

수제 설치간격에 따른 수제 주변 흐름특성에 관한 실험 연구

An Experimental Study on a Characteristics of Flow around Groyne for Groyne Spacing

강준구* · 여홍구** · 노영신***

Kang, Joon Gu · Yeo, Hong Koo · Roh, Young Sin

Abstract

In design of groyne series, groyne spacing is a important factor and have an effect on not only the characteristics of backward and recirculation flow in groyne zone but also flow field in main channel. It is necessary study about flow pattern of recirculation zone and main channel that is a cause of bad change, local scour and bank erosion by groyne spacing. In this study, flow variation of groyne zone and main chanel for spacing of groynes were analyzed from the experiment results in order to offer a fundamental data that can be used to decide the proper groyne spacing. Experiments were conducted 12 cases for groyne spacing(L) by groyne length(l) rate and the velocity profile was measured using LSPIV and ADV. From the results, two vortex flows developed in recirculation zone for $L/l=3\sim 9$ and three vortex flows developed over $L/l=10$. The velocity of backward flow in recirculation zone was decreased up to 20% over $L/l=4$. The velocity of main channel flow was increased from 1.3 to 2.0 times by groyne spacing and the rate of velocity increased by increasing groyne spacing. The maximum velocity occurred in 0.7~0.8 times of groyne spacing downstream of upper groyne.

Keywords : groyne series, groyne spacing, LSPIV, recirculation zone

요 지

군수제 설계에 있어서 수제 설치 간격은 매우 중요한 인자이며 설치간격에 따라 수제역의 역흐름 및 재순환영역의 특성이 다양하게 변화할 뿐 만 아니라 수로 본류영역의 흐름에도 영향을 미친다. 수제간격에 따른 수제역과 수로흐름의 변화는 수제설치에 따른 하도변화, 국부세굴 및 하안 침식에 주요 원인이 될 것이므로 이에 대한 분석이 필요하다. 이에 본 연구에서는 군수제의 적절한 수제간격 결정을 위한 기초자료 제공을 목적으로 수제설치로 인해 변화되는 수로와 수제역 흐름을 수리 실험을 통해 분석하였다. 실험조건은 수제 간격을 수제길이의 1배~12배 범위에 대해 12 조건을 수행하였으며 LSPIV 기법과 ADV를 이용하여 흐름장을 측정하였다. 실험결과, 수제역에는 수제간격이 수제길이의 세 배 이상에서는 두 개, 열 배 이상에서는 세 개의 소용돌이 흐름이 발생하였으며, 하안침식의 원인이 될 수 있는 역류속은 네 배 이상에서 접근유속의 20% 이상 감소되는 것으로 나타났다. 또한 수로 본류의 유속은 수제설치로 인해 최대 1.3~2.0 배까지 증가하는데, 수제간격이 증가할수록 변화폭이 크게 증가하며 최대유속 발생위치는 수제간격의 0.7~0.8 하류 지점에서 측정되었다.

핵심용어 : 군수제, 수제간격, LSPIV, 재순환영역

1. 서 론

수제는 주로 호안 또는 하안 전면부에 설치하는 구조물로써 기존의 수제 설치는 하안 및 제방의 보호, 유로제어 및 주운의 수심확보 등을 목적으로 설치되다가 최근 들어 수제역 내에서 발생하는 역흐름과 하류 재순환영역(recirculation zone)이 수중생물의 다양한 서식처 및 홍수시 어류의 피난처 제공 등 환경적인 기능 역할을 할 수 있다는 점이 부각되면서 수제에 대한 설치목적이 다양화 되었다. 수제의 주요 설계인자는 수제간격, 수제의 방향(설치각도), 수제높이, 수제길

이, 하도조건과 유향특성 등으로 매우 다양한데, 특히 군수제의 경우에는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 수제의 설치간격에 따라 수제역과 수로흐름이 다양하게 변화하며 이러한 수제역의 재순환 흐름과 역류 흐름 및 하류수제 선단유속의 특성이 수제부의 유동변화와 하상변화 및 하안 침식에 큰 영향을 미치기 때문에 수제간격은 군수제 설계에 있어서 가장 중요한 설계인자라 할 수 있다.

수제간격에 대한 기존연구의 견해는 「수제간격은 적절한 하안 보호를 제공할 수 있는 가능한 최대이어야 한다」고 제안하고 있으며 간격 L 은 수제길이에 대한 무차원 값(L/l)

*정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원(E-mail: jgkang02@kict.re.kr)

**정회원 · 한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원(E-mail: yeo917@kict.re.kr)

***한국건설기술연구원 Post. Doc(E-mail: rohys@kict.re.kr)

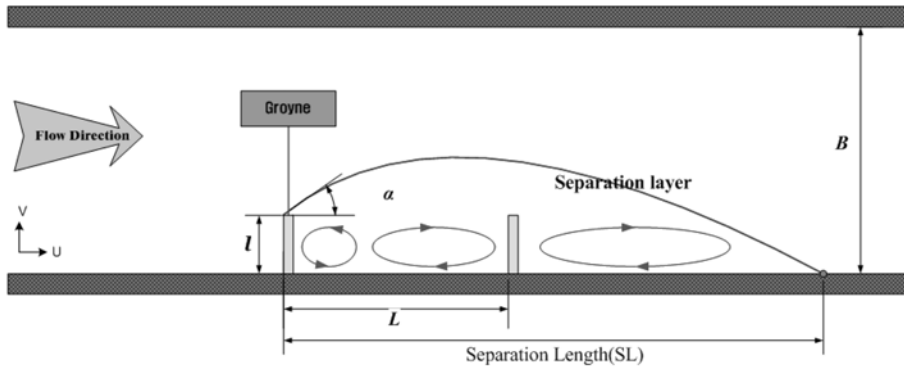


Fig. 1 Sketch of flow area between two groynes.

으로 제안하고 있다. Acheson(1968)은 곡선 곡률의 각도에 대해 $L/l=2\sim4$ 의 간격을 제안하였으나 수제 간격과 수제 투과율과 그리고 곡선부 만곡정도 사이의 관계에 대해 명확한 표준을 제공하지는 못하였다. Fenwick(1969)은 수제간격을 설치목적에 의해 구분하였는데 흐름제어 목적으로는 $L/l=2\sim2.5$, 제방보호 목적의 경우에는 $L/l=3$ 을 제시하고 있다. Richardson and Simons(1974)는 설치조건에 따라 $L/l=1.5\sim2.0$ 와 $L/l=3\sim6$ 의 값을 제안하였는데 직선 또는 큰 반경을 가지는 곡선수로에서는 $4\sim6$, 작은 반경을 갖는 곡선수로에서는 $3\sim4$ 의 값을 제안하였다. Jansen 등(1979)은 수리실험결과를 기초로 설치간격을 다음 식(1)과 같이 에너지방정식의 형태로 표현하여 제시하였다.

$$S = C_d d^{1.33} / 2gm^2 \quad (1)$$

여기서 S : 수제간격, C_d : 에너지 손실계수, d : 수심, g : 중력 가속도, m : 조도계수 이다. 경험적 에너지손실계수 C_d 는 약 0.6으로 적용하는데 매우 큰 간격을 가져오며 실제로 Kinori와 Mevorach(1984)는 상한선으로서 이 값을 이용할 것을 제안하였다.

Copeland(1983)는 하안 보호목적에 대해 간격을 제안했는데 수제의 침식되는 길이를 이용하여 $L/l=3$ 이상으로서 제시하였다. FHWA(1985)는 제방보호 목적에서 수제의 간격은 수제길이, 각도, 그리고 투과율, 뿐만 아니라 만곡수로의 곡률반경 등의 영향을 고려할 것을 제시하고 있는데 일반적으로 수제 간격은 수제설치 목적에 따라 $L/l=1\sim6$ 의 범위를 제안하였다. FHWA(1985)의 연구결과들은 개개의 수제에 의해 보호되는 수로제방의 길이를 흐름 확장각에 의해 제시하였

는데 흐름 확장각은 수제 선단부에서 재순화영역이 끝나는 제방선을 연결한 각이다. 확장각은 불투과 수제에서 17도로 제시하였고 투과수제에서는 투과율이 증가할수록 증가된 확장각을 제시하였다.

이와 같은 기존의 연구들은 대부분 설치목적(제방보호, 흐름제어 등)에 따른 각 실험의 결과로써 수제간격에 따른 수로와 수제역의 흐름특성(수로 부 유속증가, 수제역 와류현상)에 대한 자료를 제시하지는 못하고 있다. 이에 본 연구에서는 수리모형실험을 통해 수제간격에 따른 흐름영향을 분석하고 수제간격 제안에 주요자료를 확보하는데 연구의 목적이 있다. 실험조건은 강준구 등(2005)의 실험결과에서 제시된 재순화영역 및 확장각을 근거로 하여 수제간격과 수제길이의 비(L/l)를 1~12로 변화하여 수행하였으며 수제설치부의 수로부와 수제역 흐름영향을 분석하였다.

2. 수리모형실험

2.1 실험장치 및 방법

수제 설치에 따른 흐름장 측정실험은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 2.0 m(B) \times 0.65 m(h) \times 40 m(L)의 직선수로에서 수행하였으며, 실험시설은 0.012~0.4 m³/s를 공급할 수 있는 폭 1.2 m 위어를 유량공급 장치로 설치하였다. 수제간격에 따른 수제부 부근의 흐름변화를 파악하기 위해 Fig. 3에서 보는 바와 같이 두 개의 동일 수제를 수로중앙부에 설치하였다. 설치된 수제의 길이는 0.3 m로 수로폭에 대한 수제길이의 비는 0.15이며, 아크릴로 제작되었다. 수제의 간격은 수제길이에 대한 비 L/l 를 1~12로 설정하였다. 흐름조건은 유량



Fig. 2 Experiment flume and water supply. Fig. 3 Experiment setup of groynes for $L/l=2$. Fig. 4 Measurement of velocity using ADV.

0.09 m³/s, 수심 0.15 m, 접근유속 0.3 m/s에 대해 수행하였으며, 수제역 유속 및 유속장 측정은 LSPIV(Large Scale Particle Image Velocimetry)기법과 ADV(Acoustic Doppler Velocimeter)를 사용하였다. Fig. 4와 같이 ADV를 이용하여 중층(수심의 60% 지점)의 유속을 측정하였으며, ADV를 이용한 측정결과는 1분간 측정된 값을 시간 평균하였다.

2.2 수제 주변 흐름장 측정

본 실험에서는 수제역 및 수로 본류의 유속장 측정을 위해 LSPIV 기법을 적용하였다. LSPIV 기법은 실험실에서 영상해석기술을 이용하여 미소 영역의 유속을 측정하기 위해 개발된 입자영상유속계(PIV, Particle Image Velocimetry)를 비교적 규모가 큰 영역에 적용함으로써 표면유속을 측정하기 위한 영상측정기법의 하나이다. LSPIV는 LDV(Laser Doppler Velocimetry)와 ADV같은 측정기기가 갖는 한계를 극복하여 대상 영역 전체의 순간 유속장을 획득할 수 있다는 장점이 있기 때문에 최근 수제와 같은 구조물 주변의 국부적인 흐름장을 측정하는데 많이 이용된다(Ettema and Muste, 2004; Weitbrecht *et al.*, 2002).

PIV 및 LSPIV기법과 같은 영상해석을 이용한 유속측정기법은 Fig. 5에서 보는 바와 같이 유속장에 분포된 추적입자의 이동을 일정한 시간차를 두고 촬영하고 두 개의 영상을 비교하여 입자의 이동거리 및 이동시간을 통해 유속을 계산하는 방법이다. 영상처리로부터 얻어지는 디지털 영상정보는 보통 2차원의 입자 위치 및 각 화소의 명암 등급값이다. 영상내에서 입자들이 이동한다는 것은 시간변화에 따라 각 화소에 대한 명암 등급값이 변화한다는 것을 의미하고 영상해석을 이용한 유속 계산은 Fig. 5에서 보는 바와 같이 시간에 따른 이들 각 화소의 명암 등급값의 변화를 분석하여 입자들이 영상 내에서 어떤 지점의 화소로 이동하였는지를 판별함으로써 이루어진다.

LSPIV 기법은 PIV와는 적용대상 및 적용방법에서 차이가 있으나 영상을 이용하여 유속을 측정한다는 기본원리는 동일하다. 하지만 영상획득시 비스듬한 각도로 수표면의 영상을 기록하므로 카메라 촬영각도에 따른 원근상의 왜곡 수정을 필요로 한다. 2차원 평면 영상에 대한 왜곡수정은 왜곡된 영상의 특정좌표를 일정한 보정비율로 평면상의 실제좌표로 계산함으로써 이루어진다. 따라서 영상처리 전에 이러한 왜곡 보정작업을 수행한 후 상관관계 분석을 거쳐야 하므로 기존 PIV 기법에 비해 정확도가 저하되는 단점이 있다. 하지만 이러한 단점에도 불구하고 최근 LSPIV 기법이 주목받는 것은 간단한 장치구성과 영상 처리 및 분석을 위한 소프트웨어만으로 대규모의 실내실험이나 현장 적용이 가능하며 기존 장비와 인력의 활용에 비해 훨씬 적은 비용과 수고로 짧은 시간 내에 전체 유속장의 측정이 가능하기 때문이다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 수제설치부 수로 및 수제역 유속분포

수제와 같은 돌출 구조물은 제방부와 호안 부근의 유속을 감소시키거나 흐름방향과는 반대의 역류를 발생시켜 흐름을

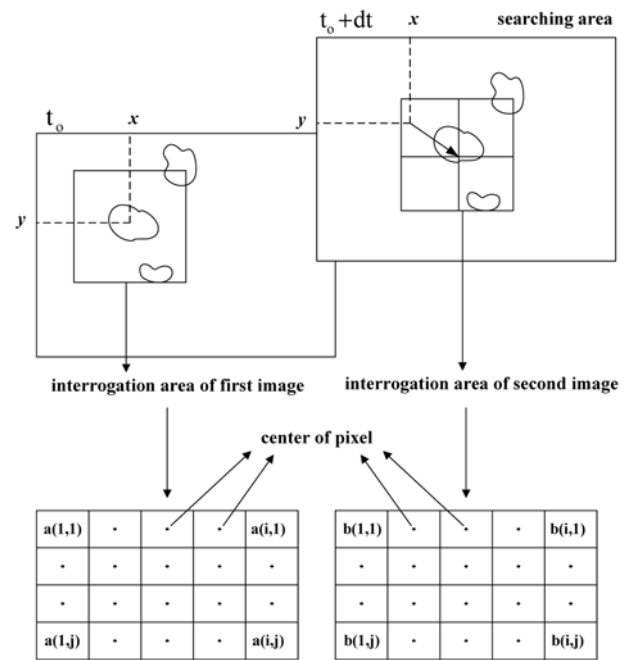


Fig. 5 Concept of PIV and LSPIV method.

지연시키는 효과가 있는 반면 수로의 통수능을 감소시켜 본류 흐름의 유속을 증가시킨다. 이러한 본류 유속의 증가는 단일 수제의 경우에는 수제의 길이를, 군수제의 경우에는 수제의 간격을 결정하는데 있어서 고려해야 할 중요한 요소 중의 하나이다. 단일 수제의 경우 본류영역의 최대유속이 평균유속의 2 배가 넘지 않기 위해서는 수제길이는 수로 폭의 20~25% 이내로 설정하는 것이며 바람직하며(여홍구 등, 2005), 이는 FHWA(1985)에서 제안한 25%이내와도 잘 일치한다. 하지만 군수제의 경우 수제역의 재순환 흐름특성이 하류수제의 영향으로 인해 단일 수제와는 달라지기 때문에 적절한 수제간격을 결정하는데 있어서 본류영역의 유속변화를 검토할 필요가 있다.

군수제 실험은 수제간격 L 에 대한 수제길이 l 의 비 L/l 을 1~12로 정하여 수행하였으며, 수제설치 수로부의 유속변화는 LSPIV를 이용하여 측정하였다. 수로부 유속 측선은 흐름방향의 경우 수제간격을 10 개로 분할하여 상류수제에서 하류수제까지 0.1L 만큼 증가시키며 측정하였으며, 수로폭 방향에 대해서는 단면을 50 개로 분할하여 분석하였다.

Fig. 6은 수제길이와 수제간격비에 대한 수로부의 유속분포를 나타낸 것이다. x 축은 흐름방향 유속을 평균유속을 나타내는 값이며, y 축은 수제가 설치된 측벽으로부터의 거리를 수로 폭으로 나누어 무차원화 한 것이다.

Fig. 6에서 보는 바와 같이 수제간격에 따라 본류 수로의 유속변화는 평균유속의 최대 1.3 배에서 2.0 배까지 변화하는 것으로 나타났으며, 수제간격이 증가할수록 이러한 변화 폭은 크게 증가하여 Fig. 6(e)~6(f)에서 보는 바와 같이 수제간격이 수제길이의 9 배 이상인 경우 본류 영역의 유속이 크게 증가하여 평균유속의 2 배까지 발생하였다. 이러한 변화는 수제역 재순환영역의 변화에 기인하는 것으로 판단되는데, 불투과 단일수제의 경우 재순환영역의 최대 폭은 수제길이의 4~5 배 하류에서 발생하며 이후로는 점차 감소하여 수제길이의 12 배 하류지점에서 소멸된다(강준구 등, 2005).

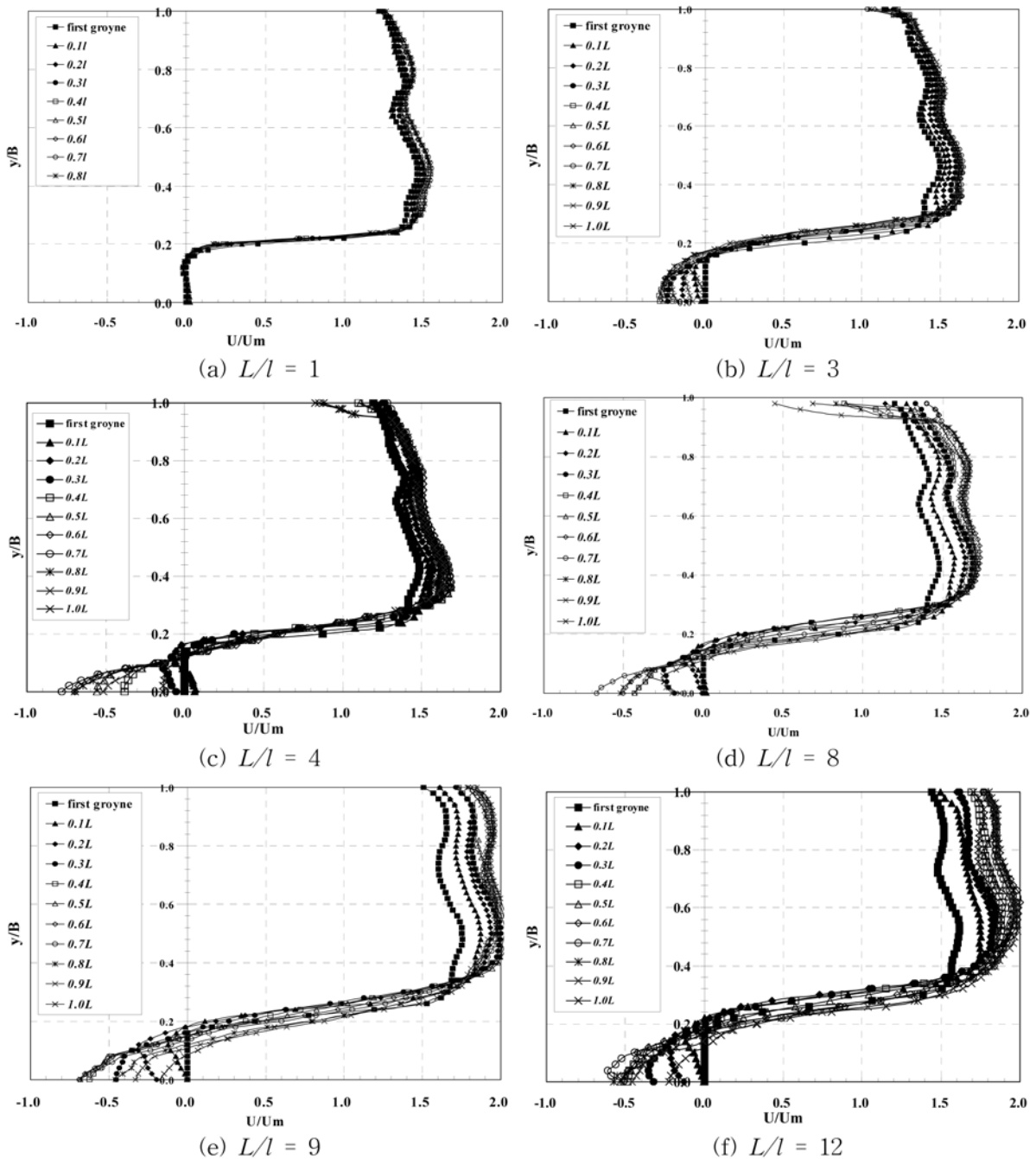


Fig. 6 Variation of velocity distribution for L/l .

하지만 균수제의 경우 하류에 설치된 수제의 영향으로 재순환영역이 감소하지 않고 하류로 좀 더 확대되어 본류영역의 유속을 더욱 증가시키는 것으로 판단된다. 최대유속의 발생 축선은 0.6 l -0.8 l 에서 발생하는 것으로 나타났다.

3.2 수제간격에 따른 수제역 흐름특성 및 제방부 유속변화 비교

수제간격에 대한 수제역 흐름분석은 수제간격에 따른 수제역의 흐름형상, 하안선(제방)을 따라 형성되는 역류 흐름과 하류수제 선단 유속과 흐름각에 대해 수행하였다.

수제역 흐름형상은 간격에 따라 와류의 형상이 변화할 것으로 예측되는 문제로서 수제 설치로 인한 다양한 흐름형상을 파악하기 위한 것이다. 수제간격에 따른 수제역의 흐름형상은 수제간격에 따라 소용돌이(와류)형성의 차이가 발생하

였다. 소용돌이 현상은 수제간격 대 수제길이비(L/l)가 3 이내에서는 한 개, $L/l=3\sim 9$ 에서 두 개 그리고 $L/l=10$ 이상일 경우 세 개의 소용돌이가 발생하였다. L/l 이 3 이내일 경우에 형성되는 소용돌이는 수로의 흐름이 상류수제 후면의 정지된 유체를 회전시키기 때문인 것으로 판단된다. 하지만 L/l 이 3 이상이 되면 하류수제로 인해 하안을 타고 시계방향으로 역류되는 흐름이 충분히 발달하여 상류 수제 후면에 정지된 유체와 경계를 형성해 두 개의 소용돌이가 발생하는 것으로 사료된다. 또한 L/l 이 10 이상일 경우 소용돌이가 세 개로 증가하는 것으로 측정되었는데 이는 첫 번째 수제로 발생하는 재순환영역(recirculation zone)과 하류수제로 인한 영향으로 판단된다. Fig. 7은 LSPIV를 이용하여 측정된 수제역의 흐름을 나타낸 것이다.

하안을 따라 형성되는 역류속에 대해서는 제방에서 근접한

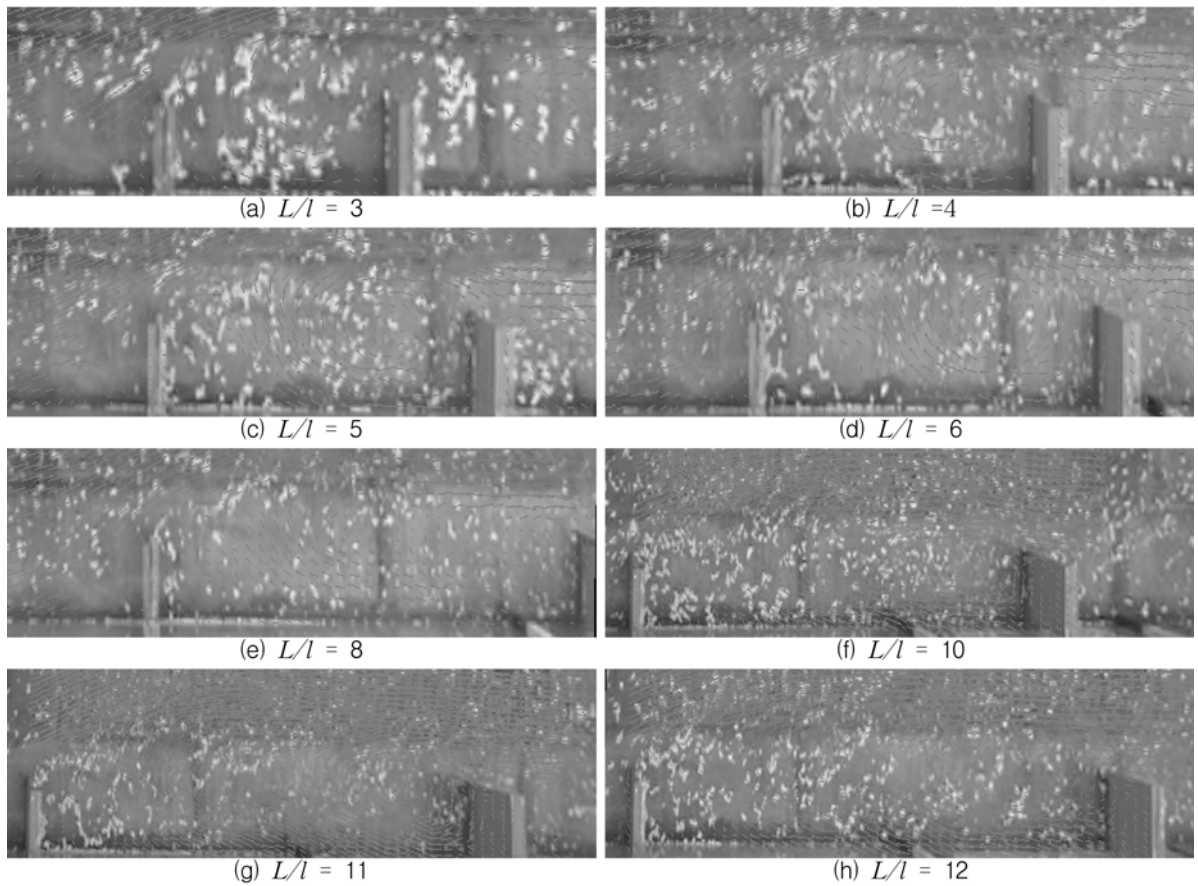


Fig. 7 Velocity fields of groyne zone measured by LSPIV.

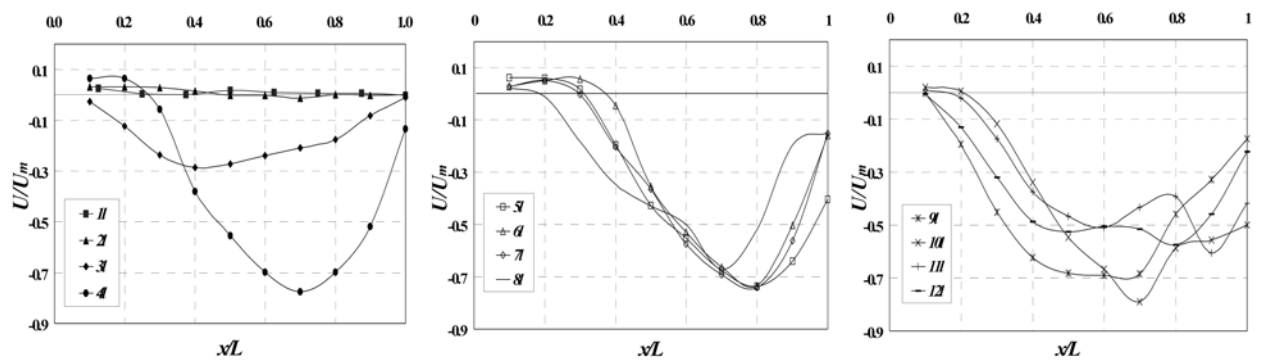


Fig. 8 Lateral velocity distribution near the wall for spacing of groynes($y=0$).

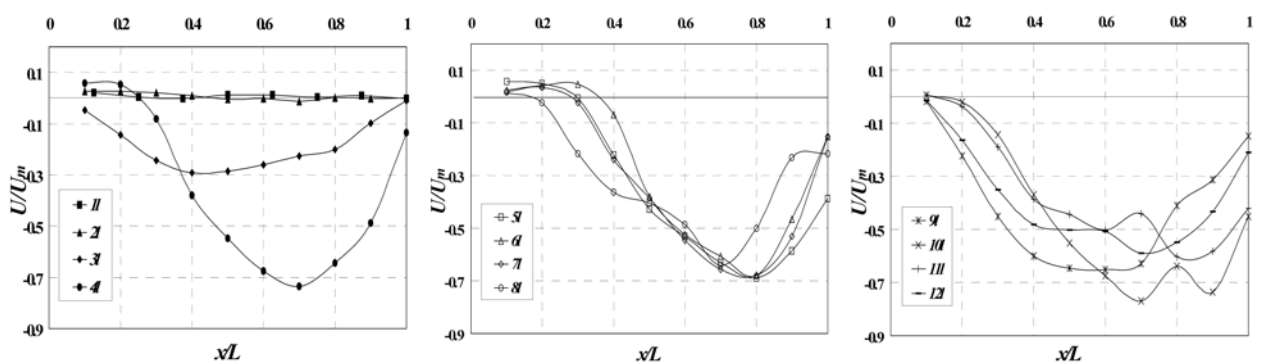


Fig. 9 Lateral velocity distribution near the wall for spacing of groynes($y=4$ cm).

부분($y=0$ cm)과 $y=4$ cm인 축선에 대해 분석하였고 유속비는 상류 접근유속으로 무차원화한 수치를 적용하였다. 하안부 유속은 L/l 이 4 이상이 되면서 급격히 증가하였으며 수제간격에 따라 유속의 형성이 변화하는 것으로 측정되었다. 하안

부의 유속은 L/l 이 1, 2일 때에는 0에 가깝게 측정되었다. 최대유속은 $L/l=4$ 에서 0.78과 $L/l=10$ 에서 0.79, 최대유속 발생위치는 수제간격의 0.7과 0.8 지점에서 측정되었다. Fig. 8 and Fig. 9는 수제간격에 대해 나타낸 것이고 Table 1

Table 1. Measured u, v near the wall for groyne spacing ($y \approx 0$ cm)

L/l	x/L	u(cm/s)	v(cm/s)	L/l	x/L	u(cm/s)	v(cm/s)	L/l	x/L	u(cm/s)	v(cm/s)
1	0.13	0.8	0.0	5	0.10	1.9	-0.9	9	0.10	0.0	0.4
	0.25	0.1	0.1		0.20	1.8	-0.7		0.20	-5.9	0.9
	0.38	0.0	0.0		0.30	0.6	-0.5		0.30	-13.6	1.4
	0.50	0.6	-0.2		0.40	-5.9	0.0		0.40	-18.7	1.2
	0.63	0.3	-0.1		0.50	-12.8	0.5		0.50	-20.5	-0.1
	0.75	0.2	0.0		0.60	-16.5	-0.3		0.60	-20.7	-0.1
	0.88	0.2	0.3		0.70	-20.3	-0.4		0.70	-20.5	-0.2
	1.00	0.0	0.4		0.80	-22.1	-0.5		0.80	-13.8	0.4
					0.90	-19.2	-1.9		0.90	-9.8	0.2
			1.00	-12.1	-2.8	1.00	-5.2	-1.9			
2	0.10	0.9	-0.1	6	0.10	0.9	0.2	10	0.10	0.6	-0.6
	0.20	0.9	-0.1		0.20	1.6	0.6		0.20	0.2	-0.7
	0.30	0.8	0.0		0.30	1.7	0.5		0.30	-3.5	-0.7
	0.40	0.4	0.1		0.40	-1.3	0.9		0.40	-10.1	0.1
	0.50	-0.1	0.1		0.50	-10.6	1.6		0.50	-16.4	-0.6
	0.60	0.0	0.1		0.60	-15.8	0.7		0.60	-20.0	-1.0
	0.70	-0.4	0.0		0.70	-19.9	0.5		0.70	-23.7	0.3
	0.80	0.0	0.0		0.80	-22.0	0.5		0.80	-17.7	1.7
	0.90	-0.1	0.1		0.90	-15.1	-1.4		0.90	-16.7	-0.3
1.00	0.0	0.1	1.00	-4.7	-1.7	1.00	-15.0	-0.8			
3	0.10	-0.8	-0.2	7	0.10	0.8	-0.1	11	0.10	0.3	-0.4
	0.20	-3.7	-0.2		0.20	1.5	-0.3		0.20	-0.6	-0.6
	0.30	-7.1	0.0		0.30	-0.1	0.3		0.30	-5.2	-0.6
	0.40	-8.6	0.1		0.40	-6.1	0.4		0.40	-11.3	-0.4
	0.50	-8.1	-0.3		0.50	-10.9	0.4		0.50	-14.0	-1.4
	0.60	-7.2	-0.9		0.60	-17.2	-0.8		0.60	-15.3	-1.4
	0.70	-6.2	-1.3		0.70	-20.8	-0.6		0.70	-13.0	0.3
	0.80	-5.3	-1.5		0.80	-22.3	-0.8		0.80	-11.8	0.5
	0.90	-2.4	-1.4		0.90	-16.8	-2.1		0.90	-18.2	0.1
1.00	-0.3	-0.9	1.00	-4.5	-2.1	1.00	-12.5	-0.3			
4	0.10	2.0	-0.2	8	0.10	0.7	-0.8	12	0.10	-0.1	-0.2
	0.20	2.0	0.0		0.20	-0.3	-0.6		0.20	-3.9	-0.5
	0.30	-1.7	0.1		0.30	-5.5	-0.7		0.30	-9.6	-0.1
	0.40	-11.4	0.4		0.40	-10.4	-0.4		0.40	-14.6	-0.5
	0.50	-16.7	0.3		0.50	-12.9	-1.2		0.50	-15.8	-0.3
	0.60	-20.9	0.3		0.60	-15.0	-1.3		0.60	-15.2	1.1
	0.70	-23.3	-0.6		0.70	-20.1	-1.2		0.70	-15.5	-0.3
	0.80	-20.9	-1.2		0.80	-15.6	-0.4		0.80	-17.2	-1.1
	0.90	-15.6	-1.8		0.90	-5.9	0.6		0.90	-13.8	-1.4
1.00	-4.0	-1.5	1.00	-4.4	0.2	1.00	-6.7	-2.1			

and Table 2는 측정 자료를 제시한 것이다. 하안의 유속 분포(중단방향)는 $L/l=3\sim 8$ 에서는 유속의 변곡점이 한 개가 발생하지만 $L/l=10$ 이상에서는 두 개의 변곡점이 발생함을 알 수 있다. 이와 같은 형상은 $L/l=10$ 이상일 경우의 소용돌이 발생과 일치되는 결과라 할 수 있다.

Fig. 10 and Fig. 11은 수제간격에 대한 하류수제 선단 유

속과 흐름각을 ADV를 이용하여 측정된 값을 나타낸 것이다. 하류수제 선단유속은 수제간격이 커질수록 유속이 증가하는 경향이 나타나며 하류수제 흐름각은 수제간격이 커질수록 반시계방향으로 진행되는 것으로 판측되었다. 이와 같은 현상은 상류수제로 인해 형성되는 재순환영역에서의 역류흐름이 하류수제 선단에 영향을 미치기 때문인 것으로 판단된다(강

Table 2. Measured u, v near the wall for groyne spacing (y=4 cm)

L/l	x/L	u(cm/s)	v(cm/s)	L/l	x/L	u(cm/s)	v(cm/s)	L/l	x/L	u(cm/s)	v(cm/s)
1	0.13	0.6	0.2	5	0.10	1.7	-0.1	9	0.10	-0.5	0.5
	0.25	0.1	0.2		0.20	1.5	0.0		0.20	-6.7	0.9
	0.38	0.0	0.2		0.30	-0.2	0.3		0.30	-13.5	1.4
	0.50	0.4	0.2		0.40	-6.6	1.4		0.40	-18.0	1.1
	0.63	0.4	0.2		0.50	-12.8	2.2		0.50	-19.4	-0.2
	0.75	0.1	0.2		0.60	-15.9	1.0		0.60	-19.6	-0.2
	0.88	0.3	0.2		0.70	-19.0	0.3		0.70	-18.8	-0.3
	1.00	0.0	0.2		0.80	-20.7	-0.5		0.80	-12.3	-0.1
					0.90	-17.6	-2.3		0.90	-9.4	-0.3
			1.00	-11.6	-3.7	1.00	-4.4	-2.3			
2	0.10	0.8	0.0	6	0.10	0.7	0.1	10	0.10	0.1	0.1
	0.20	0.8	0.1		0.20	1.3	0.2		0.20	-0.6	0.2
	0.30	0.6	0.2		0.30	1.4	0.3		0.30	-4.3	0.7
	0.40	0.3	0.2		0.40	-2.1	0.7		0.40	-11.1	1.0
	0.50	-0.2	0.2		0.50	-11.4	1.4		0.50	-16.5	0.9
	0.60	-0.1	0.1		0.60	-15.7	0.5		0.60	-20.2	0.8
	0.70	-0.4	0.0		0.70	-18.2	-0.6		0.70	-23.1	1.8
	0.80	0.0	0.0		0.80	-20.3	-0.8		0.80	-19.2	2.1
	0.90	-0.1	-0.1		0.90	-14.0	-2.5		0.90	-22.1	-0.4
	1.00	0.1	-0.1		1.00	-4.6	-3.7		1.00	-13.5	-1.8
3	0.10	-1.4	0.8	7	0.10	0.6	0.0	11	0.10	0.1	0.2
	0.20	-4.3	1.4		0.20	1.0	0.0		0.20	-1.1	0.3
	0.30	-7.3	1.7		0.30	-0.7	0.4		0.30	-5.7	0.5
	0.40	-8.7	1.2		0.40	-7.2	1.0		0.40	-11.6	0.5
	0.50	-8.6	0.3		0.50	-11.5	0.6		0.50	-13.3	0.1
	0.60	-7.8	-0.5		0.60	-16.4	-0.1		0.60	-15.0	0.5
	0.70	-6.8	-1.1		0.70	-19.7	-0.5		0.70	-13.3	1.4
	0.80	-6.0	-1.3		0.80	-20.4	-0.8		0.80	-18.1	0.7
	0.90	-3.0	-1.2		0.90	-15.9	-1.7		0.90	-17.5	0.0
	1.00	-0.3	-1.0		1.00	-4.5	-2.6		1.00	-12.6	-0.9
4	0.10	1.8	-0.1	8	0.10	0.5	0.1	12	0.10	-0.5	-0.6
	0.20	1.6	0.3		0.20	-0.7	0.		0.20	-4.9	-1.0
	0.30	-2.5	1.2		0.30	-6.5	0.5		0.30	-10.5	0.2
	0.40	-11.4	1.5		0.40	-10.9	0.6		0.40	-14.5	0.2
	0.50	-16.4	0.8		0.50	-12.1	-0.1		0.50	-15.1	0.7
	0.60	-20.3	0.2		0.60	-14.6	0.2		0.60	-15.2	2.1
	0.70	-22.0	-0.9		0.70	-19.2	0.5		0.70	-17.7	0.2
	0.80	-19.3	-2.1		0.80	-15.0	1.6		0.80	-16.5	0.2
	0.90	-14.7	-3.1		0.90	-7.0	1.1		0.90	-13.0	-0.2
	1.00	-4.1	-2.5		1.00	-6.5	0.1		1.00	-6.3	-1.4

준구 등, 2005).

4. 결 론

본 연구에서는 수제 설계인자 중 수제설치 간격에 대해 수리모형실험을 실시하였으며 이를 통해 수제간격을 결정하기 위한 기초적인 자료를 취득하였다.

수제간격의 설정은 하천조건과 제방보호 조건에 따라 변화되어야 한다. 본 연구에서의 제안은 수제설치로 인한 수로부 유속증가와 수제역 제방부근의 역류속을 근거로 제안하였다.

수로의 유속변화는 수로간격에 따라 차이를 나타내고 있는데 이는 상류수제와 하류수제로 인한 재순회영역의 영향으로 판단된다. 수제간격에 따라 수로유속은 분류 평균유속의 최대 1.3 배에서 2.0 배까지 변화하는 것으로 나타났으며,

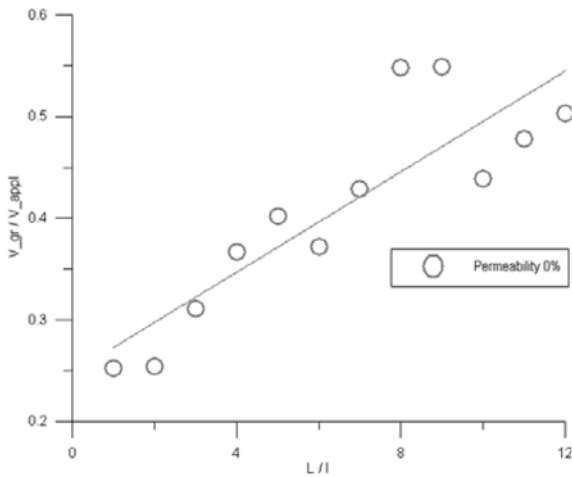


Fig. 10 Relationship between groyne spacing with tip-velocity of 2nd groyne.

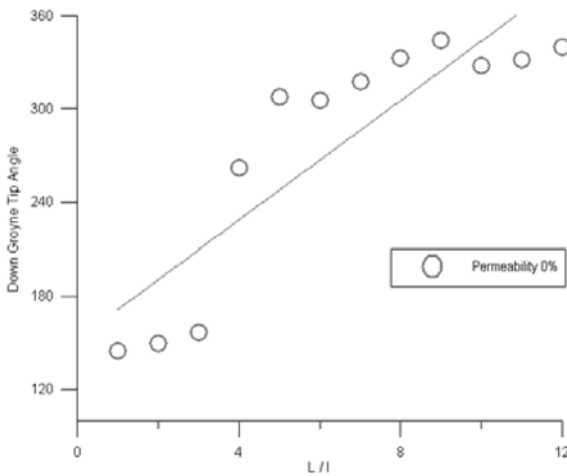


Fig. 11 Relationship between groyne spacing with tip-flow angle of 2nd groyne.

수제간격이 증가할수록 이러한 변화폭은 크게 증가하며 수제간격이 수제길이의 아홉 배($L/l=9$) 이상인 경우 평균유속의 두 배까지 증가하였다.

수제역 흐름형상은 수로흐름과 하류부 수제로 인한 소용돌이 현상이 발생하는데 수제간격이 수제길이의 세 배 이상에서는 두 개, 열 배 이상에서는 세 개의 소용돌이가 발생하였다. 하안 침식의 원인이 될 것으로 판단되는 역류속은 수제간격이 수제길이의 네 배 이상부터 접근유속의 0.6~0.8 배로 접근유속의 20% 이상 감소되는 것으로 측정되었다. 하안

부의 유속은 수제간격이 수제길이의 한 배 및 두 배에서는 0에 가깝게 측정되었다. 최대유속과 평균유속의 비는 수제간격이 수제길이의 네 배에서 0.78, 열 배에서 0.79이며, 최대 유속 발생위치는 수제간격의 0.7과 0.8 지점에서 측정되었다.

하안보호 측면에서의 수제간격은 수제길이의 최대 네 배미만으로 제한할 수 있을 것으로 판단되며 수로부 유속이 2 m/s 이내의 하천에서는 유속증가를 고려할 경우 여섯 배까지 제한할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- 강준구, 여홍구, 김성중(2005) 단일 횡수제 조건에 따른 선단부 유속과 재순환 영역에 대한 실험 연구. **한국수자원학회 논문집**, 한국수자원학회, 제38권 제2호, pp. 143-153.
- 여홍구, 강준구, 노영신, 김성중(2005) 단일수제주변 Thalweg의 흐름특성에 관한 연구. **2005년도 학술발표회 논문집(II)**, 대한토목학회.
- Acheson, A.R. (1968) *River Control and Drainage in New Zealand*, Ministry of Work, New Zealand.
- Copeland, R.R. (1983) *Bank Protection Techniques Using Spur Dikes*. Miscellaneous paper HL83-1, U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station.
- 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, No. 7, pp. 635-646.
- Fenwick, G.B. (1969) *State of Knowledge of Channel Stabilization in Major Alluvial River*. Report No. FHWA/RD-83/099, U.S. Department of Transportation, Washington D.C.
- FHWA (1985) *Design of Spur-type Streambank Stabilization Structures*. U.S. DOT, FHWA, Rep. No. FHWA/RD 84/101, McLean, VA.
- Jansen, P., Van Bendegorn, L., Van den Berg, J., De Vries, M., and Zanen, A. (1979) *Principles of River Engineering*. The Non-Tidal Alluvial River, Pitman, London, England.
- Kinori, B.Z. and Mevorach, J. (1984) *Manual of Surface Drainage Engineering. Volume II; Streamflow Engineering and Flood Protection*, Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- 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.
- Weitbrecht, V., Kuhn, G. and Jirka, G.H. (2002) *Large Scale PIV-Measurements at the Surface of Shallow Water Flows*. Flow Measurement and Instrumentation, 13, pp. 237-245.

(접수일:2005.11.24/심사일:2006.2.1/심사완료일:2006.3.7)