

# 횡월류위에 의한 에너지변화 평가를 위한 실험연구

## An Experimental Study to Estimate the Energy Change by Side Weir

조홍제\* · 윤영배\*\*  
Cho, Hong Je · Yoon, Yeong Bae

### Abstract

The river disaster caused by installation of hydraulic structures on the river gives varieties to flowing water stream, tractive force and so on. In this study, the changes of tractive force and energy from the side weir installation for the purpose of flood control was analyzed through laboratory experiment. The experiments of the pre and after-installation have been performed under conditions that waterway is trapezoidal shape, waterway slope ranges are from 0.1 to 1.0 percentage, and flow rates are 25 l/sec. As results, the specific energy ratio increases in the higher slope and at a certain point, larger specific energy ratio showed than 1 in the 1.0% slope. The tractive force ratio decreases in higher slope and the sections that tractive force ratio appeared higher than 1 are more widespread in the direction of downstream. And calculated tractive force is about 1.3.

**Keywords** : energy change, side weir, specific energy, tractive force

### 요 지

하천에 설치되는 수공구조물은 유수흐름, 소류력 등에 변화를 주어 하천재해의 원인이 된다. 따라서 본 연구에서는 홍수통제 등의 목적으로 설치되는 횡월류위에 의한 에너지변화와 소류력변화를 수리실험을 통하여 분석하였다. 실험수로는 사다리꼴 형태, 수로경사는 0.1%~1.0% 범위, 유량은 25 l/sec의 조건으로 횡월류위 설치 전·후에 대한 실험을 수행하였다. 실험결과, 경사가 커질수록 비에너지비가 증가하였고, 경사가 1.0%에서는 비에너지비가 1보다 큰 지점이 나타났다. 소류력비는 경사가 커질수록 작아지지만, 소류력비가 1보다 큰 구간은 하류방향으로 더 넓게 분포하는 것으로 나타났고, 계산된 소류력비는 약 1.3이다.

**핵심용어** : 에너지변화, 횡월류위, 비에너지, 소류력

### 1. 서 론

최근 우리나라에서는 지구온난화에 의한 기상이변, 도시화로 인한 불투수면적 증가, 제방 직강화 위주의 하천정비사업 등으로 인해 유출량이 크게 증가하여 홍수피해잠재능이 지속적으로 증가하고 있다. 때문에 홍수피해 경감을 위해 제방 증고, 하천개수 등의 구조적 대책에 의존하고 있으나, 수로 내에서 홍수를 관리하는 방법은 극한 홍수재해에 취약한 한계성을 지니고 있다(전경수 등, 2010). 따라서 최근에는 유역종합치수계획에 의해 홍수량을 유역 내에 분담시키고자 하는 노력을 수행하고 있으며(김덕길 등, 2008), 강우 유출수를 일시 저류하여 유출량을 조절하는 강변저류지를 건설하는 방안이 제시되고 있다.

저류지의 유입부에 설치되는 횡월류위는 유량관리, 에너지소실, 유량전환, 수심규제, 홍수통제 등의 수단으로 많은 나라에서 사용되는 가장 전통적이고 단순한 수공구조물이다

(남기영 등, 2010). 횡월류위는 흐름방향에 수직으로 설치된 일반적인 위어와 달리 흐름방향에 평행하게 설치되기 때문에 다양한 관점에서 연구가 수행되어져 왔으나, 주된 연구 주제는 De Marchi(1934)에 의해 수행된 이론적 유량계수 제안식에 대한 실험연구와 월류량 산정에 관한 것이었다. 횡월류위의 1차적 설치목적이 초과 홍수량을 제어하는 것이므로 정확한 월류량을 산정하는 것이 중요한 문제이지만, 횡월류위 역시 하천에 설치되는 수공구조물임을 고려하여야 한다.

하천에 설치되는 수공구조물은 유수흐름, 소류력 등에 변화를 주어 홍수시 하도의 불안정, 제방의 파괴, 국부세굴에 따른 하천재해 등을 일으킨다. 횡월류부에서는 급격한 수위 변화, 유속변화 및 흐름방향 변화 등이 일어나므로 횡월류위 주변의 수공구조물 설계 및 효율적인 유지관리를 위하여 에너지 소실과 소류력 변화에 관한 연구가 필요하지만, 국내외 연구는 미흡한 실정이며 횡월류위에서의 에너지 손실

\*정회원 · 교신저자 · 울산대학교 건설환경공학부 교수 (E-mail : hjcho@mail.ulsan.ac.kr)

\*\*정회원 · 울산대학교 건설환경공학부 박사과정 (E-mail : hydro408@hanmail.net)

에 대한 연구는 다음과 같다. Borghei 등(1999)은 흐름이 상류(Subcritical flow)인 횡월류위에 대해 다양한 실험을 수행하여 횡월류위 상·하류단에서의 평균에너지 감소는 3.7%로 De Marchi의 일정 비에너지 가정이 타당함을 보였고, El-Khashab 등(1976)은 흐름이 상류인 경우 평균 비에너지차를 5%로 예측하였으며, Ranga Raju 등(1979)은 평균 2%의 결과를 얻었다. 그러나 이러한 연구도 횡월류위부 내에서의 검토 결과일 뿐이며, 횡월류부 설치 전·후 비교나, 횡월류 위어부 상류, 하류에 대한 분석은 포함되지 않고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 사다리꼴 단면의 수로에 대한 횡월류위 설치 전·후의 수리모형실험을 통하여 경사 변화에 따른 횡월류위어부와 횡월류위어부 상·하류의 에너지변화 정도와 소류력 변화를 분석하고자 한다.

## 2. 수리모형실험

### 2.1 실험장치

사다리꼴 단면의 수로에 대한 횡월류위 실험을 위해 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 수로길이 14.0 m, 저수로폭 0.2 m, 수로높이 0.2 m, 사면경사 1:1의 가변경사 개수로 실험장치를 이용하였다.

모형수로의 재질은 포맥스이며, HEC-RAS 모의결과와 비교하여 조도계수가 약 0.014가 되도록 조도블럭을 설치하였다. 횡월류위는 흐름의 안정을 위하여 수로 상류단으로부터 6.5 m 하류에 설치하였으며, 횡월류위의 높이는 0.06 m, 횡월류위 마루부 이후 사면 경사는 1:2로 제작하였다. 고수조에는 유량을 조절하기 위한 예연위어가 설치되어 있

으며, 하류단에는 수심조절을 위한 수문이 설치되어 있다. 횡월류위의 횡월류량을 측정하기 위하여 횡월류된 유량이 유도수로를 통하여 저수조로 유입되도록 하였고, 저수조에 예연위어를 설치하였다.

### 2.2 실험조건 및 방법

횡월류위의 상·하류와 횡월류위어부에서의 비에너지 및 소류력 변화를 분석하기 위해서 본 연구에서 지정한 측정의 위치는 Fig. 2에서 보는 바와 같다. 수로에 총 35개의 횡단면을 설정하였고, 수로 중심부 4.4 m 구간은 0.2 m 간격으로 조밀하게 횡단면을 구성하였고, 나머지 구간은 0.5 m 간격으로 횡단면을 구성하였으며, 각 횡단면에 7개의 측정점을 두어 총 245개의 측정점을 지정하여 수심을 측정하였다. 유속은 사면부의 2개 측정점과 횡월류위 대안측 1개 지점을 제외하고 140개 측정점에서 측정하였다. 이 때 수심측정은 포인트게이지를 이용하였으며, 유속은 2차원 전자식유속계(KENEX, VM801-H)를 이용하여 측정하였다.

실험에서 사용한 본류의 유량조건은 25 l/sec였으며, 상류 프루드수  $Fr_u$ 와 횡월류위 높이와 상류수심비  $w/y_u$ 를 변화시키기 위해 하상경사를 0.1~1.0%로 변화시켰다. 이때 실험 조건은  $w/y_u$ 는 0.55~0.87이고  $Fr_u$ 는 0.56~1.21이고, 상류부 수심과 프루드수는 횡월류위로부터 3.7 m 떨어진 No.30 단면의 자료를 이용하여 계산하였다.

횡월류위의 횡월류량은 유도수로를 통해 저수조로 유입시킨 후 예연위어 및 수조를 이용하여 측정하였고, 실험조건 및 방법을 요약하여 Table 1에 나타내었다. 여기서,  $Q$ 는 공급유량,  $L$ 은 횡월류위어폭,  $B$ 는 저수로폭,  $S_0$ 는 수로 경사이다.

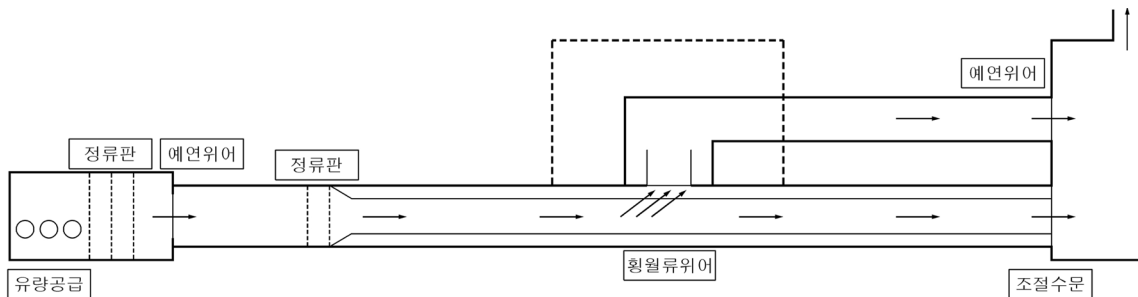


Fig. 1 수리모형 실험장치 개요도

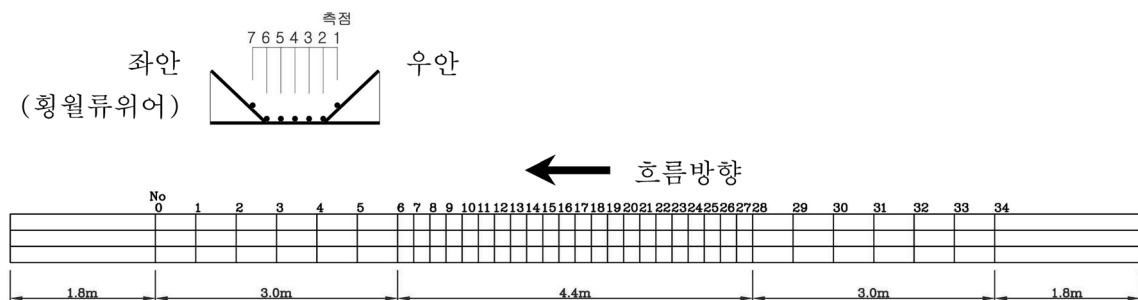


Fig. 2 관측지점

Table 1. 횡월류위 실험조건

위어형태	위어형상	$Q$ (l/sec)	$L/B$	$S_0$ (%)	$w/y_u$	$Fr_u$
광정	사다리꼴	25	5.0	0.1~1.0	0.55~0.87	0.56~1.21

Table 2. 경사별 횡월류 유량

경사(%)	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
측정유량 (l/sec)	6.81	4.96	4.63	4.76	4.44	4.38	4.11	3.82	3.43	2.91
계산유량 (l/sec)	6.50	4.79	4.70	4.79	4.51	4.48	4.32	3.89	3.32	2.92

### 2.3 실험결과

#### 2.3.1 횡월류량

횡월류위어 설치후 횡월류위어를 통해 월류된 유량을 측정하였으며, 그 결과를 Table 2에 나타내었다. 측정유량은 횡월류된 유량을 단위부피의 수조에 받으면서 시간을 측정하여 계산한 값이고, 계산유량은 저수조의 예연위어를 통과하는 수심을 측정한 후 예연위어 유량공식에 적용하여 계산한 값이다. 측정결과 경사 0.1~0.2% 사이에서 급격하게 월류량이 떨어진후 경사 0.2~0.7%까지 완만하게 월류량이 줄어들고, 경사 0.7%이후 월류량 감소폭이 조금씩 증가하는 추세를 보였다.

#### 2.3.2 수심과 유속

횡월류위어 설치 전·후에 대한 수리실험을 실시하여 수심과 유속을 측정하였다. 횡월류위어가 존재하는 경우의 실험결과를 횡월류위어가 없는 경우와 비교했을 때, 경사가 작은 경우에는 횡월류위어부 상·하류에서 모두 수심이 감소하였고, 횡월류위어부에서는 급격한 수심 감소가 나타났다. 유속의 경우 횡월류위어부 상류에서는 유속이 증가하였고, 하류에서는 감소하였으며, 횡월류위어부에서는 급격히 증가하였다. 경사가 상대적으로 큰 경우 횡월류위어부 상류에서는 수심과 유속 모두 변화가 없었고 하류부에서는 수심과 유속 모두 감소하였으며, 횡월류위어부에서는 수심은 소폭 감소하고 유속은 소폭 증가하였다.

#### 1) 수심비

Fig. 3는 경사변화에 따른 횡월류위어 설치 전·후에 대한 수심을 측정하여 ‘횡월류위어가 있을 경우의 수심( $H_s$ )/횡월류위어가 없을 경우의 수심( $H$ )’의 관계로 횡단수심비를 나타낸 것이다. 횡월류위어가 위치한 No. 17 단면에서 수심비 분포가 경사에 따라 가장 크게 나타났고, 단면 내에서는 측정점 5에서 수심비가 가장 크게 나타났다. No. 27 단면에서는 경사 0.2%에서 수심비가 0.9이고 나머지 경사에서는 경사가 클수록 수심비가 1에 가까운 것으로 나타났다. No. 13 단면과 No. 7 단면에서는 경사가 커질수록 수심비가 작아지다가 다시 커지는 특징을 보였다.

#### 2) 유속비

Fig. 4는 경사변화에 따른 횡월류위어 설치 전·후에 대한 유속을 측정하여 ‘횡월류위어가 있을 경우의 유속( $V_s$ )/횡월류위어가 없을 경우의 유속( $V$ )’의 관계로 횡단유속비를 나타낸 것이다. 횡월류위어가 위치한 No. 17 단면에서 유속비가 가장 크게 나타났고, 단면 내에서는 횡월류위어 대안측에서 유속비가 더 크게 나타났다. No. 7 단면에서 유속비가 가장 작게 나타났고 단면 내에서는 횡월류위어 측에서 유속비가 더 크게 나타났으며, No. 27 0.2% 경사에서는 유속비가 1

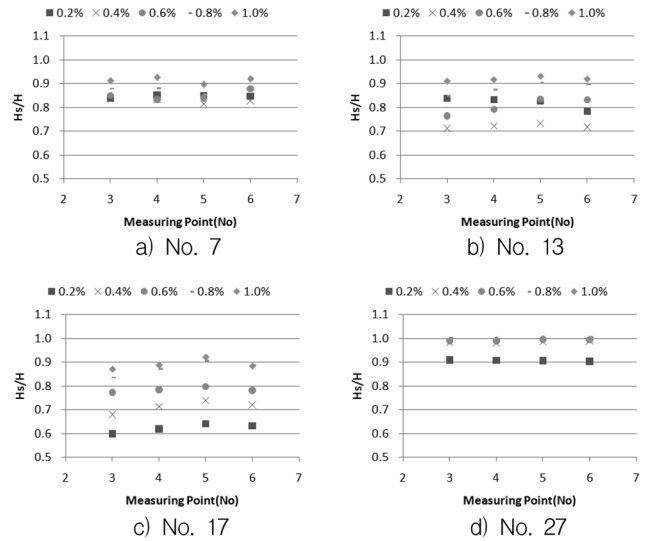


Fig. 3 횡월류위어 설치 전·후에 대한 횡단수심비 변화

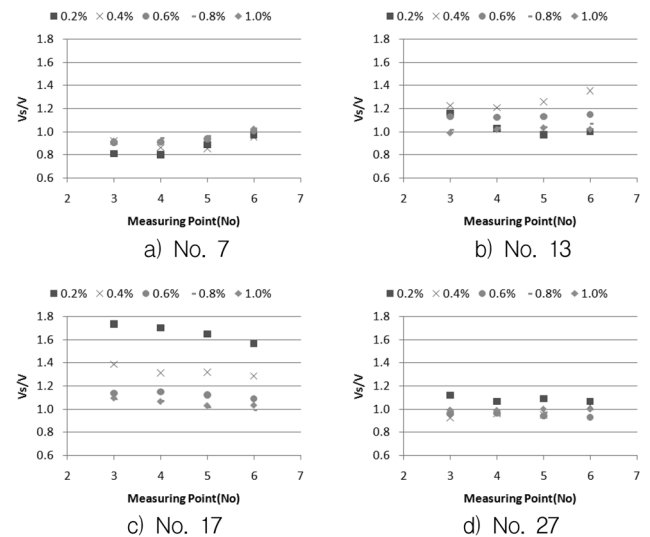


Fig. 4 횡월류위어 설치 전·후에 대한 횡단유속비 변화

다 크게 나타났으나 나머지 경사에서는 유속비가 대부분 1에 가까운 것으로 나타났다. 횡월류위어 하류단에서 약 0.5 m 하류에 위치한 No. 13 단면에서는 대부분의 경우 유속비가 1보다 크게 나타났으며, 단면 내에서는 흐름이 안정되지 않아 경사별로 다른 유속비 특징을 보였다.

### 3. 실험결과분석

#### 3.1 비에너지 비교

Fig. 5는 경사변화에 따른 횡월류위어 설치 전·후에 대한 수심과 유속을 측정하여 ‘횡월류위어가 있을 경우의 비에너지( $E_s$ )/횡월류위어가 없을 경우의 비에너지( $E$ )’의 관계로 비에너지비를 나타낸 것으로, 측정점 4가 수로의 중앙, 측정점 6이 횡월류위어 측, 측정점 3이 횡월류위어 대안측이다. 그림에서

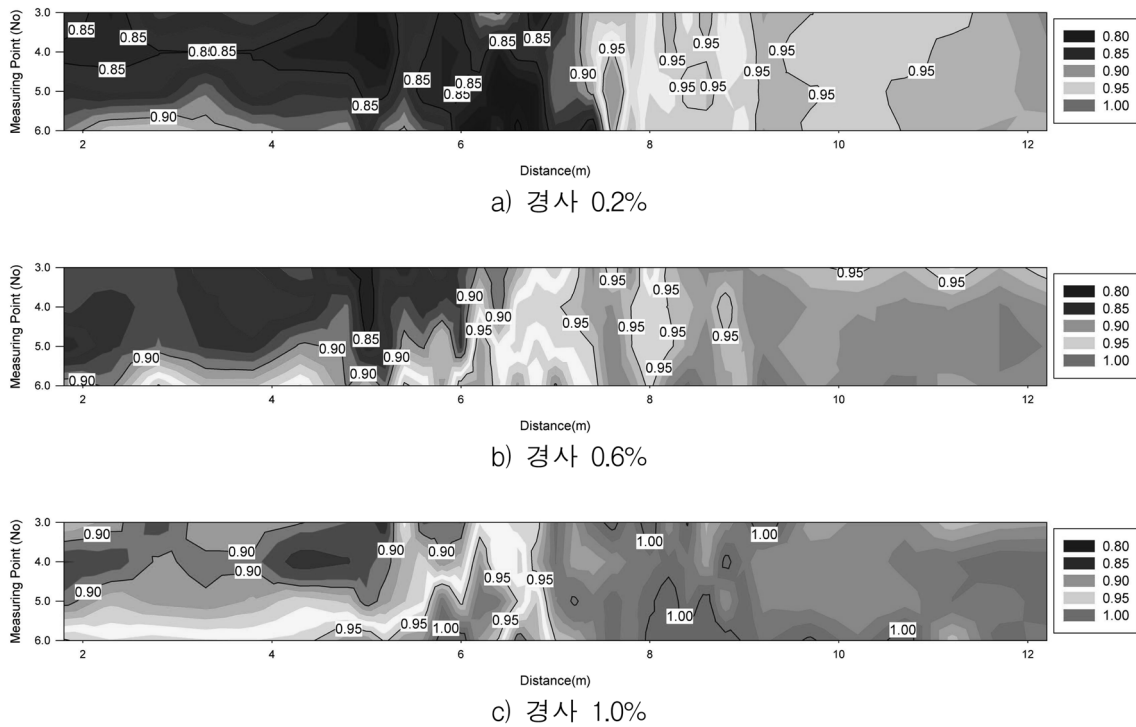


Fig. 5 횡월류위어 설치 전·후에 대한 비에너지비 변화

보는 바와 같이 경사가 커질수록 수로 전체에서 비에너지비는 커지고 있으며, 비에너지비가 가장 큰 지점이 횡월류위어 부 상·하류로 이동하고 있다.

비에너지비를 경사별로 살펴보면, 경사 0.2%에서 횡월류위어 상류(D:7.5~12.2 m)에서 비에너지비는 대부분 약 0.95~1.00사이로 일정하게 유지되다가 횡월류위어 직상류에서 불안정한 모습을 보이며, 횡월류위어측이 대안측보다 큰 비에너지비를 보인다. 이는 횡월류위어 직상류에서 횡월류위어측의 유속이 빨라지면서 일어난 결과라고 판단된다. 횡월류위어부(D:6.5~7.5 m)에서는 비교적 일정한 패턴으로 비에너지비가 줄어들고 횡월류위어 측이 대안측보다 작은 비에너지비를 보이는데, 이는 유속 측정시 주흐름방향의 유속을 측정하여 횡월류위어부의 흐름방향과 맞지 않아 실제보다 유속이 작게 측정된 결과라고 판단된다. 횡월류위어 하류(D : 1.8~6.5 m)에서 비에너지비는 대부분 약 0.85~0.90 사이의 분포를 보이며, 수로의 중심에서 비에너지비가 가장 작고 횡월류위어 측이 대안측보다 비에너지비가 크게 나타났다. 이는 횡월류위어에 의해 분리된 흐름에 의해 횡월류위어 측의 중심이 커졌기 때문으로 판단된다.

경사 0.6%에서 나타나는 비에너지비 특징은 대부분 경사 0.2%와 유사하다. 그러나 횡월류위어 상류 횡월류위어 측에서 비에너지비가 크게 나타나는 부분이 증가하고 있으며, 횡월류위어 하류부에서도 비슷한 양상이 나타나고 있다. 경사 1.0%에서는 경사 0.6%보다 비에너지비가 커지는 부분이 더욱 증가하고 있으며, 흐름이 이미 사류이기 때문에 횡월류위어 상류에서는 비에너지가 대부분 1에 가까운 분포를 보이고 있다. 또한 횡월류위어 하류 횡월류위어측에 저수로폭의 약 3배, 수면폭의 약 1.7배 지점에서 비에너지비가 1이 넘는 지점이 나타나고 있다. 이는 횡월류위어에 의해 불안정해진 흐름에 의해 유속이 빨라졌기 때문으로 판단된다.

### 3.2 소류력 비교

Darcy-Weisbach 공식으로부터 하상에 작용하는 전단응력  $\tau_0$ 는 다음 식과 같다(Streeter 등, 1998).

$$\tau_0 = f \left( \frac{4\rho UR}{\mu} \cdot \frac{\kappa_s}{4R} \right) \frac{1}{8} \rho U^2 \quad (1)$$

여기서,

- $\tau_0$  : 하상의 단위면적당 작용하는 전단응력,
- $f$  : Darcy-Weisbach 마찰계수,
- $\rho$  : 물의 밀도,
- $U$  : 평균유속,
- $R$  : 동수반경,
- $\mu$  : 점성계수,
- $\kappa_s$  : 모래조도이다.

여기서 전단응력  $\tau_0$ 와 평균유속을 하상에 작용하는 유효소류력 ( $F_0$ )과 단면의 평균유속으로 적용하여 소류력을 계산하였다.

Fig. 6은 경사변화에 따른 횡월류위어 설치 전·후에 대한 유속, 수심 측정값을 식 (1)에 대입하여, '횡월류위어가 있을 경우의 소류력( $F_s$ )/횡월류위어가 없을 경우의 소류력( $F$ )'의 관계로 소류력비를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 경사가 작을수록 소류력비의 최대값은 커지고 있으며, 경사가 커질수록 소류력비가 변화하는 부분이 하류쪽으로 이동하고 그 폭 또한 커지는 것으로 나타났다. 실제 소류력의 크기는 경사가 커질수록 커지고 있지만, 경사가 작을 경우 횡월류위어가 없을 때의 소류력이 작게 계산되기 때문에 횡월류위어 유·무에 대한 소류력비는 크게 산정되는 것으로 나타났다.

소류력비를 경사별로 살펴보면, 경사 0.2%에서는 횡월류위어 상류에서 소류력비는 대부분 약 1.5~2.0 사이로 일정하게 유지되며, 이는 횡월류위어에 의해 같은 유량이 흐르지만 수심이 낮아지면서 유속이 빨라진 결과이다. 횡월류위어부에서

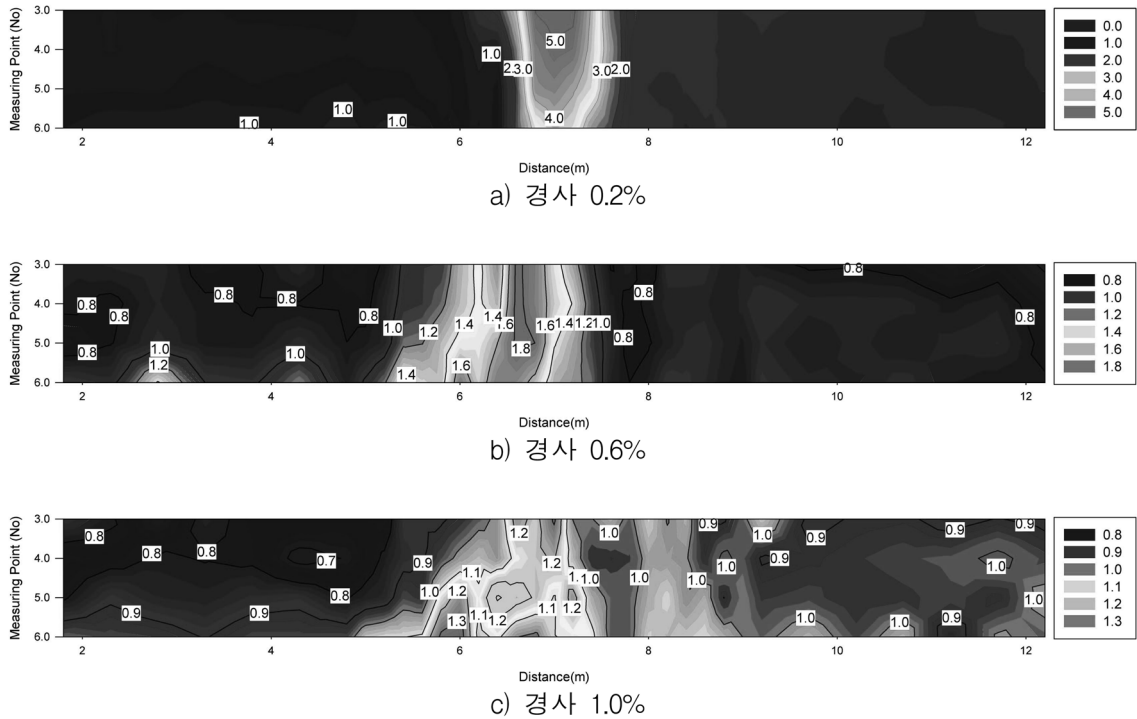


Fig. 6 횡월류위어 설치 전·후에 대한 소류력비 변화

는 횡월류위어 중심으로 갈수록 급격하게 소류력비가 증가하여 5이상의 값을 보이고, 그 이후 다시 급격하게 감소한다. 또한 횡월류위어 중심부에서 횡월류위어 측보다 대안측의 소류력비가 크게 나타났는데, 이는 비에너지비와 마찬가지로 유속 측정시 주흐름방향의 유속을 측정하여 횡월류위어부의 흐름방향과 맞지 않아 실제보다 유속이 작게 측정된 결과라고 판단된다. 횡월류위어 하류에서 소류력비는 대부분 약 1.00 분포를 보인다. 이는 횡월류위어에 의해 유량이 분배되어 수심은 작아졌으나 유속이 커졌기 때문으로 판단된다.

경사 0.6%에서 나타나는 비에너지비 특징은 대부분 경사 0.2%와 유사하다. 그러나 횡월류위어 상류에서 소류력비가 0.8~1.0사이의 분포를 보이고 있으며, 소류력비가 커지는 지점이 경사 0.2%에 비해 하류 방향으로 약간 이동한 것으로 나타났다. 최대소류력비는 약 1.8로 나타났으며, 횡월류위어 하류 횡월류위어 측에 저수로폭의 약 2.5배, 수면폭의 약 1.2배 지점에 소류력비가 1.6이 넘는 지점이 나타났다. 경사 1.0%에서는 최대소류력비가 약 1.3으로 계산되었으며, 횡월류위어 상류에서는 소류력비가 0.9~1.0 사이의 분포를 보이고 있다. 또한 경사 0.6%와 마찬가지로 횡월류위어 하류 횡월류위어 측에 저수로폭의 약 2.5배, 수면폭의 약 1.2배 지점에서 소류력비가 1.3이 넘는 지점이 나타나고 있다. 이는 비에너지비와 마찬가지로 횡월류위어에 의해 불안정해진 흐름에 의해 유속이 빨라졌기 때문으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 수리실험을 통하여 횡월류위어 설치 전·후에 대한 에너지변화를 분석하였다. 경사를 0.1~1.0% 범위에서 0.1% 단위로 변화시키면서 실험을 하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 횡월류위어가 위치한 No. 17 단면에서 수심비와 유속비

가 경사에 따라 큰 차이를 보였으며, 경사 0.2%에서 수심비 0.6, 유속비 1.7 정도로 나타났다.

2. 비에너지 분석 결과, 경사가 커질수록 비에너지비도 커지는 것을 알 수 있었으며, 경사 1.0%에서 횡월류위어 하류 횡월류위어 측에 저수로폭의 약 3배, 수면폭의 약 1.7배 지점에 비에너지비가 1이 넘는 지역이 나타났다.

3. 소류력 분석 결과, 경사가 작을 경우 횡월류위어 중심부에서 소류력비가 가장 큰 것으로 나타났고, 경사가 커질수록 소류력비는 작아지며 큰 소류력비가 나타나는 위치는 하류로 이동하는 것으로 나타났다.

4. 소류력비가 가장 크게 발생하는 지점은 횡월류위어 하류의 횡월류위어 측에서 저수로폭의 약 2.5배 또는 수면폭의 약 1.2배 지점이며, 계산된 소류력비는 1.3 정도이다. 소류력비가 커진 이유는 횡월류위어에 의해 불안정해진 흐름 때문에 유속이 증가하였기 때문으로 판단된다.

본 연구의 결과는 횡월류위어 설계시, 유지관리계획 수립시 기초자료로 활용할 수 있고, 홍수시 파괴지점, 양상 등을 판단할 수 있어 피해저감을 위한 유용한 설계값을 제시할 수 있을 것으로 판단된다. 그러나 본 연구에서는 제한된 실내 실험수로에서 수행된 연구결과이기 때문에 이 연구의 결과를 실제에 적용하기 위해서는 향후 하천현장에서의 횡월류위어 설치 전·후에 대한 지속적인 연구가 필요할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 2010년 울산대학교 교내 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 지원에 감사드립니다.

#### 참고문헌

김덕길, 경민수, 김상단, 김형수(2008) 천변저류지 조성에 따른

- 수리·수문분석, **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 제41권 제5호, pp. 483-489.
- 남기영, 한건연, 박홍성, 김극수, 최승용(2010) 3차원 수치모형에 의한 횡월류위어의 수리학적 평가, **환경영향평가**, 한국환경영향평가학회, 제19권 제2호, pp. 153-168.
- 전경수, 김진수, 김원, 윤병만(2010) 횡월류형 강변저류지를 포함하는 하천수계에 대한 수리학적 계산모형, **한국수자원학회논문집**, 한국수자원학회, 43권 제2호, pp. 139-151.
- Borghei, S.M., Jalili, M.R., and Ghodsian, M. (1999) Discharge coefficient for sharp-crested side weir in subcritical flow, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 125, No. 10, pp. 1051-1056.
- El-Khashab, A. and Smith, K.V.H. (1976) Experimental investigation of flow over side weirs, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 102, No. 9, pp. 1255-1268.
- Ranga Raju, K.G., Prasad, B., and Gupta, S.K. (1979) Side weir in rectangular channel, *Journal of Hydraulics Division*, ASCE, Vol. 105, No. 5, pp. 547-554.
- De March, G. (1934) Essay on the performance of lateral weirs, *L'Energia Elettrica*, Vol. 11, No. 11, pp. 849-860.
- Streeter, V.L., Wylie, E.B., and Bedford, K.W. (1998) *Fluid Mechanics*, McGraw-Hill, Boston.
- (접수일: 2010.10.26/심사일: 2010.11.22/심사완료일: 2010.11.22)