

수리모형 실험을 통한 호안블록의 수리학적 특성 분석

Analysis on the Hydraulic Characteristics of Bank Revetment Block Through Hydraulic Model Test

박상현*, 정장면**, 유규석***, 김 철****
Sang-Hyun Park, Jang-Myean Jeong, Gyu-Seok Yoo, Chul Kim

요 지

하천사업이 자연친화적인 사업으로 변화하면서 친수성을 가진 다양한 형태들의 호안블록이 개발되고 있다. 호안블록의 다양성에 비해 유수에 대한 안정성을 검증할 수 있는 항력·양력계수, 상당조도 등의 수리특성인자에 대한 연구가 미진한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 수리모형 실험을 통해 호안블록의 역학적인 특성을 분석하여 유수가 호안블록에 미치는 영향을 규명하였으며, 호안공법에 대한 수리모형 실험방법의 적용성을 모색하였다. 수리실험은 수로의 상류로부터 수류의 안정화가 이루어지는 9m 지점의 수로 바닥에 블록을 설치하였으며, 4분력계와 전자유속계를 이용하여 수리특성인자의 계측을 실시하였다. 단체실험은 형태가 다른 6개의 호안블록을 이용하여 실험을 실시하였으며, 단체실험결과에 의한 항력과 양력이 양호한 호안 4로 군체실험을 실시하였다. 군체 실험을 통해 상당조도가 0.163에서 0.165로 증가하는 것으로 확인되었으며, 상당조도의 증가에 따른 유속 저감 정도를 파악할 수 있었다.

핵심용어 : 항력계수, 양력계수, 호안블록, 식생 호안블록, 상당조도

1. 서론

종래의 하천은 단순한 콘크리트 호안으로 이루어져 있었으나 하천정비사업이 이수와 치수적인 측면에서 자연친화적이고 친수적인 측면이 강조되면서 호안공법도 단순하게 제방을 보호하는 기능에서 자연친화적인 요소가 추가되면서 호안과 식생이 공존할 수 있는 호안이 지속적으로 개발되고 있다. 호안블록은 종류는 증가하고 있으며, 개발된 호안은 하천정비사업에 의해 도입되고 있으나 해마다 발생하는 강우로 인해 호안의 침식 및 붕괴로 인해 그 기능을 상실하고 있다.

우리나라 하천은 공간적 분포와 그 기능 및 기후적 특성 또한 매우 다양하기 때문에 우리나라 실정에 맞는 공법을 개발함은 물론 이론적인 뒷받침과 실험을 통하여 치수적으로 안정되고 친환경적인 호안공법을 통하여 하천의 안정성을 꾀하여야 한다(장석환, 2008).

본 연구에서는 유수가 호안블록에 미치는 영향을 규명하기 위해 단체, 군체 블록에 대한 수리모형실험을 수행하였으며, 호안블록의 수리학적 특성을 나타내는 물리적 계수인 항력·양력계수와 상당조도를 산정하여 호안형태별 특성 인자를 분석하고자 한다.

* 정회원 · 호남대학교 토목환경공학과 석사과정 · E-mail : tkdus-wkd@nate.com

** 정회원 · 호남대학교 토목환경공학과 박사과정 · E-mail : opnyty2002@nate.com

*** 정회원 · 호남대학교 토목환경공학과 석사과정 · E-mail : momo7012@naver.com

**** 정회원 · 호남대학교 토목환경공학과 교수 · E-mail : kuchul@honam.ac.kr

2. 이론적 배경

유동 유체 내에 잠긴 물체에는 흐름에 따른 압력과 점성력이 작용한다. 이러한 힘들의 합력 중 흐름 방향에 수직한 성분을 양력이라고 하고, 평행한 성분을 항력이라 한다. 항력과 양력계수는 다음과 같은 식으로 산정할 수 있다.

$$L = \frac{\rho_w}{2} \cdot C_L \cdot A_b \cdot V_d^2 \quad \text{-----} \rightarrow \quad C_L = \frac{2L}{\rho_w A_b V_d^2}$$

$$D = \frac{\rho_w}{2} \cdot C_D \cdot A_d \cdot V_d^2 \quad \text{-----} \rightarrow \quad C_D = \frac{2D}{\rho_w A_d V_d^2}$$

여기서 $C_D(C_L)$ 는 항력계수(양력계수), V_d 는 블록의 근방유속, $A_d(A_b)$ 는 항력(양력)작용면적, $D(L)$ 는 계측된 항력(양력), ρ 는 유체의 밀도이다.

상당조도는 식의 단면연직평균유속을 이용해 산출하는 것으로서, 마찰속도 u_* 에 대해서는 균체 실험에 있어서의 항력을 이용하여 산출할 수 있다.

$$\frac{V_o}{u_*} = 6.0 + 5.75 \times \log_{10} \left(\frac{H_d}{K_s} \right)$$

$$u_* = \sqrt{\frac{D}{\rho \cdot A_b}}$$

여기서 K_s 는 상당조도이며, V_o 는 평균유속, u_* 는 마찰유속, H_d 는 수심, D 는 항력이다.

3. 모형 실험개요

3.1 실험적용 호안블록

수리모형 실험은 유공이 있어 식재가 가능한 형태의 식생호안 3종류와 유공이 없는 호안블록 3종류 총 6종류에 대한 축소모형으로 실험을 수행하였으며, 호안블록의 형태는 그림 1과 같다.

식생호안블록			호안블록		
호안1	호안2	호안3	호안4	호안5	호안6
<p>단위 : cm 두께 : 3cm</p>	<p>단위 : cm 두께 : 3cm</p>	<p>단위 : cm 두께 : 3cm</p>	<p>단위 : cm 두께 : 3cm</p>	<p>단위 : cm 두께 : 3cm</p>	<p>단위 : cm 두께 : 3cm</p>

그림 1. 호안블록모형

3.2 실험장치

실험에 이용한 수로는 **그림 2**와 같이 폭 0.8m, 길이 15m의 직선 수로이며, 유속계와 4분력계를 수로 상류부로부터 안정화구간 9m 지점에 설치하고 4분력계와 호안블록 모형이 결합 되도록 하여 항력·양력·회전모멘트, 수심별 유속분포를 계측하였다.

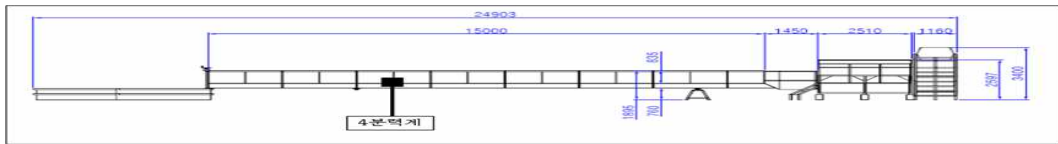


그림 2. 실험 수로

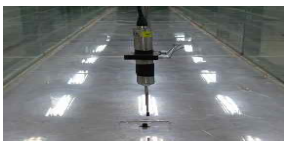


그림 3. 계측기 설치



그림 4. 단체 호안블록



그림 5. 균체 호안블록

3.3 실험 조건

실험에서는 레이놀즈수의 변화에 의한 항력·양력에의 영향 등을 파악하기 위해 수위를 일정 (16cm)하게 유지한 상태에서 유량을 변화시켜 통수를 시행하였다. 실험에 대해서는 수로 특성에 의한 경향, 경계층의 발달상황을 고려하여 단체, 균체 블록을 **그림 4**, **그림 5**와 같이 설치하였다. 단체 실험은 **그림 1**의 각각의 형태가 다른 6개의 호안블록을 설치하였으며, 균체 실험은 하류방향으로 수심의 10배 지점까지 호안을 설치하여 측정하였다.

4. 실험결과 분석

4.1 단체실험

표 1. 수리모형실험 경계 조건

유량 (m ³ /sec)	수로 경사	수심(m) (4분계 설치지점)
0.005	0.001	0.16
0.026	0.001	0.16

표 2. 호안블록 모형실험결과 (유량 : 0.005m³/sec)

호안 종류	호안 번호	양력(N) 평균	항력(N) 평균	유속(m/sec)		양력계수 평균	항력계수 평균	Re수
				근방	평균			
식생 호안 블록	호안1	0.158	0.034	0.0334	0.033	70.457	25.270	4036.69
	호안2	0.059	0.009	0.0389	0.037	5.898	2.129	4525.99
	호안3	0.040	0.014	0.0522	0.053	9.989	6.843	6483.18
호안 블록	호안4	0.025	0.010	0.0505	0.054	1.697	3.404	6605.50
	호안5	0.059	0.016	0.0606	0.057	5.692	3.274	6972.47
	호안6	0.087	0.003	0.0383	0.038	12.412	1.534	4648.31

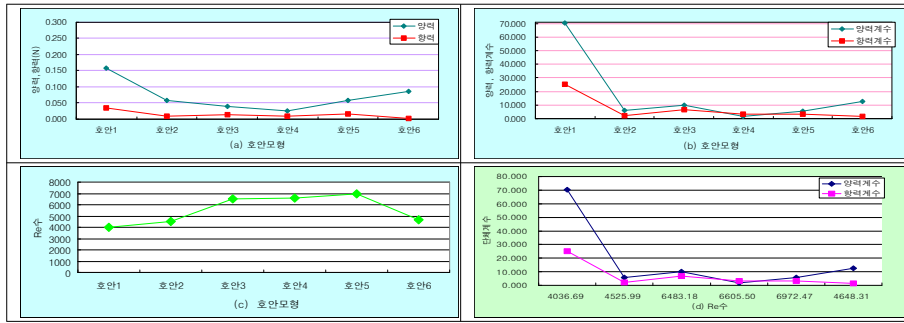


그림 6. 모형실험 결과(유량 : 0.005 m³/sec)

표 3. 호안블록 모형실험결과 (유량 : 0.026 m³/sec)

호안 종류	호안	양력(N) 평균	항력(N) 평균	유속(m/sec)		양력계수 평균	항력계수 평균	Re수
				근방	평균			
식생 호안 블록	호안1	0.157	0.032	0.2482	0.249	1.268	0.431	30458.71
	호안2	0.063	0.013	0.242	0.235	0.322	0.154	28746.17
	호안3	0.074	0.012	0.2508	0.273	0.331	0.106	33394.49
호안 블록	호안4	0.018	0.012	0.2733	0.259	0.053	0.165	31681.95
	호안5	0.046	0.011	0.2464	0.259	0.214	0.113	31681.95
	호안6	0.080	0.001	0.2653	0.270	0.227	0.007	33027.52

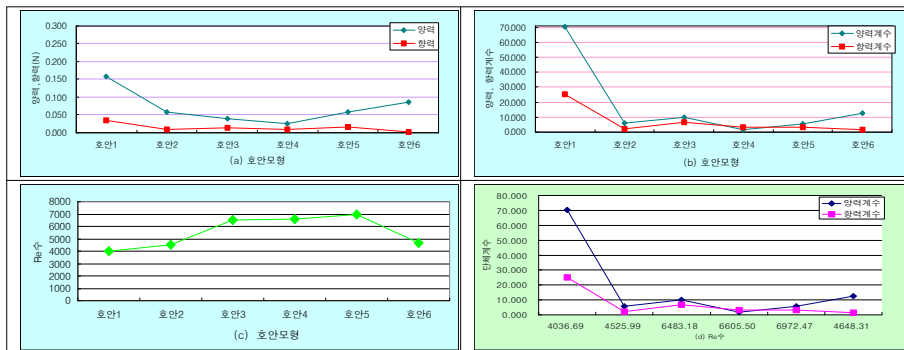


그림 7. 모형실험 결과(유량 : 0.026 m³/sec)

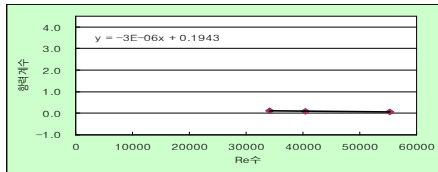
본 실험에서 6개의 호안블록을 비교한 결과 표 2와 같이 호안 1의 항력·양력계수 값이 상당히 차이가 나므로 실험에 문제가 있어 제외하였다. 유량이 0.005m³/sec인 경우 항력계수는 1.697 ~ 12.412, 양력계수는 1.534 ~ 6.843 으로 호안형태별 계측에 따른 결과이지만 과다하게 산정되는 경향을 보였다. 이는 흐름 특성을 나타내는 유속과 레이놀즈수에 따른 결과이며, 레이놀즈수가 항력과 양력계수에 영향을 미쳤기 때문에 실험조건은 적정하지 않다. 유량이 0.026m³/sec인 경우 항력과 양력계수간의 차이는 미미하게 나타났다.

호안의 경계층 내에서 흐름이 층류에서 난류로 변할 때 유선분리점이 하류 방향으로 이동, 후류 지역이 감소하여, 형상력이 작아지기 때문에 레이놀즈수가 감소한다. 항력계수가 감소할 때의 레이놀즈수를 한계 레이놀즈수라 하며 이러한 현상을 한계 레이놀즈수 효과라고 한다(김경호 등, 2002). 레이놀즈수의 범위는 10⁵ 정도이며 레이놀즈수가 항력과 양력계수에 영향을 미치지 않는 것으로 판단되며, 단체실험결과 항력과 양력이 양호한 호안 4 타입을 단체 실험을 적용하였다.

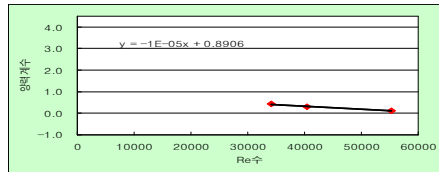
4.2 단계실험(호안4)

표 4. 호안블록 모형실험결과

유량 (m ³ /sec)	양력(N) 평균	항력(N) 평균	유속(m/sec)		양력계수 평균	항력계수 평균	Re수
			근방	평균			
0.026	0.111	0.006	0.217	0.229	0.424	0.109	34119
0.033	0.114	0.007	0.261	0.271	0.311	0.091	40376
0.041	0.084	0.008	0.365	0.371	0.122	0.055	55276



(a) 항력계수



(b) 양력계수

그림 8. 모형실험 결과

선정된 호안 4에 대한 수리 실험은 유량변화에 따른 수리학적 특성을 파악하고, 군체실험을 위한 경계조건을 산정하는데 그 목적이 있다.

실험의 경계조건은 표 5와 같으며 레이놀즈수의 증가에 따라 항력과 양력계수는 감소하였지만 과도한 변화는 없었기 때문에 표 4의 경계조건을 군체 실험에 적용하기로 결정하였다.

4.3 군체실험

표 5. 호안블록 모형실험결과

유량 (m ³ /sec)	양력(N) 평균	항력(N) 평균	유속(m/sec)		양력계수 평균	항력계수 평균	상당조도	Re수
			근방	평균				
0.026	0.029	0.015	0.246	0.251	0.092	0.221	0.163	35197
0.033	0.056	0.015	0.318	0.328	0.104	0.136	0.164	45995
0.041	0.099	0.010	0.409	0.434	0.105	0.053	0.165	60859

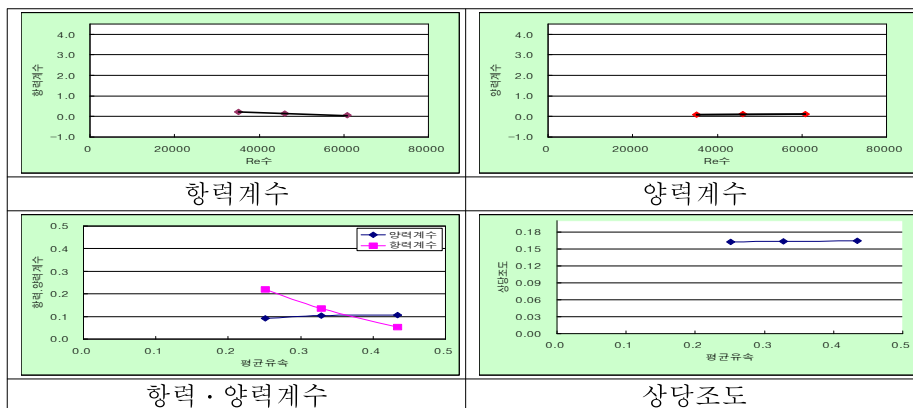


그림 9. 모형실험 결과

군체 실험은 호안 4를 이용하여 실시하였다. 계측결과를 통해 항력과 양력계수를 산정하였으며, 호안의 유속감소 효과를 정량적으로 분석하기 위해 상당조도를 산정하였다. 상당조도는 0.163에서 0.165으로 산정되었으며, 하상면과 경사면의 요철을 표시하는 특성길이이며, 호안블록의 형태, 밀도 등에 의해 달라지며 그 값이 큰 만큼 유속저감효과가 크다. 실험결과 유속이 증가한 만큼 상당조도도 증가하였다. 이는 유속이 상당조도에 영향을 미치고 있는 것으로 판단되며 상당조도 산정 과정에서 상당조도의 함수인 마찰속도(u_*)가 유속의 증가에 따라 감소한다.

5. 결론

본 연구에서는 수리모형 실험을 통해 호안블록에 대한 유수의 영향을 정량적으로 규명하고, 실험방법을 모색하였다. 다양한 형태의 호안블록을 이용하여 단체 실험 후 역학적으로 유리한 형태의 호안을 선정하였고 선정된 호안을 군체 실험에 적용하여 수리학적 특성치인 항력·양력계수와 상당조도를 산정하였다. 그 결과 상당조도의 경우 0.163에서 0.165으로 증가함을 확인할 수 있었고 상당조도의 증가에 따른 유속 저감효과를 예측할 수 있었다.

추후 더 다양한 형태의 블록에 대한 수리모형 실험과 실험방법의 개선을 통해 호안블록을 정량적으로 평가 할 수 있도록 연구 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 및 한국건설교통기술평가원 건설핵심기술연구개발사업의 연구비지원(06 건설핵심B01-자연과 함께하는 하천복원기술개발)에 의해 수행되었습니다. 연구지원에 감사드립니다.

참고 문헌

1. 김경호, 김효섭, 김재중, 전경수(2002). 유체역학, 사이텍미디어.
2. 김진홍 (2005). 하천 호안공의 성능평가-호안블록공을 대상으로-, 한국 수자원학회발표회 하천 환경분과.
3. 박성범 등(2007). 자연형 식생 호안공법의 수리모형실험 및 수치해석 연구, 학위 논문, 대전대학교.
4. 이동섭 등(2007). 치수 안전성과 환경성을 고려한 새로운 식생호안 공법의 적용 및 평가, 한국 수자원학회 2007년도 학술발표회 논문집 pp.123-134.
5. 이민호 등(2007). 호안블록의 수리적 안정성 실험, 한국수자원학회 2007년도 학술발표회 논문집.
6. 장석환 등(2008). 치수를 고려한 일체형 식생 호안블록 공법개발 및 적용성 검토.
7. 財團法人 土木研究センター(2003), 護岸ブロックの水理特性實驗法マニュアル(第2版), 護岸ブロックの實驗法檢討委員會.
8. 田村正秀, 木下正暢, 浜口憲一郎, 阿部康紀(2003), 護岸ブロックの形狀と抗力・揚力特性について, 第2回流体力の評価とその応用に関するシンポジウム.