자연형 호안공법의 그라스콘의 수리모형실험 및 수치해석 연구
Hydraulic Model Test and Numerical Analysis of Grass Concrete in River Environment

장석환*, 박성범**, 박상우***
SukHwan Jang, SungBum Park, SangWoo Park

Abstract

This study aims at investigating the in situ applying grass concrete system in river environments which widely used nowadays and reviewing the effect and flow resistance for grass concrete structure through the physical experiments by hydraulic model test and developing application method in river bed which has rigid flood resistance. Grass concrete structure has been independently tested under high velocity flow under the super critical condition, as well as sud critical flow measuring velocity and water surface elevation along the cross section. This results shows grass concrete system is also suited to use in aggressive river environments such as repairing a flood damaged embankment that had placed at risk the adjacent drainage channel with vegetation.

Key words; grass concrete, hydraulic model test

1. 서 론

하천이 가지고 있는 기능적 측면에서 볼 때 하천은 홍수소통과 물의 이용이라는 이·치수측면 외에도 인간의 정서를 순화시키고 경관 미를 창출할 수 있는 환경기능을 가지고 있는 주요한 자연공간이다. 현재 우리나라의 자연형 하천정비 기법연구는 외국의 기법을 도입하여 시험유역에 적용하고 있는 수준에 와 있지만 현재까지 자연형 하천공법을 적용한 소하천 정비는 초기 단계로써 기본 계획이나 검증의 절차가 필요하다고 판단된다.

본 연구는 현장 타설식 시스템인 그라스콘의 수리모형 실험을 통하여 그라스콘이 적용된 하도내의 수치해석을 위하여 HEC-RAS와 2차원 흐름을 모의하고 수리모형 실험결과와 비교 하여 합리적인 대안으로 제시하는데 그 목적이 있다.

HEC-RAS로 단면구축 및 실제 유속과 유량에 대해서 집중적으로 데이터를 구축하였으며 2차원 흐름(RMA)을 통해 유속의 분포 및 수위를 측정하였다. 또한 그라스콘을 실행했을때(식생전)와 실행하지 안았을(식생후)때 조도계수의 변화를 통하여 비교 분석하여 수치상으로 표현이 가능하게 하도록 모의하였다.

2. 수리모형실험에 의한 수리역학적 특성 평가

2.1 수리모형실험 조건 및 제원

1) 원형

수리모형실험에 사용한 하천의 원형(proto type)은 수로길이 L=212.0m, 하천폭 B=35.0m, 하상경사 1.6%의 임의의 지형으로 단면형상은 법면경사 좌안 1:2.0, 우안 1:3.0의 비대칭 사다리꼴로 가정하였다.

* 정회원 · 대진대학교 건설시스템공학과 교수 · E-mail : drjang@daejin.ac.kr
** 정회원 · 대진대학교 건설시스템공학과 석사과정 · E-mail : kkari80@nate.com
*** 정회원 · 서남대학교 토목공학과 교수 · E-mail : hydropsw@hanmail.net

2) 모형의 축척

이 실험에서는 푸르드(Froude)상사법칙을 적용하기 위해 실험대상 내부의 특정구조물은 다음 표 1 에서 제시하는 최소값 이상을 확보하여야 하며, 모형 제작의 용이성과 상사법칙 적용의 적정성을 고려하여 모형의 축척은 1/50으로 선정하였다.

3) 축소모형

이 수리모형실험에 실제 하천을 축소하여 사용한 모형(scaled model)의 축척은 1/50이며 이 때의 각 부분 제원은 다음과 같다.

표 1. 축소모형의 제원

구 분	원 형	모 형	축 척	비 고
수로길이 L (m)	212.0	4.2	1/50	
수로폭 B (m)	35.0	0.7		
대 상 유 량	$49m^3/sec$	2.77ℓ/sec	$(1/50)^{5/2}$	댐 방류량
	$150m^3/sec$	8.49ℓ/sec		재현기간 100년 홍수량
	$200m^3/sec$	11.31ℓ/sec		모형실험 채택유량
	$300m^3/sec$	16.97ℓ/sec		
	$400m^3/sec$	23.63ℓ/sec		모형실험 채택유량
	$500m^3/sec$	28.28ℓ/sec		
	$600m^3/sec$	33.94ℓ/sec		모형실험 채택유량
법면경사	좌안 1:2.0	좌안 1:2.0		
	우안 1:3.0	우안 1:3.0		

2.2 실험시설 및 모형

지하 저수조 → 펌프 → 실외 고수조 → 실내 유량 공급장치 → 사각웨어 → 정수조 → 하류하도 → 환수로 → 지하 저수조

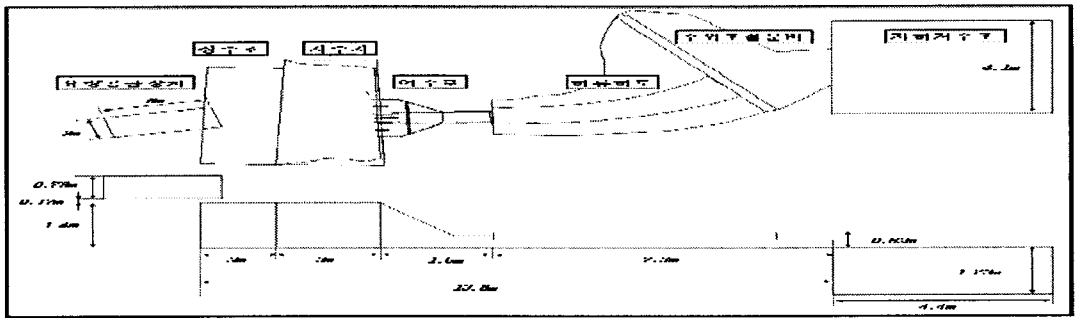


그림 1. 실험장치의 배치 평면 및 종단도

2.3 실험 결과 및 분석

모형의 입력자료로 사용되는 하도지형정보는 이 연구의 실험구간이 100m 정도로 짧으므로 단면간 거리를 4m로 하여 총 45개 단면으로 구성하였으며, 이때의 총 계산 구간은 176m이다. 여기서 구성된 단면의 상·하류 영향이 상쇄될 수 있도록 상·하류 구간에 각각 24m(No.-6 ~ No.-1)와 52m(No.26 ~ No.38)의 완충구간을 두었으므로, 실제 영향이 검토되는 분석구간은 No.0 ~ No.25 까지의 100m 구간이다.

1차원(HEC-RAS)과 2차원(RMA)수치해석을 위하여 부여된 경계조건은 상유에서 부여되는 유량 조건으로

600㎥/sec를 채택하였다. 수리량 산정 및 수리영향 분석을 위하여 적절한 조도계수의 산정은 매우 중요한 과정이다. 이 연구에서는 조도계수의 값을 조정하면서 실험치에 가장 근접한 수리량을 계산하는 조건을 검색하는 시행오차법에 의하여 결정하였고 이때의 검색과정 및 결과는 다음과 같다.

표 2. 조도계수 검색에 따른효과(식생 전 조건, Q=600㎥/sec)

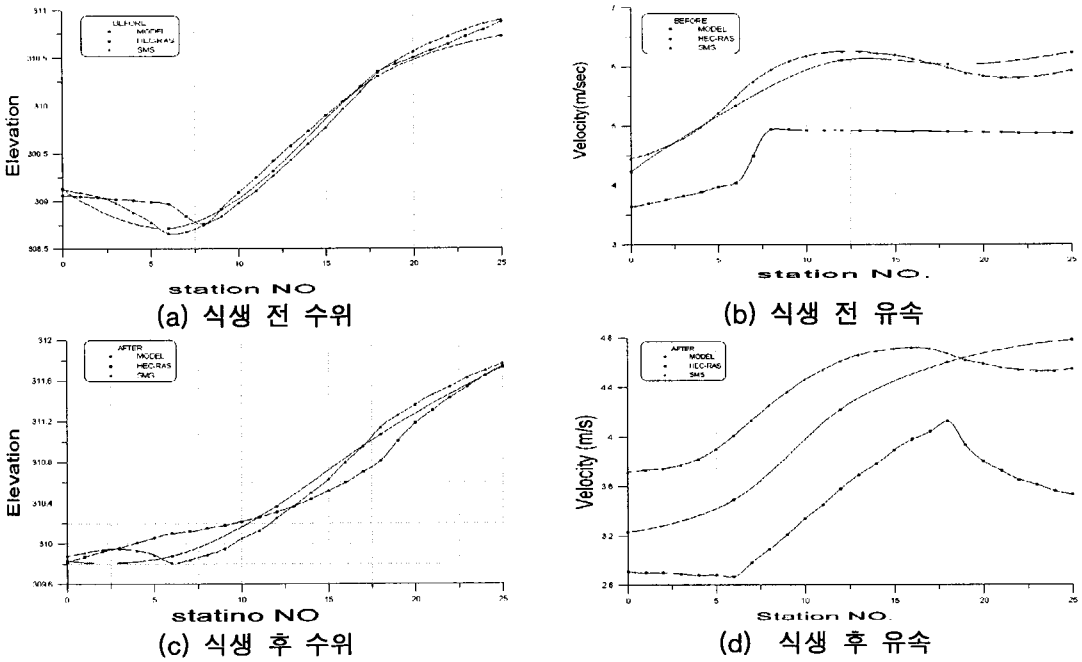
No.	거리 (m)	수리실험결과			조도계수 별 수치해석결과											
		측선	수위	유속	n=0.017				n=0.027				n=0.035			
					수위	차이	유속	차이	수위	차이	유속	차이	수위	차이	유속	차이
0	0	E	309.13	4.23	309.06	0.07	3.64	0.59	309.14	-0.01	3.55	0.68	309.10	0.03	3.59	0.64
6	24	D	308.72	5.34	308.97	-0.28	4.04	1.42	309.17	-0.45	3.79	1.55	309.07	-0.37	3.91	1.53
12	48	C	309.32	6.11	309.42	-0.02	4.93	1.18	309.42	-0.10	4.93	1.18	309.42	-0.02	4.93	1.18
18	72	B	310.3	6.04	310.35	0.01	4.9	1.14	310.35	-0.05	4.90	1.14	310.35	0.01	4.90	1.14
25	100	A	310.72	6.23	310.87	-0.07	4.87	1.36	310.87	-0.07	4.87	1.36	310.87	-0.07	4.87	1.36

표 3. 조도계수 검색에 따른효과(식생 후 조건, Q=600㎥/sec)

No.	거리 (m)	수리실험결과			조도계수 별 수치해석결과											
		측선	수위	유속	n=0.050				n=0.075				n=0.085			
					수위	차이	유속	차이	수위	차이	유속	차이	수위	차이	유속	차이
0	0	E	309.83	3.23	309.88	-0.05	2.87	0.36	309.99	-0.16	2.79	0.44	309.82	0.01	2.91	0.32
6	24	D	309.88	3.49	309.95	-0.07	2.99	0.54	310.18	-0.30	2.81	0.71	310.10	-0.22	2.87	0.65
12	48	C	310.37	4.22	309.80	0.54	4.27	0.13	310.28	0.11	3.62	0.68	310.31	0.09	3.58	0.70
18	72	B	311.07	4.60	310.34	0.79	4.92	-0.33	310.61	0.64	4.42	-0.02	310.81	0.41	4.12	0.34
25	100	A	311.73	4.78	310.96	0.78	4.69	0.23	311.54	0.24	3.78	1.03	311.74	0.05	3.53	1.27

표 4. 식생조건별 수치해석결과(Q=600㎥/sec)

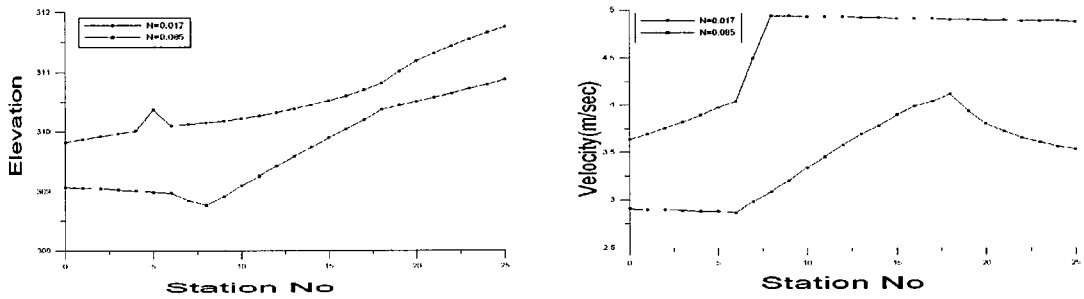
측점	거리 (m)	측선	수리실험결과				SMS 모형 모의 결과							
			식생 전		식생 후		식생 전				식생 후			
			수위	유속	수위	유속	수위	차이	유속	차이	수위	차이	유속	차이
0	0	E	309.13	4.23	309.83	3.23	309.12	0.01	4.45	-0.22	309.88	-0.05	3.71	-0.48
6	24	D	308.72	5.34	309.88	3.49	308.66	0.06	5.49	-0.09	309.81	0.08	4.01	-0.49
12	48	C	309.32	6.11	310.37	4.22	309.27	0.13	6.25	-0.14	310.25	0.18	4.61	-0.37
18	72	B	310.3	6.04	311.07	4.60	310.34	0.05	5.98	-0.01	311.14	0.02	4.67	-0.11
25	100	A	310.72	6.23	311.73	4.78	310.89	-0.17	5.93	0.30	311.77	-0.04	4.55	0.23



(a) 식생 전 수위 (b) 식생 전 유속

(c) 식생 후 수위 (d) 식생 후 유속

그림 2. 식생 전·후 수위 및 유속 비교



(a) 조도계수별 수위 (b) 조도계수별 유속

그림 3. 조도계수별 수위·유속 비교

수치해석 결과 1차원 및 2차원 흐름해석 모두에서 식생에 따른 수리량의 변화 즉, 수위 증가와 유속 저감에 대한 영향이 조사되었다.

2차원 수치해석모형인 SMS모형 적용 시 채택한 조도계수는 또한 식생 전 조도계수는 1차원 모형인 HEC-RAS모형에서 결정된 조도계수를 그대로 적용하였으며, 난류확산계수는 하도의 난류확산계수 범위인 25~1,000lb-sec/ft²를 적용하였다. 또한 모형의 안정적 모의를 위하여 페크릿수(Peclet number)에 의한 수렴조건을 적용하였다.

식생 전·후에 대한 수리모형 실험결과와 2차원 수치해석모형인 SMS모형의 계산결과를 비교 도시한 결과 식생 전·후 조건에 대하여 수위는 실험치에 접근한 결과를 제공하는 것으로 조사되었다. 이때의 유량조건별 수위의 실험치에 대한 오차백분율은 식생 전 조건 시 유량규모 Q=200m³/sec에서 0.00~0.05%, Q=400m³/sec에서 0.01~0.05%, Q=600m³/sec에서 0.00~0.05%이며, 식생후 조건 시 유량규모 Q=200m³/sec에서 0.01~0.05%, Q=400m³/sec에서 0.01~0.03%, Q=600m³/sec에서 0.01~0.06%이다. 따라서 식생 전·후 조건에 대한 수위의 오차백분율은 최대 0.06%를 넘지 않는 범위에서 비교적 일치된 결과를 제공하는 것으로 조사되었다.

또한 유속에 대한 유량조건별 실험치에 대한 오차백분율은 식생 전 조건 시 유량규모 Q=200m³/sec에서 1.21~10.22%, Q=400m³/sec에서 0.78~5.90%, Q=600m³/sec에서 0.12~5.20%이며, 식생 후 조건 시 유량규모 Q=200m³/sec에서 2.54~10.54%, Q=400m³/sec에서 1.04~4.98%, Q=600m³/sec에서 2.34~14.86%이다. 따라서 식생 전·후 조건에 대한 유속의 오차백분율은 최대 14.86%를 넘지 않아 실험치와 비교적 일치된 결과를 제공하지는 않는 것으로 조사되었다.

이 연구에서 수행한 실험수로에서의 수리모형실험결과를 수치모형을 통하여 재현하였다. 모의결과 1차원 수치해석인 HEC-RAS모형에 의한 모의 결과는 수위에 있어서 실험치에 매우 근법한 결과를 제공하고 있으나 유속은 경향 및 양에 있어서 다소 동질성이 결여된 결과를 제시하는 것으로 조사되었으며, 2차원 모형인 SMS모형 적용결과 수위 및 유속 모두에 대하여 실험치에 근접한 물리적으로 타당한 결과를 제시하는 것으로 분석되어 향후 이 연구에서 개발된 기술이 하천호안공법으로 도입되는 경우 공법도입에 따른 치수영향을 객관적 분석기법에 의하여 평가할 수 있을 것으로 조사되었다.

3. 결론 및 향후 연구과제

하천은 저마다 각양 각색의 형태와 고유의 특성을 가지고 있으며, 스스로 변화와 조화를 거듭나고 있는 자연의 한 요소이다. 자연형 하천공법은 인간본위의 정비에서 벗어나 인간과 여러 형태의 자연이 서로 조화를 이루도록 하고자 하는 것이다.

이 연구를 통하여 현장 타설식 그라스콘 호안블록의 수리모형 실험 및 수치해석을 통하여 개발기술의 에너지 감세 효과와 유속에 대한 저항성도 검증하였다.

향후 이러한 수리모형실험과 수치해석 및 현장조사를 병행하여 현장타설식 그라스콘의 흐름저항성과 최대 허용유속 검증을 통하여 국내 급류부의 친환경 식생 호안블록 적용과 홍수 시 치수안정성을 고려한 호안 공법을 적용, 안정화 시켜야 한다.

참 고 문 헌

1. H. Hewrett, L. Boorman, MA Bramley, Design of reinforced grass waterways, CIRIA, 2003
2. 행정자치부, 소하천정비 실무 지침서, 1998
3. 환경부, 하천복원 가이드라인, 2002. 12
4. 환경부, 21세기 한반도 생태공동체 건설을 위한 생태네트워크 구축 추진 전략, 2002. 12
5. Virginia State University, Runoff and pollution abatement characteristics of concrete grid pavements, 1981