

L형 수제주변 흐름특성 변화에 대한 실험연구

Experimental Study on Flow Characteristic of L-type Groyne

강 준 구* / 여 홍 구** / 김 성 중***

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

Abstract

The hydraulic model test for the L-type Groynes with "ㄱ" shape were conducted to analyze flow characteristics around these groynes. The results of model tests should be used for the fundamental information to design the L-type Groyne constructed in the field. Main hydraulic factors such as the velocity and thalweg line changes in main channel and separation area were analyzed in this study. The thalweg line is stream line where the maximum velocity occurs, and the separation area is a boundary of main flow and recirculation zone. Model tests with 5 different arm-lengths of the L-type Groynes were conducted changing the velocity. The LSPIV(Large Scale Particle Image Velocimetry) technique was used to measure and analyze the flow variation around the L-type Groynes. The velocity in main channel was increased 1.5 times and there was no effects of different groyne arm-length on the velocity changes. The width of thalweg lines (T_{CL}) was changed to 55~58% of channel width, and the Froude number did not affect on the thalweg line (T_{CL}) and separation line (S_h) changes.

keywords : L-type Groyne, thalweg line, separation line, recirculation zone, LSPIV

요 지

본 연구는 변형수제 중 하나로서 "ㄱ" 모양을 갖는 L형 수제(L-type Groyne)에 대한 수리실험 연구이다. 연구 목적은 수제설계를 위한 기초자료인 수제주변(수로부, 수제역)의 흐름특성을 파악하는 것이다. 이를 위해 수리실험을 통하여 수제설계의 주요 수리특성인 주수로의 유속변화, 흐름중심선의 변화 및 흐름분리영역을 분석하였다. 본 연구에서 흐름중심선은 수로내의 최대유속이 발생하는 유선으로 정의하였으며 흐름분리영역은 본류영역인 주흐름과 수제영역인 재순환영역(recirculation zone)의 경계를 나타낸다. 5가지 수제 팔길이 조건에 대하여 유속을 변화시키면서 수리실험을 수행하였고, LSPIV(Large Scale Particle Image Velocimetry)기법을 적용하여 수제주변 흐름장을 측정 및 분석하였다. 실험결과 주흐름의 유속은 최대 1.5배 증가되는 것으로 나타났으며 수제 팔길이의 영향은 적었다. 흐름중심선의 폭은 수로폭의 55~58% 구간으로 변화되었으며 흐름중심선과 흐름분리영역은 Froude 수에 큰 변화를 보이지 않는 것으로 나타났다.

핵심용어 : L형 수제, 흐름중심선, 흐름분리영역, 재순환영역, LSPIV

* 한국건설기술연구원 하천·해안연구실 선임연구원

Senior Researcher, River & Coast Research Division, Korea Institute of Construction Technology
(e-mail : jgkang02@kict.re.kr)

** 한국건설기술연구원 하천·해안연구실 책임연구원

Senior Researcher, River & Coast Research Division, Korea Institute of Construction Technology

*** 한국건설기술연구원 하천·해안연구실 연구원

Researcher, River & Coast Research Division, Korea Institute of Construction Technology

1. 서 론

수제는 하천에서 흐름 방향과 유속을 제어하여 하안 또는 제방을 흐름에 의한 침식작용으로부터 보호하기 위해 호안 또는 하안 전면부에 설치하는 구조물이다. 수제는 수중생물의 피난처 및 서식처로서의 기능을 내포하고 있어 최근 들어 하천복원과 생태복원 관점에서 관심이 증대되고 있다. 수제는 재순환영역의 형성을 통해 제방부근 유속을 감소시키고 하천의 흐름을 다양화하는 장점을 지닌 동시에 하천의 흐름을 부분적으로 방해하고 이로 인해 주수로 부분의 유속을 증대시켜 하상 변화에 영향을 주는 원인이 된다. 유럽의 경우 수제는 대부분 주운을 목적으로 활용되어 주수로의 수심을 확보하는 것이 주요 목적이었으나 국내의 경우 주운 목적으로 설치되는 수제는 사례를 찾기 어렵고 최근 들어 하천환경 개선과 제방부 보호를 목적으로 설치되는 것이 대부분이다. 따라서 국내의 수제설계는 기존수로의 변화를 최소화하고 생태서식처 등의 환경적인 기능을 확보할 수 있는 방향으로 이루어져야 할 것이다. 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 불투과, 투과 및 월류수제에 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 시공되는 실정이다. Figs. 1 ~ 3 은 국내의 수제를 나타낸 것으로 형태가 다양함을 알 수 있다.

기존연구를 살펴보면 수제주변 재순환 영역에 대한 최초의 연구는 Francis *et al.*(1968)의 수제 하류부 재순환 영역에 대한 실험적 연구를 들 수 있으나 유속의 측정은 이루어지지 않았다. 수제역 흐름영역에 대한 유

속측정은 Rajaratnam and Nwachukwu(1983)에 의해서 시도되었는데, 이들의 연구는 길이가 서로 다른 두 가지 형태의 불투과 수제에 대해 수행하였으며, 수제주변에서 $-1 \leq x/b \leq 6$, $0 \leq y/b \leq 3$ (x : 수로 길이, y : 제방에서의 수직간 거리, b : 수제 길이)로 구분하여 흐름영역을 측정하였다. 그러나 단 두 가지 종류의 수제에 적용함으로써 다양한 조건에 대한 흐름분석을 시도하지 못했다. Tingsanchali and Maheswaran(1990)은 수제 하류부 재순환 영역에 대한 수치해석을 수행하여 수제 주변의 국부적인 흐름장의 주요특징을 제시하였으나 불투과 수제에 대해서만 적용되었으며, 하류부 흐름분리 영역과 흐름중심선에 대한 수제의 영향에 대해서는 구체적으로 다루어 지지 않았다. 최근의 연구는 Ettema and Muste(2004)에 의해 수행되었는데, 길이 변화에 따른 불투과 수제의 하류 재순환 영역과 흐름중심선에 대한 축척영향만을 분석하였으며, 다양한 수제에 대해서는 다루지 않았다. Uijtewaal(2005)은 4가지 종류(불투과 2case, 투과 및 월류수제)에 대한 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 수제 하류부 재순환 영역과 최대세굴의 주요인자인 수제선단 유속을 투과율, 접근유속, 수제길이에 대해 실험을 통해 수제 하류부의 재순환 영역에 대한 실험식을 제안하였으며, 여홍구 등(2006)은 I형 불투과수제에 대한 흐름분리 영역과 흐름중심선을 제시하고 분류흐름 변화에 대해 실험연구를 수행하였으나 다양한 수제에 대해서는 언급되지 않았다.



Fig. 1. Lmpermeable Groyne (YoungSan river)



Fig. 2. Permeable Groyne (YoungSan river)



Fig. 3. Lmpermeable Groyne (NakDong river)

이에 본 연구에서는 다양한 수제 중 “L” 형상의 수제를 선정하여 수리실험을 수행하였으며 수제주변에 대한 흐름해석을 수행하였다. L형 수제의 5 가지 팔길이 조건과 각각 6 가지의 유속 조건에 대하여 재순환영역, 수로 및 제방부 유속변화, 흐름중심선과 흐름분리영역의 흐름특성 및 변화양상을 비교분석하였다. 본 연구의 목적은 수제형태에 따른 흐름변화를 예측하기 위한 기초자료를 제공하는데 있다. 특히 일반적인 횡수제 형태가 아닌 변형된 L형 수제를 제안하기 위해 수제주변의 흐름특성을 파악하여 수제설계를 위한 기초자료를 제공하는데 목적이 있다.

2. 주요변수

수제설치로 인해 발생하는 흐름변화 구간은 수제의 돌출로 인해 흐름 변화가 발생하는 본류영역과 수제 하류부의 재순환영역(수제역)으로 분류할 수 있으며, 영역적인 구분은 흐름분리선이 될 수 있다. 수제설치로 인해 야기되는 본류영역은 유속증가로 인한 하상변화와 흐름중심선 변화로 인한 주흐름의 변화라 할 수 있다. 수제하류부 영향은 재순환영역 내에서의 흐름이라 할 수 있으며 대표적인 흐름변화는 주흐름과 반대되는 역방향 흐름이 발생하는 것이다. 재순환영역의 흐름은 수제상류부 흐름에 비해 유속이 감소되어 수류력으로 인하여 제방 침식을 방지할 수 있으며 다양한 조건의 유속이 분포하여 수생생물의 서식처와 홍수시 피난처로 사용될 수 있다.

따라서 본 연구에서는 L형 수제에 대한 영향을 분석하기 위해 본류 영역에서 최대 유속변화, 최대 흐름중심선 변화, 최대흐름중심선 변화구역에서의 유속을 분석하였고 수제하류부에서는 재순환영역 규모와 제방부 유속으로 분석 하였다.

수제로 인해 변화되는 흐름의 모식도를 Fig. 4에 나타냈다. 흐름중심선(Thalweg Line)은 수로에서 흐름방향으로 최대 수심을 연결한 선을 의미하나 실험수로의 하상이 동일하며 수로 중앙선을 흐름중심선으로 정의하였다. T_{CL} 은 흐름중심선의 변화폭을 나타낸 것이다. 재순환영역은 길이 SL 과 폭 S_h 에 의해 정의할 수 있으며, SL 은 수제 설치지점으로부터 흐름분리영역의 최대 하류길이를, S_h 는 이때의 최대 측면 폭을 의미한다. 수제 선단부에서 흐름이 분리되는 각을 흐름분리각(α)이라고 정의하였고, 수제 끝단으로부터 재순환영역이 발생하는 제방까지의 거리에 대한 각을 입사각(β)으로 정의하였다. 이들의 규모는 수제설치로 인한 제방보호 효과의 한계와 서식처 개선효과를 산정할 때 주로 언급된다.

3. 수리모형실험

L형 수제(L-type Groyne) 수리실험에 사용된 수로는 폭 2.0 m, 길이 40 m, 높이 0.8 m 인 직선수로이다. 실험을 위해 수로폭대 수제길이의비(l/B)가 0.15, 팔길이(Arm Length)가 각각 수제길이(l)의 20%, 40%, 60%, 80%, 100% ($AL/l = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$)인 5 가지 수제모형이 사용되었다.

각 수제모형을 Fig. 5 와 같이 상류단으로부터 15 m 하류 우안에 설치하여 실험을 수행하였다. 유입부 유속은 3차원 ADV 유속계와 LSPIV를 사용하여 측정하였으며, 실험조건은 Table 1 에 나타내었다. 유속조건은 0.25 m/s ~ 0.50 m/s 의 범위로 각각 6 가지 조건에 대하여 총 30 가지 조건에 대한 실험을 수행 하였으며, 수심조건은 하류부 수위조절을 통하여 0.15 m 로 유지하도록 하였다. Fig. 6 은 모형수로와 L형 수제의 설치모습을 나타내고 있다.

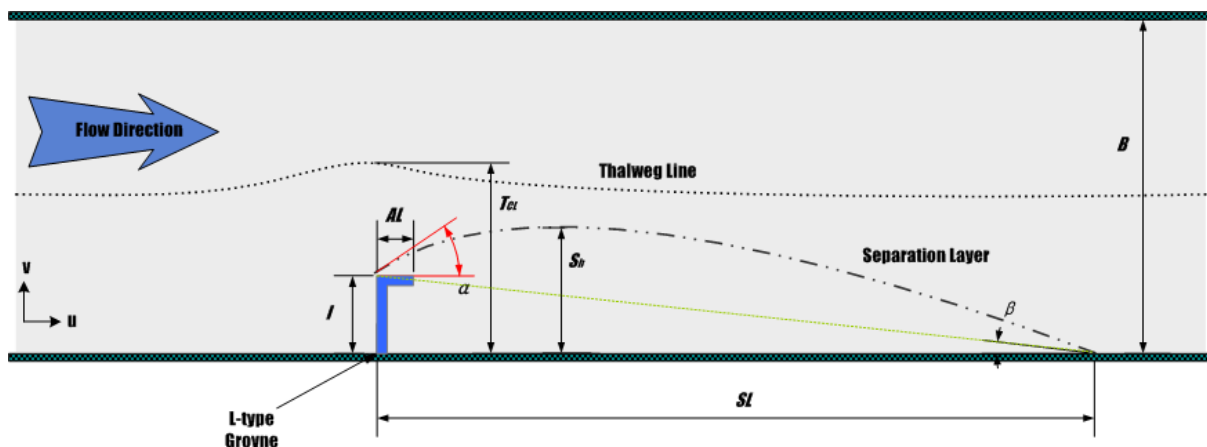


Fig. 4. Characteristics and Definitions of Flow Variations around the Single L-type Groyne

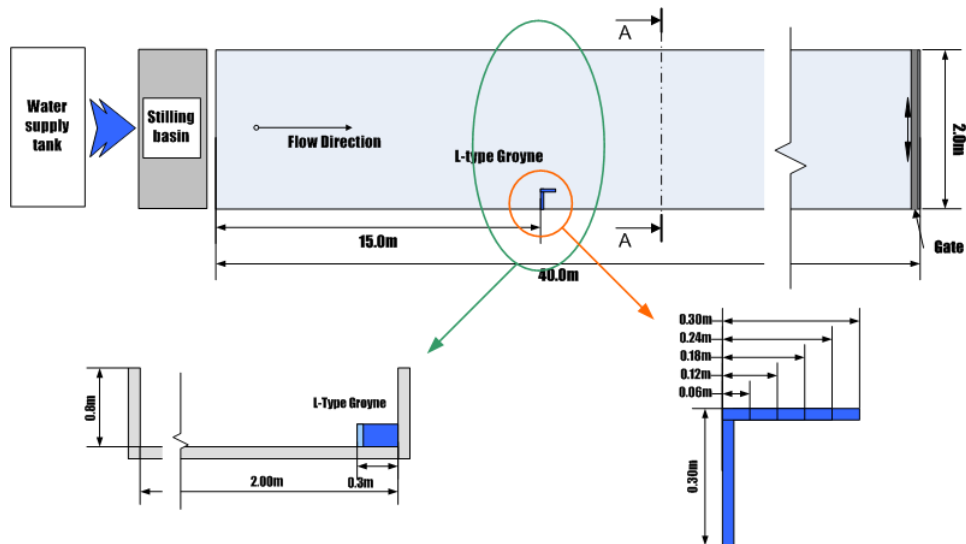


Fig. 5. Plan View of L-type Groyne in Channel

Table. 1 Experimental conditions of L-type groyne

Case	Length	Arm Length	Depth	Velocity (LSPIV)	Fr	Case	Length	Arm Length	Depth	Velocity (LSPIV)	Fr
	l (m)	AL (m)	D (m)	u_{mean} (m/s)			l (m)	AL (m)	d (m)	u_{mean} (m/s)	
LG02V25	0.3	0.06	0.15	0.237	0.20	LG06V40	0.3	0.18	0.15	0.418	0.35
LG02V30	0.3	0.06	0.15	0.267	0.22	LG06V45	0.3	0.18	0.15	0.478	0.39
LG02V35	0.3	0.06	0.15	0.344	0.28	LG06V50	0.3	0.18	0.15	0.497	0.41
LG02V40	0.3	0.06	0.15	0.397	0.33	LG08V25	0.3	0.24	0.15	0.265	0.22
LG02V45	0.3	0.06	0.15	0.458	0.38	LG08V30	0.3	0.24	0.15	0.299	0.25
LG02V50	0.3	0.06	0.15	0.517	0.43	LG08V35	0.3	0.24	0.15	0.356	0.30
LG04V25	0.3	0.12	0.15	0.297	0.24	LG08V40	0.3	0.24	0.15	0.408	0.34
LG04V30	0.3	0.12	0.15	0.342	0.28	LG08V45	0.3	0.24	0.15	0.485	0.40
LG04V35	0.3	0.12	0.15	0.433	0.36	LG08V50	0.3	0.24	0.15	0.502	0.41
LG04V40	0.3	0.12	0.15	0.481	0.40	LG10V25	0.3	0.3	0.15	0.272	0.22
LG04V45	0.3	0.12	0.15	0.557	0.46	LG10V30	0.3	0.3	0.15	0.319	0.26
LG04V50	0.3	0.12	0.15	0.582	0.48	LG10V35	0.3	0.3	0.15	0.394	0.32
LG06V25	0.3	0.18	0.15	0.239	0.20	LG10V40	0.3	0.3	0.15	0.461	0.38
LG06V30	0.3	0.18	0.15	0.298	0.25	LG10V45	0.3	0.3	0.15	0.521	0.43
LG06V35	0.3	0.18	0.15	0.363	0.30	LG10V50	0.3	0.3	0.15	0.588	0.48



Fig. 6. Experimental Setting on L-type Groyne

수제 주변 흐름 특성에 관한 분석은 비디오 카메라 촬영을 통해 얻어진 이미지로 분석하는 LSPIV(Large

Scale Particle Image Velocimetry) 기법이 사용되었고, 이를 통해 표면 유속장을 분석하였다. 수제 설치 구간 수

로와 수제영역 구간에 대해 LSPIV기법에서 분석한 유속분포를 검토하였다.

LSPIV 기법은 LDV와 ADV같은 기존 감지기 기반의 측정기기가 갖는 한계를 극복하여 대상 영역 전체의 순간 유속장을 획득할 수 있다. LSPIV 기법은 기존 PIV 기법과 기본원리는 동일하다. LSPIV 기법은 비디오 카메라를 이용하여 대상영역을 촬영하고 이를 소프트웨어적으로 처리하는데 중점을 두는 방식으로, 기존의 PIV 기법에서 필수적인 레이저 조사와 카메라의 배치에 대한 제약이 없다. LSPIV 기법의 단점은 레이저 조사 절차가 없어 수중의 2차원이나 3차원 유속장에 대한 정보를 획득하기 어렵다. 또한 경우에 따라 왜곡된 영상을 획득되는 경우가 많아 영상처리 전에 촬영영상의 보정작업을 수행한 후 상관관계 분석을 거쳐야 하므로 기존 PIV 기법에 비해 정확도가 저하되는 단점이 있다. 그러나 이러한 단점에도 불구하고 LSPIV 기법이 최근 주목받는 이유는 대규모 실험이나 현장조사에서 기존 장비와 인력의 활용에 비해 훨씬 적은 비용과 수고로 짧은 시간 내에 전체 유속장의 측정이 가능하기 때문에 최근 들어 LSPIV 기법은 수리모형실험이나 하천현장

에 적용되고 있다(Lloyd *et al.*, 1995; Fujita *et al.*, 1998; Muste *et al.*, 2000). Fig. 7 은 실험적용 예를 나타낸 것이다. 본 실험의 목적이 수제의 설계인자에 따른 효과를 비교·검증하는 것이므로 LSPIV 기법을 도입한 표층 유속장의 측정은 기존의 측정 장비에 비해 보다 많은 양의 측정 자료를 획득할 수 있어 유리할 것으로 판단된다.

유속분포 분석은 수로설치로 인한 유속의 변화를 파악하기 위한 것으로서 수제구간의 유속을 전체 평균유속으로 무차원하여 분석하였다. Fig. 8 은 LSPIV기법을 이용한 실험과 분석구간의 유속분포를 나타낸 것이며 수로폭 방향에 대해 0.04 m 간격으로 50 개 격자, 흐름 방향에 대해서는 수제길이에 대해 각각 1l, 2l, ... 12l의 값을 분석하여 유속장을 분석하였다.

흐름장 촬영에는 디지털 캠코더(DCR-PC350, Sony Co.)가 사용되었으며, 부유입자로 popped rice가 사용되었다. 영상왜곡 보정 등의 기본적인 영상처리 및 분석을 위해 이용된 소프트웨어는 CACTUS 3.1(IIT Co.)이다.

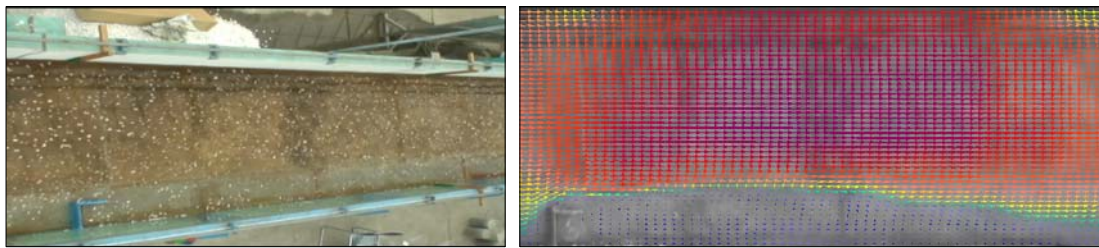
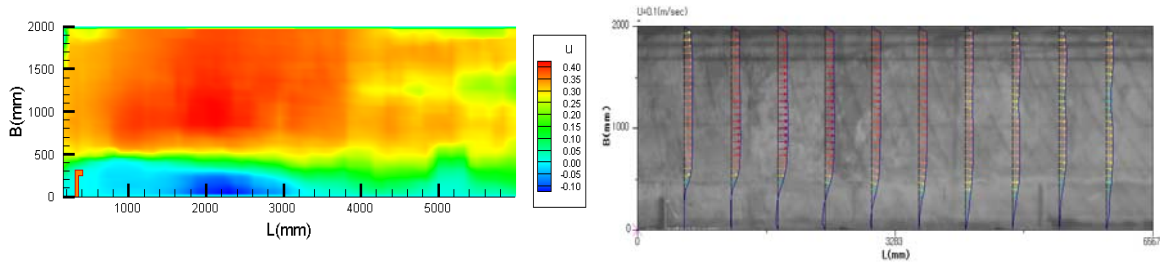
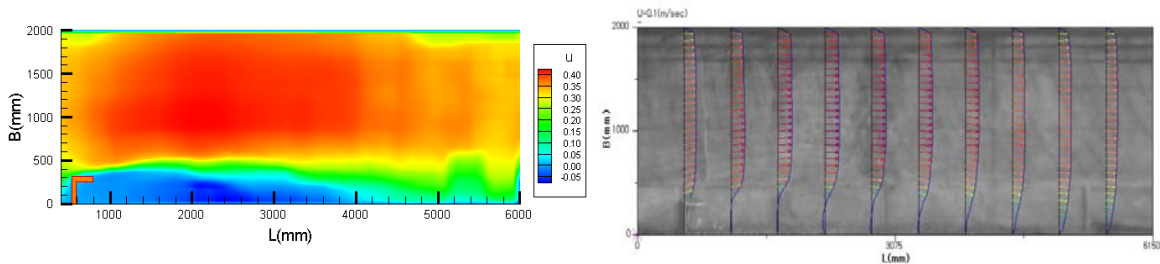


Fig. 7. Measurement of Fow Fields using LSPIV



(a) Flow fields of L-type groyne($AL/l=0.2$, LG02v30)



(b) Flow fields of L-type groyne($AL/l=0.8$, LG08v30)

Fig. 8. Flow Fields Obtained with LSPIV

4. 결과분석

L형 수제 실험은 5가지 팔길이에 대하여 수행되었으며 팔길이 변화에 대한 수제선단부의 재순환영역의 길이, 흐름분리, 선단부 유속변화 등 수리특성변화에 대해 분석하였다. 실험에서 측정된 자료는 LSPIV를 이용하여 획득된 자료를 Table. 2에 정리하였다. 수제의 팔길이비는 수제팔길이(AL)를 수제길이(l)로 무차원하였으며, 흐름분리길이비는 흐름분리길이(SL)를 수제길이(l)와 무차원화 하였다. 흐름분리각(α)은 유입부 흐름과 L형 수제선단부에서 주흐름이 충돌되어 확장되는 각을 나타내며, 입사각(β)은 수제선단부로부터 재순환영역이 발생되는 제방까지의 거리에 대한 각으로 나타내었다.

4.1 흐름중심선 및 재순환영역

수제주변의 흐름은 수제선단부에서 중앙수로방향으로 흐름각이 변화되면서 본류부의 흐름중심선변화와 재순환영역을 형성하게 된다. Fig. 9와 Fig. 10은 수제 팔길이에 변화에 따른 흐름분석 결과를 유선으로 나타낸 것으로 이를 통해 흐름분리각, 흐름중심선 및 재순환영역을 파악할 수 있다.

흐름의 변화를 파악하기 위해 L형 수제에 대한 흐름분리각을 비교하였다. 흐름분리각에 대하여 Fr과 수제 팔길이비(AL/l)에 대하여 Fig. 11과 Fig. 12에 나타내었다. L형 수제의 선단부에서의 흐름분리각은 Fr에 비례하여 $15^\circ \sim 30^\circ$ 이내로 측정되었다. 동일한 수제길

Table. 2. Experimental Results of Single L-type Groyne

Length	Arm Length	Arm Rate	Depth	Velocity (LSPIV)	Separation Angle	Separation Length	Separation Length Rate	Incidence Angle	Fr
$l(m)$	$AL(m)$	AL/l	$D(m)$	$u_{mean}(m/s)$	$\alpha(^{\circ})$	$SL(m)$	SL/l	$\beta(^{\circ})$	
0.3	0.06	0.2	0.15	0.237	15	3.944	11.9	4.82	0.20
0.3	0.06	0.2	0.15	0.267	19	3.387	10.2	5.60	0.22
0.3	0.06	0.2	0.15	0.344	26	3.700	10.9	5.22	0.28
0.3	0.06	0.2	0.15	0.397	26	3.660	10.8	5.29	0.33
0.3	0.06	0.2	0.15	0.458	27	3.618	10.7	5.36	0.38
0.3	0.06	0.2	0.15	0.517	26	4.000	11.9	4.79	0.43
0.3	0.12	0.4	0.15	0.297	16	4.001	11.8	4.86	0.24
0.3	0.12	0.4	0.15	0.342	19	4.004	11.8	4.86	0.28
0.3	0.12	0.4	0.15	0.433	22	4.178	12.3	4.63	0.36
0.3	0.12	0.4	0.15	0.481	26	3.559	10.3	5.56	0.40
0.3	0.12	0.4	0.15	0.557	29	4.496	13.4	4.27	0.46
0.3	0.12	0.4	0.15	0.582	25	4.230	12.5	4.57	0.48
0.3	0.18	0.6	0.15	0.239	20	4.008	11.6	4.92	0.20
0.3	0.18	0.6	0.15	0.298	20	4.495	13.3	4.29	0.25
0.3	0.18	0.6	0.15	0.363	19	4.132	12.1	4.72	0.30
0.3	0.18	0.6	0.15	0.418	21	4.218	12.6	4.54	0.35
0.3	0.18	0.6	0.15	0.478	23	4.042	12.0	4.77	0.39
0.3	0.18	0.6	0.15	0.497	16	3.985	11.7	4.87	0.41
0.3	0.24	0.8	0.15	0.265	19	3.955	11.5	4.99	0.22
0.3	0.24	0.8	0.15	0.299	22	4.041	11.6	4.93	0.25
0.3	0.24	0.8	0.15	0.356	20	4.002	11.6	4.91	0.30
0.3	0.24	0.8	0.15	0.408	23	3.724	10.8	5.31	0.34
0.3	0.24	0.8	0.15	0.485	23	3.835	11.0	5.18	0.40
0.3	0.24	0.8	0.15	0.502	23	3.932	11.5	4.99	0.41
0.3	0.3	1.0	0.15	0.272	17	3.838	11.4	5.03	0.22
0.3	0.3	1.0	0.15	0.319	21	3.514	10.3	5.56	0.26
0.3	0.3	1.0	0.15	0.394	24	3.597	10.5	5.43	0.32
0.3	0.3	1.0	0.15	0.461	25	3.805	11.2	5.09	0.38
0.3	0.3	1.0	0.15	0.521	30	3.899	11.6	4.91	0.43
0.3	0.3	1.0	0.15	0.588	25	3.528	10.5	5.44	0.48

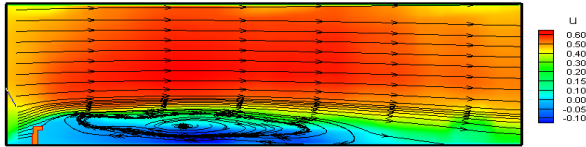


Fig. 9. Streamline of Groyne Field(LG04V35)

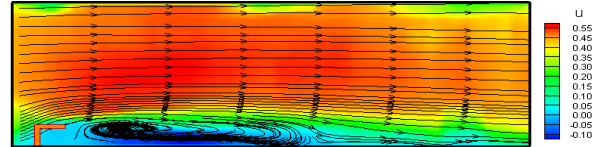


Fig. 10. Streamline of Groyne Field(LG10V35)

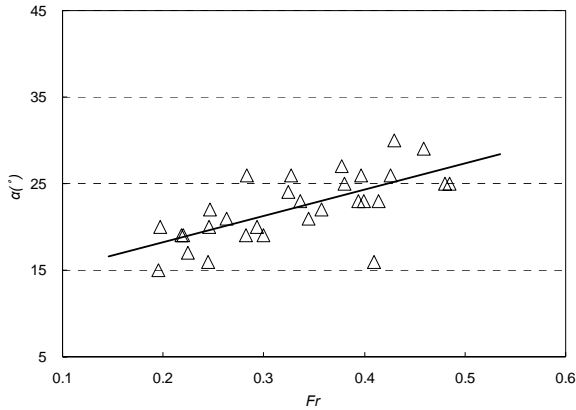


Fig. 11. Relationship of α and Fr

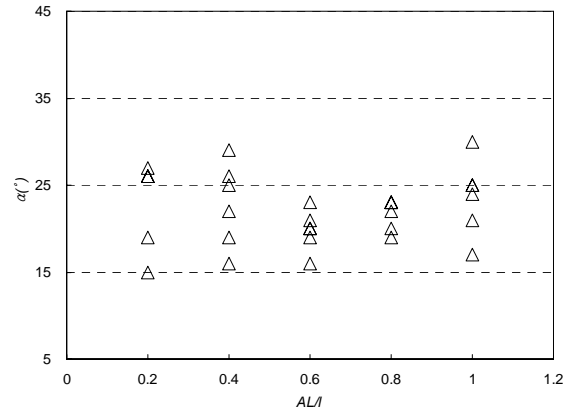


Fig. 12. Relationship of α and AL/l

이를 갖는 불투과수제의 흐름분리각이 $30^\circ \sim 35^\circ$ 내외로 관측되어진(다기능하천설계기준사업, 2004) 것에 비해 1.2 배에서 2 배의 차이를 보이고 있다. 이러한 L형 수제의 흐름분리각이 적게 발생하는 것은 재순환영역내와(vortex)의 발생으로 인해 수제후면부에서 유입되는 후류의 영향이 수제팔에 의해 차단된 것에 기인된 것으로 사료된다. 수제팔길이비에 대한 흐름분리각은 동일한 팔길이비를 가지고 있을 때 분산되어 나타나는 반면에 팔길이비가 0.8 일 때 $15^\circ \sim 23^\circ$ 내외로 가장 적은 편차를 보이고 있었다.

흐름중심선은 수제상류부의 중심선으로 가정한 것으로 횡단면의 하상높이가 일정할 경우 최대유속이 발생하는 유선이라 할 수 있다. 흐름중심선의 변화는 주흐름의 변화를 분석할 수 있는 중요요소로써 수로의 하상 변화 등을 평가할 수 있는 인자가 될 수 있다. 또한 흐름분리영역은 다양한 흐름이 존재하는 수제역의 영역을 평가하여 제방보호 및 수중생태 서식처 평가 등의 요소가 될 수 있다.

본 실험에서는 각 실험에 대해 흐름중심선의 변화와 흐름분리영역의 크기를 파악하기 위해 표면 유속장 측정결과를 통해 수제 설치벽으로부터 최대 흐름중심선 거리 T_{CL} 과 흐름분리역의 폭 S_h 를 측정하고 이를 각각 흐름조건 및 수제 팔길이비에 대하여 분석하였다.

Fig. 13 은 흐름중심선과 흐름분리영역의 변화를 흐름조건에 따라 나타낸 것이다. 세로축은 수로 설치벽으로부터 연직방향 거리(y)를 수로폭(B)으로 나누어 무

차원화하고 가로축은 흐름방향에 대해 수제설치지에서 하류까지의 거리를 수제길이(l)로 나누어 무차원화하였다.

L형 수제설치에 따른 흐름중심선(T_{CL})의 크기는 Fig. 14 에서 보는 바와 같이 Fr 가 증가할수록 감소하는 경향을 나타내고 있으나 그 영향은 미미한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 Ettema and Muste(2004)와 여홍구 등(2006)의 I형 수제에 대한 실험결과에서도 입증되었는데, L형 수제의 경우에도 Fr 에 의한 영향은 작은 것으로 나타났다. 하지만 L형 수제의 T_{CL} 이 I형 수제의 T_{CL} 에 비해 전반적으로 감소되는 것으로 나타났다. 이는 수제팔로 인한 수제선단부의 흐름분리가 I형 수제에 비해 적은 영향을 미치는 것으로 판단된다. L형 수제의 경우 T_{CL} 이 수로 폭의 55 ~ 58%에 까지 미치는 것으로 나타났다. 이는 앞서 언급한 수제팔에 의한 흐름분리각의 축소에 기인된 것으로 사료된다. L형 수제주변의 흐름중심선과 흐름분리영역의 변화는 직각수제에 비해 변화폭이 적은 것으로 관측되었다. Fig. 15 에서 보는 바와 같이 수제팔길이에 대한 T_{CL} 의 영향은 미미한 것으로 측정되었다.

동일한 길이를 가지는 수제에서 흐름분리길이(SL)가 증가한다는 것은 입사각(β)의 감소를 의미한다. Fig. 16, 17 에 흐름분리길이비와 입사각에 따른 수제팔길이와의 관계를 도시하였다. 수제팔길이비에 대한 재순환 영역의 길이는 최소 11.6 배에서 최대 13.4 배의 범위에서 관측되었으나 유속변화에 대하여 편차를 보이고 있

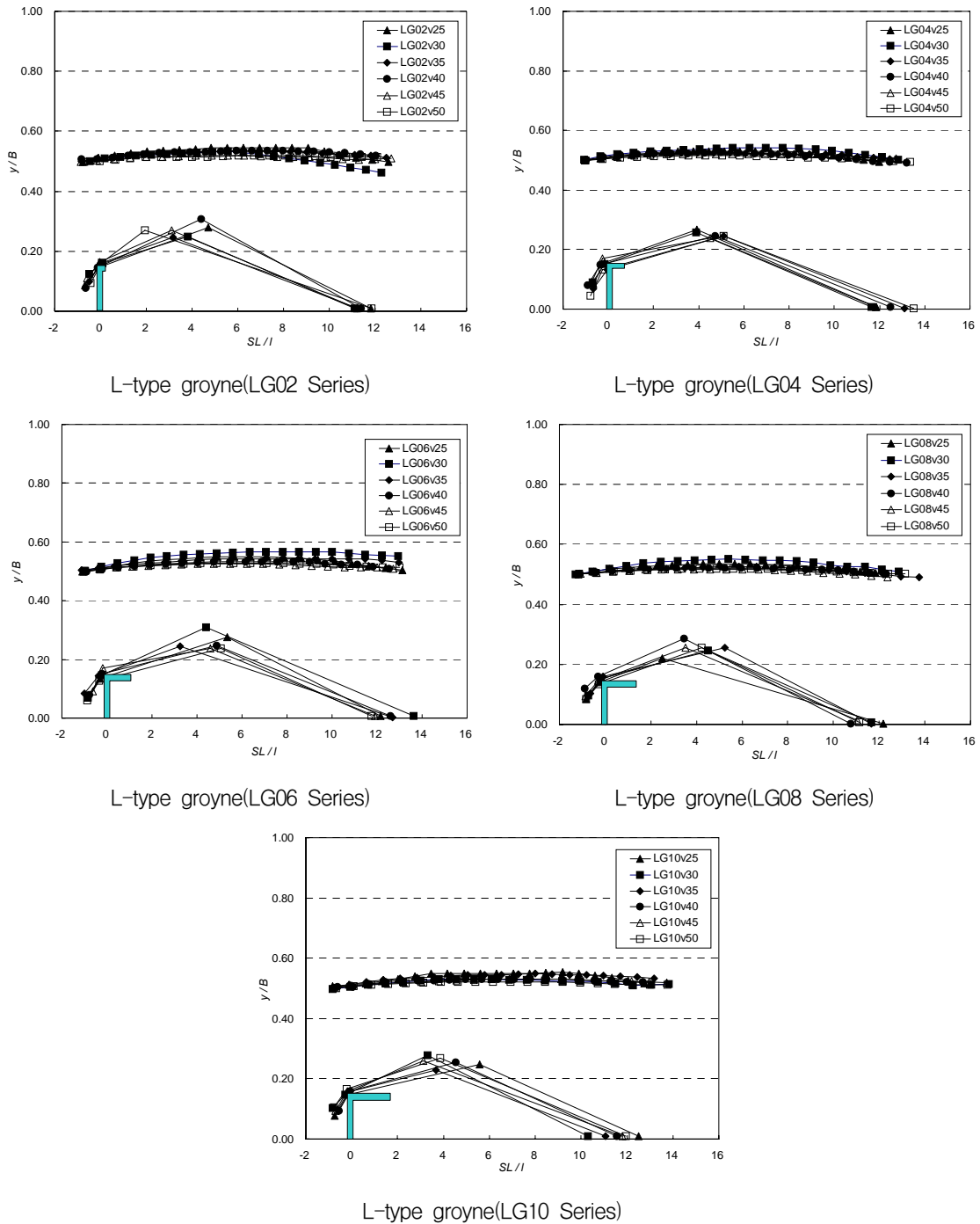


Fig. 13. Variation of Thalweg Alignment and Separation Area

었다. L형 수제의 입사각은 $4^\circ \sim 6^\circ$ 범위 내에서 관측 되었으며, 팔길이가 증가 할수록 감소하다 60% 팔길이를 갖는 수제에서 가장 적은 수치를 보이다 서서히 증가하였다. 그러나 일반적으로 I형 수제의 입사각은 5° 내외로 관측된 결과로 미루어 보아 이러한 L형 수제의 입사각의 차이는 미미한 것으로 나타났다.

Fig. 18 과 19 는 L형 수제의 재순환영역의 흐름분리높이(S_h)에 대하여 Fr 과 팔길이비에 대하여 비교한 그림으로서 Fr 에 따른 S_h 의 크기를 수로폭(B)에 대한

비 S_h/B 로 나타내면 유속증가에 따른 L형 수제의 흐름분리높이는 I형 수제의 경우와 비슷한 경향으로 수로폭의 20% ~ 30% 구간의 값을 보이고 있었으며 대략 수제길이의 2 배 이내에 해당하는 것으로 나타났다. 팔 길이비에 대한 흐름분리높이의 변화는 그 차이가 크게 발생하지 않고 있는데 이는 T_{CZ} 에 대한 실험결과와 마찬가지로 Fr 에 대해서 AL 이 재순환영역에서 발생하는 흐름분리높이(S_h)에 큰 영향을 미치지 못하고 있음을 알 수 있다.

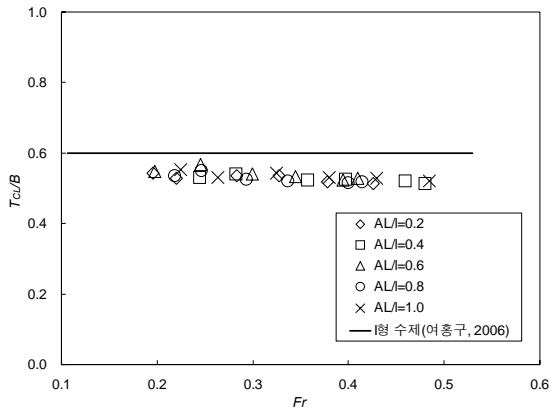


Fig. 14. Relationship of T_{CL} and Fr

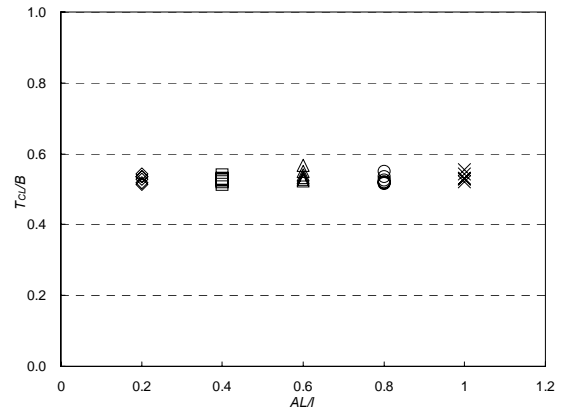


Fig. 15. Relationship of T_{CL} and AL/l

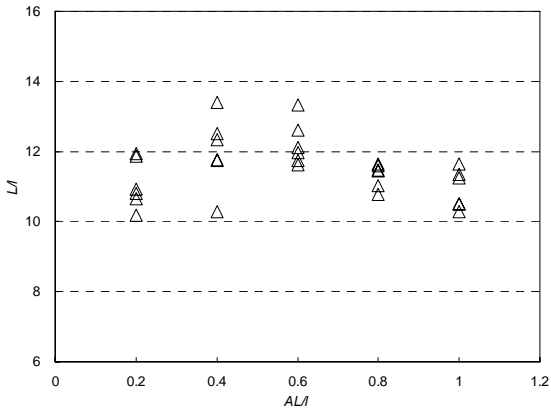


Fig. 16. Relationship of L/l and AL/l

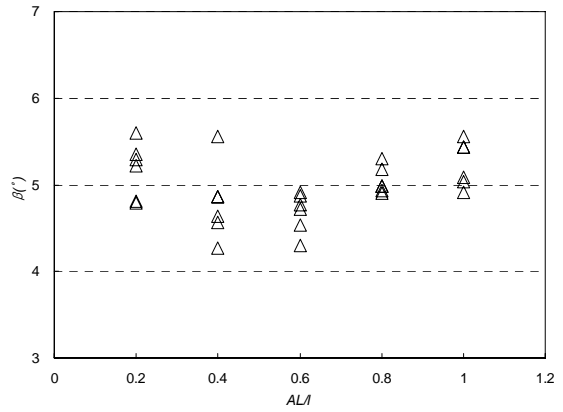


Fig. 17. Relationship of β and AL/l

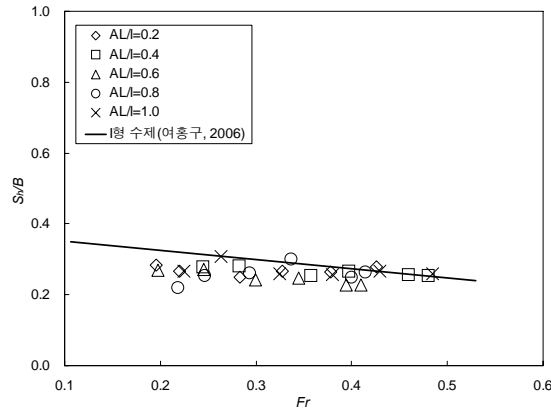


Fig. 18. Relationship of S_h and Fr

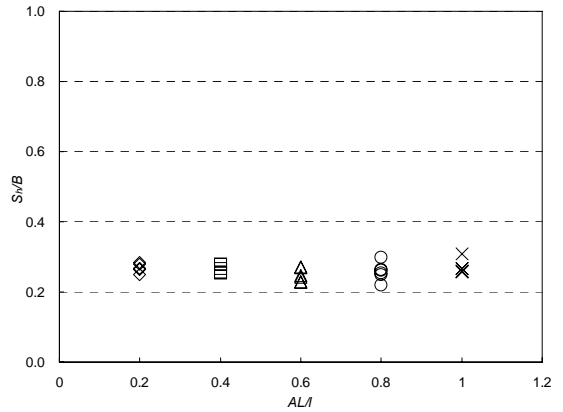


Fig. 19. Relationship of S_h and AL/l

4.2 유속분포 분석

유속분포 변화는 본류부와 재순환영역으로 구분하여 분석하였다. 본류부는 수제설치로 인해 증가되는 유속을 재순환영역은 제방부의 변화를 검토하였다. 유속변화는 수제설치로 인해 야기되는 주요인자로서 본류에서 증가되는 유속은 기존 하상변화에 영향을 미칠 것이고 재순환영역의 다양한 유속분포는 퇴적, 제방보호 및 생태서식처 제공 등의 영향을 줄 것이다. 수리실험을 통

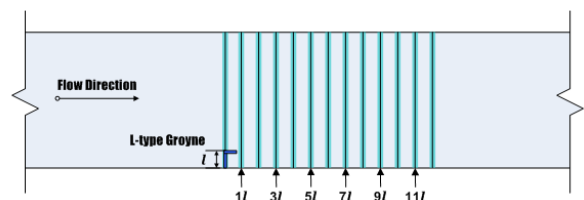


Fig. 20. Cross Sections in Channel

해 측정된 유속값은 Fig. 20과 같이 재순환영역이 발생되는 $1l \sim 12l$ 구간을 대상으로 구분하였다.

Figs. 21 ~ 25 는 실험종류(수제팔길이, 유속) 일부에 대한 횡방향 유속분포를 나타낸 것이다. 단면별 유속분포는 평균유속(u_{mean})에 대해 무차원화 한 것이다. x 축은 L형 수제설치 지점 및 하류부 유속을 접근유속으로, y 축은 횡방향 거리를 수로폭(B)으로 무차원화 하였다. 수로내 본류부에서 최대유속은 평균유속의 1.5 배 이내로 관측되었다. 재순환영역에서 다양한 유속이

분포되며 제방부의 경우 역유속이 발생하였으며 크기는 평균유속의 0.5 배 이내로 관측되었다.

수제설치구간의 본류부 유속은 수제가 설치되지 않은 상류부 유속에 비해 증가하였으며, 이는 수제설치로 인해 통수능이 감소되었기 때문이다. 최대유속과 발생 지점은 수제가 설치되어 있지 않을 경우 수로 중앙부에서 발생되나 수제가 설치됨으로써 재순환영역으로 인해

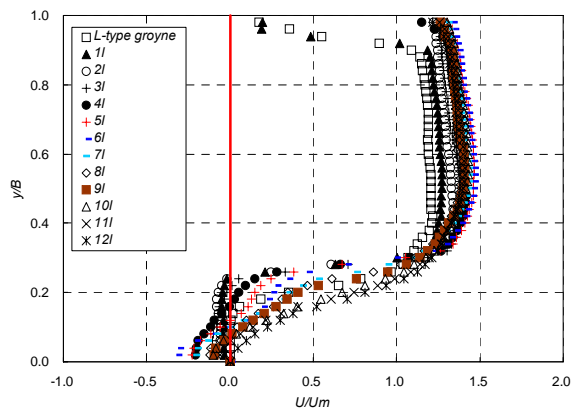
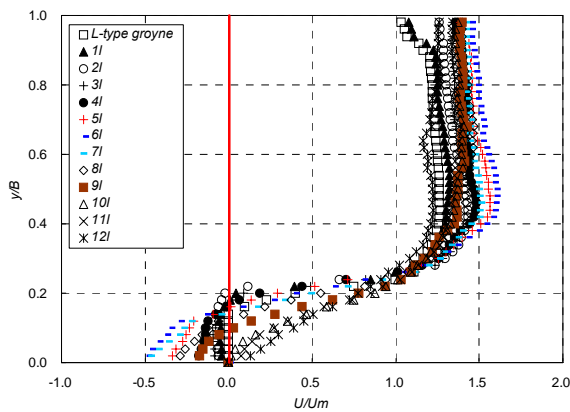


Fig. 21. Velocity Distribution of Groyne Field(AL/l : 0.2, left LG02V30, right LG02V50)

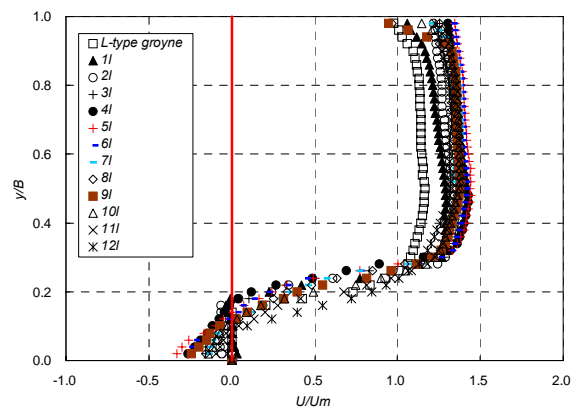
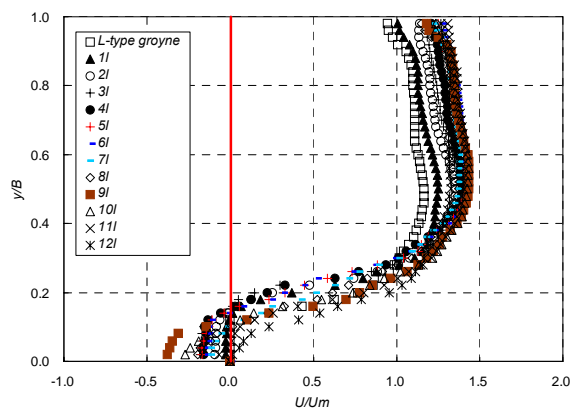


Fig. 22. Velocity Distribution of Groyne Field(AL/l : 0.4, left LG04V30, right LG04V50)

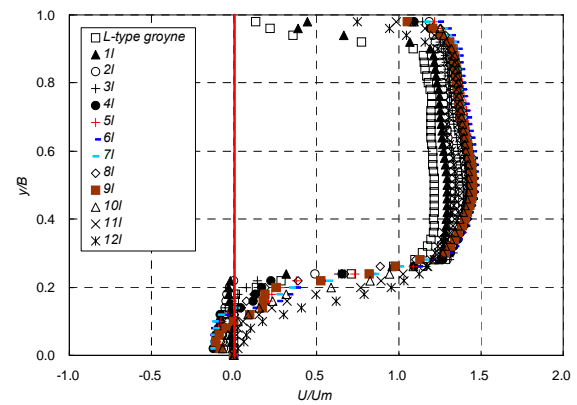
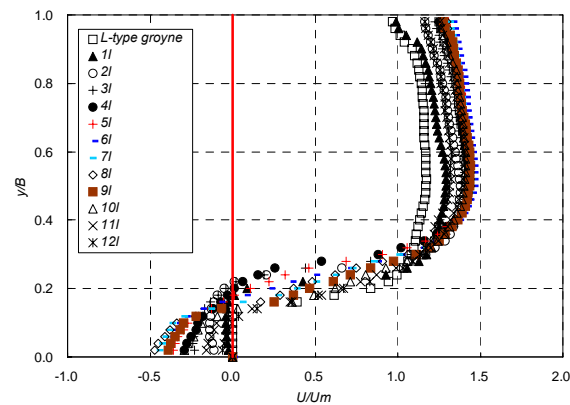


Fig. 23. Velocity Distribution of Groyne Field(AL/l : 0.6, left LG06V30, right LG06V50)

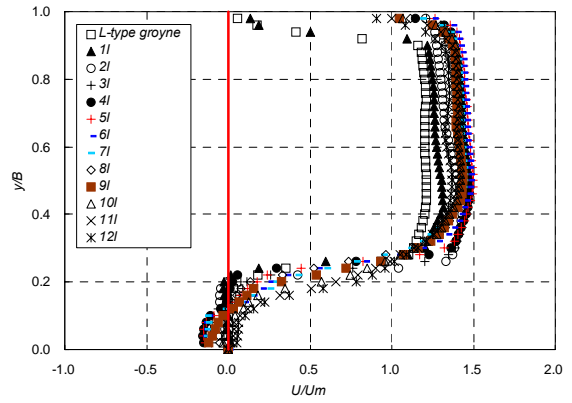
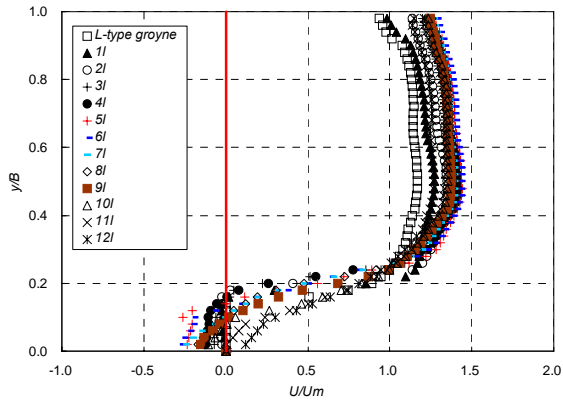


Fig. 24. Velocity distribution of groyne field($AL/l : 0.8$, left LG08V30, right LG08V50)

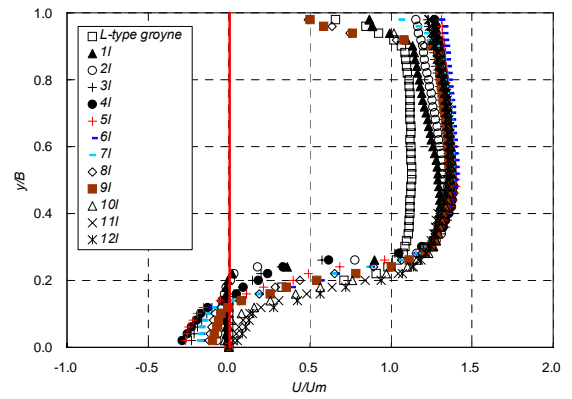
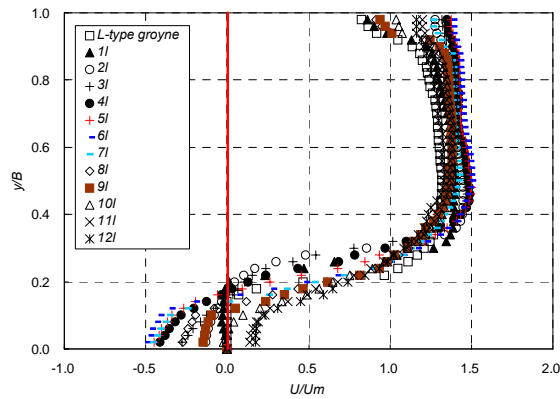


Fig. 25. Velocity distribution of groyne field($AL/l : 1.0$, left LG10V30, right LG10V50)

유속은 증대되고 발생지점 또한 이동될 것이다. Fig. 26에서 수제 길이비(L/l)에 대한 각 조건에서의 최대유속 발생위치와 크기를 비교하였으며, Fig. 27에서 최대유속(u_{max})을 평균유속으로 무차원화 하여 Fr 와의 관계를 검토하였다. L형 수제에서 최대유속은 수제길이의 5 ~ 9 배 사이에서 발생하는 것으로 나타났으며 수제길

이의 5 배 지점에서 발생될 확률이 57%로 나타나는 것을 알 수 있었다. 최대 유속비는 Fr 가 증가할수록 그 차이는 미미하며 평균유속의 1.3 ~ 1.6 배로 발생하고 있었다.

L형 수제주변의 단면의 유속은 각각의 경우에 따라 약간의 차이는 발생하나 수제팔이 없는 I형 수제의 경우

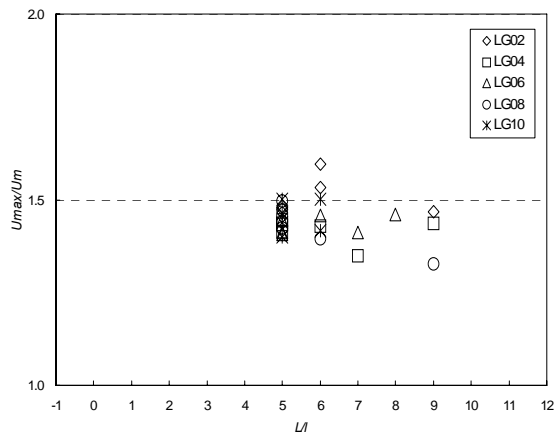


Fig. 26. Relationship of u_{max}/U_m and L/l

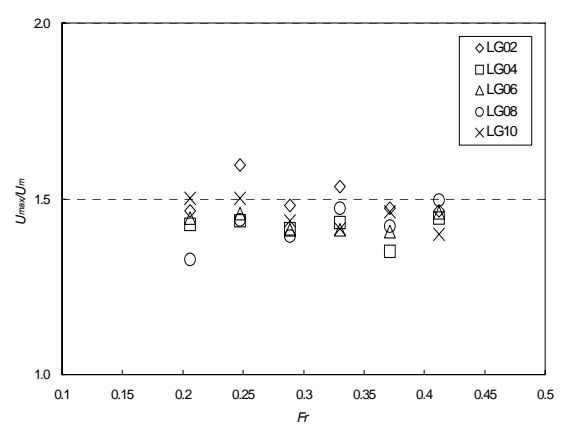


Fig. 27. Relationship of u_{max}/U_m and Fr

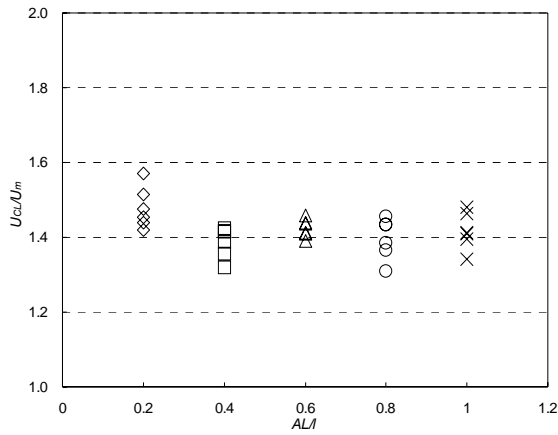


Fig. 28. Relationship of u_{CL} and AL/l

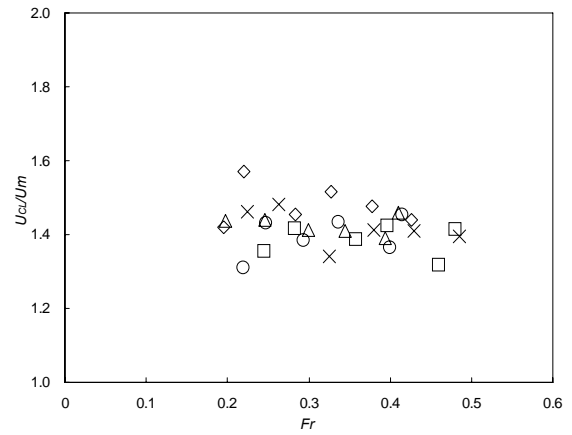


Fig. 29. Relationship of u_{CL} and Fr

에서도 수로부의 유속증가가 접근수로에 대해 1.4 ~ 1.5 배로 측정되는 것(여흥구 2006)과 비교해 볼 때 수제 팔길이에 따른 수로부 유속변화는 미미한 것으로 판단된다.

흐름중심선의 무차원 유속(u_{CL}/u_{mean})의 범위는 수제 종류와 상류유속조건에 따라 약간의 차이는 발생하고 있으나 상류부 평균유속의 1.3 에서 1.6 이내로 측정되었다. Fig. 28 은 수제 팔길이에 대하여 최대 흐름중심선의 무차원 유속을 비교한 것으로 수제 팔길이가 0.2l 에서 가장 크게 발생하고 다른 경우에 대해서는 차이가 미미하였다. Fr 에 따른 흐름중심선의 무차원 유속변화의 차이는 미미하게 측정되었고 Fig. 29 에서 비교하여 나타냈다.

4.3 제방부 유속 분석

수제설치로 인해 형성되는 재순환영역은 다양한 유속이 분포하며 특히 제방 부근의 유속을 감소 시켜 제방보호 효과가 있는 것으로 인식되고 있다. 본 실험에서는 제방과의 이격거리와 수로폭의 비(y/B)가 0.02 인 위치에서 각 실험조건에 따른 재순환영역에서의 최대유속을 수제길이의 $1l \sim 12l$ 배로 분류하여 검토하

고자 하였으며 이를 Table 3 에 정리하였다. Fig. 30 과 31 은 수제길이에 대한 재순환영역 제방부근 유속분포와 최대유속 발생지점을 나타낸 그림으로써 제방부근 유속자료는 측정된 유속(u_{levee})을 평균유속(u_{mean})으로 무차원화 하였다. 재순환영역의 크기나 형상은 유속 조건에 따라 차이를 보이고 있는데 재순환영역의 중심점에서 최대 역유속이 발생하고 있었고 그 크기는 평균 유속의 0.14 배 ~ 0.5 배로 발생하고 있었다. 최대 유속이 발생하는 지점은 수제길이의 5 배 ~ 9 배 지점에서 발생되고 있으며 주로 5 배 지점에서 발생하고 있었다.

Fig. 32 와 33 은 Fr 과 팔길이에 따른 제방부근 최대유속($u_{max}(levee)$)을 단면평균 유속으로 무차원화하여 관계를 검토한 그림으로 Fr 가 증가 할수록 제방부근 유속비는 각각의 조건에 따라 차이를 보이고 있으나 서서히 감소하는 경향을 보이고 있었으며, 또한 팔길이가 증가 할수록 감소하고 있었다. 팔길이가 0.4l 인 경우 유속비는 최대 0.42 배로 나타나고 있으며, 최소 0.29 배로 감소하는 것을 알 수 있다. 팔길이가 1.0l 인 L형 수제는 최대 0.5 배에서 최소 0.14 배로 관측되었다.

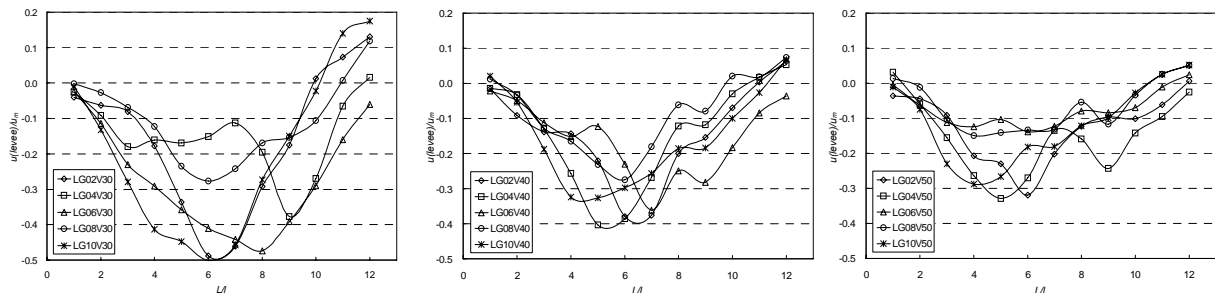


Fig. 30. Comparison of u_{levee}/U_m and AL/l

Table 3. Velocity Near Levee in Recirculation Zone

Case	Velocity near levee in recirculation zone(m/s)											
	1 <i>l</i>	2 <i>l</i>	3 <i>l</i>	4 <i>l</i>	5 <i>l</i>	6 <i>l</i>	7 <i>l</i>	8 <i>l</i>	9 <i>l</i>	10 <i>l</i>	11 <i>l</i>	12 <i>l</i>
LG02v25	-0.017	-0.025	-0.028	-0.034	-0.045	-0.047	-0.075	-0.122	-0.119	-0.090	-0.028	0.026
LG02v30	-0.012	-0.019	-0.024	-0.053	-0.101	-0.146	-0.138	-0.088	-0.052	0.004	0.022	0.039
LG02v35	-0.005	-0.005	-0.042	-0.063	-0.094	-0.157	-0.127	-0.062	-0.063	-0.025	-0.005	0.022
LG02v40	-0.006	-0.037	-0.056	-0.057	-0.088	-0.152	-0.150	-0.080	-0.062	-0.028	0.001	0.025
LG02v45	0.015	0.005	-0.039	-0.104	-0.137	-0.144	-0.112	-0.064	-0.046	-0.013	0.000	0.051
LG02v50	-0.018	-0.022	-0.046	-0.103	-0.115	-0.160	-0.101	-0.061	-0.048	-0.051	-0.031	0.003
LG04v25	-0.006	-0.019	-0.024	-0.037	-0.061	-0.087	-0.107	-0.101	-0.080	-0.055	-0.037	0.041
LG04v30	-0.008	-0.027	-0.054	-0.048	-0.051	-0.045	-0.034	-0.058	-0.113	-0.081	-0.020	0.005
LG04v35	-0.008	-0.027	-0.048	-0.068	-0.106	-0.124	-0.104	-0.060	-0.084	-0.077	-0.034	0.009
LG04v40	-0.006	-0.013	-0.052	-0.103	-0.161	-0.154	-0.108	-0.049	-0.047	-0.012	0.007	0.021
LG04v45	-0.008	-0.033	-0.064	-0.075	-0.094	-0.132	-0.127	-0.085	-0.125	-0.107	-0.074	-0.047
LG04v50	0.016	-0.029	-0.078	-0.132	-0.165	-0.135	-0.068	-0.079	-0.121	-0.071	-0.048	-0.012
LG06v25	-0.001	-0.012	-0.023	-0.032	-0.040	-0.073	-0.072	-0.053	-0.091	-0.053	-0.013	0.017
LG06v30	-0.007	-0.034	-0.069	-0.087	-0.107	-0.123	-0.132	-0.142	-0.118	-0.087	-0.048	-0.018
LG06v35	-0.006	-0.035	-0.071	-0.104	-0.102	-0.081	-0.055	-0.025	-0.035	-0.042	-0.031	-0.015
LG06v40	-0.009	-0.020	-0.045	-0.061	-0.049	-0.092	-0.145	0.100	-0.113	-0.073	-0.034	-0.015
LG06v45	-0.007	-0.024	-0.073	-0.062	-0.110	-0.167	-0.133	-0.086	-0.075	-0.043	-0.019	-0.004
LG06v50	-0.003	-0.031	-0.056	-0.062	-0.052	-0.069	-0.061	-0.040	-0.042	-0.035	-0.005	0.012
LG08v25	-0.007	-0.017	-0.027	-0.028	-0.038	-0.037	-0.030	-0.034	-0.034	-0.015	-0.009	0.017
LG08v30	-0.001	-0.008	-0.020	-0.037	-0.070	-0.083	-0.073	-0.051	-0.046	-0.032	0.002	0.036
LG08v35	-0.005	-0.024	-0.033	-0.042	-0.043	-0.068	-0.116	-0.099	-0.051	-0.011	0.009	0.022
LG08v40	0.005	-0.013	-0.051	-0.066	-0.093	-0.110	-0.072	-0.024	-0.032	0.008	0.007	0.029
LG08v45	0.008	-0.006	-0.036	-0.055	-0.084	-0.201	-0.163	-0.101	-0.061	-0.011	0.004	0.002
LG08v50	0.007	-0.006	-0.052	-0.074	-0.070	-0.067	-0.065	-0.027	-0.059	-0.017	0.012	0.025
LG10v25	0.001	-0.008	-0.011	-0.021	-0.037	-0.036	-0.049	-0.058	-0.055	-0.020	-0.005	0.021
LG10v30	-0.003	-0.040	-0.084	-0.124	-0.134	-0.150	-0.137	-0.082	-0.045	-0.007	0.042	0.053
LG10v35	0.007	-0.010	-0.077	-0.095	-0.121	-0.122	-0.085	-0.052	-0.045	-0.016	0.017	0.048
LG10v40	0.008	-0.022	-0.075	-0.130	-0.131	-0.119	-0.103	-0.074	-0.074	-0.040	-0.011	0.027
LG10v45	-0.001	-0.028	-0.056	-0.056	-0.062	-0.064	-0.029	-0.008	-0.011	0.003	0.019	0.043
LG10v50	-0.005	-0.037	-0.115	-0.144	-0.133	-0.091	-0.090	-0.061	-0.049	-0.014	0.013	0.026

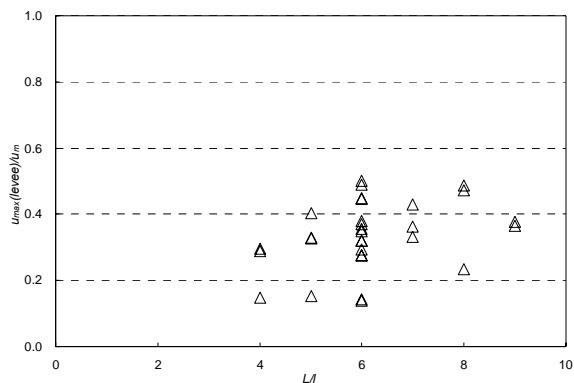


Fig. 31. Relationship of $u_{max(levee)}/U_m$ and L/l

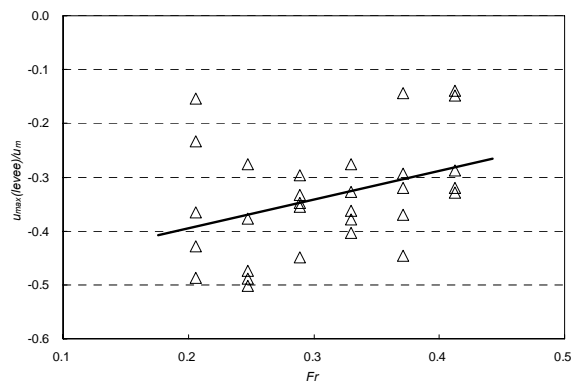


Fig. 32. Relationship of $u_{max(levee)}/U_m$ and Fr

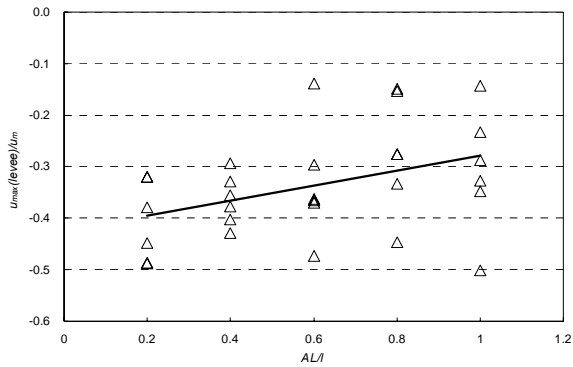


Fig. 33. Relationship of $U_{max(levee)}/U_m$ and AL/l

5. 결론

본 연구는 기존에 연구되었던 직각수제 및 투과수제 또는 경사수제 연구와 더불어 수제구조에 따른 다른 형태인 혼합형 수제중의 하나인 L형 수제를 대상으로 실험을 수행하였다. 수로폭대 수제길이비(l/B) 0.15 인 수제모형을 대상으로 팔길이비(AL/l)의 조절을 통해 여러 가지 유속조건으로 하여금 그 흐름특성을 관측하였다. 수리실험은 수제역 및 본류역의 흐름특성을 파악하기 위해 LSPIV 기법을 이용하여 흐름장을 측정하고, 측정결과로부터 흐름조건과 수제 팔길이 및 유속조건에 따른 흐름중심선과 흐름영역의 변화를 분석하였다. 흐름중심선의 특성을 파악하기 위해 수제가 설치벽으로부터 흐름중심선까지의 거리 T_{CL} 과 흐름중심선의 유속 U_{CL} 의 변화를 각 실험의 조건별로 비교분석하였다. 흐름영역의 변화는 주수로부에서 수제설치에 따른 흐름폭 방향 유속분포의 변화 및 흐름분리영역 폭 S_h 의 변화를 비교하여 분석하였고, 수로폭 0.02 배 위치에서의 제방부 유속을 통해 흐름특성을 파악하였다.

흐름중심선까지의 거리(T_{CL})의 크기는 수제설치가 본류영역에 미치는 영향의 정도를 의미하는 것으로 L형 수제는 I형 수제에 비해 감소하는 것으로 나타났다. L형 수제의 T_{CL} 은 수로 폭의 55 ~ 58%에 까지 미치는 것으로 나타났다. 흐름분리영역 폭(S_h)은 수제 팔길이에 대해 변화를 찾기 힘들었으며 수로 폭의 20 %에서 최대 30 %에 이르는 것으로 나타났으나 Fr 와 수제 팔길이에 영향이 미미하게 나타났다. 이는 흐름중심선까지의 거리(T_{CL})의 변화와 일치됨을 알 수 있다. 수제설치에 따른 본류영역의 유속증가는 상류부 평균유속의 1.3 배에서 1.6 배 이내로 증가하는 것으로 나타났다. 본류영역에서 흐름방향에 대해 최대유속이 발생하는 축선은 수제로부터 수제길이의 5 ~ 6 배 하류에서 발생하는 것으로 나타났으며 제방부에서는 6 배 하류에서

주로 역유속이 발생하고 있었다. 흐름중심선의 유속 U_{CL} 의 증가는 상류부 평균유속의 최대 1.6 배 이내로 본류유속 증가와 일치하며 이는 흐름중심선의 유속이 본류유속변화를 대표할 수 있음을 나타낸다 할 수 있다. 제방부 유속(u_{levee})은 재순환영역의 구심점에서 평균유속의 최대 0.5 배 역유속이 발생하고 있었으며, 수제길이의 6 배 지점에서 주로 발생하고 있었다. 제방부 유속은 Fr 이 증가할수록 서서히 감소하는 경향을 보이고 있었고 또한 팔길이가 증가할수록 감소하고 있었다.

위의 결과들로 미루어볼 때 L형 수제는 기존 I형 수제와 큰 차이점이 발생하지는 않았다. 그러나 L형 수제로 인해 발생하는 후면부의 수제역에 대한 사수역의 흐름특성 및 수제 주변 세굴실험을 통해 영향인자를 파악할 수 있다면 이를 통해 차후 변형 수제 설계를 위한 기초자료로서 제공될 수 있을 것이라 판단된다.

참고 문헌

- 한국건설기술연구원 (2004). “다기능 하천실험검증 사업”.
- 강준구, 여홍구, 김성중 (2005). “단일 횡수제 조건에 따른 선단부 유속과 재순환 영역에 대한 실험 연구.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제38권 2호, pp. 143-153.
- 여홍구, 노영신, 강준구, 김성중 (2006). “단일수제 설치에 따른 흐름중심선과 흐름분리영역의 변화.” **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제39권 4호, pp. 313-320.
- Ettema, R. and Muste, M. (2004). “Scale effects in flume experiments on flow around a spur dike in flatbed channel.” *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, Vol. 130, No. 7, pp. 635-646.
- Fujita, I. et al., 1998. “Large-Scale Particle Image Velocimetry for Flow Analysis in Hydraulic Applications,” *Journal of Hydraulic Research*, 36(3), 397-414.
- Lloyd, M.P. et al., 1995. “Unsteady surface-velocity field measurement using particle tracking velocimetry,” *Journal of Hydraulic Research*, 33(4), 519-534.
- Muste, M. et al. 2000. “Large-Scale Particle Image Velocimetry: a Reliable Tool for Physical Modeling,” *Proceedings of ASCE 2000 Joint Conference on Water Resources Engineering and Water Resources Planning & Management*,

- Minneapolis, MN.
- Melville, B.W., and Coleman, S. (2000). *Bridge scour*, Water Resources Publications, Littleton, Colo.
- Francis, J.R., Pattanick, A., and Wearne, S. (1968). "Observations of flow patterns around some simplified groyne structures in channels" *Technical Note No. 8, Proc., Inst. of Civil Engineers*, London, England, Dec., pp. 829-846.
- Rajaratnam, N., and Nwachukwu, B. (1983). "Flow near groyne-dike structures." *Journal of Hydraulic Div., ASCE*, Vol. 109, No. HY3, pp. 463-480.
- Schmidt, J.C., Rutin, D.H., and Ikeda, H. (1993). "Flume simulation of recirculating flow computation near groyne." *Water Resources Research*, Vol. 29, No. 8, pp. 2925-2939.
- Tingsanchali, T., and Maheswaran, S. (1990). "2D depth-averaged flow computation near groyne." *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, Vol. 116, No. 1, pp. 71-86.
- Uijttewaal, W. S. J. (2005) "Effects of Groyne Layout on the Flow in Groyne Fields: Laboratory Experiments." *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, Vol. 131, No. 9, pp. 782-791.
- (논문번호:07-118/접수:2007.10.26/심사완료:2008.04.21)