

고수호안 식생매트공법의 수리적 안정성에 관한 연구

한 은 진* / 황 수 덕** / 김 영 도**** / 박 재 현**** / 김 철*****

A Study on Hydraulic Stability of Vegetation Mat Method on High Water Revetment

Eun Jin Han* / Soo Deok Hwang** / Young Do Kim*** /

Jae Hyun Park**** / Chul Kim*****

요약 : 본 연구의 목적은 고수호안 식생매트공법의 수리적 안정성을 검토하는 것이다. 최근 들어 치수 기능만을 위한 공학적 효율 위주의 하천관리 정책에서 벗어나 하천의 환경적 기능의 개선을 위한 생태하천으로의 복원사업이 이루어지고 있다. 치수 안정성 확보를 위해 기 설치된 콘크리트 호안을 철거하는 대신 복토 후 식생매트를 덮어주는 공법인 식생매트 공법은 다양한 복토공법 중 하나이다. 그러나 이와 같은 복토공법의 적절한 수리학적 기준이 제시되지 않아 홍수기 때 유실로 인한 경제적 손실이 자주 발생하고 있다. 본 연구에서는 고수호안의 복토공법에 대한 수리실험을 통해 수리학적 조건에 따른 토양의 유실율을 평가하고, 식생매트 설치여부에 따른 토양유실율의 비교를 통해 수리적 안정성을 평가하였다. 또한 복토공법의 수리학적 안정성을 확보하기 위한 고수호안 주변의 유속 구조에 대하여 실험과 수치해석을 통해 분석하였다.

핵심용어 : 고수호안, 식생매트, 수리적 안정성, 토양 유실

Abstract : The purpose of this study is to examine the hydraulic stability of the vegetation mat method on high water revetment. Recently, the river is managed not only for the flood control also for the environmental friendliness. For improving the environmental function of the river, the ecological river restoration projects are being performed. To ensure the stability of flood control, instead of removal of concrete revetment, the vegetation mat method has been widely used on the recovery soil. However, the recovery soil method often failed to be stable against the flood, which has caused the economic loss. In this study, the rate of soil loss is evaluated by the hydraulic experiments. Also, the velocity distribution on high water revetment is analyzed by both the hydraulic and numerical experiments.

Keywords : high water revetment, vegetation mat, hydraulic stability, soil loss

1. 서 론

홍수로부터 제방을 보호하기 위하여 일반적으로 제방 사면에 호안을 설치한다. 설계 홍수량의 크기가 작거나, 상대적으로 규모가 작은 하천에는 호안이 설치되어 있지 않는 경우도 있지만, 국내

에서는 하천기본계획의 수립시 호안을 설치하는 것이 일반적이다. 국내하천의 제방은 1970년대부터 치수성, 경제성, 재료확보의 용이성 등의 이유로 돌붙임, 타원형 돌망태와 모르타르 블록 등이 주로 이용되었다. 이러한 호안들은 2000년대에 들어서 하천관리에 있어 친환경성이 요구되면서

+ Corresponding author : ydkim@inje.ac.kr
* 비회원 · 인제대학교·환경공학부·석사과정
** 비회원 · 인제대학교·환경공학부·석사과정
*** 정회원 · 인제대학교·환경공학부·조교수
**** 정회원 · 인제대학교·토목공학과·부교수
***** 정회원 · 호남대학교·토목환경공학과·교수

경제적이면서 수리적 안전성의 확보가 가능한 다양한 식생호안이 개발되었다(부산지방국토관리청, 2008). 그러나 돌망태나 콘크리트 블록 등에 비하여 평떼, 식생매트 등의 공법은 시공실적이 적어 정비과정에서 호안공법의 적용에 치우쳐 부적합한 공법 도입 사례가 발생하였다(최운주, 2001). 이와 관련한 국내외 연구로서 호안용 돌망태의 수리학적 특성을 규명한바 있으며(지흥기, 2001), 홍수조절수로에서 거석에 대한 안전성 실험을 통해 수리학적 흐름조건에 따른 유속, 소류력, 변형 등에 대한 안정성을 검토한바 있다(Fiuzat, 1982). 식생호안의 관한 연구도 하도특성과 식생 상관관계 분석, 자연하천을 중심으로 하천식생에 관한 연구(이율경, 1999) 등이 이루어져 왔으나 호안의 복토와 식생매트 설치 공법에 관한 세부적인 연구는 상대적으로 진행된 바가 적다. 본 연구에서는 수리실험과 수치해석 기법을 통해 고수호안의 식생매트공법에 대한 수리학적 특성에 관한 분석과 이에 따른 상대적 토양유실율을 평가하고자 하였다.

2. 이론적 배경

호안의 설계 기준상 호안공법 적용에 대한 객관적이고 구체적인 선정기준이 없어 주관적인 판단에 의해 공법이 결정되고 있으며, 주로 소류력 검토를 통해 공법을 결정하고 있으나 수충부, 비수충부 등 수리학적 특성이 다른 구간별 적용방법 등에 대한 구체적인 설계기법의 개발이 미흡하다(부산지방국토관리청, 2008). 호안의 수명은 수년에서 길게는 30년 정도이나 제방설계 대상인 계획홍수량(100년~200년 빈도)을 동일하게 적용하고 있으며, 저수호안과 고수호안에 적용하는 대상홍수빈도도 수리특성을 고려하면 달라져야 하는데 이와 같은 구체적인 설계기준과 근거자료가 부족할 실정이다. 또한 대하천과 소하천에 같은 유속과 소류력이 발생할 경우 동일하게 호안공법을 적용하고 있어 일부 소하천에서는 호안의 규모가 너무 크게 적용되고 있다. 또한 홍수지속시간, 호

안을 구성하고 있는 토양의 상태 등에 따라 호안 설계시 구분하여 적용할 수 있는 안전율 설정이 필요하다(부산지방국토관리청, 2008). 하천의 수리특성으로 볼 때 유수와 접촉이 많은 호안 하단부는 경질성호안, 상단부는 연질성호안(식생 등)으로 구분한 복합호안공법 적용이 가능하지만, 선정기준과 설계기법에 대한 연구가 없어 적용을 못하고 있는 실정이다. 국내에서는 1990년대 후반 하천환경의 중요성이 대두되면서 이와 같은 식생호안에 관한 최근에 연구 결과들이 발표되고 있으나 아직은 설계에 활용되기에는 매우 미흡한 실정이다. 하도내 식생에 의한 흐름특성에 관한 국외 연구로는 Fukuoka(1992)가 하도내에 여러 가지 배열로 존재하는 밀집한 수목군으로 인한 저항증가, 수목군에 의해 형성되는 복단면 형상으로 인한 저항을 고려하여 운동량 방정식을 제안하였으며 이로부터 홍수류의 유속분포와 수위 종단형을 예측할 수 있음을 발표하였다. 또한 Fukuoka(2001)는 반복단면 수로에서 홍수터에 식재 밀도 변화에 따라 저수로변에 미치는 수리특성을 분석하였으며, Jarvel(2002)은 잔디와 버드나무 가지 등 실제 자연식재를 이용하여 식생에 흐름저항 특성을 실험을 통해 규명한 바 있다. 또한 Carollo(2005)는 실제 잔디를 이용하여 침수조건에서 식생밀도에 따라 흐름저항과 유속의 함수관계를 분석하였다. 국내에서는 2000년대 이후 이삼희 등(2000)이 수리모형실험을 통하여 식생밀도 및 식생배치 형태에 따른 유사되적을 분석하였으며, 조홍제 등(2002)은 실제 하천을 대상으로 수리모형을 제작하고 식재시 수리특성변화를 검토하였으며, 윤태훈 등(2002)과 송재우 등(2004)은 침수조건에서 개수로의 흐름변화 및 유속분포 특성을 분석하였다. 또한 여홍구 등(2004)은 강성과 연성 식생에 의한 흐름저항 및 흐름특성을 실험적으로 연구하였으며, 이동섭 등(2005)은 선별된 식생에 대한 식생조도계수를 산정하였다. 그러나 고수호안의 식생매트공법에 따른 수리특성 및 토양유실의 양상을 체계적으로 분석한 연구는 매우 미흡한 실정이다.

3. 실험 방법

3.1 식생매트

식생 매트는 E사에 사용하고 있는 식생 매트를 총 6주간에 걸쳐 양육한 후, 실험용 수조의 사면에 설치하였으며 식생 종은 양잔디의 일종인 페레니얼 터프이다. 그림 1은 양육기간에 따른 식생의 성장과정과 실험수조 사면에 설치된 현황을 나타낸 것이다. 그림 2는 본 연구에서 사용된 식생매트가 실제 기존 콘크리트 호안에 복토공법과 함께 설치된 사례를 나타낸 것이다.

3.2 실험수로

본 연구에서 사용된 실험 장치는 크게 저수조

와 고수조, 그리고 실험수로로 구성되어 있다. 복토공법 모형이 설치된 실험수로에 공급되는 유량은 고수조로부터 유입되며, 유입유량은 전자식 유량계를 설치하여 크기를 측정하였다. 또한 실험수로에 공급된 유량이 안정한 흐름을 유지하도록 에너지를 감소시키는 정류부와 안정화구간을 설치하였다. 수위와 유속 등이 안정된 유량을 이용하여 복토공법의 토양유실에 대한 측정구간에서 실험을 수행하며, 측정구간을 통과한 유량은 하류부를 지나 저수조로 흘러들어가게 된다. 그림 3은 실험수로의 개념도를 나타내고 있으며, 실험수로의 체원은 총 길이가 14 m(정류부 3 m, 안정화 구간 3 m, 세굴측정구간 6 m, 하류부 2 m)로서 폭은 1.2 m이고, 높이는 0.6 m이다. 하류부에는 수위 조절을 위한 수문이 설치되어 있다. 그림 4는 조

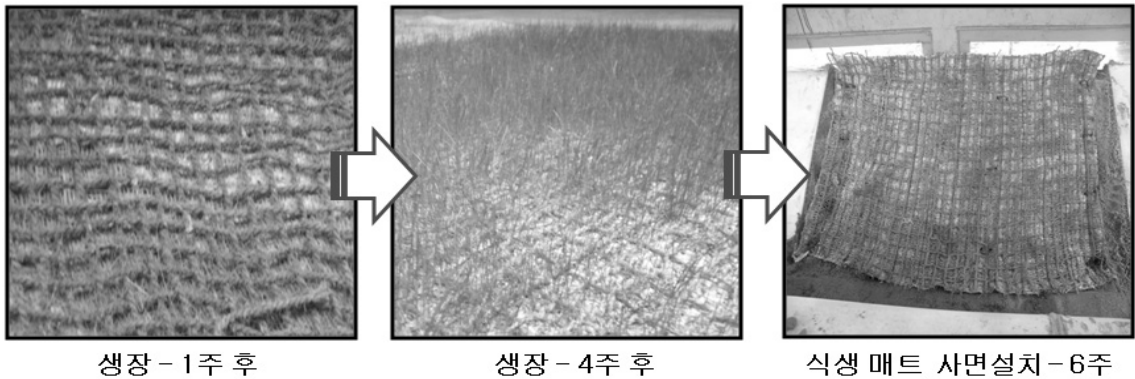


그림 1. 식생매트

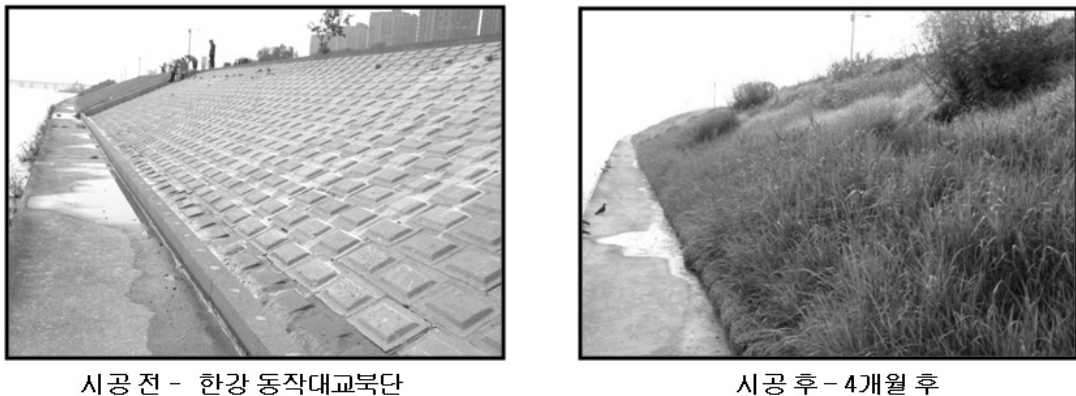


그림 2. 현장 시공된 식생매트 사례

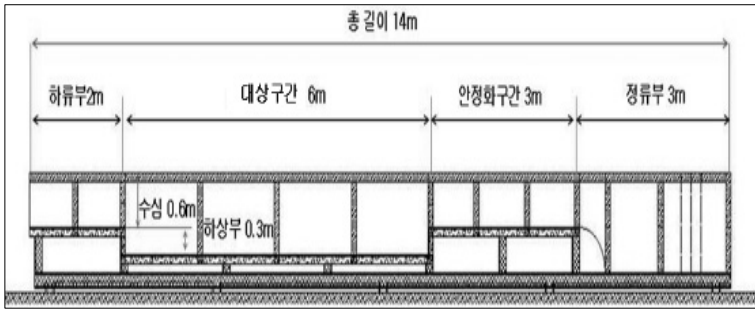


그림 3. 수로 개념도

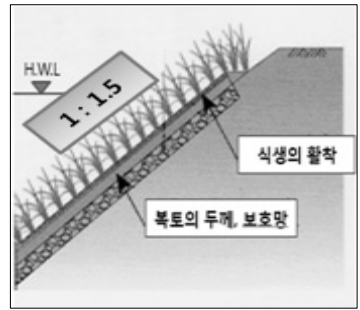


그림 4. 고수호안 개념도

절을 위한 수문이 설치되어 있다. 그림 4는 본 연구에서 실험연구를 통해 구현하고자 한 고수호안 복토공법의 모식도를 나타낸 것이다.

3.3 실험조건

본 연구에서는 표 1에서와 같이 동일한 호안 경사에서 유량과 수심의 변화를 통한 다양한 유속 조건을 구현하고, 식생매트의 설치유무에 따른 세굴 정도를 살펴보기 위한 실험을 수행하였다. 동일한 수리적 조건에서 식생매트가 설치되지 않은 복토 호안의 세굴에 대한 방어능력을 검토하고, 이를 보강하기 위해 설치한 식생매트에 따른 상대적 토양유실율의 차이를 측정하였다. 그림 5는 측정 단면에서의 유속과 세굴심 측정 지점에 대한 모식도를 나타낸 것으로 복토된 토양의 유실은 일정

시간 통수 후 사면측정기(KENEK WHT-60)를 활용하여 2 cm 간격으로 통수전·후의 세굴심을 측정하였다. 또한 고수호안 주변의 유속분포에 관한 측정은 통수 시 그림 5에 나타난 지점에서 NORTEK사에서 제조한 3차원 VECTRINO MICRO ADV(N-7781)를 이용하여 측정하였다.

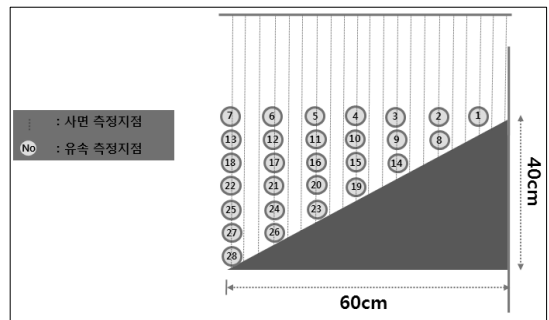


그림 5. 유속 및 사면 측정에 관한 모식도

표 1. 실험조건

실험조건	유량 (m³/s)	수심(m)	단면평균유속 (m/s)	호안경사	식생유무
CASE1	0.144	0.40	0.6	1 : 1.5	無
CASE2	0.192	0.40	0.8	1 : 1.5	無
CASE3	0.090	0.20	1.0	1 : 1.5	無
CASE4	0.120	0.25	1.0	1 : 1.5	無
CASE5	0.144	0.40	0.6	1 : 1.5	有
CASE6	0.192	0.40	0.8	1 : 1.5	有
CASE7	0.090	0.20	1.0	1 : 1.5	有
CASE8	0.120	0.25	1.0	1 : 1.5	有

4. 수치해석 방법

4.1 FLOW-3D 개요

본 연구에서 고수호안 주변에 3차원적인 흐름에 관한 수치해석을 위해 사용된 모형은 FLOW-3D로서 본 모형은 자유수면 흐름에 대한 다수의 모의기능이 포함되어 현재의 상용 프로그램으로 널리 사용되고 있다. 다양한 연구결과에 의해 수치모의 결과에 대한 신뢰성 및 적정성이 검증되었으며, 해석방법은 기본적으로 비정상 유동 상태이며, 연속방정식, 3차원 운동량 보존(Navier-Stokes) 방정식 및 에너지 방정식으로서 유체 및 열유동 해석을 할 수 있다. FLOW-3D에서 사용가능한 난류모형으로는 혼합길이 모형, 난류 에너지 모형, $k-\epsilon$ 모형, RNG(Renormalized Group Theory) $k-\epsilon$ 모형, LES 모형 등 5개 모형이 있으며, 직각형상 격자계 사용 시 일반 형상 기술을 보다 정확히 하기 위해 FAVOR(Fractional Area/Volume Ratio)기법을 각 방정식에 적용한다. 표 2는 모형 선정을 위해 다양한 3차원 유체해석 프로그램의 장단점을 비교·분석한 것이다.

표 2. 각 모형의 비교

모델명	개발국	수치 기법	자유수면 모 델 링	구조물 표 현	난류모델	적용성	선정
FLOW-3D	미국	FDM	VOF	FAVOR	MLM, Standard $k-\epsilon$ model, RNG $k-\epsilon$ model, LES	댐, 여수로, 하천	●
FLUENT	미국	FVM	VOF	유한체적	Standard $k-\epsilon$ model, RNG $k-\epsilon$ model, RSM		○
FIDAP	미국	FEM	VOF	유한요소	Standard $k-\epsilon$ model, RNG $k-\epsilon$ model, RSM	기계-구조물의 특성 파악을 위한 열-유체 유동	△
STAR-CD	미국	FVM	VOF	유한체적	Standard $k-\epsilon$ model, Low Reynolds number $k-\epsilon$ model, RSM, ARSM		△

4.2 모의 격자 및 경계 조건

그림 6은 본 연구에서 사용된 모의 격자를 나타낸 것으로서 수치해석시 경계 조건은 상류에는 실험 시와 동일한 유량 경계조건을 적용하였으며, 하류에는 실험 수심에 해당하는 수위 값을 경계 조건으로 사용하였다. 또한 식생매트가 설치되는 고수호안 구간에는 식생매트 여부에 따라 다른 조도계수를 갖는 조건으로 지형을 구성하였으며, 식생매트가 없는 경우의 조도계수는 0.03을 적용하고, 식생매트가 설치된 경우에는 설치 구간의 조도계수는 0.05을 적용하였다(chow, 1959).

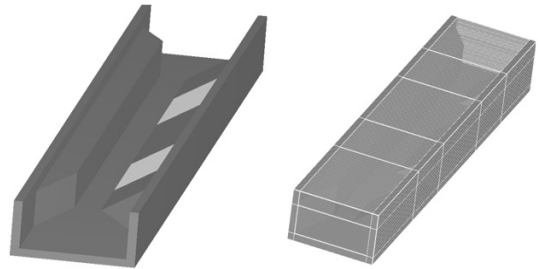


그림 6. 모의격자의 구조물과 계산 격자

5. 결과 분석

그림 8은 식생매트 설치 유무에 따른 실험 전·후의 세굴양상을 나타낸 것이다. 실험에 사용된 토양은 실제 하천의 고수호안에 존재하는 토양의 함수비보다는 낮은 사토를 사용하였다. 이는 실제 하천의 고수호안의 토양을 채집하여 실험을 수행한 결과, 높은 함수비로 인하여 실험 유속에 비하여 점착력이 크기 때문에 상대적으로 적은 유실이 발생하게 되며, 식생매트 유무에 따른 상대적인 토양유실율의 차이를 측정하기 어렵기 때문이다. 식생매트 설치시 앵커 모형은 실제 시공시 사용되는 앵커와 유사한 형태로 제작하였으며, 식생매트를 호안모형의 사면에서 직접 양육하여 뿌리를 활착시키기에는 상당한 시간이 소요되는 관계로 본 연구에서는 다양한 수리학적 조건의 실험을 위해 사면에 식생매트를 별도로 양육하여 아크릴 호안과 복토 호안이 접하는 지점에 적절히 앵커모형을 설치하여 식생매트가 들리는 형태의 세굴이 발생하지 않도록 하였다. 그림 8에서 그림 23은 동일한 수리학적 조건에서의 실험 및 수치해석 결과를 나타낸 것이다. 그림 8에서 그림 15는 식생매트가 설치되지 않은 경우를 나타낸 결과이며, 그림 16에서 그림 23는 식생매트가 설치되었을 때의 결과를 나타낸 것이다. 식생매트가 설치되지 않은 경우에는 수치해석에서는 이동상을 고려하지 못하므로, 단면 형태의 변화로 인하여 최대 유속 발생 지점이나 유속 분포가 다르

게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 반면에 식생매트가 설치되어서 세굴이 적게 발생한 경우에는 수치해석의 결과가 실험에서 측정된 유속분포와 유사하게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 실제 수리적 안정성을 확보하는 호안을 설계하기 위해서 대규모 실험을 통한 호안 사면에서의 유속측정과 이를 이용한 소류력 계산을 하는 것은 매우 어렵다. 따라서 이와 같은 설계시 흐름에 대한 3차원 수치해석이 대안이 될 수 있는 데, 본 연구결과에서 알 수 있듯이 세굴 초기의 유속분포를 통해 호안 사면에서의 소류력을 계산하는 것은 가능하나 일정 규모 이상의 침식이 발생하여 추가적인 세굴에 대한 소류력 계산은 어려우므로, 2차적인 추가 세굴에 대한 발생 가능성을 검토해야만 한다는 것을 확인할 수 있다.

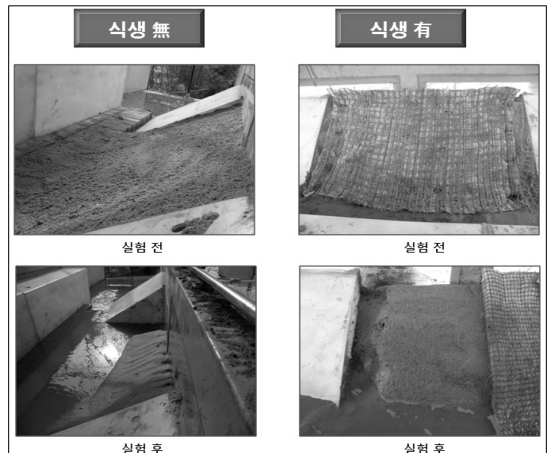


그림 7. 식생매트 설치 유무에 따른 실험 전·후의 모습

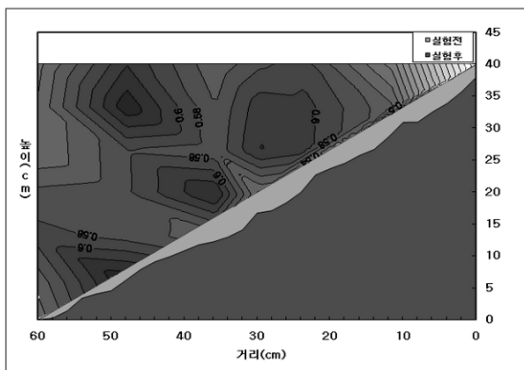


그림 8. CASE1에 대한 실험 결과

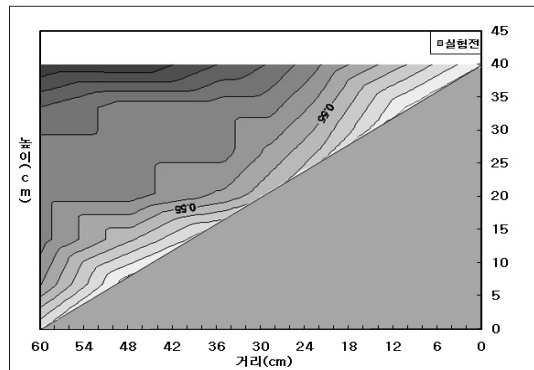


그림 9. CASE1에 대한 수치해석 결과

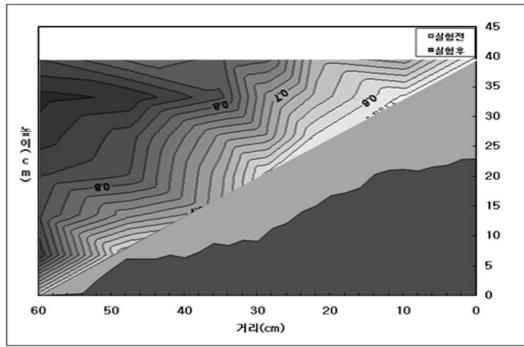


그림 10. CASE2에 대한 실험 결과

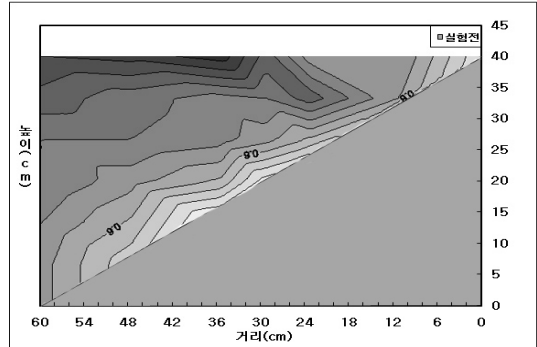


그림 11. CASE2에 대한 수치해석결과

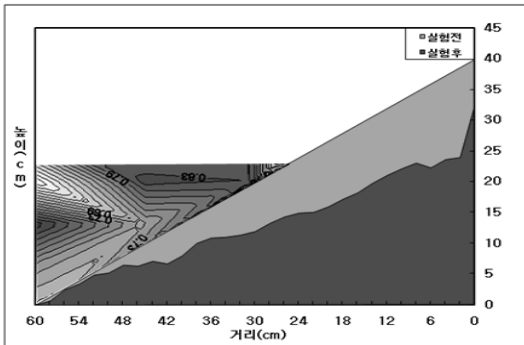


그림 12. CASE3에 대한 실험 결과

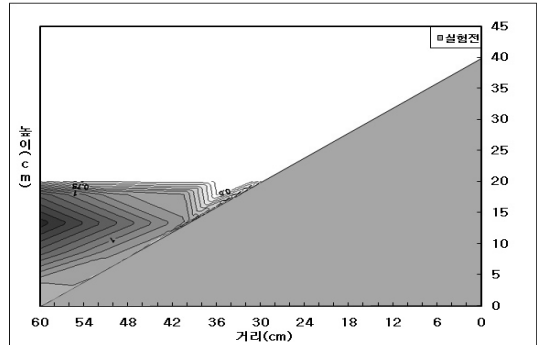


그림 13. CASE3에 대한 수치해석결과

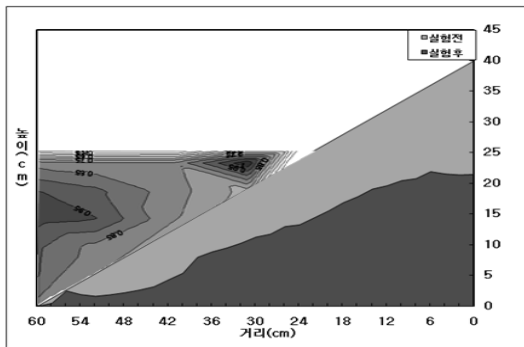


그림 14. CASE4에 대한 실험 결과

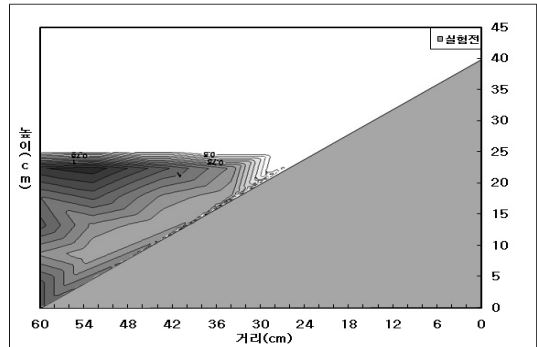


그림 15. CASE4에 대한 수치해석결과

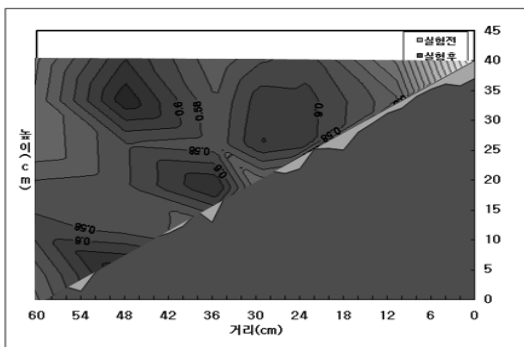


그림 16. CASE5에 대한 실험 결과

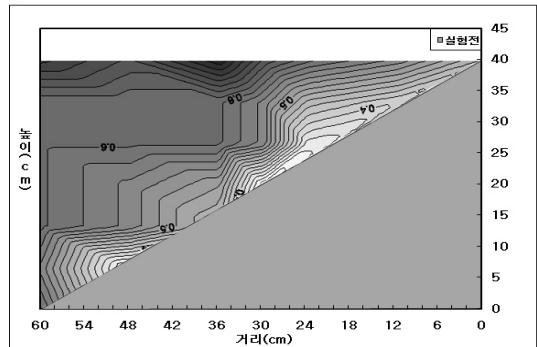


그림 17. CASE5에 대한 수치해석결과

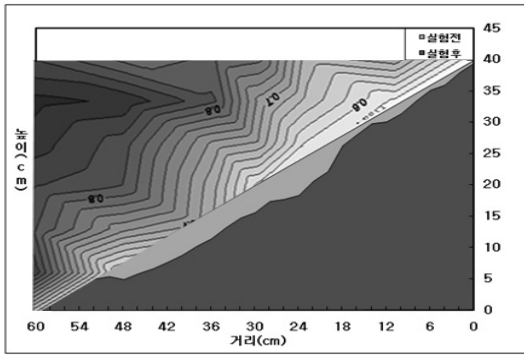


그림 18. CASE6에 대한 실험 결과

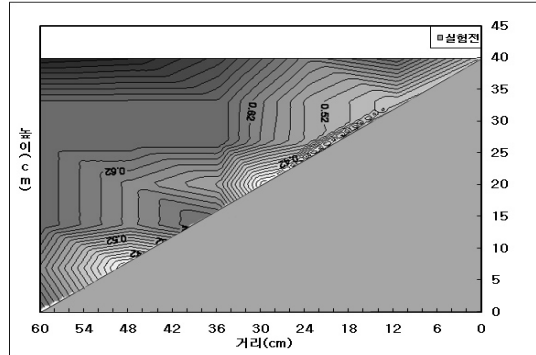


그림 19. CASE6에 대한 수치해석결과

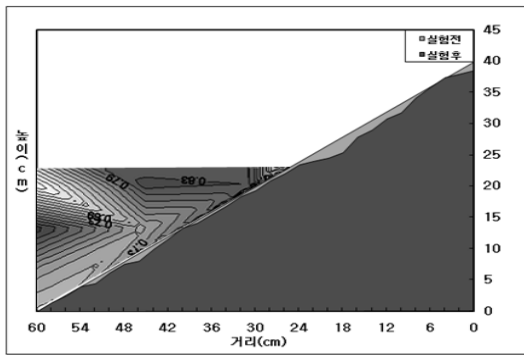


그림 20. CASE7에 대한 실험 결과

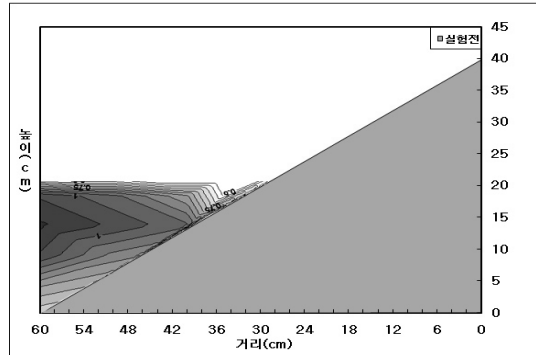


그림 21. CASE7에 대한 수치해석결과

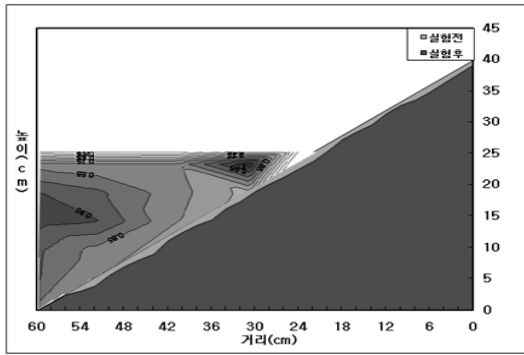


그림 22. CASE8에 대한 실험 결과

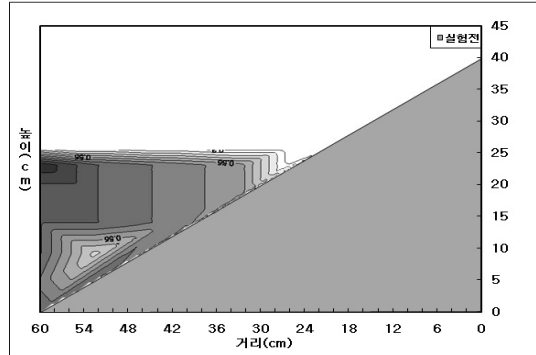


그림 23. CASE8에 대한 수치해석결과

표 3은 수리조건별 및 식생매트별 고수호안의 유실을 실험결과를 나타낸 것이다. 호안의 안정성을 평가하기 위하여 수행한 수리실험 결과를 살펴보면 가장 유실이 많이 일어난 조건은 수심이 0.25 m이며 유속이 1.0 m/s에서 유실율이 44.25%로 가장 많은 유실을 나타냈다. 식생의

유무에 따라 비교해보면 CASE1과 CASE5는 유실율 차이가 10.34%로 나타났다. 두번째로 CASE2와 CASE6을 비교해보면 32.26%를 나타냈으며, CASE3과 CASE7의 유실율 차이는 31.95%을 나타냈다. 마지막으로 CASE4와 CASE8의 유실율 차이는 38.82%을 나타냈다. 식

생의 유무에 따른 유실율의 차이는 실험결과에도 나타나 있듯이 뚜렷한 차이를 보이고 있다. 또한 동일 유속 조건시 단면 최대유속이 1.0 m/s일 때 수심에 따른 변화에 따른 유실율 차이는 식생매트가 없을 때는 8.78% 정도로 나타났으며 식생매트가 설치된 경우에는 차이가 1.91%로 식생 없을 경우와 비교하면 그 차이가 적음을 볼 수 있다. 그림 12, 14, 20의 경우에는 수표면 위 부분의 사면에서도 많은 유실이 나타나는데 이것은 고수호안의 아래 부분이 침식되어 나가면서 윗 부분이 무너져 내리는 현상으로 판단되어지며 이러한 현상은 실제 하천에서도 고수호안의 침식시에 일반적으로 일어나는 현상이다.

본 연구에서는 수로실험이 고유량을 구현하는 데에 한계가 있으므로 소류력을 결정하는 유속을 높이기 위해서 낮은 수심 조건에서도 실험을 수행하였다. 그러나 수심이 높은 경우에 호안에서의 토압이 수심이 낮을 때보다 높아져 적은 유속으로도 많은 유실율이 나타나는 것으로 판단되어진다. 일반적으로 복토공법은 흙으로 제방을 덮는 형태의 공법이므로 유속의 전단효과보다는 수심이 높아짐에 따른 파이핑에 의한 유실율 차이가 더

크게 나타난다. 따라서 향후 대규모 원형실험에서는 각각의 유속 조건에서 동일한 수심조건에 대한 식생 유무에 따른 유실율의 크기 정도를 분석하는 것이 바람직할 것으로 보인다. 본 연구에서는 수심의 변화는 유속의 증감을 목적으로 했으므로 동일 유속에서 수심의 변화에 따른 유실율 비교는 고려하지 않았다. 고수호안에서 식생매트의 존재 유무는 홍수시에 제방의 유실에 큰 차이를 가져오며 동시에 식생매트가 충분히 활착되어 식생이 존재할 시에는 제방보호에 충분한 효과가 있는 것으로 판단된다. 표 4는 실험에서 측정된 유속장과 수치해석에서 계산한 유속장의 최소, 최대, 평균 유속을 이용하여 계산한 소류력을 비교한 결과를 나타낸 것이다. 일반적으로 호안설계시 평균유속을 사용한 소류력에 비하여 최대 및 최소값을 이용하면 상당한 차이가 나타나는 것을 확인할 수 있다. 따라서 호안의 설계시 소류력 계산을 위한 하천 단면의 유속은 평균 유속을 사용하는 것보다는 각각의 위치를 고려한 국부 유속을 고려하는 것이 바람직하며 3차원 수치해석을 이용하는 것이 가능한 것으로 판단된다.

표 3. 유실율 평가 실험결과

실험 조건	Re수	소류력 (kg/m ²)	단면평균유속 (m/s)	단면최대유속 (m/s)	수심 (m)	호안경사	식생 (有,無)	유실율
CASE1	2.38*10 ³	0.70	0.56	0.660	0.40	1 : 1.5	無	15.23%
CASE2	3.17*10 ³	0.92	0.74	0.887	0.40	1 : 1.5	無	42.67%
CASE3	1.98*10 ³	2.18	0.80	0.866	0.20	1 : 1.5	無	35.47%
CASE4	2.48*10 ³	1.91	0.88	1.059	0.25	1 : 1.5	無	44.25%
CASE5	2.38*10 ³	1.93	0.56	0.660	0.40	1 : 1.5	有	4.89%
CASE6	3.17*10 ³	2.55	0.74	0.887	0.40	1 : 1.5	有	10.4%
CASE7	1.98*10 ³	6.06	0.80	0.866	0.20	1 : 1.5	有	3.52%
CASE8	2.48*10 ³	5.30	0.88	1.059	0.25	1 : 1.5	有	5.43%

표 4. 유속비교를 통한 소류력 결과

실험 조건	측정 유속일때 소류력(kg/m ²)			수치해석 유속일때 소류력(kg/m ²)		
	단면최소 유속적용	단면평균 유속적용	단면최대 유속적용	단면최소 유속적용	단면평균 유속적용	단면최대 유속적용
CASE1	0.25	0.70	0.82	0.37	0.75	1.22
CASE2	0.68	0.92	1.10	0.43	0.99	1.35
CASE3	1.81	2.18	2.36	1.24	2.15	2.89
CASE4	1.58	1.91	2.30	1.77	2.68	3.27
CASE5	0.70	1.93	2.28	1.19	1.85	3.33
CASE6	1.88	2.55	3.06	1.62	2.00	3.24
CASE7	5.02	6.06	6.57	3.42	6.67	6.69
CASE8	4.39	5.30	6.38	4.02	5.59	7.56

5. 결 론

본 실험에서는 수로 실험을 통하여 식생에 따른 복토의 유실율을 평가하였다. 식생매트의 설치 여부에 따른 복토된 토양의 상대적 유실율의 차이를 확인할 수 있었다. 3차원 수치해석을 통해 실제 자연하천에서의 소류력 계산과 이를 이용한 식생매트공법의 설계가 가능한 것으로 판단된다. 다만 이와 같은 고정상 수치해석에서는 추가적인 세굴을 반드시 고려해야만 한다는 것을 확인할 수 있었다. 본 연구에서와 같이 중규모의 수로 실험에서는 구현할 있는 흐름 조건의 한계 때문에 실제 하천에서의 일어나는 현상과는 차이가 나타날 수 있다. 따라서 고수호안의 안정성 평가를 위해서는 설계 유속 재현이 가능한 대규모 원형 수리 실험장에서의 실험을 통하여 보완이 되어질 것으로 판단되며 본 연구 결과는 원형 실험 수행시 사전 연구로서의 기초자료를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 건설기술혁신연구개발사업인

ECORIVER 21 자연과 함께하는 하천복원 기술 개발연구단의 지원(과제번호: 3-2)에 의해 수행되었으며, 본 연구를 위해 FLOW-3D 3차원 수치해석프로그램을 지원해주신 (주)에스티아이 C&D에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 부산지방국토관리청 하천국, (2008). 하천개수공사 호안공법 개선방안 검토, 호안설계별, 식생호안 및 식생매트호안
- 배상수, 이경욱, 지홍기, 이순탁 (2001). 호안용 매트리스의 수리학적 거동해석.
- 송재우, 박성식(2004). 식생수로와 비식생수로에서의 조도특성 및 유속분포, 대한토목학회 논문집, 대한토목학회, 제24권, 제6B호, pp. 545-552.
- 여흥구 (2003). 다기능 하천 설계기준 사업. 한국 건설기술연구원 연구보고서.
- 윤태훈, 신용진, 이지송(2002). 수초영역으로 인한 개수로 흐름변화, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제22권, 제2B호, pp. 143-149.
- 이동섭, 우효섭, 안홍규, 권보애 (2007). 치수 안정

- 성과 환경성을 고려한 새로운 식생호안 공법의 적용 및 평가, 한국수자원학회 논문집 제40권 2호.
- 이삼희 (2000). 하천식생의 수리특성에 관한 연구, 한국수자원학회지, 제33권, 제1호, pp. 64-67.
- 이삼희, 옥기영, 강천수, 이진원(2000). 하천식생에 의한 유사퇴적의 실험적 고찰, 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 한국수자원학회, pp. 295-298.
- 이울경 (1999). 하천식생의군락분류.
- 일본-국토개발기술연구센터 (2003). 護岸의 力學的 設計法.
- 지흥기, 배상수, 임기석, 허수영 (2001). 돌망태를 이용한 호안구조물의 수리학적 특성, 학술발표회 논문집, 한국수자원학회.
- 최윤주 (2001). 동천의 자연형 하천 개발·복원 방안 : (자연형 하천 복원 사례 연구를 중심으로).
- 한국건설기술연구원 (2001). 국내 여건에 맞는 자연형 하천공법의 개발(1998~2001).
- 福岡捷二, 藤田光一, 新井田浩 (1992). 樹木群を有する河道の洪水位豫測, 土木學會論文集, 第 447/II-19, pp. 17-24.
- Chow, V.T. (1959) Open-Channel Hydraulics, Mc-Graw Hill Book Company, New York, NY.
- NRCS (2007), Stream Restoration Design(NEH 654), Chapter 8, 12, 13.
- Fiuzat, A. A., Chen, Y. H. and Simons, D. B.(1982). Stability Tests of Rip-Rap in Flood Control Channels, Officine Maccaferri Technical Report, Fort Collins Colorado.
- Darby, S.E., and Thorme, C.r. (1996). "Predicting stage-discharge curves in channels whit bank vegetation". J. of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol.122 NO. 10, pp. 583-586.
- Järvelä J.(2002). "Flow resistance of Flexible and Stiff Vegetation: A Flume Study with Natuaral Plants". Journal of Hydrology Vol. 2, 61-70.
- Kouwen, N. (1992). "Modern approach to design of grassed channels". J. of Irrigation and Drainage Engineering, ASCE, Vol. 118 No. 5, pp. 733-743.
- Shimizu, Y., and Tsujimoto, T. (1994). "Numerical analysis of turbulent open-channel flow over a vegetation layer using k-ε turbulence model." J. of Hydrosience and Hydraulic Engineering, Vol. 11 No.2, pp. 57-67.

○논문접수일 : 10년 02월 23일
 ○심사의뢰일 : 10년 02월 24일
 ○심사완료일 : 10년 08월 23일