

# 일체형 하천호안블럭의 개발 및 모형실험 적용

## Invention and Hydraulic Model Test of Combined Block System in River Bank Protection

장석환\*, 이창해\*\*, 박상우\*\*\*

SukHwan Jang, Changhae Lee, SangWoo Park

### Abstract

This research focused on analyzing and comparing between the results of hydraulic physical modeling and the results of numerical modeling of Grass Concrete which is newly developed in-situ block system. The physical model was built as a scale of 1:50 by Froude similitude measuring the water levels and the water velocities for before and after vegetation and the effects were analyzed after reviewing the results. In consequence, the water velocities were observed to decrease meanly 19.1%, and the water depth were determined to increase meanly 27.8% in case of the of design flood,  $Q=200\text{m}^3/\text{sec}$ . Moreover, the velocities were produced reduction effects of 27.2%, and the water levels were derived from addition effects of the highest 31.3% in case of the probability maximum flood(PMF),  $Q=600\text{m}^3/\text{sec}$ .

To verifying the hydraulic physical modeling, the numerical modeling was conducted for a close examination of before and after vegetation. HEC-RAS model was for 1 dimensional numerical analysis and RMA-2 was for 2 dimensional numerical analysis.

The results of the numerical simulation, under the condition of roughness coefficient calibration, shows similar results of the physical modeling. These satisfactory results show that the accomplished results of hydraulic modeling and the predicted results of numerical modeling corresponded reasonably each others.

*Key words; grass concrete, hydraulic model test, numerical modeling*

### 1. 서론

본 연구는 대부분의 프리캐스트 호안블록을 지양하고 안정성이 확보되는 현장 타설식 일체형 블록시스템인 그라스콘을 개발하고, 수리모형 실험을 통하여 그라스콘이 적용된 하도내의 수치해석을 위하여 HEC-RAS와 2차원 흐름을 모의하고 수리모형 실험결과와 비교 하여 식생 전후의 수리현상을 비교하여 홍수 시 저감효과의 대안으로 제시하는데 그 목적이 있다.

수리모형실험에서는 상류부 사각웨어의 방류량을 기준으로 하여 인공하천상의 식생유무에 대한 흐름 및 특성의 변화를 검토하였다. 수리모형실험의 원형 대상 유량은 상류부 사각웨어 기준  $200\text{m}^3/\text{sec}$ ,  $400\text{m}^3/\text{sec}$ ,  $600\text{m}^3/\text{sec}$  로 측정하였다. 인공수로의 유입부분에서는 흐름의 안정을 위하여 유입부에서 1.5m 떨어진 지점에서부터 측정하였다. 수심이 얇은 곳에서는 1점법,

\* 대진대학교 건설시스템공학과 교수

\*\* 대진대학교 환경공학과 교수

\*\*\* 서남대학교 토목공학과 교수

• E-mail : drjang@daejin.ac.kr

• E-mail : chlee@daejin.ac.kr

• E-mail : psw0232@seonam.ac.kr

수심이 깊은 곳에서는 2점법을 사용하였으며 수로바닥면의 3점을 기준으로 유속을 측정하였다. 적용된 하도내의 수치해석을 위하여 1차원 하천해석 프로그램 HEC-RAS(Hydrologic Engineering Center-River Analysis System)로 단면 구축 및 실제 유속과 유량에 대하여 데이터를 구축하였으며 2차원 흐름인 SMS(Surfacewater Modeling System)을 통해 유속의 분포 및 수위를 분석하여 식생 전후의 홍수저감 효과 및 적용성을 수위와 유속의 변화를 통하여 분석하고자 하였다. 또한 식생전후의 모의를 위한 조도계수 검증을 통하여 수치해석과 수리모형실험의 상관관계를 검증하였다.

## 2. 수리모형실험에 의한 수리학적 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.

#### 2) 모형의 축척

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

#### 3) 수리모형 제원

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

표 1. 수리모형의 제원

구분	원형	모형	축척	비고
수로길이 L (m)	212.0	4.2	1/50	
수로폭 B (m)	35.0	0.7		
대상 유량	200m <sup>3</sup> /sec	11.31ℓ/sec	(1/50) <sup>5/2</sup>	
	400m <sup>3</sup> /sec	23.63ℓ/sec		
	600m <sup>3</sup> /sec	33.94ℓ/sec		
법면경사	좌안 1:2.0	좌안 1:2.0		
	우안 1:3.0	우안 1:3.0		

The diagram shows a plan view of the channel bed profile with 25 measurement points arranged in a 5x5 grid. The points are labeled A1 through A5, B1 through B5, C1 through C5, D1 through D5, and E1 through E5. Each point has a corresponding elevation (E.L.) value. The elevations range from 313.2 to 315.6. The points are distributed across the channel width and length, with A1-A5 at the top, B1-B5 in the middle, C1-C5 in the lower middle, D1-D5 in the lower part, and E1-E5 at the bottom.

그림 1. 인공수로 바닥의 원형 표고(EL.m) 및 계측지점

### 2.2 실험시설 및 모형

수리모형실험 장치는 실내실험 장치로 시설 형태는 지하 저수조 → 펌프 → 실외 고수조 → 실내 유량 공급장치 → 사각웨어 → 정수조 → 하류하도 → 환수로 → 지하 저수조의 형태로 되어있다. 모형의 입력자료로 사용되는 하도지형정보는 이 연구의 실험구간이 원형에서의 100m 정도로 짧으므로 단면간 거리를 4m로 하여 총 45개 단면으로 구성하였으며, 주요 실측 계산 구간은 176m이다.

### 2.3 수리모형실험 결과

개발기술의 하천호안공법 도입에 따른 수리량의 변화 분석결과,  $Q=200\text{m}^3/\text{sec}$  유하 시 유속에 대하여 최대 32.5%, 최소 3.5%, 평균 19.1%의 저감효과가 있는 것으로 조사되었다. 이때의 수심은 최대 50.8%, 최소 1.4%, 평균 27.8% 증가한 것으로 조사되었다. 또한 극한 홍수규모인  $Q=600\text{m}^3/\text{sec}$  유하 시 유속에 대하여 최대 37.4%, 최소 20.2%, 평균 27.2%의 저감효과가 있는 것으로 조사되었으며, 수심은 최대 39.9%, 최소 13.9%, 평균 31.3% 증가한 것으로 조사되었다. 실험결과로부터 유량규모가 클수록 유속 저감효과와 수위 상승효과가 커지는 것으로 조

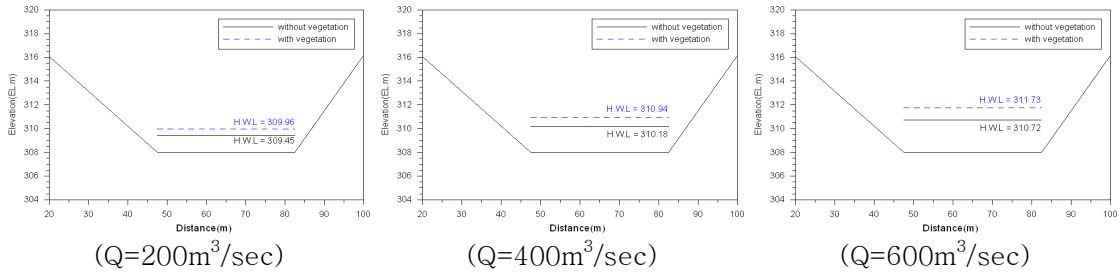


그림 2. A-A' 단면 수위 비교

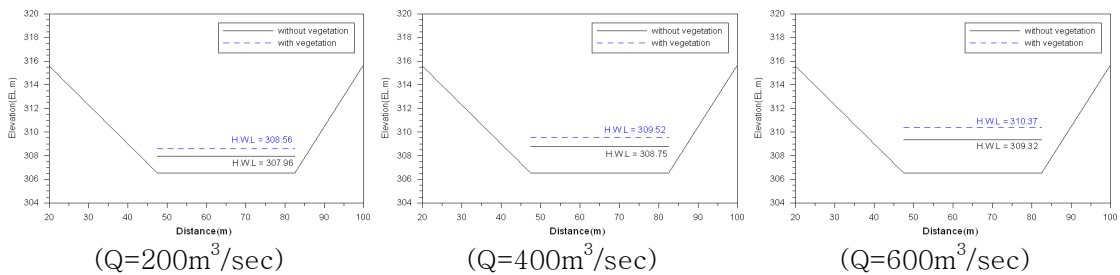


그림 3. C-C' 단면 수위 비교

사되었으며, 특히 사류구간에서 수위증가와 이에 따른 유속저감효과가 큰 것으로 분석되었다. 이러한 결과는 이 개발기술이 자연하천의 급류구간에서 수위 상승에 의한 영향보다는 유속저감에 따른 효과를 나타낼 수 있으므로 제방보호를 위한 조절기제의 수단으로 사용될 수 있음을 보여주는 것이다.

## 3. 수치해석 결과

### 3.1 조도계수 적용

일반적으로 하도에서의 조도계수는 하상 및 호안면의 거칠기를 나타내는 계수로 하도에서의 수위 및 유속 등 수리량에 직접적으로 영향을 미치는 인자이다. 따라서 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 결정하였으며, 1차원 수치해석모형 적용결과 채택된 조도계수는 식생 전 조건에 대하여 0.017이 채택되었으며, 식생 후 조건에서는 유량규모  $Q=200\text{m}^3/\text{sec}$ 에서 0.045, 그리고  $Q=400\text{m}^3/\text{sec}$ 와  $Q=600\text{m}^3/\text{sec}$ 에서 0.055가 채택되었다. 여기서 식생 조건별 조도계수의 결정 근거는 계산수위와 수리모형실험의 관측 수위가 가장 근접한 조건에 대한 결과검색에 의해서이다.

표 2. 조도계수 검색에 따른효과(식생 후 조건, Q=600m<sup>3</sup>/sec)

No.	거리 (m)	수리실험결과			조도계수 별 수치해석결과											
		측선	수위	유속	n=0.040				n=0.045				n=0.055			
					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

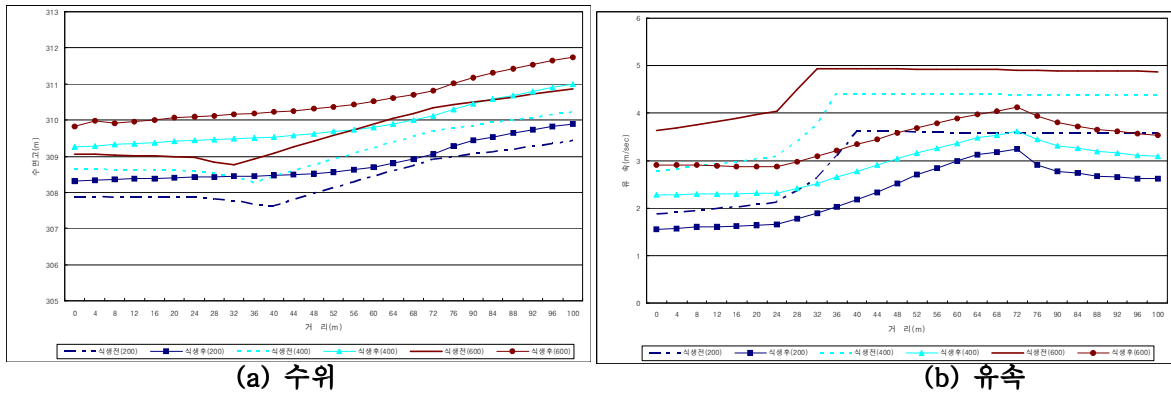


그림 6. 식생 전 후의 수위, 유속에 관한 수리 종단 비교도(HEC-RAS)

### 3.2. 1차원 수치해석 결과

HEC-RAS 모형의 식생 전 후 비교 결과, 수위는 200m<sup>3</sup>/sec시 최대 1.45m, 최소 0.99m의 차이를 보였으며, 400m<sup>3</sup>/sec시 최대 1.24m, 최소 0.40m의 차이를 나타내었고, 마지막으로 600m<sup>3</sup>/sec시 최대 1.39m, 최소 0.46m의 차이를 나타내었다. 유속은 200m<sup>3</sup>/sec시 최대 1.43m/sec, 최소 0.32m/sec의 차이를 보였으며, 400m<sup>3</sup>/sec시 최대 1.76m/sec, 최소 0.51m/sec의 차이를 나타내었고, 마지막으로 600m<sup>3</sup>/sec시 최대 1.85m/sec, 최소 0.73m/sec의 차이를 나타내었다. 유속의 저하는 지체시간의 증가와 직결되는 것으로 1차원 수치해석 결과 식생 후 100m 당 200m<sup>3</sup>/sec시 9.53sec, 400m<sup>3</sup>/sec시 8.71sec, 마지막으로 600m<sup>3</sup>/sec시 7.14sec의 지체시간을 가져왔으며, 따라서 홍수저감효과가 있는 것으로 분석 되었다.

### 3.3. 2차원 수치해석 결과

일반적으로 수치모형을 하천에 적용할 때 유체가 유입하는 부분에는 유량이나 유속이 유입경계조건으로 지정이 되며, 유체가 유출하는 부분에는 수위가 유출경계조건으로 입력이 된다. 모형의 입력자료인 지형자료는 이 연구의 수리모형실험에 적용된 실험 하도 조건이며, 모형 제작 성과를 이용하였다.

해석에 사용된 계산격자망은 350개의 유한요소와 1141개의 절점으로 구성되었으며, 분석에 사용된 요소는 사각형으로 흐름방향으로 4m, 단면방향으로 3.5m로 구성하였다. 또한 각 유한 요소는 9절점 요소로 구성하여 절점과 절점사이에서도 수리량이 계산될 수 있도록 하였다.

모의 결과, RMA-2 모형의 식생 전 후 비교 결과, 수위는 200m<sup>3</sup>/sec시 최대 0.73m, 최소 0.32m의 차이를 보였으며, 400m<sup>3</sup>/sec시 최대 1.06m, 최소 0.60m의 차이를 나타내었고, 마지막으로 600m<sup>3</sup>/sec시 최대 1.16m, 최소 0.76m의 차이를 나타내었다. 유속은 200m<sup>3</sup>/sec시 최

대 1.34m/sec, 최소 0.24m/sec의 차이를 보였으며, 400m<sup>3</sup>/sec시 최대 1.48m/sec, 최소 0.50m/sec의 차이를 나타내었고, 마지막으로 600m<sup>3</sup>/sec시 최대 1.73m/sec, 최소 0.74m/sec의 차이를 나타내었다. 수위부분에서는 1차원 수치해석 결과와 2차원 수치해석 결과가 근접한 값을 나타내었으나 유속의 부분에서는 상이한 형태를 나타내었는데 이는 1차원 수치해석모형인 HEC-RAS가 천이영역을 제대로 구현하지 못하는 모형의 한계때문인 것으로 분석되었다. 식생 후 100m 당 200m<sup>3</sup>/sec시 7.88sec, 400m<sup>3</sup>/sec시 6.43sec, 마지막으로 600m<sup>3</sup>/sec시 5.25sec의 지체시간을 가져왔으며, 홍수저감효과가 있는 것으로 분석 되었다.

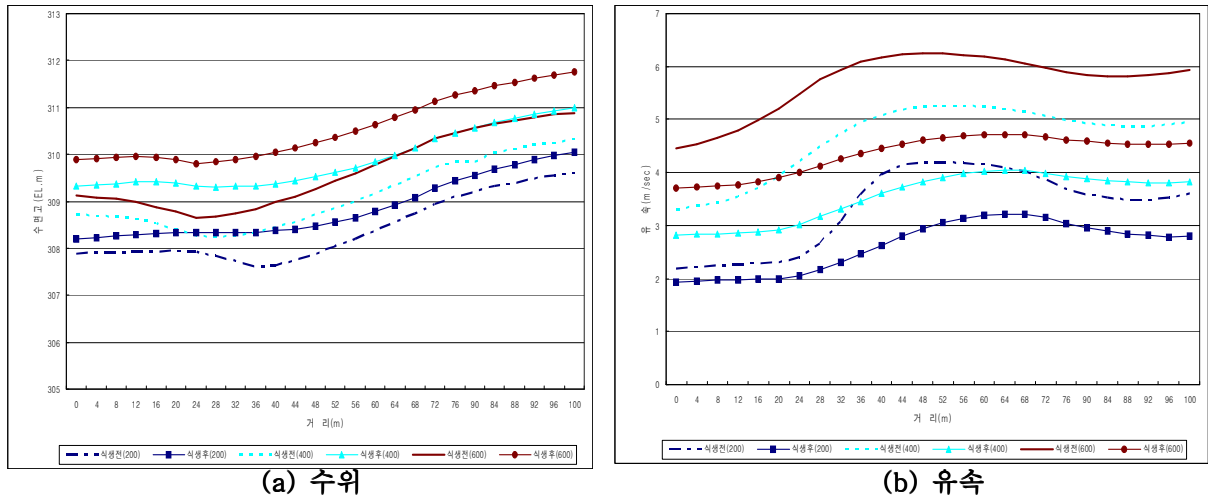


그림 8. 식생 전 후의 수위, 유속에 관한 수리 종단 비교도(RMA-2)

#### 4. 결론 및 향후 연구과제

이 연구에서는 현장타설식으로 개발된 그라스콘의 하천적용성에 대하여 수행한 실험수로에서의 수리모형실험결과를 수치모형을 통하여 검증, 재현하였다. 모의결과 1차원 수치해석인 HEC-RAS모형에 의한 모의 결과는 수위에 있어서 실험치에 매우 근접한 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. 또한 이 연구를 통하여 그라스콘 호안블록 개발기술의 에너지 감세 효과와 유속에 대한 저항성도 검증하였다.

향후 이러한 수리모형실험과 수치해석 및 현장조사를 병행하여 국내 급류부의 친환경 식생 호안블록 적용과 홍수 시 치수안정성을 고려한 호안 공법을 적용, 안정화 시키고자한다.

#### 참고문헌

1. H. Hewrett, L. Boorman, MA Bramley, Design of reinforced grass waterways, CIRIA, 2003
2. 장석환, 현장타설식 그라스콘 적용성 연구, 대진대학교, 2006