

경사수제 주변 흐름특성 분석에 관한 실험연구

An Experimental Study on Flow Characteristic Around Inclined Crest Groyne

강 준 구* / 김 성 중** / 여 홍 구***

Kang, Joon Gu / Kim, Sung Jung / Yeo, Hong Koo

Abstract

In case of inclined crest groyne, flow constriction with water is different. Therefore, it is proper to apply to narrow channel or there is a risk of overflow with water level rising caused by installation of groyne. This study were conducted experiments on inclined crest groyne. Main factors of inclined crest groyne are angles of crests slope and changes of water level. Velocity profile around groyne was measured by LSPIV (Large Scale Particle Image Velocimetry). Flow fields around groyne were analyzed focused on main channel and recirculation area. From the results, Thalweg change has little an effect on rate length and height of recirculation rises on increasing rate length. Length of recirculation area was about 12~16 times of rate length of groyne. Maximum velocity in main channel area was measured about 1.45~2.1 times of approach velocity and has little an effect on crest angle of groyne. Back water velocity recirculation area was decreased on approach velocity. This result presents to make stable flow to bank protection.

Keywords: inclined crest groyne, crest angle, thalweg, recirculation area

요 지

경사수제는 수위에 따라 흐름축소의 정도가 달라지기 때문에 폭이 좁은 수로나 수제설치로 인해 발생하는 수위 상승으로 월류의 위험성이 있는 지점에 적용하기에 적합하다. 본 연구는 수제 선단부가 경사를 이루는 경사수제에 대한 수리실험을 수행하였다. 경사수제 실험의 주요 인자는 수제의 선단부 각도와 수심변화이며 이들 주요인자에 의한 수제주변의 유속을 LSPIV (Large Scale Particle Image Velocimetry) 기법을 이용하여 측정하였다. 수제주변 흐름영역은 주흐름영역과 재순환영역으로 구분하여 분석하였다. 실험결과, 흐름중심선 변화는 환산길이에 영향이 크지 않았으나 재순환영역 폭은 환산길이가 클수록 증가하였다. 재순환영역의 길이는 환산수제길이의 약 12 ~ 16배 정도 발생하였다. 주흐름영역에서의 최대유속은 상류접근유속에 1.45 ~ 2.1배 내외로 수제경사에 의한 영향은 크지 않았다. 재순환영역의 역류속은 확연히 감소하는 것으로 나타나 제방부 호안에 안정된 흐름이 형성되는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 경사수제, 수제각도, 흐름중심선, 재순환영역

* 한국건설기술연구원 하천·해양항만연구실 선임연구원

Senior Researcher, River, Coastal and Harbor Research Division, Korea Institute of Construction Technology

** 교신저자, 한국건설기술연구원 하천·해양항만연구실 연구원

Corresponding Author, Researcher, River, Coastal and Harbor Research Division, Korea Institute of Construction Technology
(E-mail: jinx9482@kict.re.kr)

*** 한국건설기술연구원 하천·해양항만연구실 책임연구원

Researcher Fellow, River, Coastal and Harbor Research Division, Korea Institute of Construction Technology

1. 서론

수제는 일반적으로 하천에서의 흐름 방향과 유속을 제어하여 하안 또는 제방을 유수에 의한 침식작용으로부터 보호하기 위한 목적으로 설치될 뿐만 아니라 운하의 운영을 위한 충분한 수심 확보 목적으로도 이용된다. 또한 수제는 하천의 경관성 및 접근성을 개선하는 친수구조물로 이용될 뿐만 아니라 물고기의 수중서식처 및 홍수시 피난처를 제공하는 생태적인 기능도 발휘한다(강준구 등, 2006). 이와 같이 수제는 다양한 기능을 갖고 있고 시공성이 뛰어나 특정목적에 따라 다양한 형태의 수제를 적용할 수 있다. 특히 하천복원 및 자연하천 정비에 대한 관심이 커지면서 수제는 국부적인 흐름 제어와 수중서식처 조성을 위한 주요 수공구조물로 제시되고 있다. 수제는 그 형태가 매우 다양하며 수제영역의 흐름과 주수로의 흐름변화 또한 형태에 따라 차이가 발생하기 때문에 수제를 설계하기 위해서는 설치목적에 따른 수제형태의 선정과 수제형태에 따른 흐름변화를 판단하는 것이 매우 중요하다. 하지만 수제형태에 대한 연구는 주로 사각형태의 비월류 및 월류 수제에 대한 것이 대부분이며 특히 형상에 대한 연구는 미미한 실정이다. 이로 인해 다양한 형태의 수제가 제안되고 설계되고 있지만 각 수제에 대한 설계 가이드라인이 없이 경험적인 방법으로 시공되고 있기 때문에 다양한 수제형태에 대한 수리특성을 파악하는 것이 필요하다.

기존연구를 살펴보면, Ettema and Muste (2004)는 길이 변화에 따른 사각형 불투과 수제의 하류 재순환 영역과 흐름중심선에 대한 축척영향만을 분석하였으며, 다양한 수제에 대해서는 다루지 않았다. Uijtewaal (2005)은 4 가지 종류(사각형 불투과 2case, 투과 및 월류 수제)에 대해 비교적 다양한 수리실험을 시도하였는데 유속측정은 PTV (Particle Tracking Velocimetry) 기법을 이용하여 표면유속값을 통한 수제주변의 흐름해석을 수행하였다. 하지만 흐름분석은 수제주변으로 국한되어 있으며 수로에 영향을 미치는 흐름분리 영역과 흐름중심선에 대해서는 언급되지 않았다. 국내의 경우는 수제와 관련된 연구 자료가 매우 부족한 실정이다. 강준구 등(2005)은 사각형 불투과 2case, 투과 및 월류 수제에 대한 실험연구를 수행하여 수제 하류부 재순환 영역과 수제선단 유속변화에 대한 영향을 나타냈다. 여흥구 등(2006)은 사각형 불투과 수제에 대한 흐름분리 영역과 흐름중심선을 제시하고 분류흐름 변화에 대해 실험연구를 수행하였다.

본 연구는 다양한 형태의 수제 중 경사형 수제를 대상으로 수행하였다. 경사수제는 기존의 사각형태의 불

투과 수제나 말뚝형태의 투과수제와는 달리 불투과의 형태를 가지고 있으면서도 투과수제의 기능도 함께 갖는 수제로써, 수제의 기본적인 기능을 발휘하면서 수위에 따른 흐름변화에 적절하게 대처할 수 있는 수제이다. 일반적으로 불투과 수제의 경우 수위가 수제 선단을 초과하여 월류가 발생하면 수제를 타고 넘는 강한 흐름이 수로제방을 따라 수제 직하류에 형성된다. 또한 수제선단에서의 흐름회절 및 돌출된 수제 끝단에서 흐름집중이 발생하여 수제 사이의 제방침식 및 수제부의 국부세굴을 가속화할 수 있다. 따라서 불투과 수제는 수위에 따른 악영향을 최소화될 수 있도록 최악의 홍수위조건이라 하더라도 최소한 0.5 m 이상 월류하지 않도록 설계하거나, 수위에 따른 흐름변화에 적절하게 대처할 수 있는 경사수제를 적용하는 것을 추천하고 있다(FHWA, 1985). 또한 경사수제는 수위에 따라 흐름수축의 정도가 달라지기 때문에 수제 돌출에 따른 통수능 저하와 이에 따른 수위상승 및 월류 위험이 있는 좁은 수로에 설치하거나 보호되어야 할 제방의 높이가 큰 경우에 유리하다. 또한 하천 만곡부 흐름의 급격한 수위상승과 같은 변화에 잘 대처할 수 있을 뿐만 아니라(FHWA, 1984) 사각형태 수제나 말뚝형 수제에 비해 경관이 뛰어나고 친수성이 뛰어나 많은 연구자들이 불투과 수제공법으로 경사수제를 추천하고 있다(Franco, 1966; Acheson, 1968; Jansen *et al.*, 1979; Richardson and Simons, 1974). 하지만 경사 수제의 경우 급격한 유량증가 및 수위 상승에 따른 수제 주변 흐름특성에 대한 연구는 미미할 뿐만 아니라 뚜렷한 설계 기준이 제시되어 있지 않은 실정이다. 본 연구는 수리실험을 이용하여 수제주변의 공간적인 변화인 재순환영역, 흐름중심선의 흐름변화와 분류역과 재순환영역의 유속변화 등 경사형 수제 설치에 따른 영향을 파악하여 경사수제 설계의 기초자료를 제공하는데 목적이 있다.

2. 수리실험

2.1 실험인자

수제설치에 따른 수제주변 흐름영역은 크게 주흐름 영역과 수제하류부에 발생하는 재순환영역으로 구분할 수 있다. 주흐름 영역은 수로내 설치된 수제로 인해 흐름을 방해하고 흐름중심선이 변화하고 흐름폭이 감소하여 유속이 증가되는 구간이다. 흐름중심선(Thalweg)은 수로중앙부에서 발생하는 최대유속선을 일컫는다. 주흐름영역의 공간적 변화는 흐름중심선의 높이(T_{cx})를 통해 분석하였다. 수제하류부에 발생하는 재순환영역(Recirculation area)은 다양한 흐름이 존재하는 구역으

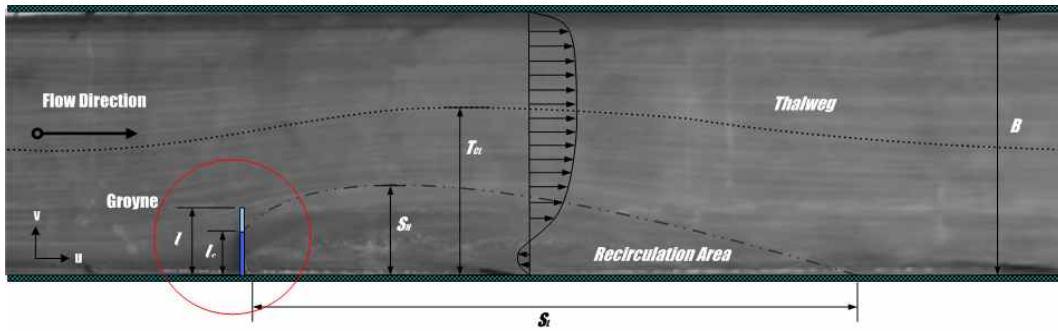


Fig. 1. Characteristics and Definitions of Flow Variations Around Single Groyne

로 수제의 효과를 발생시키는 영역이다. 재순환영역의 흐름은 수제형태에 따라 차이가 있는데 불투과수제의 경우 재순환영역의 흐름은 한 개 또는 그 이상의 소용돌이가 발생한다. 재순환영역의 다양한 흐름은 기존하도에 비해 유속을 감소시켜 제방을 침식으로부터 보호될 수 있으며 다양한 수중생물의 생태서식 공간을 제공할 뿐만 아니라 홍수 시 피난처 역할을 하게 된다. 재순환영역의 공간적 변화는 수제의 종류, 수제길이, 수제간격 및 생태서식처규모 등 수제효과를 평가하는 주요인자가 된다. 공간변화를 평가하기 위한 인자는 재순환영역의 폭과 길이이며 각각 S_H , S_L 로 나타내었다. 수제 주변흐름의 변화는 수제의 길이(L/B), 투과율(P)에 의해 크게 좌우되는데(강준구 등, 2005) 비월류의 조건에서는 그 영향을 파악하기가 수월하지만, 경사수제는 수심에 따라 잠김정도가 변화하게 되는 월류조건을 고려하지 않을 수 없다. 이에 본 실험에서는 수제선단부의 각도(θ) 및 월류에 따른 수제돌출길이(l_e)에 의해 변화되는 수제주변 흐름특성을 분석하고자 하였다(Fig. 1).

2.2 실험조건

경사수제 실험은 2.0 m(B) × 0.8 m(H) × 40.0 m(L)의 직선수로에서 수행하였으며 수제주변의 유속장은

흐름장에 입자를 투여하여 촬영된 영상을 기반으로 분석하는 방식의 LSPIV 기법을 이용하였다. 흐름장의 촬영은 디지털 캠코더(DCR-PC350, Sony.Co)를 사용하였고 동영상 편집 프로그램으로는 Premiere Pro 2.0 (Adobe)를 이미지 분석은 CACTUS 3.1 (IIT.Co)을 사용하였다. 수제의 접근유속 측정은 2차원 전자기 유속계(ACM250-D, Alec.Co) 유속계를 이용하여 측정하였다(Fig. 2).

실험에 사용된 경사수제는 아크릴소재로 제작하였으며 수제의 높이는 h_g , 수제의 바닥길이는 l , 수제의 각도는 θ 로 정의하였다. 또한 수심변화에 따라 달라지는 수제의 노출길이는 l_e 로 나타내었다(Fig. 3). 일반적으로 수제의 길이는 수로폭에 대한 수제의 길이비(L/B)가 0.15 ~ 0.3 배 범위에서 사용되므로(FHWA, 1985), 본 실험에서는 추천 값의 최대치인 $L/B=0.3$ 을 적용하여 수제의 길이를 0.6 m로 결정하였다. 수제의 각도는 수제길이와 높이를 감안하여 $10^\circ \sim 30^\circ$ 로 범위에서 총 5가지 각도에 대한 경사수제를 제작하였다. 변화되는 수심에 따라 수제 주변 흐름특성이 변화되는 경사수제의 특성상 수제로 하여금 영향이 미치는 정확한 수제길이를 정의하는 것은 쉽지 않다. 따라서 본 연구에서는 경사수제를 직벽형태의 연직수제로 가정하고 수심에 의해 잠김이 발생하는 수제의 부분면적에 대

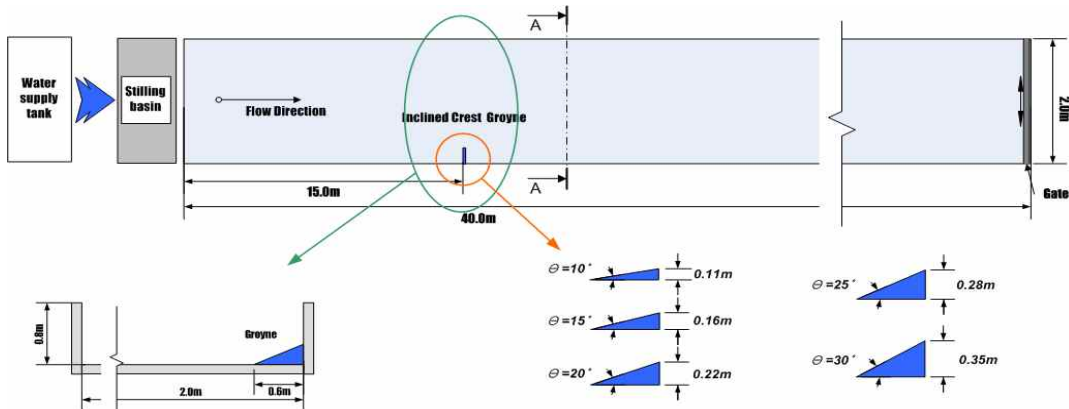


Fig. 2. Experimental Flume

하여 면적비 개념을 도입하여 Eq. (1)과 같이 환산수제 길이 l' 로 정의하였다.

$$l' = l \times A_r \quad (1)$$

$$A_r = A_I/A_T \quad (2)$$

면적비 A_r 은 Eq. (2)와 같이 계산되어 진다. 여기서 A_I 은 수중에 잠긴 수제의 단면적이고, A_T 는 연직수제로 가정했을 시 잠김이 발생하는 면적($A_I + A_2$)이다

(Fig. 3). Froude 수는 재순환영역에 큰 영향을 미치지 않기 때문에(강준구 등, 2005), 흐름조건은 $Fr=0.3$ 이 되도록 유속과 수심조건을 결정하였다(Table 1).

2.3 실험방법

수제 주변흐름장은 영상처리기술을 이용하여 유속장을 측정하는 LSPIV (Large Scale Particle Image Velocimetry) 기법을 이용하여 측정하였으며, 측정결과로부터 수제주변 및 재순환영역의 흐름장을 분석하였다. 그림에서 보는 바와 같이 수제주변 흐름장을 측정

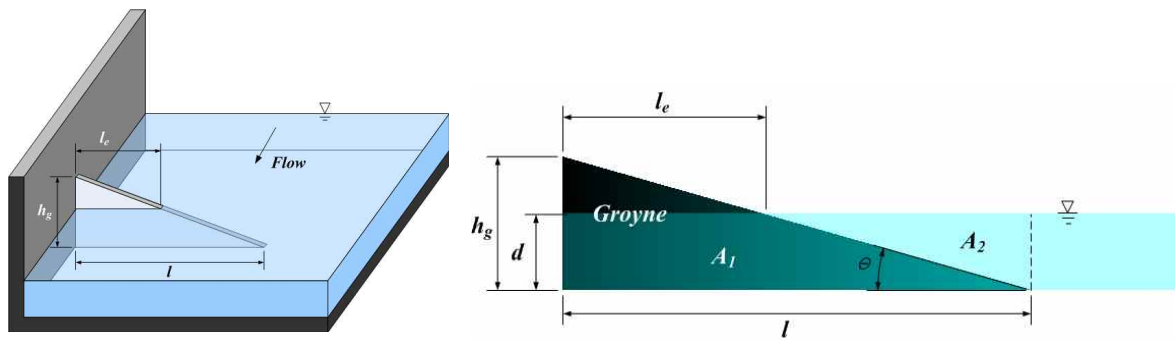


Fig. 3. Definition of Inclined Crest Groyne Length

Table 1. Experimental Conditions

Case	l (m)	θ ($^\circ$)	h_g (m)	d (m)	d/h_g	A_r	l' (m)	V_{app} (m/s)
CA10P50	0.6	10	0.11	0.106	1.000	0.500	0.300	0.310
CA10P45	0.6	10	0.11	0.095	0.898	0.551	0.331	0.290
CA15P50	0.6	15	0.16	0.160	0.995	0.502	0.301	0.370
CA15P45	0.6	15	0.16	0.145	0.902	0.549	0.329	0.360
CA15P40	0.6	15	0.16	0.130	0.809	0.596	0.357	0.340
CA15P35	0.6	15	0.16	0.112	0.697	0.652	0.391	0.310
CA15P30	0.6	15	0.16	0.095	0.591	0.705	0.423	0.290
CA20P50	0.6	20	0.22	0.220	1.007	0.496	0.298	0.440
CA20P40	0.6	20	0.22	0.175	0.801	0.599	0.360	0.390
CA20P30	0.6	20	0.22	0.130	0.595	0.702	0.421	0.340
CA20P25	0.6	20	0.22	0.110	0.504	0.748	0.449	0.310
CA20P20	0.6	20	0.22	0.089	0.408	0.796	0.478	0.280
CA25P50	0.6	25	0.28	0.280	1.001	0.500	0.300	0.490
CA25P40	0.6	25	0.28	0.225	0.804	0.598	0.359	0.450
CA25P30	0.6	25	0.28	0.170	0.608	0.696	0.418	0.390
CA25P25	0.6	25	0.28	0.140	0.500	0.750	0.450	0.350
CA25P20	0.6	25	0.28	0.113	0.404	0.798	0.479	0.320
CA30P50	0.6	30	0.35	0.346	1.000	0.500	0.300	0.550
CA30P40	0.6	30	0.35	0.280	0.808	0.596	0.358	0.500
CA30P30	0.6	30	0.35	0.210	0.606	0.697	0.418	0.430
CA30P20	0.6	30	0.35	0.140	0.404	0.798	0.479	0.350
CA30P15	0.6	30	0.35	0.105	0.303	0.848	0.509	0.300

은 흐름중에 입자를 투여하여 촬영한 영상으로부터 정지화상을 추출하여 왜곡보정을 수행한 후 이를 연속적으로 나열하여 노출된 형태를 통해 수제 주변의 유선의 형태를 확인할 수 있다. LSPIV 기법을 통해 분석된 유속장 자료는 후처리 과정을 통해 수제 주변 흐름장의 유속벡터를 확인할 수 있다(Figs. 4(a) and 4(b)).

3. 실험 결과 및 분석

경사수제 재순환영역 흐름장의 특성변화는 두 가지 조건에 따라 검토하였다. 첫 번째는 수심조건에 따른 변화이고 두 번째는 경사수제의 선단부 경사각도에 따

른 변화이다. Table 2는 각 조건별 경사수제 재순환영역의 특성값을 실험으로부터 분석한 결과이다.

Figs. 5(a) ~ 5(d)는 수심변화에 따른 수제 주변의 흐름을 나타낸 것으로 주흐름영역에서의 흐름중심선과 재순환영역을 파악할 수 있다. 수제 후류부 재순환영역은 수심변화에 따라 형상, 규모 및 소용돌이 형성 등의 변화를 나타내고 있다. 수심변화에 따라 흐름중심선 높이 (T_{CL})는 수심비(d/h_g)가 커질수록 증가하는 경향을 보이나 증가폭은 미미하였다. 재순환영역 폭(S_H)는 수심비(d/h_g)가 커질수록 증가하는 경향이 뚜렷이 나타났다.

Figs. 6(a) and 6(b)는 환산수제길이(I')와 하폭비에

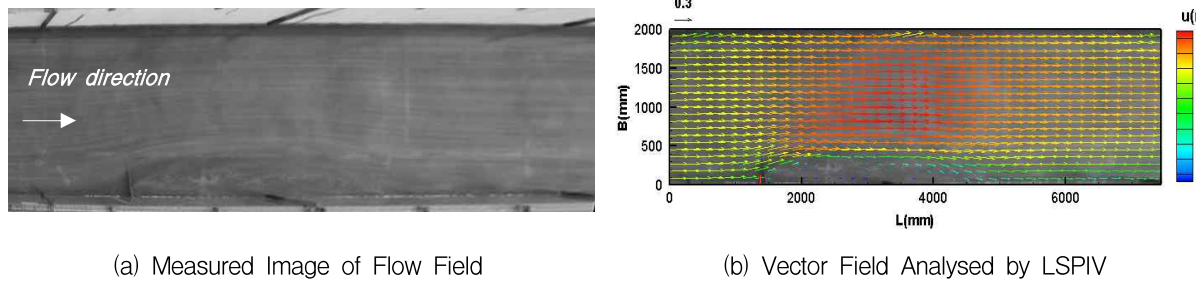


Fig. 4. Results of LSPIV Analysis

Table 2. The Results of Experiments

Case	I_e (m)	I'/B	S_H/B	T_{CL}/B	S_L/I	S_L/I'	U_{max}/U_m	$U_{max(veeve)}/U_m$
CA10P50	0.000	0.150	0.225	0.558	7.333	14.667	1.592	-0.176
CA10P45	0.061	0.165	0.250	0.550	8.700	15.789	1.525	-0.308
CA15P50	0.000	0.151	0.223	0.551	7.633	15.194	1.569	-0.165
CA15P45	0.059	0.165	0.225	0.526	-	-	1.459	-0.251
CA15P40	0.115	0.179	0.245	0.530	9.417	15.808	1.479	-0.230
CA15P35	0.182	0.196	0.264	0.543	9.850	15.115	1.602	-0.297
CA15P30	0.245	0.211	0.313	0.555	10.733	15.234	1.984	-0.297
CA20P50	0.000	0.149	0.222	0.540	7.433	14.978	1.623	-0.165
CA20P40	0.119	0.180	0.238	0.545	9.133	15.239	1.720	-0.182
CA20P30	0.243	0.211	0.275	0.540	10.417	14.831	1.729	-0.404
CA20P25	0.298	0.224	0.310	0.544	11.217	14.993	1.705	-0.448
CA20P20	0.355	0.239	0.318	0.565	-	-	1.656	-0.481
CA25P50	0.000	0.150	0.214	0.528	7.128	14.268	1.515	-0.141
CA25P40	0.117	0.179	0.259	0.548	8.633	14.439	1.847	-0.221
CA25P30	0.235	0.209	0.285	0.565	9.900	14.220	1.861	-0.397
CA25P25	0.300	0.225	0.305	0.567	10.833	14.448	1.876	-0.340
CA25P20	0.358	0.239	0.326	0.544	11.483	14.389	1.806	-0.504
CA30P50	0.000	0.150	0.202	0.543	6.617	13.233	1.822	-0.063
CA30P40	0.115	0.179	0.250	0.536	7.450	12.503	1.570	-0.136
CA30P30	0.236	0.209	0.300	0.553	9.383	13.465	1.832	-0.259
CA30P20	0.358	0.239	0.330	0.558	10.567	13.243	2.100	-0.346
CA30P15	0.418	0.255	0.369	0.555	11.467	13.515	1.777	-0.562

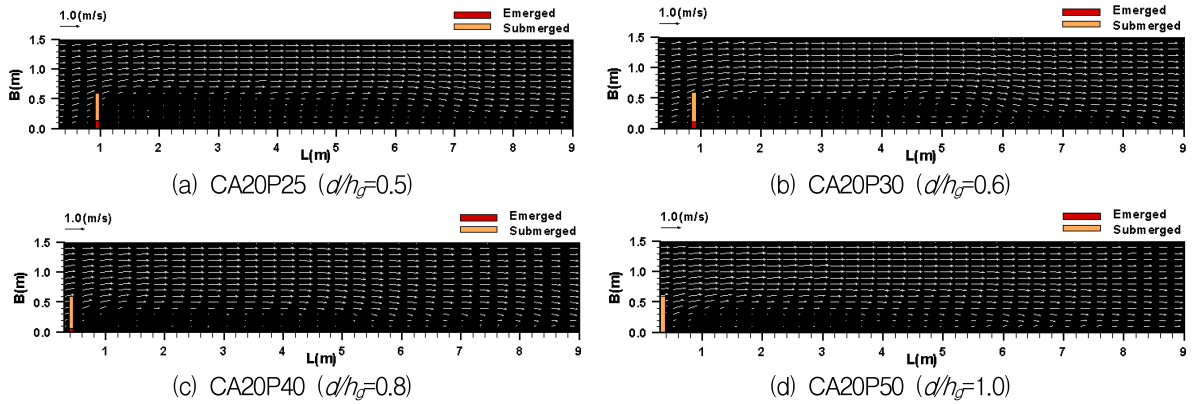
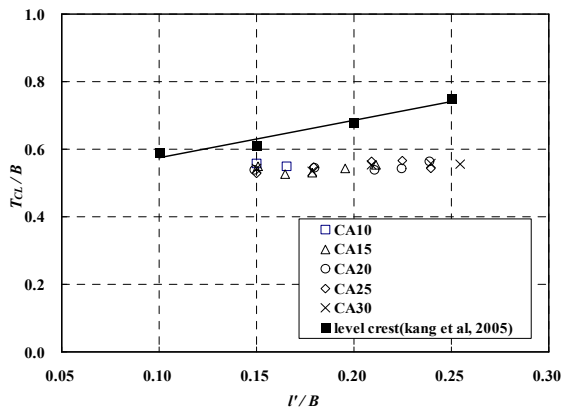


Fig. 5. Variation of Flow Fields with d/h_g

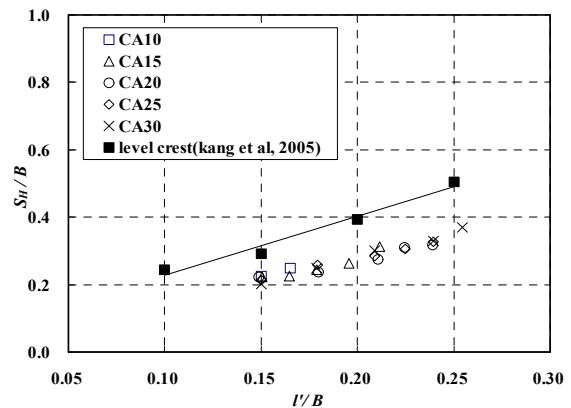
따른 흐름중심선(T_{CL})의 변화와 재순환영역의 폭(S_H)을 비교하여 나타낸 것이다. 흐름중심선 높이는 환산수제 길이비 증가에 비해 영향이 크지 않았으며 하폭의 56% 내외에서 유지되었다. 경사형수제의 흐름중심선 변화는 비월류 사각수제의 흐름중심선(강준구 등, 2005)에 비해 변화폭이 작았다. 흐름중심선의 변화는 수제 끝단에서의 흐름변화각의 영향이 크며 흐름변화각은 수제 끝단의 와를 형성해 국부세굴의 원인이 된다. 경사수제는 수제 끝단의 흐름각 변화가 사각수제에 비해 작으며 이는 국부세굴의 영향이 비월류 사각수제에 비해 작음을 판단할 수 있다(Fig. 6(a)). 재순환영역은 제방보호, 생태 서식처 및 어류의 홍수시 피난처를 제공할 수 있는 영역이다. 재순환영역의 폭은 환산수제길이비가 증가할수록 뚜렷이 증가되었다(Fig. 6(b)). 재순환영역의 폭은 환산수제길이비에 따라 하폭의 20% ~ 40% 범위 내에서 관측 되었으며 비월류 사각수제에 비해 폭이 감소한 것으로 분석되었다.

Figs. 7(a) and 7(b)는 경사수제의 수위변화에 따른

재순환영역의 길이(S_L)를 나타낸 것이다. 재순환영역의 길이는 수제간격 및 제방보호 길이 등을 파악하기 위한 주요인자이다. Fig. 7(a)는 재순환영역의 길이를 환산 길이(l)로 무차원화 하여 수심변화에 대해 나타낸 것으로서 재순환영역의 길이는 환산수제길이의 약 12 ~ 16 배로 수심변화에 대한 경향을 파악하기는 어려웠다. Fig. 7(b)는 재순환영역의 길이를 경사수제의 바닥길이(l)로 무차원화 하여 경사수제 실험수위에 따른 변화를 나타냈다. 재순환영역의 길이는 중·저수위시 일반 사각수제와 유사한 재순환영역(수제길이의 12배)이 확보되지만 수심이 증가할수록 재순환영역의 길이는 선형적으로 감소하는 것을 알 수 있다. 수심이 점차적으로 증가하여 경사수제가 완전히 잠긴 경우에도 재순환 영역이 발생하였으며 이때 재순환영역의 길이는 수제 길이의 7 배로 나타났다. 경사수제 각도에 따른 재순환영역의 길이는 수제의 선단부 각도가 감소할수록 재순환영역의 길이가 증가하는 것으로 나타났다. Fig. 8은 경사수제의 면적비(A_r)에 대한 흐름분리 높이비와의 관계를

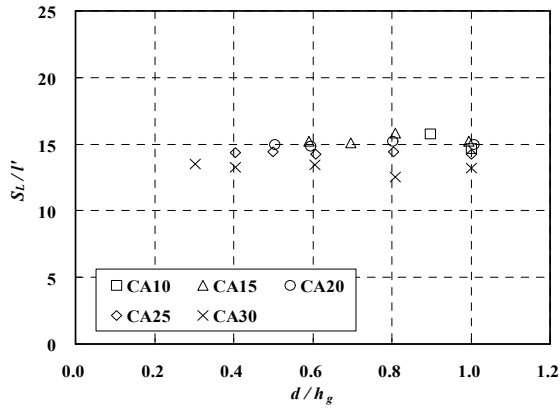


(a) Variation of Separation Height T_{CL} with d/h_g and Emerged Length of Groyne

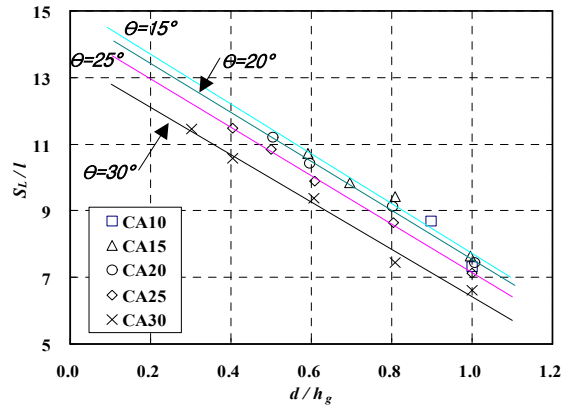


(b) Variation of Separation Height S_H with d/h_g and Emerged Length of Groyne

Fig. 6. Variation of Flow Fields with l'



(a) S_L/I



(b) S_L/I

Fig. 7. Variation of S_L with d/h_g

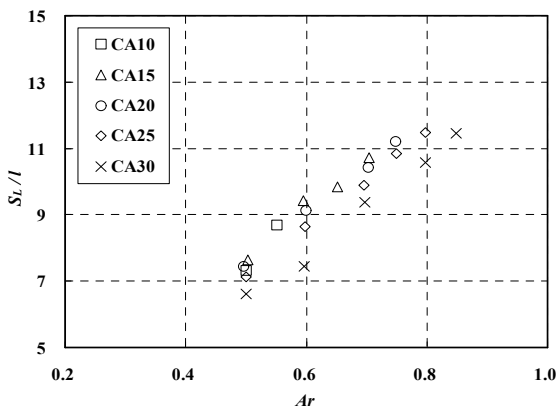


Fig. 8. Variation of S_L with Ar

도시한 그림으로서 면적비가 증가할수록 재순환영역 길이는 증가하였다.

Figs. 9(a) ~ 9(d)는 경사수제 주변의 유속으로 수제 경사가 20° 인 수제에 대한 횡방향 유속분포를 나타낸 것이다. 단면별 유속분포(x축)는 유입부 유속(U_{app})에 대해 무차원화 하였으며 y축은 횡방향 거리를 수로폭 (B)으로 무차원화 하였다. 주흐름영역은 수제가 설치된 횡단면 하류로 유속이 점차 증가되는 것으로 나타나 수제로 인한 본류의 하상변화를 예측할 수 있다. 재순환영역의 유속분포는 다양한 유속이 형성됨을 알 수 있는데 다양한 유속분포는 수중생태계의 서식처를 제공할 것이며 서식처 평가에 중요자료가 될 것이다. 수제 주변의 유속분포는 주흐름영역과 재순환영역으로 구분하여 본류부에서는 수제설치로 인해 증가되는 유속을 재순환영역에서는 제방부의 유속변화를 검토하였다.

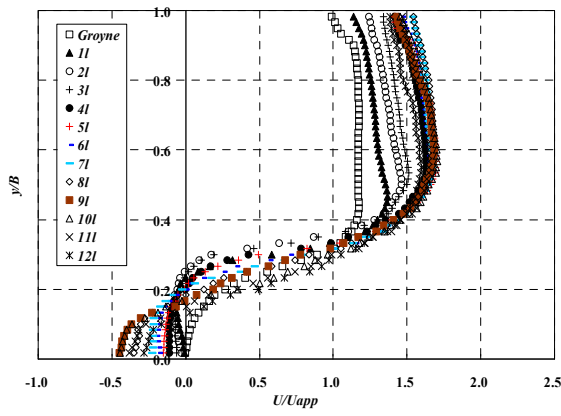
Fig. 10은 주수로의 최대유속을 파악하기 위한 것으로 수로폭과 환산길이비에 대해 최대유속비(최대유속/접근유속 평균)를 나타낸 것이다. 최대유속비는 폭과 환산길이비가 증가할수록 증가하였으나 수제경사에 대

한 경향을 나타내기 어려웠다. 최대유속비는 수제경사와 관계없이 1.45 ~ 2.1배까지 분포하는 것으로 나타났다. Fig. 11은 불투과 사각수제와 경사수제의 최대유속비를 비교한 것으로 Froude 수는 0.3조건에 대해 나타났다. 주흐름영역의 유속변화는 수제설치로 인해 야기되는 주요인자로서 본류에서 증가되는 유속은 기존 하상변화에 영향을 미칠 것이다. 경사수제 주흐름의 최대유속은 불투과 사각수제에 비해 증가율이 전반적으로 낮은 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 경사수제가 불투과 사각수제에 비해 주흐름의 변화가 적은 것으로 수제형태를 선정할 주요이유가 될 수 있다.

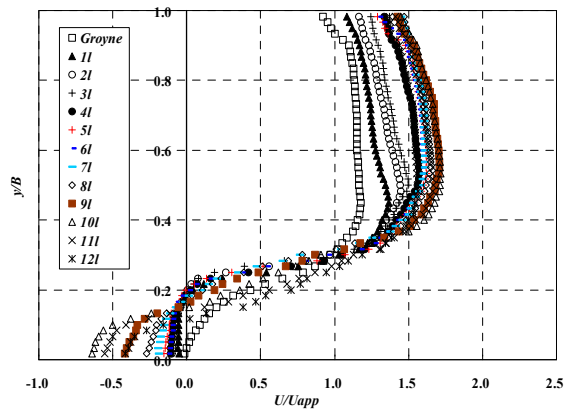
재순환영역의 다양한 유속분포는 퇴적, 제방보호 및 생태서식처 제공 등의 영향을 줄 것이다. 재순환영역에서 제방부근의 유속분포는 수제형태에 따라 다르며 불투과 수제의 경우 역류되는 현상이 확연히 발생한다. 제방부의 최대유속비는 제방보호를 평가하기 위한 인자이다. 경사수제 제방부 유속은 수심에 따라 차이가 있으며 완전 월류되지 않을 경우에는 수제하류부에서 역류흐름이 발생한다. Fig. 12는 제방부근 최대유속을 파악하기 위한 것으로 폭과 환산길이 비에 대해 제방부 최대유속비(제방부 최대유속/접근유속 평균)를 나타낸 것이다. 제방부 최대유속비는 폭과 환산길이비가 증가할수록 증가되는 것으로 나타났으며, 최대유속비는 약 $-0.1 \sim -0.6$ 배에서 분포하는 것으로 나타났다. Fig. 13은 불투과 사각수제와 경사수제의 최대유속비를 비교한 것으로 경사수제에서의 역류속이 확연히 감소하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 경사수제가 불투과 사각수제에 비해 제방부 호안에 안정된 흐름이 형성됨을 의미한다.

4. 결 론

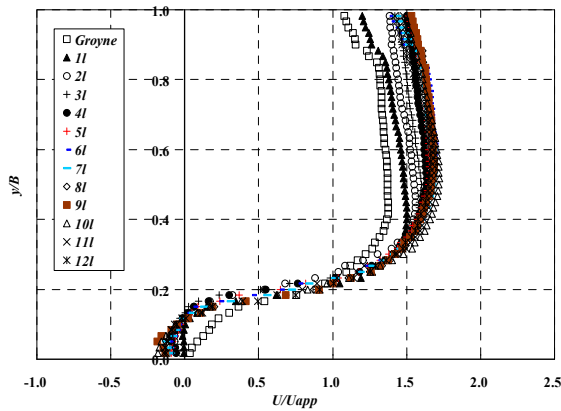
본 연구는 수제형태 중 수제 상단부에 경사를 둔 경



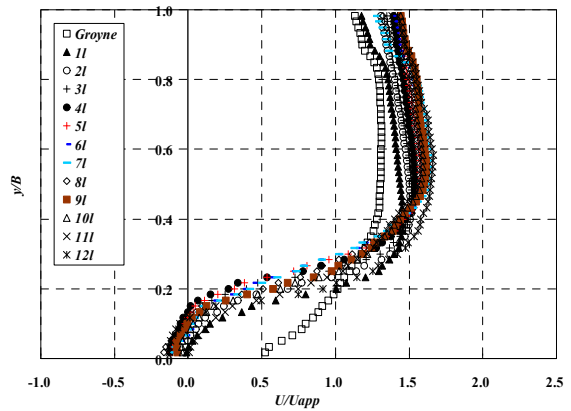
(a) CA20P25



(b) CA20P30



(c) CA20P40



(d) CA20P50

Fig. 9. Velocity Distributions of Groyne Fields ($\theta=20^\circ$)

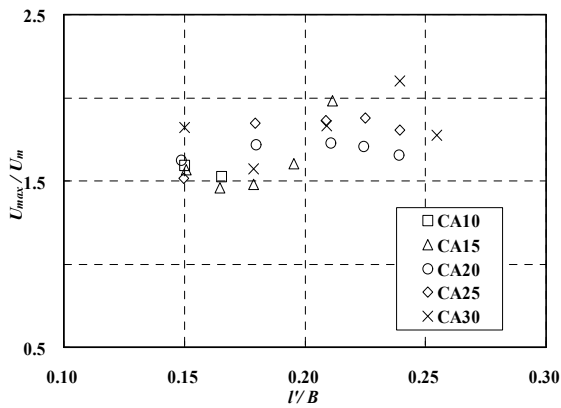


Fig. 10. Maximum Velocity of Main Channel on Crest Slope

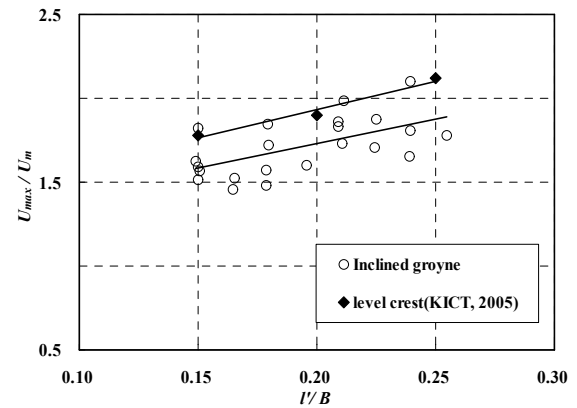


Fig. 11. Comparison of Maximum Velocity on Groyne Types

사수제에 대한 수리실험으로서 수리실험에 적용한 수제는 바닥길이를 고정하고 경사의 변화 주었으며, 이로 인해 발생하는 수제주변의 흐름을 LSPIV 기법을 이용하여 관측하였다. 일반적으로 하도변화의 영향을 결정하는 것은 수제의 길이와 연관이 있는데 경사수제에서는 수면 밖으로 드러난 수제의 길이와 바닥길이에 대한 환산수제길이(l')를 적용하였다. 실험분석은 수제로 인

해 형성되는 주흐름영역과 재순환영역의 규모와 유속변화를 분석하였다. 다음은 그에 대한 결과이다.

흐름중심선 높이(T_{cl})는 하폭의 56 % 내외로 유지되었으며 비월류 사각수제의 흐름중심선(강준구 등, 2005)에 비해 변화폭이 작았다. 흐름중심선의 변화는 수제 끝단에서의 흐름변화각에 의한 것으로 흐름변화각이 작다는 것은 국부세굴에 보다 안전하다 판단할 수 있다.

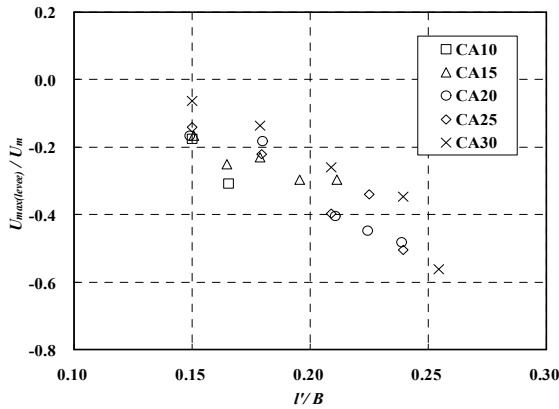


Fig. 12. Maximum Velocity Near Levee on Crest Slope

흐름분리길이(S_L)는 수제설치시 수제하류부에서는 선단에서 흐름분리가 발생한 후 다시 본래 흐름으로 복원되는 구간으로 수제 설치 시 중요자료가 될 것으로 판단된다. 재순환영역의 폭(S_H)은 환산수제길이비에 따라 하폭의 20% ~ 40% 범위내에서 관측되었다. 수심변화(d/h_g)에 대한 재순환영역의 길이는 환산수제길이의 약 12 ~ 16 배로 나타났으나 수심변화에 대한 경향을 파악하기는 어려웠다.

주흐름영역의 유속변화는 수제설치로 인해 야기되는 주요인자로서 분류에서 증가되는 유속은 기존 하상변화에 영향을 미칠 것이다. 주흐름영역에서의 최대유속은 상류접근유속의 1.45 ~ 2.1 배 내외로 수제경사에 영향은 크지 않았다. 경사수제 주흐름의 최대유속은 불투과 사각수제에 비해 증가율이 전반적으로 낮아 불투과 사각수제에 비해 주흐름의 변화가 적은 것으로 판단된다. 재순환영역의 다양한 유속분포는 퇴적, 제방보호 및 생태서식처 제공 등의 영향을 줄 것이다. 제방부 최대유속비는 폭과 환산길이비가 증가할수록 확연히 증가되는 것으로 나타났다. 최대유속비는 약 -0.1 ~ -0.6 배에서 분포하는 것으로 나타났다. 불투과 사각수제와 경사수제의 최대유속비를 비교한 것으로 경사수제에서의 역류속이 확연히 감소하는 것으로 관측되어 제방부 호안에 안정된 흐름이 형성되는 것으로 나타났다.

이와 같은 결과에서 경사형 수제는 수제주변 국부세굴의 위험성이 크고 홍수시 강한흐름이 형성되는 하천에서 활용성이 클 것으로 판단된다.

참고 문헌

강준구, 여흥구, 김성중 (2005). “단일 횡수제 조건에 따른 선단부 유속과 재순환 영역에 대한 실험 연구.”

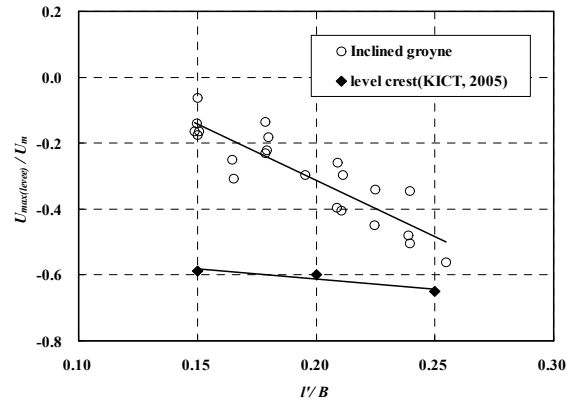


Fig. 13. Comparison of Maximum Velocity on Groyne Types

한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제38권, 제2호, pp. 143-153.

강준구, 여흥구, 노영신 (2006). “수제 설치간격에 따른 수제주변 흐름특성에 관한연구.” 대한토목학회논문집, 대한토목학회, 제26권, 제3B호, pp. 271-278.

여흥구, 노영신, 강준구, 김성중 (2006). “단일수제 설치에 따른 흐름중심선과 흐름분리영역의 변화.” 한국수자원학회논문집, 한국수자원학회, 제39권, 제4호, pp. 313-320.

한국건설기술연구원 (2005). 다기능 하천설계기준사업, 건기연 2005-075.

Acheson, A. R. (1968). *River Control and Drainage in New Zealand*. Ministry of Works, New Zealand.

Ettema, R., Muste, M. (2004). “Scale Effects in Flume Experiments on Flow around a Spur Dike in Flatbed channel.” *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 130, pp. 635-646.

Federal Highway Administration. (1984). *Selection and Design of Flow Control and Streambank Stabilization Structures*. Report No. FHWA/RD-83/099, Washington, D.C.

Federal Highway Administration. (1985). *Design of Spur-type Streambank Stabilization Structures*. U.S. DOT, FHWA, Rep. No. FHWA/RD 84/101, McLean, VA.

Franco, J. J. (1966). *Laboratory Research on Design of Dikes for River Regulation*. Miscellaneous Taper No. 2-860, U.S. Army Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, November.

Jansen, P. Ph., et al. (1979). *Principles of River*

Engineering: The Non-Tidal Alluvial River, Pitman Publishing Limited, London.

Richardson, E. V., and Simons, D. B. (1974). *Spurs and Guide Banks*. Open File Report, Colorado State University Engineering Research Center, Fort Collins, Colorado, February.

Uijttewaal, W. S. J. (2005). "Effects of Groyne

Layout on the Flow in Groyne Fields: Laboratory Experiments." *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE. Vol. 131, pp. 781-791.

논문번호: 09-061	접수: 2009.06.02
수정일자: 2009.07.02/07.22	심사완료: 2009.07.22