

식생매트 허용 소류력 평가를 위한 실규모 실험 연구

이두한^{1*}, 김동희², 김명환¹, 이동섭¹

¹한국건설기술연구원 하천해안연구실, ²한국건설기술연구원 건설품질안전평가연구실

A Real Scale Experimental Study for Evaluation of Permissible Shear Stresses on Vegetation Mats

Du Han Lee^{1*}, Dong-Hee Kim², Myounghwan Kim¹ and Dong Sop Rhee¹

¹River and Coastal Research Division, Korea Institute of Construction Technology

²Construction Quality & Safety Assessment Division, Korea Institute of Construction Technology

요약 친환경 하천사업의 활성화로 식생매트의 사용은 증가하고 있으나 수리적 안정성에 대한 평가는 미흡한 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. 1차원 부정류 모형을 이용하여 최적 조도계수를 결정하고 작용 소류력을 계산하였다. 각 유량의 시험 후에는 매트 표면 및 기반층의 변동 여부를 기록하여 평가하였으며 이에 따라 매트표면의 손상 유형 3가지 및 기반층의 손상 유형 2가지를 제시하였다. 본 연구에서는 식생매트의 표면 변동이 있더라도 하부 기반층의 유실이 발생하지 않는 경우에는 안정한 상태로 제안하였다. 이에 따라 실험체 2종의 허용소류력을 평가하였으며 철망으로 보강된 식생매트가 허용 소류력 측면에서 효과가 있는 것을 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. Roughness and shear stress are evaluated by 1 D non-uniform model. After each tests, changes in mat surfaces and sub-soil are evaluated, and from these evaluation, 3 types of mat surface damages and 2 types of sub-soil damages are presented. In the study, the case in which some damages in mat surface don't cause loss of sub-soil, is presented to be in the stable condition. Applying this stable condition and acting shear stresses, permissible shear stresses of vegetation mats are evaluated, and the results show that the reinforced mat with wire netting has more permissible shear stress.

Key Words : Vegetation mats, permissible shear stress, a real scale experiment, test method

1. 서론

식생매트공법은 식생 종자와 매트를 일체로 구성하여 하안 또는 비탈면의 침식방지와 장기적인 지반 안정성을 확보하는 공법이다[16]. 식생매트는 절토면 및 성토면의

파종(seeding) 공법의 내침식성 강화를 위해서 도입되었으며 매트는 짚 등의 천연재료 또는 합성 섬유 등의 인공 재료 등으로 다양하게 구성된다.

국내에서는 1990년대 후반부터 친환경 하천사업에서 식생 활착에 의한 침식 및 세굴 방지 목적으로 제방 법

본 연구는 한국건설기술연구원의 주요연구사업 2012 자연공생 하천관리 기술개발에 의해 수행되었음.

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

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

Received November 5, 2012

Revised November 27, 2012

Accepted December 6, 2012

면, 저수로 하안, 고수부지 등에 적용되어 왔다. 식생매트는 기존 호안에 비해서 경제적이고 시공이 간편하며 생태적으로도 유리하여 하천공사에서 적용성이 증가하는 추세이다. 국내 제조사에서는 다양한 천연재료와 합성 섬유를 이용하여 다양한 형태와 구조를 가진 식생매트를 생산하고 있다.

저수호안, 제방호안 및 고수부지에 적용되는 하천공사용 자재들은 적용 구간의 설계홍수시의 작용력 즉, 유속 및 소류력에 대한 안정성이 보장되어야 한다. 식생매트의 경우에도 하천공사에 적용하기 위해서는 인장강도, 중량, 두께 등의 기본적인 물성치와 함께 허용 소류력 또는 허용 유속이 제시되어야 한다.

국내의 경우에는 하천공사에서 식생매트의 사용이 증가하고 있지만 기본적인 물성치 외에 치수 안정성과 직접적인 관련이 있는 허용소류력 또는 허용유속이 제시되는 경우가 거의 없다. 국토해양부 부산지방국토관리청에서 제시한 하천공사시설계설무요령[5]에서도 ‘식생매트의 선정은 유속, 소류력의 크기에 따라 적절한 재료를 선정하여 매트의 손상을 사전에 방지하여야 한다’라고 규정하고 있지만 매트 재료의 인장강도, 연신율, 중량, 두께 등에 대한 성능 확인만 제시하고 있으며 허용소류력 또는 허용유속에 대한 성능제시 및 확인에 대한 사항은 없는 상황이다. 또한 이와 관련된 정부차원의 제품표시 규격 및 관련 시험항목도 없는 실정이다.

미국의 경우에는 국내의 식생매트에 해당하는 두루마리형 침식방지 제품(RECP, Rolled Erosion Control Product)에 대한 허용소류력 및 허용유속 평가를 위한 시험기준으로 ASTM D 6040(ASTM)[1]이 제시되어 있다. 실제 미국에서 사용되는 호안용 식생매트는 ASTM 기준에 의한 실규모 실험을 수행하고 그 결과를 해당 제품 제품설명서에 허용소류력과 허용유속으로 제시하고 있다[14].

본 실험은 국내 실정에 맞는 식생매트 시험방법 개발의 일환으로 수행되었으며, 본 연구에서는 실규모 실험에 의한 수리량 및 안정성 평가 방법을 제시하여 향후 객관적 시험방법 개발에 활용하고자 한다.

2. 연구 동향

2.1 미국의 식생매트 시험 방법

국내에서는 식생매트에 대한 체계적인 정의나 분류가 아직 제시되지 않았지만 미국의 경우에는 ASTM 및 침식방지기술협회(ECTC, The Erosion Control Technology Council)에서 식생매트류에 대한 상세한 정의와 분류를 제시하고 있다. ASTM D6040에 의하면 두루마리형 침식

방지 제품(RECP)은 ‘일정 기간 이후 분해되거나 또는 장기간 분해되지 않는 재료로 구성되며 두루마리형태로 제작하거나 제조되어 토양 침식을 감소시키고 식생의 생장, 활착, 보호를 보조하는 제품’으로 정의하고 있다[1].

식생매트의 성능 시험은 크게 실험실 시험과 현장 시험으로 나뉘는데 실험실 시험에서는 광투과성, 함수능, 강수 낙수 침식, 식생 활착도, 전단응력 등에 대한 시험을 수행하며 각 시험에 대해서는 ASTM 기준이 제시되어 있다[3]. 현장 시험에서는 급경사 수로에 식생매트를 실규모로 설치하여 허용 소류력 및 허용 유속을 평가한다. 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

2.2 연구 동향

식생매트의 수리적 안정성에 대한 연구는 국내외에서 다수 수행되었다. McCullah와 Howard[10]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[6]은 5종의 식생매트에 대하여 식생 활착율을 실험하였다. Bhatia 등[4]은 7종의 천연 및 합성 섬유 매트의 식생 생장율과 하도 보호 효과를 실험하였다. Smith 등[18]은 6종의 천연 및 합성 섬유 매트의 식생 생장과 침식방지효과에 대한 실험을 수행하였다.

서영민 등[17]은 실내실험을 통해서 식생매트에 의한 작용 소류력의 저감효과를 평가하였다. 이동섭 등[15]은 2종의 식생매트에 대하여 현장실험 및 실험실 실험을 통해서 안정성을 평가하였다. 한은진 등[8]은 수리실험 및 수치모의를 통해 식생매트 공법의 유실율과 수리적 안정성을 평가하였다. 김현우 등[10]은 실내실험에 의해 식생매트에 사용되는 앵커핀 4종의 인발력을 평가하였다. 장창래 등[9]은 실내실험을 통해서 식생매트의 부식포가 내

침식성에 미치는 영향을 평가하였다. 한국건설기술연구원[11]은 실규모 실험장인 안동하천실험센터에서 식생이 없는 상태에서 2종의 식생매트에 대한 수리특성시험을 수행하였다.

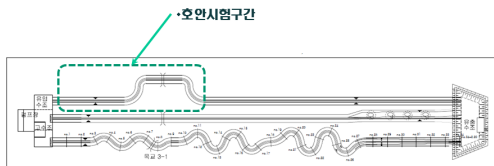
이와 같이 국내외의 다양한 실험연구를 통해서 식생매트의 특성을 분석하고 있지만, 대부분의 연구가 정성적인 분석이 주로 이루어지고 있으며 특정 조건(기후, 토양, 식생 종)에서의 특성만 제시되고 있다[3].

3. 실규모 실험체 설치

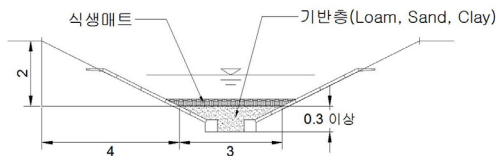
본 연구는 실규모 식생매트 실험체 2종에 대해서 수행하였고 식생이 없는 상태의 수리특성을 검토하였다. 실규모 실험은 경상북도 안동에 위치한 한국건설기술연구원 하천실험센터의 실규모 수로 중 고속수로의 호안시험구간에서 수행하였다(Fig. 1 및 Fig. 2). 실험수로의 총연장은 594 m인데 본 연구에서는 상류 급경사부(1/80) 100m 구간에서 10m 단위로 두 개의 기준틀을 설치하여 시험을 수행하였다(Fig. 3).



[Fig. 1] KICT River Experiment Center



[Fig. 2] Location of experimental section

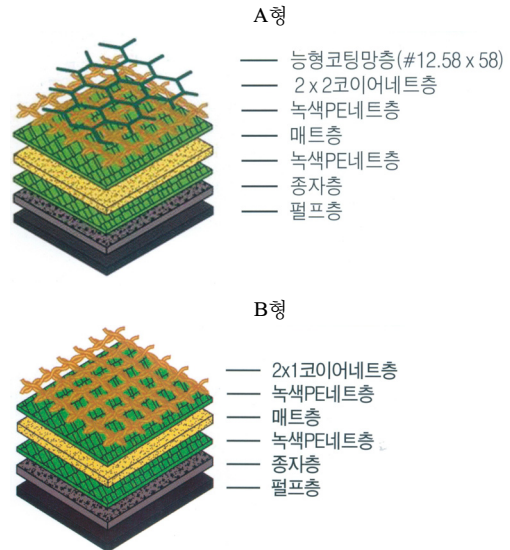


[Fig. 3] Cross section of vegetation mat installation (Unit:m)

식생매트 실험체는 국내 기성제품으로 표면이 코이어네트층(B형)으로 구성된 제품과 코이어네트층 위에 코팅철망이 보강된 제품(A형)의 2종으로 하였으며 상세 사양은 표 1 및 Fig. 4와 같다. 실험체를 실험수로 내에 10m 구간에 각각 설치하였으며 기반층은 모래로 구성하였고 매트 제조사에서 제시된 표준 시공법에 따라 고정핀 등을 설치하였다. 설치 후의 상황은 그림5와 같다.

[Table 1] Specifications of vegetation mats

구분	식생매트A형	식생매트B형
두께(mm)	30	18
단위무게(kg/m ²)	2.2	0.8
고정핀 길이(cm)	50 및 30 혼합	30



[Fig. 4] Diagram of vegetation mats



<식생매트 A형>



<식생매트 B형>

[Fig. 5] Installation of vegetation mats

4. 실험 수행 및 결과 분석

시험 유량은 ASTM 기준에 따라 30분간 유하하였으며 유하시간 동안 하도 중앙부에서 1m 간격으로 수위 및 유속을 측정하였다(Fig. 6). 하상의 변화를 관측하기 위해서 3D LiDAR(Light Detection And Ranging)를 이용하여 시험 전후의 하상을 측량하였다. 시험 유량은 펌프를 통해서 유입수로로 공급되는데 유입수조의 수위변화를 측정하여 공급유량을 산정하였다. 실험 조건 및 측정된 평균 수심은 표 2와 같으며 수심 측정은 각 실험구간 10 m의 중앙부에서 1m 간격으로 수행하였다.



<시험유량 유하>



<측점별 수심 측정>

[Fig. 6] Experimental flow and measurements

[Table 2] Experiment conditions and average depth

실험조건	유량(m ³ /sec)	하상경사	평균수심(m)	
			A형	B형
case1	4.17	1/80	0.33	0.32
case2	5.70	1/80	0.39	0.37
case3	7.56	1/80	0.46	0.47

식생매트 실험은 고유량의 급경사 수로에서 수행되므로 사류가 형성되고 또한 실험 수행시간 동안 하상의 변동이 진행되므로 불가피한 측정상의 불확실도가 발생한다. 이를 고려한 자료 분석을 위해서 ASTM에서는 수위 및 하상고 측정 자료를 선형회귀분석을 통해서 선형화하거나 1차원 부등류 모형을 이용한 분석방법을 제시하고 있다.

본 연구에서는 1차원 부등류 모형인 HEC-RAS를 이용하여 수리 분석을 수행하였다. 하상고는 시험 전의 하상고로 1/80 경사를 이용하였으며 수위는 측정된 수심을 이용하여 산정하였다. 본 실험의 흐름상태가 사류이므로 상류단에서 측정된 수심을 경계조건으로 설정하고 조도계수를 0.001 단위로 조정하여 계산 수위와 측정 수위가 최소가 되는 최적조도계수를 결정하였다. 측정 값 중에서 하상 변동의 영향으로 급격한 수심 변동이 발생한 자료는 분석에서 제외하였다.

단면평균 소류력은 결정된 최적 조도계수 상태에서 HEC-RAS 모형에서 계산된 값을 이용하였다. HEC-RAS 모형에서 단면평균 소류력은 다음과 같이 계산한다.

$$\tau_0 = \gamma R \bar{S}_f \quad (1)$$

여기서 γ 는 물의 단위중량, R 은 동수반경을 나타낸다. \bar{S}_f 는 구간평균 마찰경사를 나타내는데 HEC-RAS 모형에서는 기본 설정으로 다음과 같이 계산한다.

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2 \quad (2)$$

여기서 Q_1 과 Q_2 는 각각 계산 구간 상하류의 유량을 나타내며, K_1 과 K_2 는 계산 구간 상하류의 통수능을 나타낸다.

이상의 분석에 의한 유량별 식생매트 A형 및 B형의 실험결과는 표 3 및 표 4와 같다. 실험수로의 상류에 식생매트 A형이 설치되고 5m 하류에 식생매트 B형이 설치되어 동일 유량에서 다소 다른 수리량을 나타내고 있다. 조도계수는 A형이 0.014 ~ 0.017의 값을 나타내고 B형은

0.013 ~ 0.018의 값을 나타내는데 특히 case2에서 B형은 0.013의 작은 값을 나타내고 있다. 이는 앞서 언급한 흐름상태와 하상변동의 불확실성의 결과로 판단된다.

작용 소류력은 A형 구간에서 20 ~ 44 N/m²의 값을 나타내며 B형 구간에서 20 ~ 50 N/m²의 값을 나타내고 있다. 작용 소류력은 식 (1)에 제시된 것과 같이 동수반경과 마찰경사의 영향을 받으며 마찰경사는 조도계수의 영향을 받는다. 본 실험에서는 case3의 B형 구간에서 최적 조도계수가 0.018로 나타나 동일 유량에서 다소 큰 소류력이 계산되었다.

[Table 3] Experiment results(Type A)

실험조건	case1	case2	case3
실험유량(m ³ /sec)	4.17	5.70	7.56
조도계수	0.014	0.016	0.017
구간평균유속(m/sec)	2.81	3.04	3.25
평균 푸르드 수	1.69	1.67	1.65
구간 최소 소류력(N/m ²)	19.86	32.90	43.53
구간 최대 소류력(N/m ²)	23.58	34.63	44.02
구간 평균 소류력(N/m ²)	21.76	33.73	43.74

[Table 4] Experiment results(Type B)

실험조건	case1	case2	case3
실험유량(m ³ /sec)	4.17	5.70	7.56
조도계수	0.014	0.013	0.018
구간평균유속(m/sec)	2.71	3.26	3.37
평균 푸르드 수	1.61	1.84	1.73
구간 최소 소류력(N/m ²)	19.96	24.63	50.06
구간 최대 소류력(N/m ²)	23.02	27.54	50.43
구간 평균 소류력(N/m ²)	21.58	26.05	50.10

5. 손상 유형 평가

식생매트는 호안블록과는 달리 유연성이 있는 제품이므로 안정과 불안정을 평가하는 기준을 정량적으로 제시하는 것은 쉽지 않다. ASTM D 6460에서는 다음과 같은 상황이 발생하면 해당 소류력에서 불안정한 것으로 평가한다.


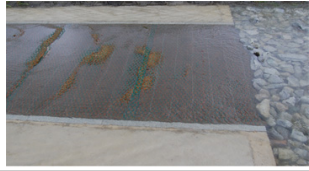
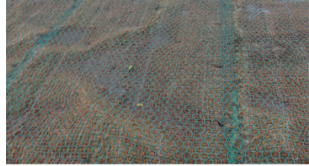
- ① 대규모 파괴 발생
- ② 12.7 mm(0.5인치) 이상의 평균 토양 손실 발생
- ③ 식생매트 세굴로 매트 하부에 지속적인 흐름이 발생

여기서 평균 토양 손실 외의 두 가지 상황은 정성적으로 평가하여야 하는데 특히 3번 항목은 실험 중에 확인이




쉽지 않은 한계가 있다.

본 실험 결과에서 나타난 작용 소류력에 따른 식생매트 표면의 변형은 표 5 및 표 6과 같다. 식생매트 A형은 철망으로 보강된 제품으로 표 5에서 보는 것과 같이 최대 소류력에서도 식생매트의 손상이나 지반층의 유실이 관측되지는 않는다. 다만, 소류력이 증가함에 따라 기반층의 변동 정도가 커져서 매트 표면의 굴곡이 발생하는 것을 확인할 수 있다.

[Table 5] Deformation of the vegetation mats(Type A)

작용 소류력(N/m ²)	실험 후 매트표면
21.76	
33.73	
43.74	

[Table 6] Deformation of the vegetation mats(Type B)

작용 소류력(N/m ²)	실험 후 매트표면
21.58	
26.05	
50.10	

식생매트 B형의 경우에는 최소 작용 소류력에서 매트 표면의 이격이 발생하였으며 소류력이 증가하면서 이격이 발생한 틈새로 기반층의 토사가 유출되어 상대적으로 규모가 큰 세굴이 발생하였다.

[Table 7] Damage types of the vegetation mats

손상 유형	손상 현황
① 매트표면 변형 - 표면재료의 손상은 없으나 기반층의 변형에 따른 변형 발생	
② 매트 벌어짐 - 기반층의 유실은 없으나 매트 표면 재료의 이격 발생	
③ 매트 벌어짐과 기반층 유실 - 매트 연결부의 이격이 발생하고 이사이로 기반층 토양이 유실	
④ 기반층 소규모 변형 - 기반층의 대규모 세굴은 없으나 기반층 재료의 국부적 이동으로 변형 발생	
⑤ 기반층 세굴 - 식생매트 표면으로의 토양 유실로 기반층의 대규모 세굴 발생	

이상의 실험결과에서 나타난 식생매트 손상의 유형은 표 7과 같이 5가지로 정리할 수 있다. 매트표면에서의 손상은 명시적인 토양 유실이 관측되지 않는 변형, 매트 재료의 손상, 매트 재료의 손상과 이에 따른 기반층 유실의 3가지 종류로 나눌 수 있으며, 기반층의 손상은 매트 표면으로의 토양 유실이 명확하게 나타나는 기반층 세굴과 토양 유실이 명확하지는 않지만 기반층의 변형이 발생하는 소규모 변형으로 구분할 수 있다.

ASTM 기준에서 제시된 불안정성 기준으로는 기반층

의 세굴 발생이 대규모 파괴 발생과 식생매트 세굴로 매트 하부에 지속적인 흐름이 발생하는 상황으로 볼 수 있다. 나머지 손상 유형에 대해서는 정량적 평가를 통해서 불안정성을 판단할 필요가 있다. 본 실험에 의한 하상의 변화를 정량적으로 분석하지는 않았지만 손상이 가장 작은 식생매트 A형의 case1의 경우에도 평균 하상의 변화가 12.7mm 이상임은 사진상으로도 추정할 수 있으므로 이 기준을 적용하여 불안정성을 평가하는 것은 다소 무리가 있다고 판단된다.

매트 표면의 변화가 기반층의 안정성에 큰 영향을 주지 않는 상태를 안정한 상태의 기준으로 둔다면 표 8의 손상 유형 중 ①과 ④은 안정한 상태로 볼 수 있으며 나머지는 불안정으로 볼 수 있다. 이를 기준으로 식생매트 A형과 B형의 허용 소류력을 평가하면, 식생매트 A형은 43 N/m² 이상, 식생매트 B형은 21 N/m² 이하로 평가할 수 있다. 즉, A형의 철망이 허용 유속에서 일정 정도 효과가 있는 것으로 평가할 수 있다.

6. 요약 및 결론

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. 고유속의 흐름이 형성되는 시험의 특성 상 수심 측정의 불확실도가 있으나 1차원 부정류 모형을 이용하여 최적 조도계수를 결정하고 작용 소류력을 계산하였다. 각 유량의 시험 후에는 매트 표면 및 기반층의 변동 여부를 기록하여 평가하였으며 이에 따라 매트표면의 손상 유형 3가지 및 기반층의 손상 유형 2가지를 제시하였다. 안정성 평가 기준은 향후 지속적인 실험이 필요할 것으로 판단되지만 본 연구에서는 식생매트의 표면 변동이 있더라도 하부 기반층의 유실이 발생하지 않는 경우에는 안정한 상태로 제안하였다. 이에 따라 시험체 2종의 소류력을 평가하였으며 철망으로 보강된 식생매트가 허용 소류력 측면에서 효과가 있는 것을 확인할 수 있었다.

하천사업에서는 기본설계 및 실시설계 단계에서 구간별 작용 유속과 작용 소류력이 결정되며 이를 견딜 수 있는 적절한 재료를 시공하여 세굴 및 침식을 대비한다. 본 연구에서 제시된 시험방법을 통해 국내에서 다양하게 활용되는 식생매트류의 허용 소류력을 평가할 수 있으며, 이를 통해서 하천사업의 치수안정성을 향상시킬 것으로 기대된다.

실규모 실험 연구의 한계로 다양한 실험이 이루어지지

는 못했지만 지속적인 자료 축적을 통해서 객관적인 시험 기법개발이 가능할 것으로 판단된다. 또한 실제 홍수 상황을 고려한 유량 지속시간 영향, 연속적인 유량 유하, 홍수와 실험 등의 후속 연구를 통해 식생매트 파괴 유형 및 대책을 보다 세분화하는 것이 필요할 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] ASTM, "ASTM D7207-05 Standard Test Method for Determination of Unvegeted Rolled Erosion Control Product Ability to Protect Sand from Hydraulically-Induced Shear Stresses Under Bench-Scale Conditions"
- [3] 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.
- [4] Bhatia, S.K., Smith, J.L., Lake, D., and Walowsky, D. "A technical and economic evaluation of geosynthetic rolled erosion control products in highway drainage channels," *Geosynthetics International*, 9 (2), 125-148, 2002.
- [5] Busan regional constrction management administration, Design guideline for river works, 2009.
- [6] 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.
- [7] Erosion Control Technology Council, " A Technical Guidance Manual: Terminology, Index, & Performance Testing Procedures for Rolled Erosion Control Products", <http://www.ectc.org/TermandIndex.asp>, (20012. 10.)
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] Korea Institute of Construction Technology, Development of river management techniques for harmonizing nature with the human, 2011.
- [12] Lee, Du Han, "Foreign test methods for hydraulic characteristics of revetment blocks" *Water for future, Korea water resources association, Vol. 44. No. 4*, pp. 70-76, 2009.
- [13] 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.
- [14] Moritime Hydrosed, GreenArmor 7020 Extend the Boundaries of Natural Vegetation, 2008.
- [15] 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.
- [16] Schiechtl, H.M. and Stern, R. "Water Bioengineering Techniques for Watercourse Bank and Shoreline Protection", Blackwell Science, 1994.
- [17] 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.
- [18] 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.

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 동 희(Dong-Hee Kim)

[정회원]



- 1999년 2월 : 영남대학교 공학대학 토목공학과 (공학사)
- 2001년 2월 : 영남대학교 공학대학원 토목공학과 (공학석사)
- 2001년 12월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 건설품질안전평가실 수석연구원

<관심분야>
수리학, 건설관리, 경영시스템

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