

# 수심변화에 따른 경사수제 주변 흐름특성의 변화

## Variation of Flow around Inclined Crest Groyne with Flow Depth

여홍구\*, 강준구\*\*, 노영신\*\*\*, 김성중\*\*\*\*

Hong Koo Yeo, Joon Gu Kang, Young Sin Roh, Sung Jung Kim

### 요 지

본 연구에서는 수위변화에 따라 흐름특성이 달라지는 경사수제의 적절한 설계를 위해 수리실험을 통해 경사수제 주변의 흐름 특성을 파악하였다. 수리실험은 2 m(B)×40 m(L)×1 m(H)의 직선 수로에서 수행되었으며, 수제 주변 흐름장은 LSPIV 기법을 이용하여 측정하였다. 수심변화에 따른 수제주변 특성은 수심과 수제높이의 비  $d/h_g$ 를 0.60 ~ 0.97 범위로 설정하여  $d/h_g$  변화에 따른 재순환영역의 변화 특성과 분류역의 유속분포 변화를 파악하였다. 실험결과 재순환영역의 폭과 길이는 수심이 증가함에 따라 감소하는 것으로 나타났으며, 제방보호 길이 설정을 위한 재순환영역의 길이는  $d/h_g=0.6 \sim 0.97$ 에 대해 수제의 길이의 2 ~ 4 배가 발생하는 것으로 나타났다. 또한 수제부근의 유속분포를 측정한 결과, 제방부근 수제역의 역류속은 평균유속의 최대 0.3 배인 것으로 나타났으며,  $d/h_g=1$ 에 가까울수록 역류발생은 미미한 것으로 나타났다.

**핵심용어 : 경사수제, 재순환영역, 수제길이**

### 1. 서론

불투과수제의 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(FHWA, 1985), 수위에 따른 흐름변화에 적절하게 대처할 수 있는 경사수제를 적용하는 것이 유리하다. 경사수제는 수위에 따라 흐름수속의 정도가 달라지기 때문에 수제 돌출에 따른 통수능 저하와 이에 따른 수위상승 및 월류 위험이 있는 좁은 수로의 경우, 혹은 보호되어야 할 제방의 높이가 큰 경우에 유리하다. 또한 하천 만족부 흐름의 급격한 수위상승과 같은 변화에 잘 대처할 수 있을 뿐만 아니라(FHWA, 1984) 직벽 수제나 말뚝형 수제에 비해 경관이 뛰어나고 친수성이 뛰어나 많은 연구자들이 불투과 수제공법으로 경사수제를 추천하고 있다(Franco, 1966; Achson, 1968; Jenson et al., 1979; Richardson and Simons, 1979). 그러나 경사 수제의 경우 급격한 유량증가 및 수위 상승에 따른 수제 주변 흐름 특성에 대한 연구는 미미할 뿐만 아니라 뚜렷한 설계 기준이 제시되어 있지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 향후 경사수제 설치에 대한 설계기준 마련을 위해 경사수제의 주요 특성인 수위변화에 따른 수제주변 흐름특성 및 분류역에 미치는 영향을 수리실험을 통해 파악하였다.

\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원부 선임연구원 · E-mail : yeo917@kict.re.kr

\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원부 선임연구원 · E-mail : jgkang02@kict.re.kr

\*\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원부 박사후과정 · E-mail : rohys@kict.re.kr

\*\*\*\* 정회원 · 한국건설기술연구원 수자원부 연구원 · E-mail : jinx9482@kict.re.kr

## 2. 경사수제 수리실험

경사수제 주변의 흐름특성에 대한 수리실험은 Fig. 1(b)에서 보는 바와 같이 2 m(B)×40 m(L)×1 m(H)의 직선 수로에서 수행되었다. 실험에 적용된 수제는 Fig. 1(a)에서 보는 바와 같이 수제의 높이 ( $h_g$ )가 0.15 m이며 길이( $l$ ) 0.6 m인 경사각 15°의 경사수제이며, 45° 각도의 제방에 설치하였다. Fig. 1(c)에서 보는 바와 같이 수위변화에 따른 흐름특성을 파악하기 위해 수제에 대한 수심의 변화를 경사수제의 높이와 수심에 대한 비( $d/h_g$ )로 정의하고, Table 1에서 보는 바와 같이  $d/h_g=0.6 \sim 0.97$ 의 범위로 변화시켜 실험조건을 설정하였다.

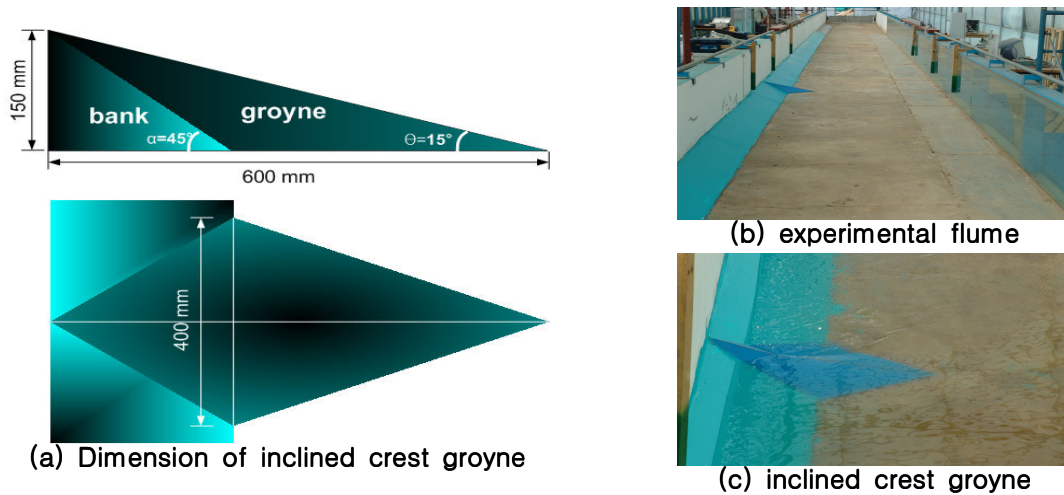


Fig. 1 Experiments for inclined crest groyne

Table 1. Experimental conditions

case	discharge Q(cms)	velocity V(m/s)	depth d(m)	$d/h_g$	Fr	case	discharge Q(cms)	velocity V(m/s)	depth d(m)	$d/h_g$	Fr
1	0.050	0.352	0.090	0.60	0.37	6	0.110	0.510	0.130	0.87	0.45
2	0.050	0.281	0.110	0.73	0.27	7	0.126	0.559	0.135	0.90	0.49
3	0.074	0.411	0.111	0.74	0.39	8	0.130	0.544	0.142	0.95	0.46
4	0.083	0.434	0.117	0.78	0.41	9	0.140	0.567	0.146	0.97	0.47
5	0.095	0.492	0.118	0.79	0.46						

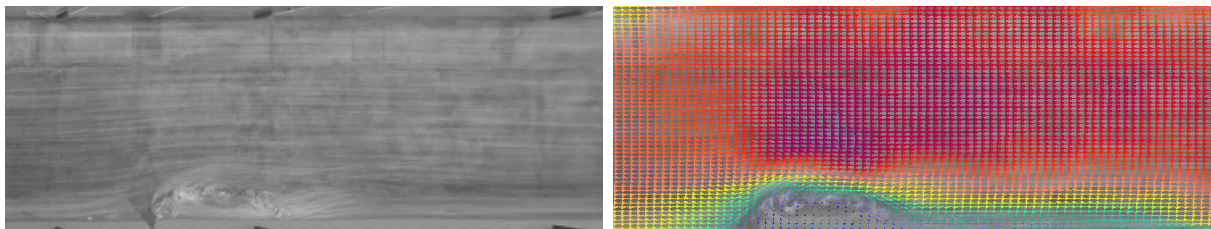


Fig. 2 Results of LSPIV Analysis

Fig. 2에서 보는 바와 같이 수제 주변 흐름장은 LSPIV(large scale particle image velocimetry)기법을 이용하여 측정하였으며, 측정결과로부터 수제하류의 재순환영역(recirculation area)의 범위를 분석하였다. 재순환영역은 Fig. 2(a)의 유선 분석결과와 Fig. 2(b) 유속장 측정결과를 비교 분석하여 결정하였다. 또한 수제부 및 수제의 영향을 받는 분류역 수제 하류부의 수로폭 방향 유속분포를 비교하여 경사수제 설치에 따른 수제 주변 흐름장의 특성을 파악하였다.

### 3. 실험결과 및 분석

#### 3.1 재순환영역

각 실험에 대해 수제에 의한 수제역 흐름변화를 나타내는 재순환영역의 크기를 파악하기 위해 LSPIV 표면 유속장 측정결과로부터, 재순환영역의 길이  $S_L$ 과 폭  $S_h$ 를 실험조건 별로 비교 분석하였다. 수위변화에 따른 재순환영역의 폭은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 수제높이에 대한 수심의 비  $d/h_g$ 가 증가할수록 수로 폭의 0.1~0.2 배 범위에서 점차 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 수심이 증가할수록 수제부근의 통수능은 증가하는 반면 흐름에 영향을 미치는 수제의 크기는 수제의 경사로 인해 감소하기 때문이다. 이러한 결과는 직사각형 수제의 투과율에 따른 변화(강준구 등, 2005)와도 유사한데, 경사수제를 직사각형 수제로 가정하였을 때 통수되는 면적을 직사각형 수제로 가정한 전체 단면으로 나눈 환산 투과율  $P_{tr}(\%)$ 을 적용하면 Fig. 4와 같다. 그림에서 보는 바와 같이  $P_{tr}$ 이 감소함에 따라  $S_h$ 의 크기가 감소하는 것으로 나타났다. 하지만 강준구 등(2005)에 의한 직사각형 수제의 투과율에 따른 변화와는 차이를 보이는 것으로 나타났으며 이는 경사수제의 측면경사로 인한 영향인 것으로 판단된다.

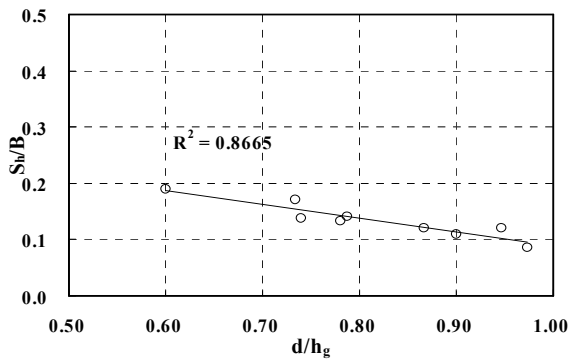


Fig. 3 Relationship of  $d/h_g$  with  $S_h/B$

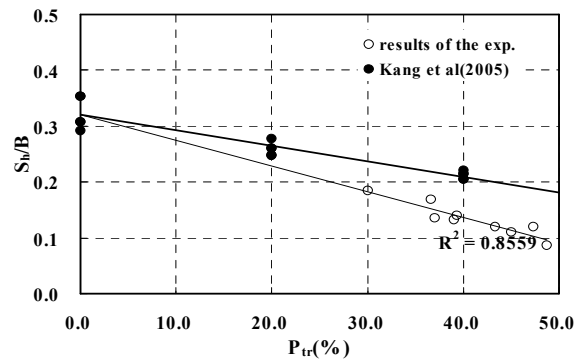


Fig. 4 Relationship of  $P_{tr}$  with  $S_h/B$

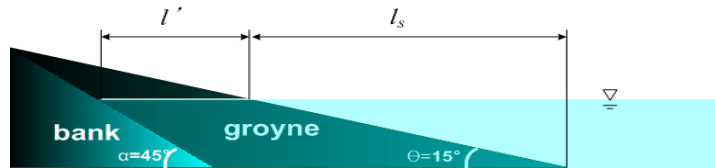


Fig. 5 Definition of length of inclined crest groyne

재순환영역의 길이  $S_L$ 은 수제길이에 대한 비로 나타내는데, 경사수제의 길이는 수심에 따라 변화하기 때문에 정확한 수제의 길이를 정의하기가 어렵다. 본 연구에서는 경사수제의 길이를 정의하는데 Fig. 5에서 보는 바와 같이 두 가지 방법을 이용하였다. 첫 번째는 제방에서부터 수면에 노출된 수제의 길이  $l'$ 이며, 두 번째는 물속에 잠긴 부분을 고려한  $l' + l_s/2$ 의 값이다.

Fig. 6에서 보는 바와 같이  $d/h_g$ 가 0.60~0.9 범위에서 증가함에 따라  $S_L/l$ 은 점차 증가하는 것으로 나타났다. 그러나  $d/h_g$ 가 0.9 이상이 되면  $l$ 의 값이 매우 작아지기 때문에 그 이상의 비교는 어려울 것으로 판단된다. 물속에 잠긴 부분을 고려한  $l' + l_s/2$ 의 경우 Fig. 7에서 보는 바와 같이  $d/h_g$ 가 0.60~0.97 범위에서 증가함에 따라  $l' + l_s/2$ 는 4.0에서 2.0으로 점차 감소하는 것으로 나타났다.

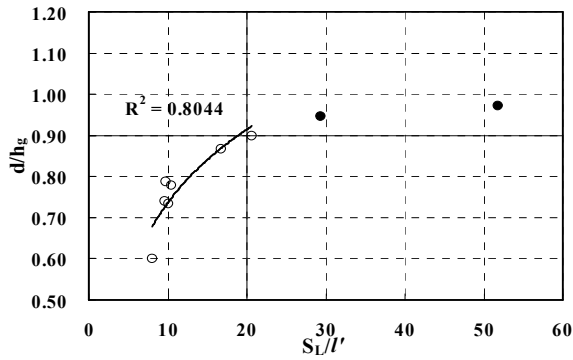


Fig. 6 Relationship of  $S_L/l'$  with  $d/h_g$

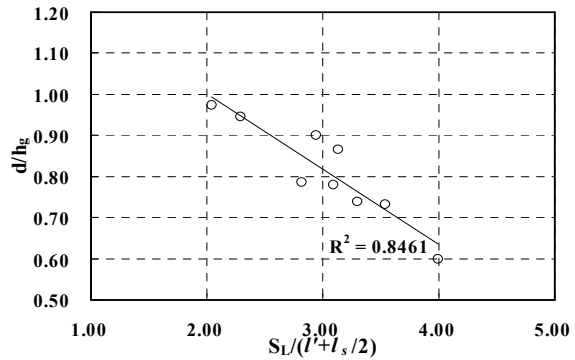


Fig. 7 Relationship of  $S_L/(l'+l_s/2)$  with  $d/h_g$

### 3.2 재순환영역의 유속분포

표면유속 측정결과로부터 수심변화에 따른 경사수제 하류 재순환영역의 유속분포 변화를 파악하였다. Fig. 8은  $d/h_g$ 의 변화에 따른 수제 하류부의 폭방향 유속분포를 나타낸 것이다. x축은 흐름방향 유속을 단면 평균유속으로 나누어 무차원화하였으며, y축은 측벽으로부터 거리를 수로 폭으로 나누어 무차원화하였다. 각각의 측선은 재순환영역  $S_L$ 을 10등분하였으며, 재순환 영역의 직하류로 두 개의 측선을 추가하였다.

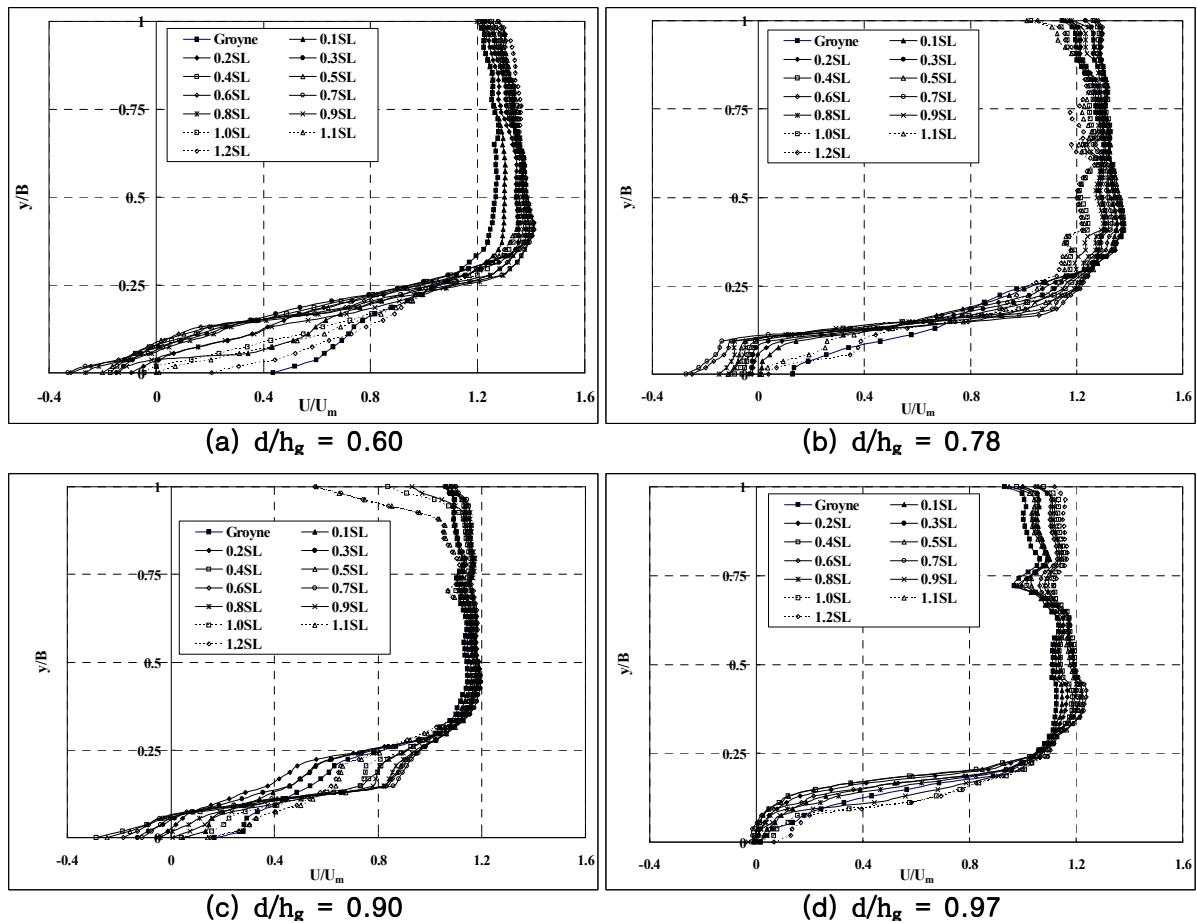


Fig. 8 Velocity distribution of downstream of groyne

Fig. 8(a)~8(d)에서 보는 바와 같이 분류역의 유속분포는 수심이 증가할수록 점차 감소하는 것으로 나타났으며, 이러한 결과는 경사수제의 경우 수심이 증가함에 따라 분류역에 미치는 영향은 점차 감소한다는 것을 알 수 있다. 또한 제방부근에서 발생하는 역류는 평균유속의 약 0.3 배 정도인 것으로 나타났으며, 경사수제가  $d/h_g=1$ 에 가까울수록, 즉 완전 월류에 근접할 때 역류는 매우 미미한 것으로 나타났다. 또한 최대 역류속은 재순환영역의  $0.6 \sim 0.7 S_L$ 에서 발생하는 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 수리실험을 통해 수위변화에 따른 경사수제의 재순환영역 특성 및 분류역에 미치는 영향을 파악하였다. 실험결과 및 분석을 통한 본 연구의 결론은 다음과 같다.

첫째, 경사수제 설치에 따라 발생하는 재순환영역의 폭은 수제높이에 대한 수심의 비가  $0.6 \sim 0.97$ 로 증가할수록 수로폭의  $0.1 \sim 0.2$  배 범위내에서 점차 감소하는 것으로 나타났으며, 이는 수심이 증가할수록 수제부근의 통수능은 증가하는 반면 흐름에 영향을 미치는 수제의 크기는 수제의 경사로 인해 감소하기 때문인 것으로 판단된다.

둘째, 수제높이에 대한 수심의 비가  $0.60 \sim 0.97$ 로 증가함에 따라 재순환영역의 길이는 점차 감소하는 것으로 나타났으며 물속에 잠긴 부분을 고려한 수제길이  $l' + l_s/2$ 의 값은 4.0에서 2.0으로 점차 감소하는 것으로 나타났다.

셋째, 수제 설치로 인한 분류역의 유속증가는 수심이 증가할수록 점차 감소하는 것으로 나타났는데, 이는 경사수제의 경우 수심이 증가할수록 분류역에 미치는 영향이 감소한다는 것을 의미한다.

넷째, 수제역내 제방부근에서 발생하는 역류는 재순환영역의  $0.6 \sim 0.7 S_L$  구간에서 평균유속의 최대 0.3 배 정도인 것으로 나타났으며, 경사수제가 완전 월류에 근접할 때 역류는 매우 미미한 것으로 나타났다.

#### 참고문헌

1. 강준구, 여홍구, 노영신, 김성중(2005). “수제길이와 투과율에 따른 수로흐름에 대한 실험적 연구” 2005 한국수자원학회 학술발표회 논문집, 제주 ICC.
2. Acheson, A.R.(1968). *River Control and Drainage in New Zealand*. Ministry of Works, New Zealand.
3. Federal Highway Administration(1984). *Selection and Design of Flow Control and Streambank Stabilization Structures*. Report No. FHWA/RD-83/099, Washington, D.C.
4. 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.
5. Jansen, P., Ph.D, et al.(1979). *Principles of River Engineering: The Non-Tidal Alluvial River*, Pitman Publishing Limited, London.
6. 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.