

지오셀 매트와 하천 호안시설 적용성에 관한 실험

An Experimental study on the applied Geocell mat in Rivers

한진영*, 김현겸**, 김영섭***, 이광수****, 안일식*****

Jin Young Han, Hyun Kyum Kim, Young Seob Kim, Kwang soo Lee, Won Sik An

요 지

최근 들어 생활수준의 향상과 친수 환경에 대한 인식이 높아지면서 하천환경의 보전과 개선에 대한 필요성이 증대되고 과거 이수 또는 치수 목적으로 정비되었던 하천을 자연형 하천으로 탈바꿈 시키려는 움직임이 많이 일어 나고 있다. 자연형 하천 공법의 연구는 1990년대부터 점차 이루어 지고 있으나, 호안의 식생 공법 연구 및 수리 실험을 이루어 지지 않는 실정이다. 이제 본 연구에서는 자연형 하천 정비의 대표적인 방법인 호안 사면 처리 공법 중 지오셀 식생 매트에 대한 수리모형 실험을 실시하였다. 고정상 실험을 통하여 활착된 지오셀 식생 매트가 허용할 수 있는 유속과 수위를 정하는데 목적을 두었고, 상사법칙 이론을 도입하여 수행된 실험결과를 정리 분석하였다.

분석된 실험치를 왜곡모형에 적용하여 실제 규모로 환산한 결과 현재 설계시 허용되는 유속에도 지오셀 식생 매트의 안정성이 확보되는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 호안의 지오셀 식생매트의 적용이 가능 할 것으로 보이나, 제한적인 실험결과에 의해 왜곡모형을 이용하여 현장조건을 추정한 것이므로 적용 및 해석에 있어서는 실제 설치되는 하천의 복잡한 수리·수문학적인 변수가 충분히 고려되어야 할 것이다.

핵심용어 : 자연형 하천공법, 호안식생공법, 수리모형실험, 왜곡모형

1. 서론

최근 들어 생활수준의 향상과 친수 환경에 대한 인식이 높아지고 하천환경의 보전과 개선의 필요성에 대한 공감대가 커짐으로써 과거에 이수 또는 치수 목적으로 정비되었던 하천을 원래의 모습으로 되돌리거나 바꾸려는 자연형 하천으로 탈바꿈 되고 있다. 이러한 자연형 하천으로의 변화는 기존의 하천을 정비하는 과정에서 여러 가지 형태로 나타나고 있으며, 새로운 시도로 하천의 호안 거석, 통나무, 식생매트 등의 자연재료를 이용하는 것도 하나의 패러다임이라 할 수 있다.

이에 본 연구에서는 자연형하천의 대표적인 방법이라 할 수 있는 호안사면 처리방법중 지오셀 호안 공법(국토해양부 "하천설계기준 및 해설" pp535 -537 : 10 지오셀 호안 : 토목공사용 벌집모양 섬유자재의 셀 내부에 식물재, 돌채움, 유동성 콘크리트 또는 모르타르 등을 포설 또는 타설하여 양생시킴으로서 비탈면을 피복하는 호안이다, 유속에따른 피복재종류를 변화시킬 수 있고, 시공의 간편성으로 인한 공사기간의 단축 등의 장점이 있다.) 적용에 있어 수리모형 실험을 통한 흐름특성을 분석하여 실제하천에 적용성과 수리학적 인상호 작용에 대한 실험을 수행하고자 한다.

자연형 하천공법의 연구는 1990년대부터 시작되어 2000년대에는 자연형 하천복원공법의 가이드라인(환경

* 정회원 · 수원대학교 일반대학원 토목공학과 석사과정 · E-mail : zereisdn@naver.com

** 정회원 · 수원대학교 일반대학원 토목공학과 석사과정 · E-mail : vellado@gmail.com

*** 정회원 · 수원대학교 일반대학원 토목공학과 박사과정 · E-mail : kimyseob@hanmail.net

**** 비회원 · 한길토건주식회사 전무이사 · E-mail : bhanddt@hanmail.net

***** 정회원 · 수원대학교 공과대학 토목공학과 명예교수 · E-mail : wsan@suwon.ac.kr

부, 2002)을 제시하는 성과를 이룩했다. 하지만 호안의 식생공법에 연구 및 수리실험은 거의 이루어지지 않아 실제 하천에 대한 적용이 가능한지 판단하기 힘든 실정이다. 나아가 지오셀 호안 공법의 하천 호안 적용에 대한 적합성을 판단하고 시공과 설계의 기초자료를 제공하는데 본 연구의 목적이 있다고 할 수 있다.

본 연구에서는 고정상 실험을 통하여 호안사면에 활착된 지오셀 식생 매트가 허용할 수 있는 유속과 수위를 정하는데 중점을 두었다. 실험실의 공간적인 측면과 유량의 제한성으로 실제하천을 그대로 모사하는것은 불가능하므로 상사법칙 이론을 도입하여 수행된 실험결과를 정리 분석하였다.

2. 모형이론

2.1 유체의 상사법칙

수리모형과 원형은 세가지 상사성 즉, 기하학적 사상성(geometric similitude), 운동학적 상사성(kinematic similitude), 동력학적 상사성(dynamic similitude)을 만족시켜야 한다. 기하학적 사상성은 원형과 모형의 대응점에서 길이의 비가 일정해야 함을 의미하며, 운동학적 상사성은 원형과 모형의 대응점에서 속도와 가속도의 비가 일정해야 함을 의미한다. 동력학적 상사성은 원형과 모형의 대응점에서 작용하는 힘의 비가 일정해야 함을 의미한다. 운동학적 상사성은 동력학적 상사성이 만족되면 자동적으로 만족된다.

기하학적 상사법칙에서 기준이 되는 인자는 길이비로 다음과 같이 표시된다.

$$L_r = \frac{L_p}{L_m} \quad (1)$$

여기서, L 은 길이, 첨자 r , p , m 은 각각 축척비, 원형, 모형을 나타낸다. 운동학적 상사법칙에서의 속도비와 가속도비는 다음과 같이 표시된다.

$$U_r = \frac{L_r}{T_r} \quad (2)$$

$$a_r = \frac{U_r}{T_r} = \frac{L_r}{T_r^2} \quad (3)$$

여기서, 시간비(T_r)는 다음과 같다.

$$T_r = \frac{T_p}{T_m} \quad (4)$$

동력학적 상사법칙은 유체를 가속시키는 힘이 존재하는 경우 관성력이 중요한 인자가 된다. 관성력비는 다음과 같이 표시된다.

$$F_r = \rho_r L_r^2 U_r^2 \quad (5)$$

2.2 고정상 모형이론

고정상 모형이론을 하천모형에 적용할 경우, 주요 검토 사항은 중력, 점성력, 표면장력 등 힘의 상사, 흐름 저항의 상사, 왜곡도 등이다. 개수로 흐름을 지배하는 힘은 중력, 점성력, 표면장력 등이며 이는 각각 Froude 상사, Reynolds 상사, Weber 상사 등으로 모형에서 재현된다.

2.2.1 중력의 상사

중력에 의해서 흐름이 발생하는 개수로 흐름에서는 중력과 관성력의 비로 표시되는 Froude 수의 상사가 만족되어야 한다. 즉, 원형과 모형에서의 Froude 수가 동일하여야 하며 다음과 같이 표시된다.

$$= \frac{Fr_r}{Fr_m} = \frac{U_r}{Y_r} = 1 \quad (6)$$

일반적인 하천모형에서 중력비와 유체의 밀도비는 원형과 모형에서 동일하므로 Froude 상사에 의해 축척을 결정할 경우에는 물의 물리적 성질, 모형의 제작가능성, 비용, 펌프용량 등을 고려하여 결정하게 된다.

2.2.2 점성력의 상사

각이나 하상 등의 고체 경계면 부근에서의 흐름 분포는 유체의 점성력과 고체 경계면 조도의 영향을 받는다. Reynolds 수는 이와 같은 흐름 상태를 관성력과 점성력의 비로 나타내는데 다음과 같이 표현된다.

$$Re = \frac{UL}{\nu} = \frac{U(4R_h)}{\nu} \quad (7)$$

여기서, L 은 대표길이, ν 은 동점성계수, R_h 은 수로의 수리반경 등이다. Reynolds 수를 나타내는 두 가지 표현 중 앞의 식은 교각 주변의 흐름과 같이 대표길이가 명확한 경우에 적용된다.

2.2.3 표면장력의 상사

자유수면 흐름에서 표면장력의 상사는 Weber 수(We)를 원형과 모형에서 동일하게 하여 만족되며, 다음 식으로 표현된다.

$$We = \frac{\rho LU^2}{\sigma} \quad (8)$$

Weber 수는 유속과 모세관 파속(celerity of capillary wave)의 비로 해석된다. 하천과 같은 개수로 흐름에서는 표면장력의 영향을 무시할 수 있으나, 모형실험의 경우에는 수심이 얇은 경우에는 흐름에 영향을 준다.

3. 모형제작 및 실험

수리 모형실험은 하천 호안을 모사하여 매트를 고정시키는 고정상 모형실험을 수행하였으며, 이를 위해 고정상 모형이론에 근거하여 모형을 제작·설치하였다. 측정은 수위의 경우 디지털 수위측정기와 포인트 게이지를 병행하여 이용하였으며, 유속은 1차원 프로펠라 유속계와 2차원 전자기 유속계로 수행하였다.

3.1 지오셀 식생 매트

본 실험에는 HG3024, HG3012, HG3005 3종류의 지오셀과 식생보호매트를 혼합하여 사용되었다.



그림 1. 지오셀 HG 3024



그림 2. 지오셀 HG 3012

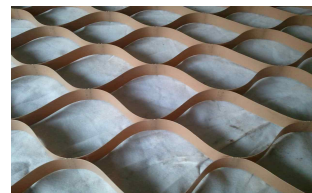


그림 3 지오셀 HG3005

3.2 모형제작

본 실험을 수행한 수리모형 실험 수로의 제원은 횡방향 호안 길이 3.0m, 수로 폭 0.6m, 길이 7m, 하상

경사는 1/100, 호안의 경사는 1:3로 하였으며, 지오셀에 흙과 식생보호매트를 덮은 후 고정시켰다. 이는 실제 호안에 설치되는 지오셀 호안 공법의 시공을 그대로 모사한 것이다.



그림 4. 호안 설치

그림 5. 지오셀 설치

그림 6. 지오셀 산포

그림 7. 모형 제작

3.3 수리모형실험

실험 수심 10 cm, 20 cm, 30 cm에 대하여 사다리꼴 직선 수로부에 CASE별 지오셀 호안을 설치하여 흐름특성을 결정하는 수리학적 변수를 산정하였다. 유속과 수위의 측정은 흐름 방향으로 1.0 m(4개의 측정), 횡방향으로 수로 좌안의 벽효과(wall effect)로 인한 실험 결과의 교란을 최소화 할 수 있도록 좌안으로부터 30 cm 떨어진 지점으로 부터 0.2 m 간격(3개의 측정)에서 측정하였다.

표 1. 실험 CASE

	지오셀	실험수심	실험유량
CASE 1	지오셀 HG3024	수심 10cm, 20cm, 30cm	0.108 m ³ /s
CASE 2	지오셀 HG3012		0.098 m ³ /s
CASE 3	지오셀 HG3005		0.112 m ³ /s

4. 실험결과

본 실험을 통하여 유속 및 수심을 그래프로 정리 하였다.

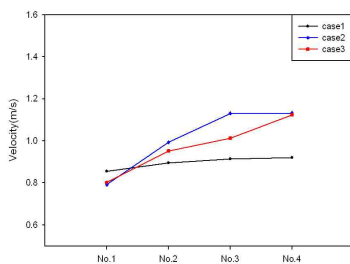


그림 8. 유속(1지점)

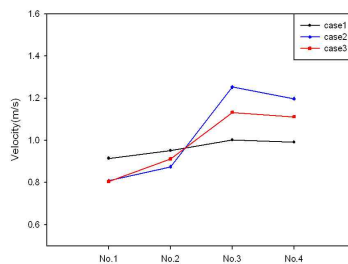


그림 9. 유속(2지점)

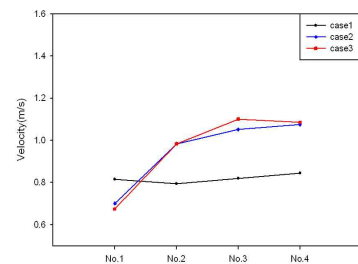


그림 10. 유속(3지점)

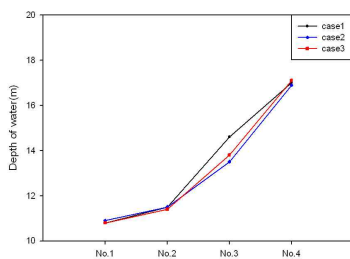


그림 11. 수심(1지점)

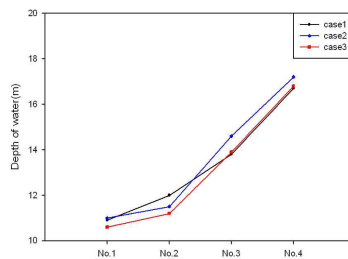


그림 12. 수심(2지점)

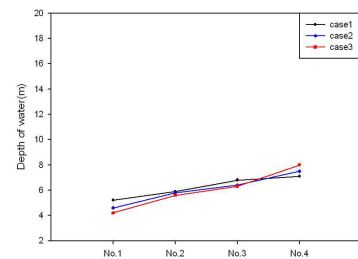


그림 13. 수심(3지점)

수리모형 실험의 규모를 실제하천으로 환산하기 위하여 상사법칙을 이용한 축척비를 사용하였다. 일반적으로 왜곡 개수로 모형에 사용되는 연직방향 축척비는 100, 수평방향 축척비는 $200 < X_r < 500$ 정도로 정하는 것이 보통이며 이때 왜곡도(X_r/Y_r)는 3~6이 보통이다.(수리학(윤용남, 청문각))

표 5. 수리모형 실험결과에의 축척비 환산 적용

수리량	환산식	축척비	모형	환산
수평길이축척	X_r	200	0.6 m	120 m
수직길이축척 Y_r	Y_r	40	0.1 ~ 0.3 m	4 ~ 12 m
속도비 V_r	$Y_r^{1/2}$	6.3	0.15 ~ 1.13 m/s	0.945 ~ 7.119 m/s
유량비 Q_r	$X_r Y_r^{3/2}$	50600	0.098 ~ 0.112 m ³ /s	4900 ~ 5600 m ³ /s

5. 결과 및 고찰

표 6. 자연형 호안공법의 수리학적 특성

호안공법	하상경사	대표유속(m/s)	비탈경사	유선과의 관계
자연원형하안	완류	2 이하	1:2 이하	직선부, 사수부
인위적식생하상	완류	2 이하	1:2 이하	직선부, 사수부
사석호안	중류 ~ 급류	3 이상	1:0.5 ~ 1.5	수층부, 직선부
나무방틀+자연석호안	완류 ~ 급류	2 이상	1:2 이하	수층부, 직선부
식생매트호안	완류 ~ 중류	2 ~ 3	1:1.5 ~ 2	직선부, 사수부
인조석호안	완류 ~ 중류	3 이상	1:1.5 이하	수층, 직선, 사수부

위의 실험에 의한 환산결과로 볼 때 실험결과에 의한 유속과 연구결과와 비교·검토 하면 허용 유속의 조건을 상회하는 것으로 나타나 안전하게 검토되는 것으로 판단되고, 실제하천에 설계 및 시공에 적용에는 문제가 없을 것으로 판단된다. 하지만 제한적인 실험 결과에 의해 축척비를 고려하여 실제 하천을 추정하는 것으로 적용 및 해석에 있어 실제 현장에서의 복잡한 수리·수문학적 변수가 충분히 고려되어야 한다. 또한 실제 현장 설치 후 식생 활착 및 지오셀 매트 지지력 변화 등과 같은 일련의 모니터링을 수행한다면 좀 더 신뢰성 있는 결과를 보일 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 이재수, (2007). 수리학, 구미서관.
2. 윤용남, (2005). 응용수리학, 구미서관
3. 환경부, (2002). 하천복원가이드 라인
4. 국토해양부, (2009). 하천설계 기준 · 해설, 한국수자원학회
4. 정대훈, (2006). 호안 수제공의 수리학적 기능 평가에 관한 연구, 석사학위논문, 진주산업대
5. 박성범, (2006). 자연형 식생 호안공법의 수리모형 실험 및 수치해석 연구, 석사학위논문, 대전대학교