08>
- [10] American Society for Testing and Materials, “ASTM D 6460-07 Standard Guide for Determination of Rolled Erosion Control Product (RECP) Performance in Protecting Earthen Channels from Stormwater-Induced Erosion”, ASTM, USA, 2008.
 DOI: <http://dx.doi.org/10.1520/D6460-07>
- [11] USDA Natural Resources Conservation Service, “Stream restoration design: Part 654, national engineering handbook.”, 2007.
https://www.engr.colostate.edu/~pierre/ce_old/classes/ce717/Manuals/NRCS%20Stream%20Rehabilitation%20Design/NRCS%20654%20Stream%20restoration%20design.pdf

김 명 환(Myounghwan Kim)

[정회원]



- 2003년 2월 : 가천대학교 공과대학 화학공학과 (공학사)
- 2010년 8월 : 연세대학교 일반대학원 토목환경공학과 (공학석사)
- 2003년 8월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수석연구원

<관심분야>

수리학, 전산유체

김 성 중(Sung-Jung Kim)

[정회원]



- 2001년 2월 : 상지대학교 토목공학과 (공학사)
- 2003년 2월 : 상지대학교 토목공학과 (공학석사)
- 2003년 3월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수석연구원

<관심분야>

하천공학, 하천방재