사석기반 호안공법의 수리안정성 평가

김성중

한국건설기술연구원 수자원하천연구본부

Evaluation of Hydraulic Stability of Stone-Based Revetment Methods

Sung-Jung Kim

Department of Hydro Science and Engineering Research, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

요 약 호안은 제방 또는 하안을 유수에 의한 파괴와 침식으로부터 직접 보호하기 위해 제방 앞비탈에 설치하는 구조물 이다. 이러한 호안은 강우와 홍수로부터 수리 안정성이 확보되어야 하는 것이 첫 번째 주요원칙이다. 본 연구는 2가지 사석호안 공법을 대상으로 ASTM에서 제시된 시험법을 기반으로 수리안정성 평가를 위한 실험을 계획하였다. 호안공법 의 실험체 모형은 현장에서 제작 설치되었으며, 폭 2m, 13/100의 경사를 갖는 경사수로에서 실험을 수행하였다. 3가지 유량조건별 실규모 실험을 통하여 호안공법별 수리특성인자 계측을 통해 수리안정성을 검토하였다. 실험결과 실험조건 에 따른 실험체의 파괴는 발생하지 않았으며, 단면평균유속이 6.20 m/s 조건에서 안정한 것으로 확인되었다. 3D 스캐 너를 사용하여 하상의 수직변동 검토결과 사석의 움직임은 거의 발생하지 않는 것으로 확인되었다. 호안재료의 대표적인 수리특성인 소류력의 경우 최대 337.65 N/m²의 소류력에도 안정한 것으로 나타났다.

Abstract Revetment is a structure installed on the slope in front of an embankment. Its purpose is to directly protect the embankment or riverbank from destruction and erosion caused by a runoff. The first major principle is that such a revetment should secure hydraulic stability during rainfall and flooding. In this study, an experiment was conducted to evaluate the hydraulic stability based on the test method presented by ASTM for two types of stone-based revetment methods. The test model of the revetment method was manufactured and installed on-site. In particular, the experiment was performed on a sloped channel with a slope of 13/100. Through a real-scale experiment according to three flow conditions, the hydraulic stability was checked by measuring the hydraulic characteristic factors for each revetment method. The experiments suggest no destruction of the test model according to the flow conditions. In addition, it was confirmed that the cross-sectional average flow velocity was stable at 6.20 m/s. Subsequently, the vertical deformation of the river bed was measured using a 3D scanner, and it was confirmed that no deformation had occurred in the vertical direction. Moreover, the tractive force is a representative hydraulic characteristic of the revetment material, and the material was found to be stable even with a tractive force of up to 337.65 N/m2.

Keywords : Real Scale Experiment, Stone-Based Revetment Method, Hydraulic Stability, Tractive Force, River Experiment Center

1. 서론

호안은 제방 또는 하안을 유수에 의한 파괴와 침식으 로부터 직접 보호하기 위해 제방 앞비탈에 설치하는 구 조물로 강우와 홍수로부터의 수리 안정성이 확보되어야 한다. 호안공법과 관련하여 국토교통부(2016)는 하천공 사설계실무요령에서 하도상황에 따른 적정한 공법들을 제시하고 있으며, 공법 적용에 따른 수리학적 인자(허용 유속 및 소류력)의 적정 범위 등을 제시하고 있다[1]. 실 제로 적정한 호안공법 또는 제품의 선정을 위해서는 유 속, 소류력 등이 반영된 수리 안정성 검토가 필요하다. 그러나 현재 국내에는 이와 관련한 객관적인 평가나 시 험 기준이 마련되어있지 않다. 이로 인해 국내에서는 실 제 수리실험 결과를 사용하여 호안제품의 수리 안정성을 제공하는 경우는 찾아보기 어려운 것이 현실이나 근래 들어 실규모 테스트가 가능한 시설의 확보가 이루어지면 서 점차적으로 제품에 대한 성능테스트가 활성화 되고 있다. 주요 성능평가는 식생기반의 매트류가 그 대상이 며, 사석 및 콘크리트를 이용한 호안공법에 대한 테스트 사례는 찾기가 쉽지 않다. 이는 실험시설의 한계와 현재 까지 정착되지 못한 성능평가에 대한 필요성이 부족이 주요 원인이기도 하다. 다행히 안동 하천실험센터 실험 시설의 확충으로 인해 고유속 흐름이 가능한 수로를 갖 추게 되면서 실규모 테스트가 가능하게 되었다.

호안관련 연구동향으로 국내에서는 배상수 등(2002) 에 의해 돌망태 매트리스 호안공법에 대한 수리학적 안 정성 검토를 통해 기존 사석 호안공과의 차이점 비교하 여 우수성을 입증하였다[2]. 김동희(2012)는 호안공 인 증제도 개발을 위해 국내외 인증제도 고찰을 통해 유공 블록 및 식생매트의 수리특성 실험을 수행하여 표준시험 방법을 제시하였다[3]. 이두한 등(2012)은 식생매트의 허용 소류력 평가를 수행하기 위해 실규모 기반 실험을 통해 매트의 손상에 따른 효과를 검증하였으며[4], 또한 2013년 토양 손실을 고려한 허용소류력 결정과정에서 ASTM에서 제시된 토양손실판정 기준과 유효함을 확인 하였다[5]. 2013년~2014년도에는 식생매트 제품에 대 한 수리 안정성 시험 기술 개발의 일환으로 실규모 기반 실험을 통해 식생매트 시험기법 정확도 향상을 위한 시 험 시설 개발과 더불어 무식생 조건과 식생활착 조건에 서의 시험기법을 제시하였다[6,7]. 김봉균 등(2016)이 다 공성콘크리트 호안블록의 실규모 실험을 통한 수리안정 성 평가를 위해 실험을 수행하고 준완류부에 적합한 소 류력 값을 확인하였다[8].

국외의 경우 McCulah와 Howard(2000)는 짚과 코 코넛 등으로 만든 13종의 천연섬유 매트에 대한 사면 토 양 유실 실험을 수행하여 식생매트가 없는 경우에 비해 81%의 토양 유실 감소 효과를 확인하였다[9]. 미국재료 시험학회(ASTM, American Society for Testing and Materials)에서는 연결형 콘크리트 블록(ACB)을 대상으 로 데이터분석과 성능시험법에 대하여 ASTM D7276, ASTM D7277에서 소개하고 있다[10,11].

기존의 실험연구는 식생기반의 매트류와 같은 재료에 대한 자연형 호안공법에 대한 연구가 주로 이루어지고 있다. 식생매트기반의 호안공법은 식생활착전 갑작스런 홍수에 취약하여 완류하천에 적합한 공법이다. 이에 반 해 강성재료를 대상으로 한 실험들은 간혹 있으나 이는 대부분 콘크리트로 제작된 블럭형태의 호안블럭 연구들 이 주로 이루어지고 있다. 콘크리트 재질의 호안공법은 안정성 측면에서는 탁월하나 환경성을 저해 한다는 단점 을 가지고 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해서 근래 들 어 자연형 호안공법의 일환으로 자연석을 사용하여 환경 성을 증대시키고 수리적 안정성 확보에 탁월한 사석기반 재료에 대한 기술들이 개발되고 있다. 이에 본 연구에서 는 자연석 기반으로 개발된 호안공법을 대상으로 실규모 실험을 계획하고 수리특성 검토를 통해서 수리안정성 평 가를 하고자 하였다.

2. 사석호안 공법

2.1 스톤 매트리스 공법

스톤 매트리스 공법은 상부망과 하부망, 사석을 결합 한 공법으로 하천의 호안, 하상유지, 밑다짐 등 다양한 장소에 적용할 수 있으며, 내구성을 극대화한 돌을 이용 한 친자연적인 하천 공법으로 굴요성이 요구되는 하천, 저수호안이 완경사인 하천, 강성공법이 요구되는 하천, 도시 및 생태하천, 여울 및 소, 협소한 하천에 적용하능 한 공법이다. Fig. 1(a)와 같은 단면형태를 가지며, 실제 현장에 시공된 모습은 Fig. 1(b)와 같다.

스톤 매트리스의 구성은 상부망(STS로프망)의 형태유 지 및 내구성을 보강한 공법으로 STS로프를 이용하여 상 부망과 하부망을 체결함으로써 2차 변형으로부터 연결자 재의 파손 및 이탈 방지가 가능하며 안전한 군체 유지가 가능한 공법이다.



Fig. 1. Stone mattress method (a) cross section and component, (b) installation of field

2.2 플렉스톤 공법

플렉스톤 공법은 지반밀착성이 뛰어난 폴리에스테르 섬유인 지오텍스타일 기반시트에 자연석을 고정시킨 제 품으로 하상의 세굴방지 및 하천의 저수호안 안정화, 유 속의 저감, 하천생태계의 보전이 가능하며, 돌 틈 사이로 녹화가 가능하여 경관성이 뛰어나고, 자연하천이 가진 구조적인 다양성을 고려한 친환경적인 공법이다. Fig. 2(a)와 같은 단면형태를 가지며, 실제 현장에 시공된 모 습은 Fig. 2(b)와 같다.



Fig. 2. Flexible stone method (a) cross section and component, (b) installation of field

위 두 공법의 차이는 상부와 하부체결 유무에 따른 것 으로 스톤 매트리스 공법은 상하부체결을 통한 견고함을 강화한 것이 특징이며, 플렉스톤은 하부망과의 체결을 통해 상부면에서 경관성을 확보하고 하천내 부유물의 집 적을 완화시키고자 하는 것이 주요 특징이다.

3. 수리안정성 실험

3.1 실험의 준비

사석호안 공법의 수리안정성 실험은 경북 안동에 위치 한 하천실험센터 내 고속경사수로에서 실험을 진행하였 다(Fig. 3). 고속경사수로는 직사각형 단면으로 이루어져

있으며 수로의 길이는 30 m, 수로폭 3 m, 수로높이 1 m로 이루어져 있다(Fig. 4). 수로의 경사는 13/100(12.77 %, 7.3°)의 경사로 이루어져 있으며 최대 8 m²/s 의 유량 공급이 가능하며, 바닥 전단응력은 600 N/m² 이상 재현 이 가능하다. 수로의 측벽 10 m 구간은 강화유리로 설치 되어 있어 실험 중 시험체 또는 주변에서 발생하는 흐름 현상을 관측할 수 있다.





Fig. 3. River experiment Fig. 4. High speed steep center (REC, Andong)

channel

본 연구에서 사석을 이용하는 2가지 호안공법에 대한 제작 및 설치과정은 Figs. 5~6과 같다. 제방 사면에 설 치하는 호안 제품을 수로 하상에 설치하여 실험하는 이 유는 사면 설치시 제품에 작용하는 작용력이 위치별로 다른 수리 조건에 의해 상이하여 제품의 성능을 정확히 분석할 수 없기 때문으로 수리 조건이 일정하게 유지되 는 하상에 제품을 설치하였다.



(c)



(b)



- Fig. 5. Experimental model production process using stone mattress method (a) installation of bottom and upper mesh,
 - (b) combine mesh, (c) installation (d) completed



Fig. 6. Experimental model production process using flexible stone method

(a) natural stone punching, (b) built up geogrid and anchor fixed, (c) installation, (d) completed

3.2 실험방법 및 조건

(1) 실험방법

국내에는 아직까지 호안블록이나 돌망태류 등의 물에 대한 침식저항을 평가하는 방법이 정립되어 있지 않다. 따라서 실험 제품과 유사한 미국의 ACB(Articulating Concrete Block, 연결형 콘크리트 블록) 제품류의 시험 법인 ASTM D 7277[11]의 방법을 준용하여 실험을 수 행하였다.

- 호안공법의 수리 안정성 검토 방법은 다음과 같다.
- 지상에서 제작된 사석호안 시험체를 길이 10 m, 폭 2 m의 실험용 공간에 설치함
- ② 설치후 3차원 지상 LiDAR(Light detection And Ranging)를 이용하여 실험전 제품의 현상태를 확 인하기 위한 스캔 측량을 실시함.
- ③ 5분간 0.2 ㎡/s 유량으로 예비방류를 진행하고 곧 이어 실험방류를 4시간 진행함
- ④ 방류되는 동안 제품의 파손에 의한 흐름변화 여부
 를 관찰하고 주요 측선에서 유속과 수심을 측정함
- ⑤ 방류가 끝난 이후 눈에 보이는 파손 여부를 확인하고, 실험후 LiDAR 스캔 측량을 실시
- ⑥ 실험 도중 사소한 변형이 발생하더라도 치명적인 파손이 발생하지 않을 경우 방류량을 증가시키며 ③~⑤의 과정을 반복
- ⑦ 실험을 모두 마친후 공급유량, 유속, 수심 등을 이 용하여 평균유속 및 소류력을 계산하고, LiDAR 측

량 결과를 이용해 제품의 이동, 손상 등을 관찰하 여 제품의 한계 소류력을 도출함

ASTM D 7277은 제품 아래에 토양으로 조성한 실험 체 아래에 노반과 지오텍스타일을 설치하여 토양의 손실 과 이에 따른 제품의 변위, 전복 등을 관찰하지만, 본 연 구의 경우 제품의 높이로 인하여 수로에 노반을 조성하 기 어려워 부직포 상단에 지오그리드가 적용된 시험체만 을 설치하여 제품의 성능을 평가하였다.

(2) 실험조건

본 연구를 위한 사석기반 호안공법에 대한 실험조건은 Table 1과 같다. 각각의 조건에 따라 3가지 유량조건을 선정하였다. 흐름안정화를 위해 5분간 시험체를 통과시 키며 이후 ASTM D 7277 방법을 준용하여 4시간 동안 목표유량을 지속적으로 유하시키며 흐름특성인자 계측 및 유황 등을 관측하였다.

Table 1. Experimental conditions

conditions	stone mattress method		flexible stone method			
	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
stabilization time(min)	5	5	5	5	5	5
stabilization discharge(m³/s)	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
discharge(m³/s)	1.35	2.68	4.34	1.46	3.38	4.25
Duration time(min)	240	240	240	240	240	240

(3) 수리학적 주요이론

본 실험은 수심이 얕은 고유속 상태에서 수행되므로 측정 시의 작은 오차에 의해 에너지 경사 및 소류력 계산 에서 큰 오차를 발생시킬 수 있다. 따라서 유속 및 수위 측정 시 오차발생 요인을 최대한 감소시켜야 한다. 호안 의 수리 안정성 한계 조건을 결정하는 기본적인 수리량 은 유량 (Q), 평균유속(V), 수심(y), 에너지경사(S_f), 조 도계수(n), 소류력(τ) 등이 있다.

① 수심의 보정

수심은 수위와 표면고의 차이로 수로 경사 θ로 보정 한다.

$$y_i = (h_i - z_i)\cos\theta \tag{1}$$

여기서, y_i는 i 지점의 수심, h_i는 i 지점의 수위, z_i는 i 지점의 하상고, θ는 수로의 경사



Fig. 7. Definition sketch(ASTM D7276-06,2008)

② 에너지경사의 계산

각 측점에서의 에너지경사 S_f는 다음 식(2)로 계산한다.

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

여기서, n은 매닝(Manning)의 조도계수, V_i는 i 지점 의 평균 유속

③ 총수두의 계산

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

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

④ 바닥 소류력의 계산

바닥면의 소류력은 식(4)를 이용하여 계산되어 진다. $\tau_0 = \gamma y S_f$ (4)

여기서 γ는 물의 단위 중량으로 9,810 N/m³이며, 수 심 y는 하상에서 연직 방향의 수심. 식 (4)에서 에너지경 사 S_f를 계산하기 위해서는 2개 이상 측점에서의 자료 와 대표 수심이 필요한데 에너지경사 S_f는 일반적으로 측정 자료의 선형회귀분석을 통해서 결정되며, 대표 수 심은 측정 수심을 평균하여 사용한다.

4. 수리안정성 평가 실험

수리안정성 실험은 앞서 언급된 실험방법을 토대로 3 가지 유량조건을 대상으로 실험을 진행하였다. 각각의 실험은 파괴가 발생할 때 까지 유량을 증가시키며 실험 이 진행하고 수위, 유속 및 유황(사진) 등 수리특성인자 를 계측한다. 각각의 실험 종료후에는 난반사로 인한 계 측오류 발생을 방지하고자 시험체내 고여 있는 물을 완 전배수한 후 3D 스캔을 실시하였다. Fig. 8~Fig. 9는 스 톤매트리스 및 플렉스톤 공법을 대상으로 수행한 실험장 면 및 실험후의 시험체 모습을 보여준다. 수리안정성평 가는 단면평균유속, 시험체의 변형, 소류력을 대상으로 분석을 수행하였다.



Fig. 8. Hydraulic stability test(stone mattress, Q=4.34m³/s) (a) upward view during the experiment, (b) side view during the experiment, (c) upward view after experiment, (d) side view after experiment



Fig. 9. Hydraulic stability test(flexstone, Q=4.25m³/s)
 (a) upward view during the experiment, (b) side view during the experiment, (c) upward view after experiment, (d) side view after experiment

(1) 유속에 의한 안정성 평가

호안공법의 안정성을 평가하는데 있어 유속은 매우 중 요한 수리학적 요소이다. 실험조건에 따른 시험 구간에 서의 유속은 전자파표면유속계를 사용하여 계측하였으며 그 결과는 Table 2와 같다. 일반적인 유속측정은 유수에 계측기를 직접 설치하여 계측하는 접촉식 방법을 사용하 는 것이 원칙이나 본 연구에서는 고유속흐름을 관측하기 때문에 접촉식으로는 한계가 있어 도플러 효과를 이용하 여 측정되는 비접식 측정방법을 선택하였다. 측정구간은 시험체 유입, 중간, 유출구간을 선정하였으며 1지점에 대 하여 5회의 반복측정을 수행하여 계측하였다. 실험결과 실험구간내 단면평균유속으로 환산하면 스톤 매트리스 공법의 경우 1차~3차에 걸친 실험의 결과 최대 6.20 m/s의 유속값으로 산정되었으며, 플렉스톤 공법에서의 최대 유속값은 6.09 m/s로 산정되었다. Fig. 10에서와 같이 2가지 공법에 따른 유량조건별 유속자료에서는 차 이가 없을 정도로 동일한 경향을 보이고 있는 것을 알 수 있다. 스톤 매트리스 공법의 노출된 철망으로 하도흐름 에 영향을 미칠 것으로 판단되었지만 표면유속을 측정한 본 실험의 결과에서는 차이가 없는 것으로 확인되었다. 일반적으로 하천흐름에서 빠른 유속과 낮은 수심하에서 가장 높은 전단응력이 발생하며 수로의 한계상황을 조성 하게 되는데 본 실험의 결과를 비추어 볼 때 수심이 커짐 에 의해 전단응력의 감소에 기인하는 것으로 판단된다.

Table 2. Mean Velocities by Experiments conditions

	stone mattress method		flexible stone			
No.			method			
	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
Discharge(m ³ /s)	1.35	2.68	4.34	1.46	3.38	4.25
Mean Depth(m)	0.12	0.20	0.28	0.16	0.30	0.35
Mean Velocity(m/s)	4.51	5.57	6.20	4.74	5.77	6.09



Fig. 10. Relationship between average velocity and discharge

(2) 변형에 의한 안정성분석

하도의 변형은 전단응력이 하상재료의 초기거동조건 의 한계치를 초과하면서 변형이 발생하고 추가전인 응력 증가는 호안재료의 움직임이 점차 증가할 것이다, 변형 분석은 2가지 방법으로 분석을 수행하였다. 첫 번째는 ASTM에서 제시하는 육안을 통한 방법으로 실험결과 시 험체의 변형 및 파손은 발생하지 않는 것으로 확인되었 다. 두 번째 방법은 수직 변위 분석으로 수직 변위 분석 은 3-D LiDAR 스캐너(오차 1.9 m)를 사용하여 하상측 정 데이터를 기반으로 변형분석을 수행하였다(Fig. 11(a)). LiDAR는 레이저 펄스를 발사하고, 그 빛이 주위 의 대상 물체에서 반사되어 돌아오는 것을 받아 물체까 지의 거리 등을 측정함으로써 주변의 모습을 정밀하게 그려내는 장치이다. 측정된 데이터는 실험 전/후(Figs. 11(b)~11(c))로 구분되며, 이 자료를 통해 실험전후의 수직 변형값을 산정하였다(Fig. 11(d)). 실험의 결과는 단위면적당 수직 변형으로 표현하였으며, 실험자료의 분 석은 호안공 설치후 측정된 3D 스캔데이터를 기반으로 분석하였다. 분석결과 스톤 매트리스 공법의 경우 최대 1.8 ㎜의 수직 변형이 발생하였으며, 플렉스톤 공법의 경 우는 최대 3.4 m 수직변형이 발생하였다(Table 3). 시 공후 하도내 흐름은 사석호안내부 공극에 침투되며 평형 상태를 유지하기 위해 안정화를 위해 사석간 변형이 발 생하게 될 것이다. 이러한 측면에서 위의 변형 수치값은 상당히 양호한 수준이다. 또한 측정에 사용된 LiDAR의 측량 오차를 고려할 때 이러한 변형은 거의 없다는 것을 의미한다 할 수 있다.

스톤매트리스 공법의 경우 1차 실험후 2차, 3차 실험 에서의 변형이 같다는 것은 2차 실험후 변형이 발생하지 않은 것으로 이는 호안재료와 이음재의 결속으로 호안공 이 일체화 되어 안정화 되었다고 판단할 수 있는 항목이 다. 이에 반해 플렉스톤 공법은 단일결속(하부결속)으로 이루어진 공법의 특성으로 미미하지만 수직 변형이 발생 하고 있는 것으로 판단된다.

Table 3. Results of 3-D RiDAR Scan

No	stone mattress method		flexible stone method			
110.	1st	2nd	3rd	1st	2nd	3rd
Volume of Uplift(m ³)	0.012	0.013	0.013	0.009	0.008	0.010
Volume of subsidence (m ³)	0.005	0.005	0.004	0.018	0.023	0.027
Section Average Vertica l Displacement (mm)	1.5	1.8	1.8	2.3	2.6	3.4



Fig. 11. Results of bed elevation by 3-D scanner (a) 3-D scanner(RTC360, LEICA), (b) before experiment (installation), (c) after experiment, (d) variation of bed elevation(stone mattress, Q=1.35m3/s)

(3) 소류력 분석

실험체에 작용하는 바닥 소류력은 측정 자료의 선형회 귀분석을 통해 결정하였으며 실험의 수리 자료 분석 결 과는 Table 4에 나타내었다. 본 연구와 같이 고속흐름이 발생하는 경우 실험체가 위치하는 하상재료의 변화로 인 해 등류흐름은 형성되지 않고 부등류 흐름을 보인다. 따 라서 소류력계산에 필요한 경사는 속도수두가 반영된 에 너지 경사로 계산되어야 한다. 이러한 조건으로 계산한 결과 스톤 매트리스의 소류력은 298.82 N/m² 으로 산정 되었으며, 플렉스톤의 경우 337.65 N/m² 의 소류력 값 을 보이는 것으로 확인되었다.

No	stone mattress method		flexible sto method		
110.					0.1
	lst	2nd	3rd	lst	2nd
Discharge(m³/s)	1.35	2.68	4.34	1.46	3.38
Energy Slope	0.106	0.096	0.086	0.13	0.12

0.20

0.17

0.28

0.22

155.94 225.65 298.82 171.40 259.09

0.16

0.14

0.30

0.23

Table 4. Results of Experime

0.12

0.11

Mean Depth(m)

Hydraulic Radius

(m)

Tractive force

 (N/m^2)

하천공사 설계실무요령(2016)에 제시된 호안의 종류 별 허용소류력을 살펴보면 "매트리스형 돌망태"의 경우 200 ~ 300 N/m²의 허용소류력으로 제시하고 있으며 "스톤 매트리스 제품" 적용시 제시하는 허용소류력은 800 N/m'로 본 실험에서는 허용치에 다다르지 못하는 것으로 나타났다. Fig. 12는 유량조건별 호안공법에 따 른 소류력 결과를 도시한 그림으로 유량이 증가할수록 플렉스톤 공법의 소류력이 높게 형성되는 것을 알 수 있 는데 이는 스톤매트리스 공법 보다 수리적 안정성이 좀 더 높다는 것을 확인할 수 있는 결과로 최대 30 N/m의 추가적인 소류력을 갖고 있는 것으로 확인되었다. 그러 나 실험자체의 어려움과 시설의 한계로 인해 충분한 데 이터가 확보되지 않아 명확한 결과로 제시할 수 없기 때 문에 이를 극복하기 위해서는 추가적인 실험을 통한 다 양한 실험데이터의 확보가 필요하다 할 수 있을 것이다.



Fig. 12. Relationship of tractive force and discharge

5. 결론

본 연구는 사석기반 호안공법을 대상으로 ASTM D 7277의 방법을 준용하여 수리 안정성 실험을 수행하였 다. 단, 제품의 두께 등의 특성으로 인하여 기반 토양층 은 조성하지 않고 사석기반 매트리스만을 고정상 수로에 설치하여 실험을 진행하였으며 결과는 다음과 같다.

- ① 사석기반 2가지 호안 공법에 대한 총 3회의 실험 을 진행하였으며 최대 유속은 스톤 매트리스 공법 의 경우 6.20 m/s, 플렉스톤 공법의 경우 6.09 m/s 조건에서 안정한 것으로 검토되었다.
- ② ASTM 7277의 육안을 통한 검토와 3차원 스캔을 통한 수직변형 검토결과 제품의 손상이나 이탈 등 시험체의 변위는 발생하지 않는 것으로 확인되었다.
- ③ 모든 실험은 부등류 흐름상태로 소류력산정은 에너 지경사를 적용하였으며, 스톤 매트리스 공법의 경 우 298.82 N/m², 플렉스톤의 허용소류력은 337.65 N/m²의 소류력에도 안정한 것으로 나타났다.

stone

3rd

4.25

0.13

0.35

0.26

337.65

 ④ 사석기반의 2가지 호안공법에 대한 수리안정성 실 험결과 최대한계치(이탈 또는 파괴) 검토는 수로의 한계상 어려웠으나 허용소류력 이내에서 호안공 을 계획한다면 현장조건, 경제성, 환경성 등 다양 한 특성을 고려하여 선택하여도 무리가 없을 것으 로 판단된다.

하천공사 설계실무요령(2016)에 의하면 스톤네트 제 품의 설계실무요령에서 제시하는 허용소류력 800 N/㎡ 는 이번 실험 결과를 고려할 때 실제 수리실험으로 재현 하기 어려웠다. 향후 실험시설의 개선이 이루어진다면 추가실험을 통한 해당공법의 한계소류력을 검토할 수 있 을 것으로 기대된다.

References

- Ministry of Land Infrastructure and Transport, "River Construction Design Standard", Ministry of Land Infrastructure and Transport(MOLIT), Korea, pp.135-138, 2016.
- [2] Bae, S. S., Lee, K. W., Heo, C. H., Jee, H. K, "A Study on the Hydraulic Characteristics for River Bank Protection using Gabion Mattress", *J. Korean Society* of Agricultural Engineers, vol.44, no.2, pp.81-98. 2002. http://www.koreascience.or.kr/article/JAKO20021192 1004315.kr
- [3] Kim. D. H., "A Study on Standard and Certification System for the Field of Water Resources (Emphasizing Revetment)", Yeungnam University, korea, pp.122-132, 2012. http://www.riss.kr/link?id=T13169552
- [4] Lee, D. H., and Kim, D. H, "A Real Scale Experimental Study for Evaluation of Permissible Shear Stresses on Vegetation Mats", *Journal of the Korea Academia-Industrial*, Vol. 13, No. 12, pp.6151-6158, 2012.
 DOI : <u>https://doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.12.6151</u>
- [5] 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*, Vol. 14, No. 11, pp.5956-5963, 2013. DOI: <u>https://doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.11.5956</u>
- [6] Lee, D. H, "Development of Test Method for Vegetation Mats", Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology(KICT), korea, pp.57-106, 2013. <u>https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchRepor t.do?cn=TRKO201500000269</u>
- [7] Lee, D. H, "Development of Test Method for Vegetation Mats", Korea Institute of Civil Engineering

and Building Technology(KICT), korea, pp.9-45, 2014. https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchRepor t.do?cn=TRKO201500010957

- [8] Kim, B. K., Seo, D. S., Park. J. S., and Kim, Y. Y. "Evaluation of Hydraulic Stability Using Real Scale Experimental on Porous Concrete Revetment Block", *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, Vol. 20, No. 2, pp.125-134. 2016. DOI: http://dx.doi.org/10.11112/jksmi.2016.20.2.122
- [9] McCulah, 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/vol 44no5_2.html
- [10] 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
- [11] 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

김 성 중(Sung-Jung Kim)

[정회원]



- 2001년 2월 : 상지대학교 토목공 학과 (학사)
- 2003년 2월 : 상지대학교 토목공 학과 (석사)
- 2003년 3월 ~ 현재 : 한국건설기 술연구원 수석연구원

〈관심분야〉 하천공학, 하천방재