

단일수제 설치에 따른 흐름중심선과 흐름분리영역의 변화

Variations of Flow Thalweg Alignment and Separation Region around a Groyne

여 홍 구* / 노 영 신** / 강 준 구*** / 김 성 중****
 Yeo, Hong Koo / Roh, Young Sin / Kang, Joon Gu / Kim, Sung Jung

Abstract

In this study, hydraulic characteristics of thalweg line occurred near the single groyne and recirculation zone around downstream of the structure were discussed from the experiments which conducted in fixed flat-bed channel flume. The thalweg line is the stream line where the maximum velocity occurs and flow separation appeared at the tip of groyne changes the thalweg alignment. In this study, the variations in flow fields which were caused by different length and permeability of groyne were measured by LSPIV(Large Scale Particle Image Velocimetry), and also the characteristics of thalweg line and separation area were analyzed. From these results, it is found that length to thalweg line from the channel wall T_{cl} and height of separation area S_h vary the channel width up to 75 %, 50 % in the change of length and permeability of groyne, however the Froude number does not affect on T_{cl} and S_h . Velocity along the thalweg U_{cl} increased by twice the mean velocity, and the maximum velocity occurred in downstream where the distance 5~6 times of groyne length away from the groyne, which does not get affected by length and permeability of groyne and Froude number.

keywords : single groyne, thalweg line, separation area, length of groyne, permeability

요 지

본 연구에서는 수리실험을 통해 단일 돌출수제 설치에 따른 흐름중심선과 수제 하류부의 흐름분리영역의 특성을 파악하였다. 흐름중심선은 최대유속이 발생하는 유선을 의미하며, 수제 설치로 인한 수제 선단부 흐름분리현상은 흐름중심선의 형태를 변화시킨다. 본 연구에서는 수리실험을 통해 단일 돌출수제의 길이 및 투과율 변화에 따른 수제 주변의 흐름장을 LSPIV(Large Scale Particle Image Velocimetry)를 이용하여 측정하고, 수제길이 및 투과율에 따른 흐름 중심선과 흐름분리 영역의 특성을 파악하였다. 실험결과, 흐름중심선과 흐름분리영역의 폭은 Froude 수에 따라 큰 변화를 보이지 않으나 수제의 길이 및 투과율에 따라 수로 폭의 최대 75 %, 50 %에 이르는 것으로 나타났다. 또한 수제설치로 인한 흐름중심선의 유속변화는 수제길이가 증가함에 따라 평균유속의 최대 2 배 정도까지 증가하는 것으로 나타났으며 최대유속은 수제의 종류 및 흐름조건과는 상관없이 수제설치지점으로부터 수제길이의 약 5~6 배 하류에서 발생하는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 단일수제, 흐름중심선, 흐름분리영역, 수제길이, 투과율

- * 한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원
Senior Researcher, Dept. of Water Resources Research, Korea Institute of Construction Technology
(e-mail: yeo917@kict.re.kr)
- ** 한국건설기술연구원 수자원 연구부 박사후 과정
Post-Doc., Dept. of Water Resources Research, Korea Institute of Construction Technology
- *** 한국건설기술연구원 수자원연구부 선임연구원
Senior Researcher, Dept. of Water Resources Research, Korea Institute of Construction Technology
- **** 한국건설기술연구원 수자원연구부 연구원
Researcher, Dept. of Water Resources Research, Korea Institute of Construction Technology

1. 서 론

수제는 하천에서의 흐름 방향과 유속을 제어하여 하안 또는 제방을 흐름에 의한 침식작용으로부터 보호하기 위해 호안 또는 하안 전면부에 설치하는 구조물이다. 이러한 수제의 설치에 따른 수제 주변 흐름은 크게 수제 하류부의 흐름분리에 의한 재순환이 발생하는 수제역과 수제의 돌출로 인해 흐름의 변화가 발생하는 본류영역으로 구분할 수 있다. 이러한 수제 주변 흐름의 변화는 흐름중심선(thalweg line)과 흐름분리영역(separation area)으로 정의할 수 있는데, 즉 수제 돌출로 인해 흐름중심선은 제방에서부터 수로중앙부 방향으로 향하게 되며, 수제 선단부에서의 흐름분리는 수제 하류부 영역에 흐름과 반대방향의 역류를 발생시켜 흐름에 의한 제방의 침식을 방지할 수 있게 한다. 따라서 흐름제어 및 제방보호를 주요 목적으로 사용되는 수제의 경우에 흐름중심선 및 흐름분리영역의 특성은 수제 설계에 있어서 매우 중요한 요소가 된다.

수제역의 재순환 영역은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 흐름분리 영역의 길이 S_L 과 폭 S_h 에 의해 정의되는데, S_L 은 수제 설치지점으로 부터 흐름분리영역의 최대 하류 길이를, S_h 는 이때의 최대 측면 폭을 의미하며 이들의 크기는 수제설치로 인한 제방보호 효과의 한계를 정의할 때 주로 언급된다.

흐름중심선은 수로에서 흐름방향으로 최대 수심을 연결한 선을 의미하지만 실험수로와 같이 수심이 일정한 직선수로의 경우에는 최대유속이 발생하는 유선을 흐름중심선으로 가정할 수 있다(Ettema and Muste, 2004). 수제의 설치는 수로중앙에서 발생하는 흐름중심선의 형태를 변화시킬 뿐만 아니라 유속을 증가시킨다. 수제 부근 흐름 중심선의 변화는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 수제가 설치된 제방에서부터 최대유속이 발생지점까지의 거리 T_{CL} 과 흐름중심선의 길이 $T_{UL} + T_{DL}$ 로 정의할 수 있다. 수제 주변 흐름에 대한 이러한 주요 특성들은 수제부의 국부세굴 및 수제 주변역의 침식 및

퇴적 등의 하상변동에 큰 영향을 미치기 때문에 저수호안 및 제방침식 방지와 수로의 흐름제어를 목적으로 하는 수제의 설치에 있어서 주요 관심사이다. 또한 수제의 기본 설계 인자인 수제길이, 투과율, 수제간격 등을 결정하는데 있어서 매우 중요한 인자로서 수제 조건에 대한 수제역 및 수로흐름영역의 특성을 파악하는 것은 매우 중요하다.

수제와 같은 하천의 돌출구조물에 대한 국외 연구는 대부분 수제 주변의 국부적인 흐름장과 돌출 구조물에 의한 세굴발생(Schmidt et al, 1993; Melville and Coleman, 2000)에 초점이 맞춰져 있으며, 수치모의에 의한 분석 또는 일부 연구에서 수제 하류부 재순환 영역에 대해 다루고 있다. 이러한 재순환 영역에 대한 최초의 연구는 Francis et al(1968)의 수제 하류부 재순환 영역에 대한 실험적 연구를 들 수 있으나 유속의 측정 은 이루어지지 않았다.

수제역 흐름영역에 대한 유속측정은 Rajaratnam and Nwachukwu(1983)에 의해 시도되었는데, 이들의 연구는 길이가 서로 다른 두 가지 형태의 수제에 대해 수행하였으며, 흐름영역을 수제주변에서 $-1 \leq x/b \leq 6$, $0 \leq y/b \leq 3$ (x : 수로 길이, y : 제방에서의 수직한 거리, b : 수제 길이)로 구분하여 측정하였다. 그러나 수제의 종류가 단 두 가지로 다양한 수제 길이 및 투과율에 따른 재순환 영역의 특성을 분석하지는 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 축척영향 만을 분석하였으며, 투과수제에 대해서는 다루지 않았다.

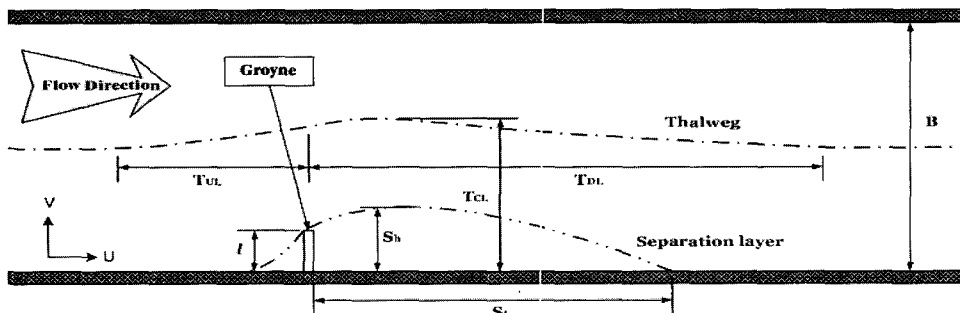


Fig. 1. Characteristics and definitions of flow variations around the single groyne (Ettema and Muste, 2004)

국내의 경우에는 수제와 관련하여 국외 연구에 비해 연구 자료가 매우 부족한 실정인데, 강준구 등(2005)은 수제 하류부 재순환 영역과 최대세굴의 주요인자인 수제선단 유속을 투과율, 접근유속, 수제길이에 대해 실험을 통해 수제 하류부의 재순환 영역에 대한 실험식을 제안하였으나, 수제에 의한 분류흐름의 변화에 대해서는 언급하지 않았다.

이에 본 연구에서는 수제 길이 및 투과율 등 중요한 수제 설계인자 결정시 부가적으로 고려할 필요가 있는 흐름중심선과 재순환 영역의 특성을 파악하기 위해 수리실험을 수행하였다. 각 흐름조건에 대해 흐름중심선과 재순환 영역의 변화 특성을 수제의 길이 및 투과율에 따라 검토하였다.

2. 수리실험

수제 설치에 따른 흐름장 측정실험은 Fig. 2에서 보는 바와 같이 2.0 m(B) × 0.80 m(h) × 40 m(L)의 직선수로에서 단일수제에 대해 수행하였다. 각 실험에 대한 조건은 Table 1과 같다. 수제의 특성에 따른 수제역 부근의 흐름 변화를 파악하기 위해 수제 설계시의 주요요소인 수제의 길이 l 과 투과율 P 에 대해 수행하였다. 모든 실험에서 수심은 흐름이 수제를 월류하지 않도록 일정하게 유지하였으며, 유속의 크기를 변화시켜 흐름조건을 설정하였다.

설치된 수제는 불투과 및 투과수제의 두 종류로써

아크릴로 제작되었다. 불투과수제의 길이(l)는 0.2 m, 0.3 m, 0.4 m, 0.5 m의 네 가지로 수제길이에 대한 수로폭의 비 l/B 은 각각 0.1, 0.15, 0.2, 0.25이다. 투과수제는 길이가 0.3 m 인 수제에 대해 투과율 P 를 각각 20 %, 40 % 로 설정하였다. 여기서 P 는 Fig. 3에서 보는 바와 같이 수제 전체 단면적에 대한 통수단면적의 비를 나타내며, 원기둥 형태의 막대를 투과율에 맞추어 일정한 간격으로 배치하여 설치하였다.

흐름조건은 0.15 m의 일정한 수심에 대해 평균유속을 0.25, 0.3, 0.4 m/s의 세 가지 조건으로 수행하였는데, 이때 Froude 수는 각각 0.21, 0.25, 0.33이다. 유입부 유속의 측정은 ADV(Acoustic Doppler Velocimeter, Nortek AS)를 사용하였으며 샘플링 회수를 25 Hz로 측정하였다. 수제역 및 수제 주변의 흐름장을 측정하기 위해서 Fig. 4(a)에서 보는 바와 같이 전체 흐름장을 동시에 측정할 수 있는 LSPIV(Large Scale Particle Image Velocimetry)기법을 이용하였다. 흐름장 촬영은 디지털 캠코더(DCR-PC350, Sony Co.)를 사용하였으며, 부유입자로써 popped rice를 이용하였다. 영상왜곡 보정 등의 기본적인 영상처리 및 분석 소프트웨어로는 CACTUS 3.1(IIT Co.)과 LSIV 4.0을 이용하였다. Fig. 4(b)와 4(c)는 LSPIV를 이용하여 수제 주변 흐름장을 촬영하고 이로부터 흐름장의 유속벡터를 분석한 결과이다. 유속장의 분석은 수로폭 방향에 대해 0.1 m 간격으로 20 개 격자로, 흐름방향에 대해서는 수제길이에 대해 각각 1 l , 2 l ,... 12 l 의 값을 분석하였다.

Table 1. Experimental conditions

experimental conditions	SF-series	permeability (P) %		
	length of groyne (l/B)	0	20	40
$Q = 0.075/0.090/0.120$ CMS $H = 0.15$ m $U = 0.25/0.30/0.40$ m/s	0.10	SF10P00	SF10P20	SF10P40
	0.15	SF15P00	SF15P20	SF15P40
	0.20	SF20P00	SF20P20	SF20P40
	0.25	SF25P00	SF25P20	SF25P40

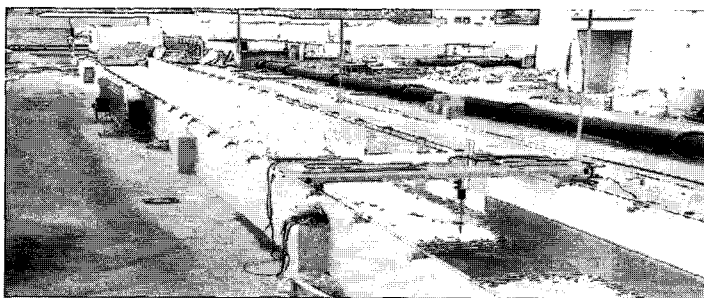


Fig. 2. Experimental channel

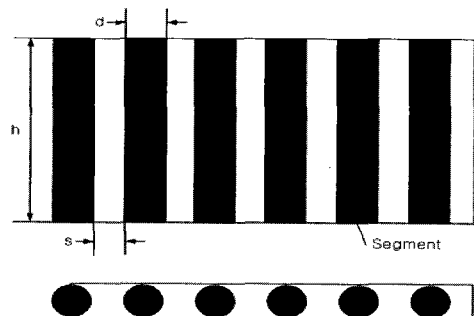
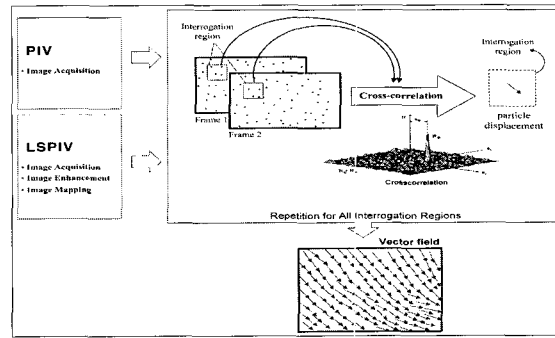
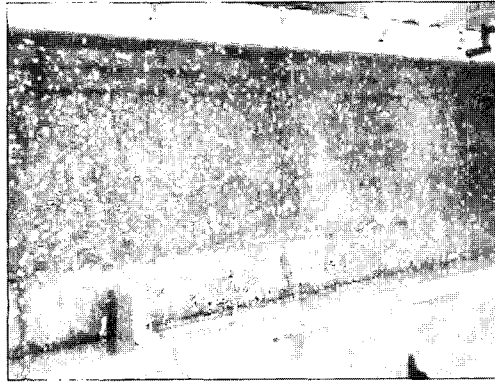


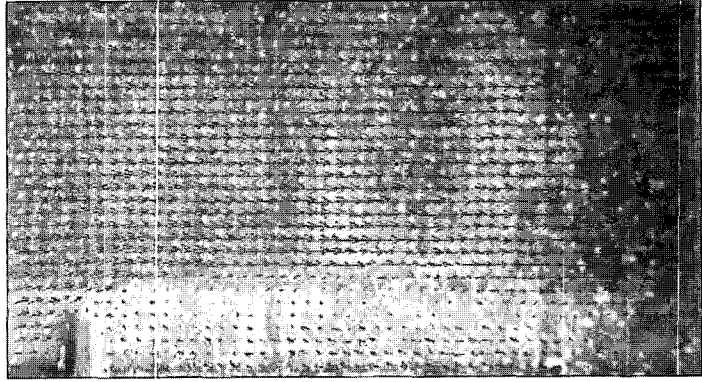
Fig. 3. Sketch of permeable groyne



(a) Principle of LSPIV



(b) Recorded image of flow field



(c) Velocity vectors obtained with LSPIV after transformation

Fig. 4. Measurement of flow fields using LSPIV

3. 수제설치에 따른 흐름중심선 및 흐름분리영역의 변화

3.1 흐름장 분석결과

LSPIV 기법을 이용한 각 실험조건에 대해 수제역과 수제주변 흐름에 대한 표면 유속장을 측정하였으며, 측정결과는 Fig. 5에서 보는 바와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 수제 설치로 인해 선단부에서 흐름분리가 발생하는데, 수제 선단부에서 일직각을 이루면서 강한 흐름이 분류역(수로 중앙)으로 유입되고 수제하류부에서 분리된 흐름이 와류를 형성하며 하류로 흘러간다. 수제로 인해 수로중앙부로 유입되는 흐름으로 인해 재순환 영역이 발생하며 이러한 흐름분리영역은 흐름중심선에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 본 실험에서는 각 실험에 대해 흐름중심선의 변화와 흐름분리영역의 크기를 파악하기 위해 표면 유속장 측정결과로부터, 수제 설치벽으로부터 최대 흐름중심선 거리 T_{cl} 과 흐름분리역의 폭 S_b 를 측정하고 이를 각각 흐름조건, 수제길이, 투과율에 따라 분석하였다.

Fig. 6은 $l/B = 0.15$ 인 수제에 대한 흐름중심선과 흐름분리영역의 변화를 흐름조건에 따라 나타낸 것이다. 세로축은 수로 설치벽으로부터 연직방향 거리 (y)를

수로폭 (B)으로 나누어 무차원화하고 가로축은 흐름방향에 대해 수제설치지점에서 하류까지의 거리를 수제길이 (l)로 나누어 무차원화하였다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 수제 선단부의 흐름분리로 인해 흐름중심선에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 흐름분리영역의 길이는 불투과 수제의 경우 수제길이의 12 배인 것으로 나타났다(강준구 등, 2005).

3.2 흐름중심선 및 흐름분리영역 분석

수제설치에 따른 흐름중심선과 흐름분리영역의 특성을 파악하기 위해 LSPIV 표면 유속장 측정결과로부터 흐름중심선의 수제 설치벽으로부터 거리(T_{cl})와 흐름분리영역 폭(S_b)을 흐름조건, 수제길이, 투과율에 따라 분석하였다. T_{cl} 의 크기는 Fig. 7에서 보는 바와 같이 Froude 수 변화에는 큰 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 Ettema and Muste(2004)의 불투과 수제에 대한 실험결과에서도 입증되었는데, Fig. 8에서 보는 바와 같이 투과수제의 경우에도 Froude 수에 의한 영향은 작은 것으로 나타났다. 반면에 수제 길이가 증가함에 따라 T_{cl} 은 증가하는 것으로 나타났으며 이는 흐름중심선의 변화가 수제의 돌출로 인해 발생하기 때문이다. 불투과 수제의 경우 일반적으로 추천되고

있는 수제길이 $l/B=0.10\sim 0.25$ 의 범위 내에서 T_{cl} 이 수로 폭의 55~75 %에까지 미치는 것으로 나타났다. 또한 Fig. 8에서 보는 바와 같이 투과율이 증가함에 따라

T_{cl} 은 감소하는 것으로 나타났으며, 40 % 투과율 수제의 경우에도 수로 폭의 50 % 이상 미치는 것을 알 수 있다.

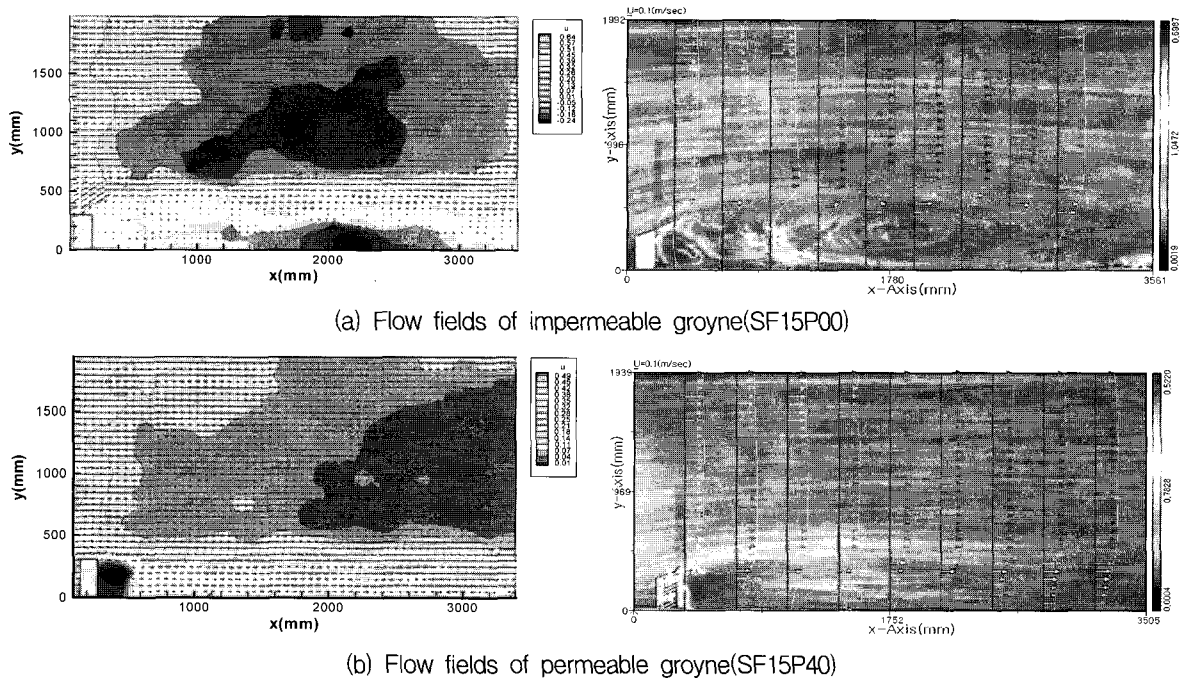


Fig. 5. Flow fields obtained with LSPIV

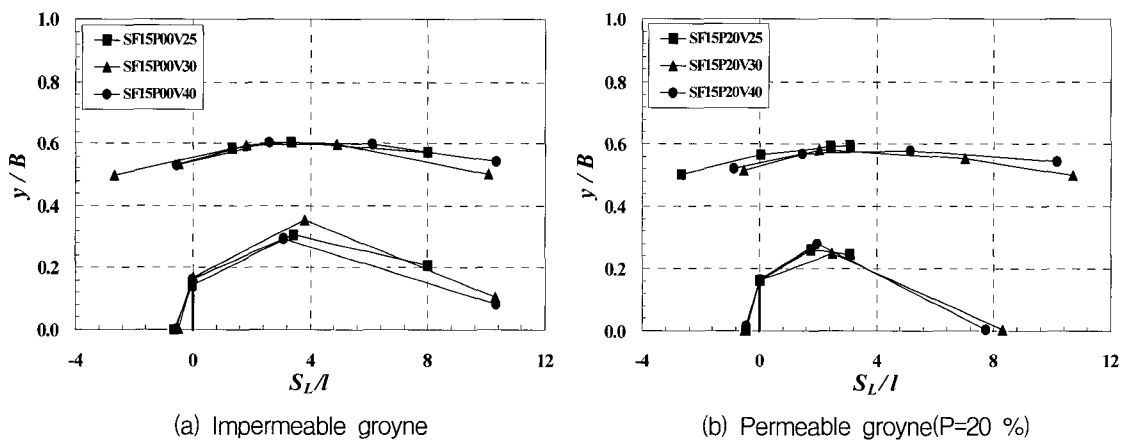


Fig. 6. Variation of thalweg alignment and separation area

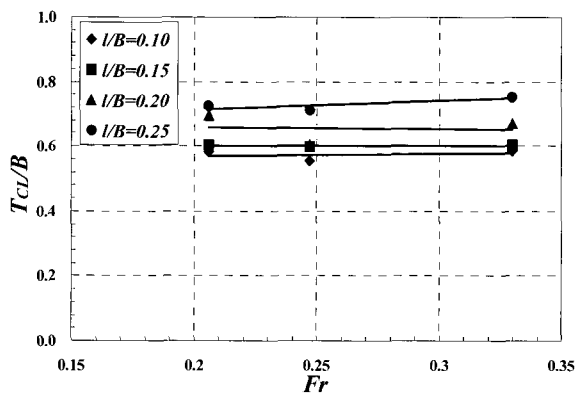


Fig. 7. Relationship of T_{cl} and Fr

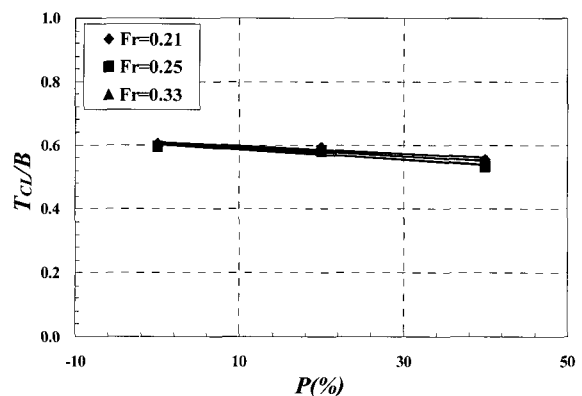


Fig. 8. Relationship of T_{cl} and P

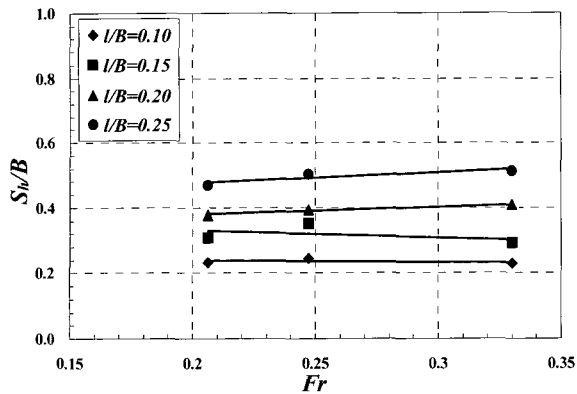


Fig. 9. Relationship of S_h and Fr

흐름분리영역 폭(S_h)은 Fig. 9와 10에서 보는 바와 같이 흐름중심선의 변화 경향과 유사한 것으로 나타났다. S_h 의 크기는 수제길이가 증가함에 따라 증가하는데, $l/B=0.10\sim 0.25$ 범위에서 수로 폭의 최대 50%에 이르는 것으로 나타났다. Fig. 10에서 보는 바와 같이 투과율에 대해서는 반비례하는 것으로 나타났으며, 이는 투과율이 증가함에 따라 흐름분리영역의 폭이 감소함을 알 수 있다. T_{CL} 에 대한 실험결과와 마찬가지로 Froude 수에 대한 S_h 의 변화는 크지 않은 것으로 나타났다.

S_h 의 크기를 수제길이 l 에 대한 비 S_h/l 로 나타내면 불투과수제의 경우 S_h/l 는 대략 1.9~2.4의 값을 보여 흐름분리영역의 폭은 대략 수제길이의 2 배에 해당하는 것으로 나타났으며, 투과수제의 경우 20%, 40%의 투과율에 대해 각각 1.6~1.8, 1.3~1.5의 값을 보이는 것으로 나타났다.

4. 흐름중심선의 유속변화 분석

4.1 수제 주변 흐름의 유속분포

수제와 같이 흐름에 돌출된 형태의 구조물은 설치된 제방과 호안 부근의 유속을 감소시키거나 흐름방향과는 반대의 역류를 발생시켜 흐름을 지연시키는 효과가 있는 반면 통수능을 감소시켜 분류 흐름의 유속증가에 큰 영향을 미친다. 따라서 본 연구에서는 수제의 설치가 수제역 및 주변 흐름의 유속변화에 미치는 영향을 파악하기 위해 LSPIV 유속측정결과로부터 수제 부근 흐름의 유속변화를 분석하였다.

Fig. 11은 수제의 길이 및 투과율에 따른 수로 폭 방향에 대한 유속분포를 나타낸 것이다. x 축은 흐름방향 유속을 평균유속으로 나눈 값이며, y 축은 측벽으로부터의 거리를 수로 폭으로 나누어 무차원화한 것이다. 측선은 수제길이 l 에 대해 최대 12 배까지 측정하여 도시하였다. Figs. 11(a) and 11(b)에서 보는 바와 같이

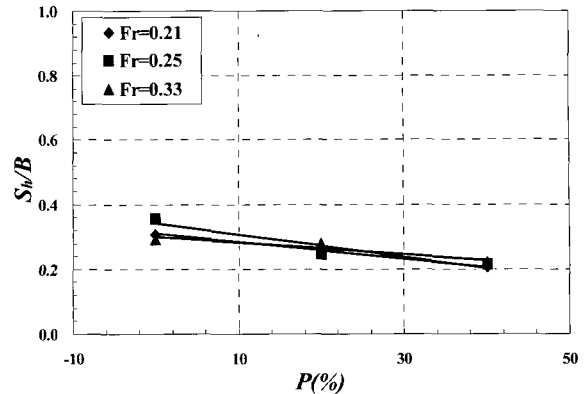


Fig. 10. Relationship of S_h and P

불투과수제의 경우 분류영역의 유속증가는 l/B 이 0.10에서 0.25까지 증가할 때 분류영역의 유속은 평균유속의 1.3 배에서 2 배 이상 증가하는 것으로 나타났다. 불투과수제의 길이를 결정하는데 있어서 흐름집중과 세굴심, 제방보호 길이를 고려하여 기존 연구의 대부분이 적정 수제길이를 25% 이내로 제안하고 있다(FHWA, 1984; Nwachukwu and Rajaratnam, 1980; Salikov, 1987). 본 실험결과와 비교하여 통수능 감소에 의한 분류영역의 유속증가를 감안하면 분류영역의 최대유속이 평균유속의 2 배가 넘지 않기 위해서는 수제길이는 수로 폭의 20% 이내로 설정하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

투과수제의 경우 흐름이 수제를 투과하기 때문에 분류 흐름의 유속의 증가 정도는 투과율이 증가함에 따라 감소하게 되는데, 투과율이 40% 이상인 경우에는 분류유속의 최대 10% 이내의 유속증가를 보이는 것으로 나타났으며 투과율 20% 경우에도 최대 30%를 넘지 않는 것으로 나타났다.

또한 실험결과로부터 수제 설치에 따른 흐름방향에 대한 유속변화를 파악할 수 있는데, Fig. 11에서 보는 바와 같이 흐름방향에 대해 최대유속이 발생하는 측선은 수제로부터 수제길이의 5~6 배 하류에서 발생하는 것으로 나타났으며, 이러한 결과는 수제의 길이 및 투과율 등의 수제형태 그리고 흐름조건과는 상관없이 일정한 것으로 나타났다. 분류영역의 유속증가는 상대적으로 수제 내 흐름분리영역에서 재순환흐름의 유속을 증가시키는데, Fig. 11에서는 보는 바와 같이 최대유속이 발생하는 수제길이의 5~6 배 하류 단면의 수제역 내에서 최대 유속의 역류가 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 불투과수제의 경우 매우 뚜렷하게 나타난 반면, 투과수제의 경우에는 Figs. 11(c) and 11(d)에서 보는 바와 같이 투과율이 40% 이상 증가함에 따라 투과수제를 통과하는 흐름으로 인해 이러한 경향은 뚜

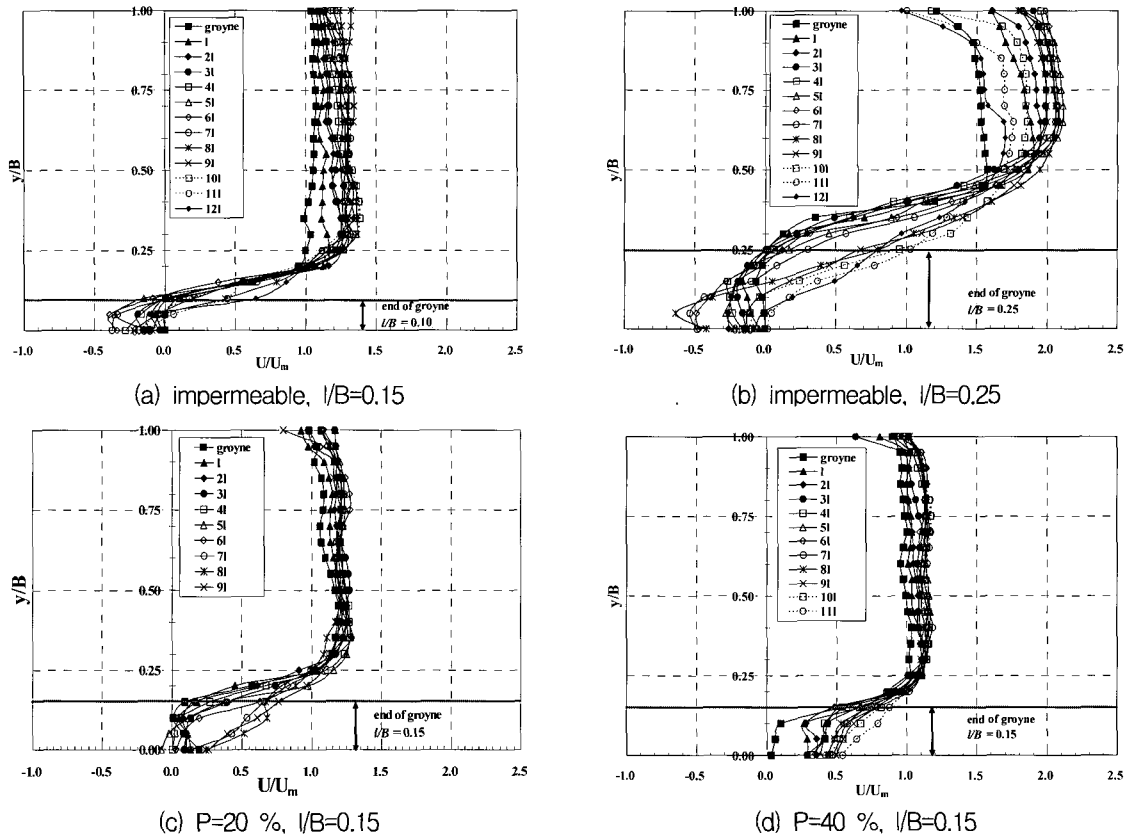


Fig. 11. Velocity distribution of the fields of groyne

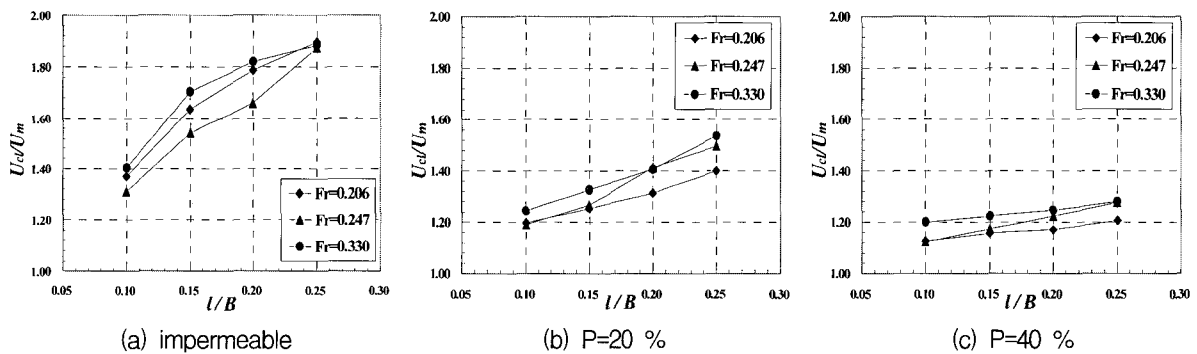


Fig. 12. Variations of U_{CL} with permeability of groyne

렸하지 않은 것으로 나타났다. 따라서 강하게 역류하는 재순환 흐름으로부터 제방 및 저수호안의 침식을 방지하기 위해 불투과 수제를 균수제로 설치할 경우 제방 및 저수호안의 상태를 고려하여 수제간격을 수제길이의 6 배 이내로 하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

4.2 흐름중심선의 유속변화

흐름중심선의 유속 U_{CL} 의 변화는 Fig. 12에서 보는 바와 같이 수제길이가 증가할수록 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 U_{CL} 의 증가는 불투과수제의 경우 Fig. 12(a)에서 보는 바와 같이 l/B 가 0.10~0.25의 범위 내에서 평균유속의 1.4 배에서 최대 1.9 배까지 증가하여

수제에 의한 본류영역의 유속증가가 매우 큰 것으로 나타났다.

투과수제의 경우에도 Figs. 12(b) and 12(c)에서 보는 바와 같이 수제길이가 증가함에 따라 U_{CL} 이 증가하지만 투과율이 증가할수록 그 증가정도는 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 수제 설계시 수제의 길이가 기존의 연구에서 제시하고 있는 최대 수제길이 범위인 20~25 %를 넘지 않는다 하더라도 불투과수제의 길이에 의한 본류영역의 유속증가를 고려하여야 하며, 수로폭에 비해 수제의 길이를 크게 할 필요가 있을 때에는 적절한 투과율의 투과수제를 고려해야 할 것으로 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 수리실험을 통해 수제설치에 따른 수제역 및 본류역의 흐름특성을 파악하기 위해 LSPIV 기법을 이용하여 흐름장을 측정하고, 측정결과로부터 흐름조건과 수제길이 및 투과율과 같은 수제특성에 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 비교분석하였으며, 흐름영역의 변화는 수제설치에 따른 흐름폭 방향 유속분포의 변화 및 흐름분리영역 폭 S_h 의 변화를 비교하여 분석하였다. 실험 및 분석결과에 의한 결론은 다음과 같다.

첫째, T_{cl} 의 크기는 수제설치가 본류영역에 미치는 영향의 정도를 의미하는 것으로 불투과 수제의 경우 일반적인 수제의 길이 $l/B=0.10\sim 0.25$ 범위에서 수로 폭의 최대 75 %까지 이르는 것으로 나타났으며 투과수제의 경우에도 50 % 이상 미치는 것으로 나타났다.

둘째, 흐름분리영역 폭(S_h)은 수제길이 $l/B=0.10\sim 0.25$ 범위에서 증가함에 따라 수로 폭의 20 %에서 최대 50 %에 이르는 것으로 나타났으며 투과율에 대해서는 반비례하는 것으로 나타났다. Froude 수에 대한 변화는 크지 않은 것으로 나타났다.

셋째, S_h 의 크기는 수제길이 l 에 따라 일정한 변화를 보이는데, 불투과수제의 경우 S_h 는 수제길이의 1.9~2.4 배에 해당하는 것으로 나타났으며, 투과수제의 경우 20 %, 40 % 투과율에 대해 각각 1.6~1.8, 1.3~1.5의 값을 보여 투과율이 증가함에 따라 흐름분리영역의 폭이 감소하는 것으로 나타났다.

넷째, 수제설치에 따른 본류역의 유속증가는 불투과수제의 경우 $l/B=0.10\sim 0.25$ 범위에서 평균유속의 1.3 배에서 2 배 이상 증가하는 것으로 나타났으며 투과수제의 경우에는 투과율이 증가함에 따라 감소하여 투과율이 40 %이상인 경우에는 본류 유속의 최대 10 % 이내의 유속증가를 보이는 것으로 나타났으며 투과율 20 % 경우에도 최대 30 %를 넘지 않는 것으로 나타났다.

다섯째, 본류영역에서 흐름방향에 대해 최대유속이 발생하는 축선은 수제로부터 수제길이의 5~6 배 하류에서 발생하는 것으로 나타났으며, 이러한 결과는 수제의 길이 및 투과율 등의 수제형태 그리고 흐름조건과는 상관없이 일정한 것으로 나타났다. 또한 불투과수제의 경우 제방 및 저수호안에 영향을 미치는 수제역내 재순환 흐름의 최대 유속은 이와 동일한 단면에서 발생하는 것으로 나타났다.

마지막으로, 본류역의 유속증가를 나타내는 흐름중

심선의 유속 U_{cl} 의 증가는 불투과수제의 경우 l/B 이 0.10~0.25에 따라 평균유속의 1.4 배에서 최대 1.9 배까지 증가하며, 투과율이 증가할수록 증가정도는 점차 감소하여 수제길이가 $l/B=0.25$ 인 경우 1.3 배 이하를 넘지 않는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- 김준구, 여흥구, 김성중 (2005). "단일 횡수제 조건에 따른 선단부 유속과 재순환 영역에 대한 실험 연구." **한국수자원학회논문집**, 제38권 2호, pp. 143-153.
- 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.
- FHWA, (1984). *Selection and design of flow control and stream bank stabilization structure*. US. DOT, FHWA, Rep. No. FHWA/RD 83/099, Washington, D.C.
- 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.
- Melville, B.W., and Coleman, S. (2000). *Bridge scour*, Water Resources Publications, Littleton, Colo.
- Nwachukwu, B.J., and Rajaratnam, N. (1980). *Flow and erosion near groyne like structures*. Department of Civil Engineering, University of Alberta, Canada.
- Rajaratnam, N., and Nwachukwu, B. (1983). "Flow near groyne-dike structures." *Journal of Hydraulic Div., ASCE*, Vol. 109, No. HY3, pp. 463-480.
- Salikov, V.G. (1987). "Protection of banks and roadbeds from erosion on river nips." *Hydro-technical Construction*, Vol. 20, No. 10, pp. 575-580.
- 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.

(논문번호:05-141/접수:2005.10.31/심사완료:2006.02.22)