

호안 재료에 따른 흐름저항 특성 연구

A Study on the Flow Resistance Characteristics with Bank Revetment Materials

유규석*, 김운환**, 김 철***

Gyu-Seok Yoo, Yun-Hwan Kim, Chul Kim

요 지

최근 하천사업에는 자연친화적인 설계기법이 도입되고 있으며 호안공법도 과거 제방보호 기능만을 가진 단순한 호안에서 식생을 활용한 다양한 종류의 호안공법이 개발되어서 각종 하천공사에 도입되고 있다. 그러나 호안공법을 도입할 때 공법에 따른 선택기준이나 구체적인 설계기준이 현재 사용되고 있는 지침에 제시되어있지 않은 실정이다.

이에 본 연구에서는 호안 재료의 적합성에 대한 객관적이고 정량적인 판단기준인 수리학적 특성인자를 파악해보고자 수리모형실험을 수행하였다. 실험은 길이 15m, 폭 0.8m, 높이 0.8m의 수로를 이용하였다. 사용한 호안재료는 흙, 실제모형의 1/50의 축척으로 제작한 호안블록모형과 실제 식생으로서 잔디를 이용하였다. 수로의 상류구간에 대리석을 이용하여 6m의 안정화구간을 만들었고, 실험은 동일한 수위에 유량을 변화시키면서 유속을 측정하였다.

계측 내용을 분석한 결과 식생과 무식생을 비교했을 때 하상에서 식생높이(약 9cm) 범위에서 식생이 최대 97% 유속저감효과를 나타냈으며, 식생과 블록을 비교한 결과도 하상에서 식생높이(약 9cm) 범위에서 식생이 최대 97% 유속저감효과를 나타낸 것을 확인할 수 있었다. 이는 호안재료가 식생일 때 유속저감효과가 크게 나타남을 알 수 있었고 향후 다양한 식생형태에 대한 실험이 필요할 것으로 보이며, 본 연구가 호안공법에 도입되는 다양한 식생의 수리적인 특성인자를 규명하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

핵심용어 : 수리모형실험, 유속저감효과, 호안블록모형, 실제식생

1. 서론

최근에는 자연친화적이고 친수적인 측면이 강조되면서 하천내의 식생에 관한 인식과 관심의 변화로 식생이 단순한 흐름에 저항인자로 작용하는 것이 아니라, 수로와 하안의 안정, 서식지와 동물의 먹이의 제공, 휴식공간의 제공 등 인식이 변화되면서 흐름에 서식하는 식생의 수리학적 영향에 대한 기본적인 이해에 대한 요구가 증가되고 있다(권도현, 2004). 그러나 이러한 인식의 변화에도 불구하고 식생도입에 따른 호안공법의 구체적인 설계기준이 제시되지 않은 실정에서 다양한 종류의 호안공법은 지속적으로 개발·생산되고 또한 각종 하천공사에 적용되고 있다.

이에 본 연구에서는 다양한 소재와 형태의 재료에 대한 수리 실험을 실시하여 수리학적 특성을 파악함으로써 호안재료로서의 적용 가능성을 확인하고자 하였다.

* 사이버회원 · 호남대학교 토목환경공학과 석사과정 · E-mail : momo7012@naver.com
** 학생회원 · 호남대학교 토목환경공학과 박사수료 · E-mail : foxf1@paran.com
*** 정회원 · 호남대학교 토목환경공학과 교수 · E-mail : kuchul@honam.ac.kr

2. 연구동향 및 이론

2-1 연구동향

국내와 국외의 하천식생에 따른 수리모형실험에 관한 내용을 살펴보면 국외의 경우 Carollo et al.(2005)은 실제 잔디를 이용하여 침수조건에서 식생밀도에 따라 흐름저항과 유속의 함수관계를 분석하였고, Yang(2005, 2007)은 반복단면수로에서 홍수터에 관목, 교목, 잔디 등과 같은 식생종류에 따른 유속분포변화를 분석하였다.

국내에서는 윤태훈 등(2002)과 송재우 등(2004)은 침수조건에서 개수로의 흐름변화 및 유속분포 특성을 분석하였고, 권도현(2004)은 식생의 밀도를 변화하여 흐름저항과 유속분포공식을 비교 분석하였으며, 여홍구 등(2004)은 강성과 연성 식생에 의한 흐름저항 및 흐름특성을 실험적으로 연구하였다, 이동섭 등(2006)은 선별된 식생에 대한 식생조도계수를 산정하였다.

2-2 이론적 배경

개수로 내 흐름의 상태는 수류의 관성력에 대한 점성력 및 중력의 상대적인 영향에 따라 지배된다. 관성력에 대한 점성력의 상대적인 크기는 관수로에서처럼 레이놀즈수(Reynolds number)로 표시하며 다음과 같다.

$$R_e = \frac{VR_h}{\nu} \quad (1)$$

여기서, V 는 흐름의 한 단면에서의 평균유속(m/sec)이며 R_h 는 흐름단면의 동수반경(m)이며, ν 는 물의 동점성계수(m^2/sec)이다.

Darcy-Weisbach 공식을 개수로 흐름에 대해 정리하면 (2)식이 된다.

$$h = f \frac{L}{4R_h} \frac{V^2}{2g} \quad (2)$$

여기서, h_L 은 개수로 길이 L 에 걸친 마찰손실수두이고 V 는 평균유속, f 는 마찰손실계수이다. 개수로내 흐름의 에너지 경사 $S = h_L/L$ 이므로 이를 식 (2)에 대입하고 f 에 관해 풀면 (3)식이 된다.

$$f = \frac{8gR_h S}{V^2} \quad (3)$$

3. 수리 모형 실험

3-1 실험장치

본 연구에서는 그림 1과 같은 수로 길이 15m, 폭 0.8m의 직사각형 가변식 개수로 실험장치를 사용하였다. 수로 경사는 0.07%이며 유량은 펌프의 밸브를 조작하여 조절하였다. 고수조 위어의

유량곡선으로부터 유량을 계산하였으며, 유속측정은 그림 2와 같은 전자식 2차원 유속계를 이용하여 측정하였다.



그림 1. 실험 수로



그림 2. 유속계

3-2 실험방법

수리실험은 무식생(토양), 호안블록, 식생(잔디)의 3가지 재료를 이용하여 수행하였다. 실험에 사용된 토양은 실험결과의 신뢰성 확보를 위해 No.4 체를 통과한 균일한 토양을 사용하였으며, 토양을 수로의 바닥에 2cm 두께로 균일하게 포설한 후 실험을 실시하였다(그림 3). 블록은 “수리모형 실험을 통한 호안블록의 수리학적 특성 분석”(박상현, 2010)의 연구내용을 참고하여 항력과 양력 계수의 변화가 적은 그림 4 형태의 호안블록을 선정하고 실물크기의 1/50 축소 제작하여 사용하였다. 또한 식생은 실제 하천 생태복원을 위해 수변에 많이 사용되고 있는 잔디를 사용하였다. 수로에 5m를 설치하였으며, 초장은 평균 7cm이며, 수로바닥에 설치된 호안재료는 그림 3~5와 같다.

유속측정은 무식생(토양)을 기준으로 하상으로부터 수면으로 1cm씩 유속계를 이동시켜 측정하였으며, 호안블록은 하상의 측정이 불가능하여 호안블록 요철 상부에서 1cm씩 올라가며 측정을 하였다. 식생역시 호안블록과 동일한 구간에서 유속을 측정하였다. 블록과 식생(잔디) 설치로 인한 수로 바닥과 하상의 단차가 유수의 흐름에 미치는 영향을 고려하여 실험 수로 상류부에 대리석을 이용한 단차조절을 통해 안정화 구간을 설치하고 유수가 충분히 안정화 되는 지점에서 유속을 측정하였다.



그림 3. 무식생(토양)



그림 4. 호안블록



그림 5. 식생

4. 실험결과 분석

표 1. 수심에 따른 재료별 유속

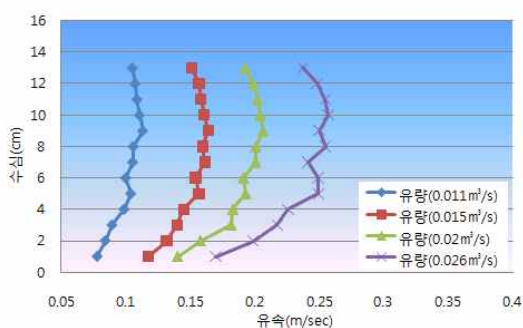
유량 수심	무식생 실험				블록 실험				식생 실험			
	0.011 m³/s	0.015 m³/s	0.02 m³/s	0.026 m³/s	0.011 m³/s	0.015 m³/s	0.02 m³/s	0.026 m³/s	0.011 m³/s	0.015 m³/s	0.02 m³/s	0.026 m³/s
1	0.069	0.105	0.137	0.173	-	-	-	-	-	-	-	-
2	0.076	0.115	0.155	0.184	-	-	-	-	-	-	-	-
3	0.079	0.118	0.163	0.196	0.078	0.117	0.14	0.17	0.009	0.003	0.014	0.024
4	0.086	0.130	0.167	0.204	0.084	0.132	0.158	0.199	0.005	0.018	0.028	0.049
5	0.084	0.135	0.169	0.214	0.089	0.14	0.182	0.218	0.015	0.043	0.059	0.109
6	0.088	0.134	0.177	0.219	0.099	0.145	0.183	0.226	0.04	0.09	0.123	0.184
7	0.091	0.136	0.175	0.223	0.104	0.157	0.193	0.249	0.073	0.129	0.169	0.247
8	0.093	0.136	0.185	0.231	0.1	0.154	0.191	0.249	0.099	0.172	0.216	0.3
9	0.091	0.142	0.186	0.230	0.106	0.161	0.201	0.241	0.127	0.202	0.253	0.323
10	0.096	0.140	0.187	0.230	0.106	0.16	0.201	0.255	0.132	0.217	0.274	0.359
11	0.096	0.141	0.182	0.227	0.114	0.164	0.207	0.25	0.149	0.234	0.312	0.393
12	0.100	0.140	0.184	0.225	0.111	0.161	0.204	0.257	0.166	0.249	0.314	0.411
13	0.096	0.138	0.181	0.227	0.109	0.158	0.202	0.255	0.182	0.268	0.326	0.399
14	0.096	0.137	0.175	0.223	0.108	0.157	0.199	0.248	0.191	0.265	0.305	0.4
15	0.087	0.132	0.169	0.211	0.105	0.151	0.193	0.238	0.183	0.263	0.344	0.409

표 2. 수심에 따른 재료별 레이놀즈수

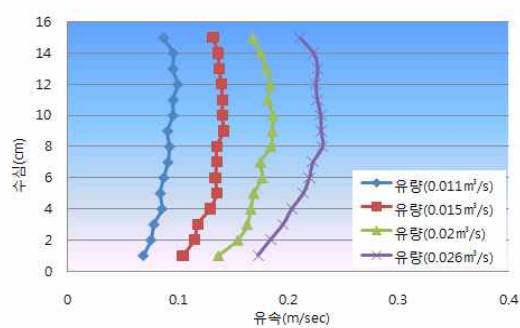
유량 수심	무식생 실험				블록 실험				식생 실험			
	0.011 m³/s	0.015 m³/s	0.02 m³/s	0.026 m³/s	0.011 m³/s	0.015 m³/s	0.02 m³/s	0.026 m³/s	0.011 m³/s	0.015 m³/s	0.02 m³/s	0.026 m³/s
1	1525	2314	2962	3699	-	-	-	-	-	-	-	-
2	2524	3602	4601	5863	-	-	-	-	-	-	-	-
3	3365	4838	6345	7958	9571	14356	17178	20859	1104	368	1718	2945
4	4382	6135	8063	9860	9571	15039	18002	22673	570	2051	3190	5583
5	5048	7415	9571	11937	9360	14724	19141	22927	1578	4522	6205	11464
6	5890	8589	11472	14110	9544	13979	17642	21788	3856	8677	11858	17739
7	6380	9956	13041	16126	9115	13760	16915	21823	6398	11306	14812	21648
8	7336	10727	14592	18221	7888	12147	15066	19641	7809	13567	17038	23663
9	7975	11919	15337	19544	7432	11288	14093	16897	8904	14163	17739	22647
10	8484	12918	17064	21113	6503	9816	12331	15644	8098	13313	16810	22025
11	8834	14198	17774	22507	5995	8624	10885	13146	7835	12305	16407	20666
12	9798	14812	19027	23243	4864	7055	8940	11262	7274	10911	13760	18011
13	9693	14479	20000	24049	3821	5539	7082	8940	6380	9395	11429	13988
14	9991	15118	20377	24189	2840	4128	5232	6521	5022	6968	8019	10517
15	9676	14724	19211	24259	1840	2647	3383	4172	3208	4610	6030	7169

표 3. 수심에 따른 재료별 마찰계수

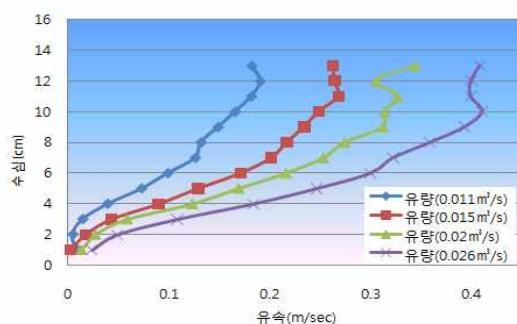
유량 수심	무식생 실험				블록 실험				식생 실험			
	0.011 m ³ /s	0.015 m ³ /s	0.02 m ³ /s	0.026 m ³ /s	0.011 m ³ /s	0.015 m ³ /s	0.02 m ³ /s	0.026 m ³ /s	0.011 m ³ /s	0.015 m ³ /s	0.02 m ³ /s	0.026 m ³ /s
1	1.581	0.683	0.401	0.251	-	-	-	-	-	-	-	-
2	1.222	0.534	0.294	0.208	-	-	-	-	-	-	-	-
3	1.055	0.473	0.248	0.171	1.082	0.481	0.336	0.228	81.3	731.7	33.60	11.433
4	0.827	0.362	0.219	0.147	0.867	0.351	0.245	0.154	244.6	18.87	7.800	2.547
5	0.800	0.310	0.198	0.123	0.713	0.288	0.170	0.119	25.08	3.053	1.622	0.475
6	0.668	0.288	0.165	0.108	0.528	0.246	0.155	0.101	3.234	0.639	0.342	0.153
7	0.568	0.254	0.154	0.095	0.435	0.191	0.126	0.076	0.883	0.283	0.165	0.077
8	0.489	0.229	0.124	0.079	0.423	0.179	0.116	0.068	0.432	0.143	0.091	0.047
9	0.454	0.187	0.109	0.071	0.335	0.145	0.093	0.065	0.233	0.092	0.059	0.036
10	0.357	0.168	0.094	0.062	0.293	0.129	0.082	0.051	0.189	0.070	0.044	0.026
11	0.306	0.142	0.085	0.055	0.217	0.105	0.066	0.045	0.127	0.052	0.029	0.018
12	0.235	0.120	0.069	0.046	0.191	0.091	0.057	0.036	0.085	0.038	0.024	0.014
13	0.204	0.099	0.057	0.037	0.158	0.075	0.046	0.029	0.057	0.026	0.018	0.012
14	0.153	0.075	0.046	0.028	0.121	0.057	0.036	0.023	0.039	0.020	0.015	0.009
15	0.124	0.054	0.033	0.021	0.085	0.041	0.025	0.017	0.028	0.014	0.008	0.006



a) 블록실험의 유량별 유속변화



b) 무식생실험의 유량별 유속변화



c) 식생실험의 유량별 유속변화

그림 6. 모형실험 결과

계측된 유속을 통해 각 단면에서의 마찰계수, 레이놀드수를 산정하였다(표1~3). 식생높이 위에서는 일반적인 개수로 흐름과 유사하며 식생높이(6cm) 아래에서 유속의 감소효과를 확인할 수 있었다. 식생호안과 무식생호안을 비교했을 때 하상에서 식생높이(약 6cm) 범위에서 식생호안이 최대 97% 유속저감효과를 나타냈으며, 식생호안과 블록호안을 비교한 결과도 하상에서 식생높이(약

6cm) 범위에서 식생호안이 최대 97% 유속저감효과를 나타낸 것을 확인할 수 있었다. 식생층 내에서는 식생전과 비교하여 유속이 저하되었으며, 식생층 위에서는 유속이 증가하였다. 식생높이 부근에서 유속이 급격히 증가하는 것은 식생의 영향으로 인하여 마찰계수의 감소에 따른 영향으로 보인다.

4. 결론

본 연구에서는 수리모형 실험을 통해 호안재료에 따른 수리학적 특성을 파악하였다. 유속분포에 따른 호안재료별 마찰계수, 레이놀즈수 특성인자를 산정하였고, 그 결과 식생층 위의 유속은 대수 분포를 나타내는 것을 확인하였으며, 호안재료의 하상에서 식생의 경우 마찰계수가 81~11으로 가장 높았고, 식생높이에서는 마찰계수가 무식생(토양)과 호안블록에 비해 약 80% 감소함을 알 수 있었다. 호안재료의 상단에서 마찰계수가 유량의 증가에 따라 토양의 경우 $1.58 \sim 0.25$, 식생의 경우 $0.432 \sim 0.077$, 블록의 경우 $1.082 \sim 0.228$ 으로 나타났고, 마찰계수와 유속의 관계를 비교해본 결과 마찰계수와 유속의 상관성이 매우 높음을 알 수 있었다.

앞으로 더 다양한 형태의 식생에 대한 수리모형 실험과 실험방법의 개선을 통해 식생재료에 따라 객관적이고 정량적인 수리학적 특성인자를 파악하고 평가해야 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. 윤용남(1998). 수리학, 청문각
3. 지정환(1998). 수리실험의 기초원리와 방법, 동화기술교역
4. 권도현(2003). 식생 수로와 비식생 수로에서의 흐름특성에 관한 실험적 연구, 학위논문, 홍익대학교
5. 이준호(2007). 하천 식생에 의한 수리 특성 변화 분석, 학위논문, 경기대학교
6. 박상현(2010). 수리모형 실험을 통한 호안블록의 수리학적 특성 분석, 2010년 한국수자원학회 학술발표회, p413
7. 송재우, 박성식(2004). 식생 수로와 비식생 수로에서의 조도특성 및 유속분포, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제25권, 제6B호, pp.545-552
8. 윤태훈, 신용진, 이지송(2002). 수초영역으로 인한 개수로 흐름변화, 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제22권, 제2B호, pp.143-149
9. 이동섭, 우효섭, 권보애, 안홍규(2006). 식생조도계수 산정을 위한 선별된 식생에 관한 실험 연구, 한국수자원학회 학술발표논문집, 한국수자원학회, pp.1291-1294
10. 여홍규, 박문형, 강준구, 김태욱(2004). 개수로내 식생구간의 흐름저항 및 흐름특성에 관한 실험적고찰 한국환경복원녹화기술학회논문집, 한국환경복원녹화기술학회, 제7권, 제6호, pp.62-74
11. Carollo, F.G., Ferro, V., and Termini, D. (2005). "Flow resistance law in channels with flexible submerged vegetation" Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 131, pp. 554-564
12. Yang, K. (2005). Velocity distribution in compound channels with vegetation floodplains. 31st Congress of IHAR, Seoul, Korea, CD-ROM, PC-22