

# 유로 만곡부 단면형상의 정량적 분석

송재우\* 박영진\*\* 이용환\*\*

## 1. 서론

하천에서 홍수조절과 제방보호및 안정하도등의 문제를 해결하기 위해서는 유로의 사행과정 및 그 특성에 대한 충분한 지식이 필요하다. 유로만곡부를 포함한 하천형태에 관한 연구는 지형학자와 수공기술자들에 의하여 진행되고 있으며 유수거동과 통수능의 산정은 하천형태학적 특성을 고려해야만 한다는 많은 연구결과가 발표되고 있다.

유로의 형태학적 특성에 관한 연구로는 사행현상에 따른 유로만곡부에서의 침식 및 이동에 관해 Ripley<sup>(6)</sup>가 유로의 곡률반경과 횡단면 특성사이의 관계를 경험적으로 유도한 바 있으며 1945년 미 육군 공병단에서 대규모 사행모형실험<sup>(3)</sup>을 통해 사행특성을 정량적으로 연구하였다. 그밖의 하상형을 포함한 유로단면에 관한 연구로는 Brice<sup>(2)</sup>의 연구와 Bagnold<sup>(1)</sup>, Ikeda<sup>(4)</sup>, Johannesson<sup>(5)</sup>등의 연구가 이어지고 있으며 국내에서는 고<sup>(7)</sup>, 송<sup>(8,9)</sup>, 윤<sup>(10)</sup> 등의 사행유로 만곡부에 관한 연구가 있다.

사행현상에 기인한 유로만곡부의 특성은 편수위 상승현상, 세굴과 퇴적의 교호발생등으로 수공구조물에 크게 영향을 줌으로 이에 따른 정량적인 해석이 반드시 필요하며 하천개수로 인한 자연하천 고유의 유로특성에 관한 자료가 소멸되어가고 있는 시점에서 이 분야의 연구는 시급하다고 사료된다.

연구대상유로는 사행이 비교적 잘 발달되어있는 대청댐 하류방향 금강 101km와 전주천 8.2km를 선정하였으며 연구대상유로의 자료분석을 위하여 1/25000지형도와 함께 연구대상구간의 하상변동조사보고서의 자료를 주로 이용하였다.

본 연구의 목적은 새로운 특성인자의 제안을 통해 수류력 집중위치의 이동을 분석하고 유동의 결과인 만곡부 단면특성과 곡률등 종횡단 형태학적 인자들의 상관분석을 통해 만곡부 대표단면을 구하여 하천의 개수계획 또는 유로의 유지관리면에 있어 기술적 검토에 기

\* 정희원. 홍익대학교 공과대학 토목공학과 교수

\*\* 정희원. 홍익대학교 공과대학 토목공학과 박사과정

여하는데 있다.

## 2. 유로만곡부의 수리 기하학적 특성인자

### 2.1 일반적인 유로만곡부의 형태학적 인자

유로만곡부의 연구에서 형태학적 산정에 사용되는 인자는 연구목적에 따라 다소 차이는 있으나 일반적으로 그림 1과 같은 인자들이 사용된다.

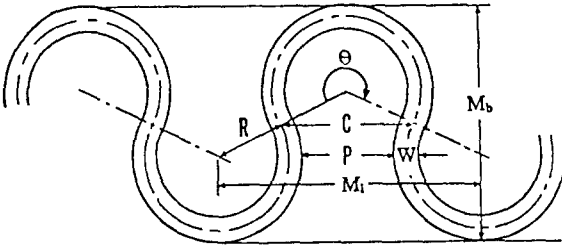


그림 1 이론적인 사행

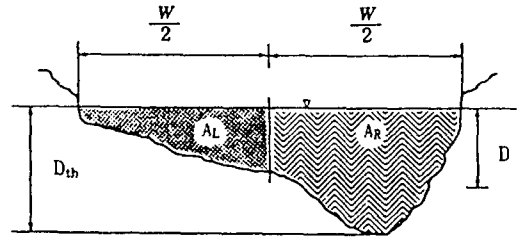


그림 2 단면형상계수 정의도

여기서,  $W$  : 하폭,  $R$  : 유로 중심선 곡률반경,  $P$  : 경심부 폭,  $C$  : 현  
 $\theta$  : 중심각,  $M_1$  : 사행파장,  $M_b$  : 사행대

### 2.2 단면형상계수와 단면변동을

횡단면의 형태학적 인자로서 그림 2와 같이 좌우의 횡단면적의 차가 클수록 만곡의 영향이 클 것이므로 이를 정량적으로 표시한 단면형상계수( $A_S$ )<sup>(9)</sup>를 사용하였다.

$$A_S = \frac{A_L}{A_L + A_R} - 0.5 \quad (2)$$

식(2)에서,  $A = A_L + A_R$  이므로 다음과 같이 나타낼 수도 있다.

$$A_S = \frac{2A_L - A}{2A} \quad (3)$$

또한, 침식과 퇴적에 의한 유사이동성향에 따른 유로변화와 유수력 집중부분의 이동으로 인한 최대침식위치의 변화등 유로 횡단면의 종방향 변화를 알아보기위해 유로 단면변동을  $\Delta A_S = | \text{관측년 } A_S - \text{기준년 } A_S |$ 로 제안하였다.

$$\Delta A_S = \left| \left[ \frac{A_L}{A_L + A_R} - 0.5 \right]_{ob} - \left[ \frac{A_L}{A_L + A_R} - 0.5 \right]_{st} \right|$$

또는

$$\Delta A_S = \left| \left[ \frac{A_L}{A_L + A_R} \right]_{ob} - \left[ \frac{A_L}{A_L + A_R} \right]_{st} \right| \quad (4)$$

여기서, ob : 관측년, st : 기준년

## 2.3 만곡정점부 횡단면의 형태학적 인자

만곡 정점부에서의 대표단면형상을 예측하기 위하여 그림 3과 같은 횡단면의 형태학적 인자들을 분석하였다.

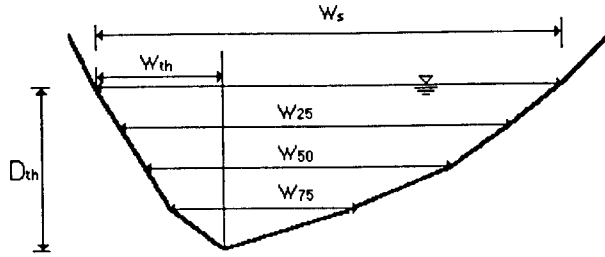


그림 3. 만곡정점 대표횡단면의 형태학적 인자

- |                      |            |                      |            |
|----------------------|------------|----------------------|------------|
| 1) 단면 하폭             | : $W_s$    | 2) 최심선까지의 하폭         | : $W_{th}$ |
| 3) 최대수심              | : $D_{th}$ | 4) 최대수심의 25%인 지점의 하폭 | : $W_{25}$ |
| 5) 최대수심의 50%인 지점의 하폭 | : $W_{50}$ | 6) 최대수심의 75%인 지점의 하폭 | : $W_{75}$ |

위의 인자들중  $W_s$ ,  $W_{th}$ ,  $D_{th}$ 를  $W_{th}/W_s$ 와  $D_{th}/W_s$ 로 무차원화시켜 일정하게 나타난 계수를 산출하여 몇가지 유형으로 분류하였으며, 분류된 단면들은 유형별로  $W_s$ ,  $W_{th}$ ,  $D_{th}$ 의 평균치를 산정하여 대표단면을 제시하였다.

## 3. 단면형상에 따른 유로변동

### 3.1 횡단면의 경년 변동

유로에서 일정구간에 대해  $\Delta A_s$ 가 큰 경우는 그 구간의 유로 단면변동율이 높다는 의미이며  $\Delta A_s$ 가 작은값을 가질수록 구간의 유로 단면변동율은 낮아진다.  $\Delta A_s$ 값을 금강의 경우 상류, 중류, 하류로 구분해서 검토해보면

$$\text{금강 상류(No. 56-99)} : \sum \Delta A_s = 2.1785, \quad \overline{\Delta A_s} = 0.0495$$

$$\text{중류(No. 21-55)} : \sum \Delta A_s = 1.3730, \quad \overline{\Delta A_s} = 0.0392$$

$$\text{하류(No. 0-20)} : \sum \Delta A_s = 0.6082, \quad \overline{\Delta A_s} = 0.0289$$

구간별  $\overline{\Delta A_s}$ 값으로 유로의 단면변동율이 높은 구간을 알아볼 수 있으며 금강의 경우  $\overline{\Delta A_s}$ 는 상류구간에서 높게 나타났고 하류로 갈수록 점차 낮아지는 경향을 보였다.

$\Delta A_s$ 가 큰 구간( $\Delta A_s > 0.1$ )을 살펴보면 No. 0~20구간에서 No. 18지점, No. 21~55구간에서 No. 45, 54지점, 그리고 No. 56~99구간에서 No. 56, 64, 69, 74, 80, 90, 98 지점등이 과거 10년간 단면변동율이 높은 지점들이고 사행구간이 완만한 하류구간보다 주로 상류구간에서 단면변동량이 크게 나타났다.

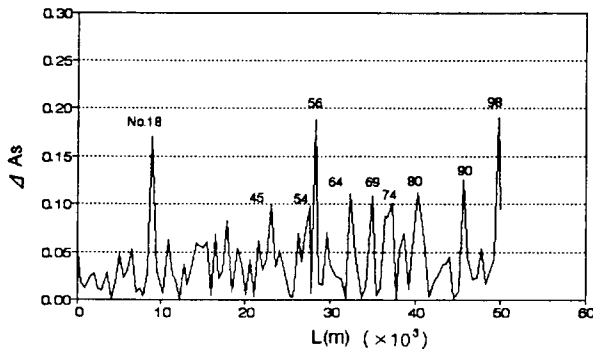


그림 4. 금강의  $\Delta A_S - L$  변화도

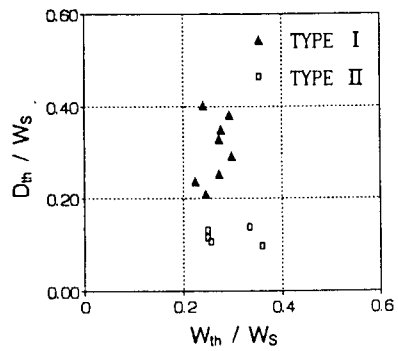


그림 5.  $W_{th}/W_S$ 와  $D_{th}/W_S$ 의 분포도 - 금강

### 3.2 제방의 영향에 의한 단면변동을

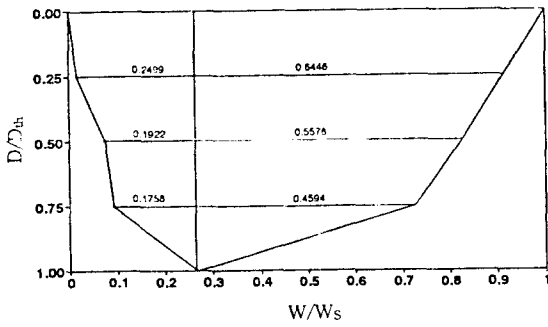
하천의 하안침식에 대비한 제방축조에 있어서 제방 축조 후 사행성향의 유로를 인위적으로 억제함으로써 발생하는 잉여유수력은 결국 종방향으로 작용하여 하상형의 변화를 가속시키게되어 제방이 축조된 사행하천의  $\Delta A_S$ 는 축조되기전보다 더욱 큰 값을 갖게될 것으로 사료된다. 본 연구에서는 제방이 축조된 대상하천으로 전주천을 택하였으며 전주천의 경우 농경지 보호를 위해 거의 모든 구간이 제방에 의해 횡방향 흐름을 구속받고 있다.

전주천의  $\overline{\Delta A_S}$ 는 0.0770으로 금강('83~74년  $\overline{\Delta A_S} = 0.0516$ , '84~75년  $\overline{\Delta A_S} = 0.042$ )경우에 비해서 상대적으로 크게 나타나고 있다. 그러나, 전주천은 횡방향 유수력을 억제하기위한 제방뿐만 아니라 농업용 관개배수와 하상보호를 위해 많은 weir를 설치하여 (8.64 km 구간에 6개의 weir) 종방향으로도 흐름을 구속하고 있으므로 하상보호 구조물이 설치되지않은 하천경우 더 큰 단면변동량이 예측된다.

### 3.3 만곡부 대표단면형상의 정량화

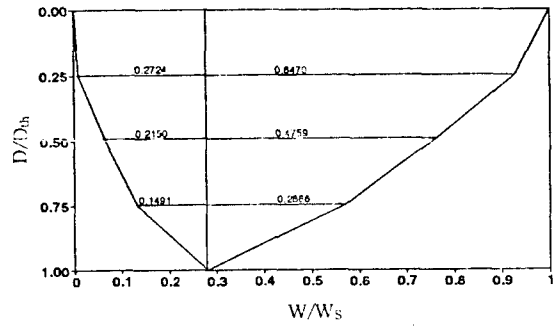
만곡유로의 정점에서 횡단면의 형태학적 인자들을 분석하여 무차원수로 표현되는 만곡부 정점의 대표단면형상을 제시하였다. 즉, 하천의 만곡부로부터 얻어진 수면폭( $W_S$ ), 최심선까지의 하폭길이( $W_{th}$ ), 그리고 최대수심( $D_{th}$ )을 사용하여 무차원비들인  $W_{th}/W_S$ 와  $D_{th}/W_S$ 를 산정한 후 얻어진 이들을 그림 5와 같이 분석해 본 결과 금강의  $W_{th}/W_S$ 는 0.2~0.4의 수치를 나타냈고  $D_{th}/W_S$ 는 0.1~0.4의 분포를 보였다. 금강의 경우  $D_{th}/W_S$ 가 0.2 이하인 구간을 Type I, 0.2 이상인 구간을 Type II로 분류하고 상대수심( $D/D_{th}$ )과 하폭비( $W/W_S$ )에 의해 결정되는 대표단면을 Type별로 그림 6에 제시하였다.

여기서,  $W/W_S$ 와  $D/D_{th}$ 를 산정할 때 우 편기 만곡단면을 좌 편기 단면기준으로 즉, 횡단면도의 우측안을 좌측안으로 가정한 후 상대수심과 하폭비를 산정하였으므로 제안된 대표단면은 Type I과 Type II 모두 좌편기 만곡정점부로 표현되었다.



$W_{th}/W_s=0.2681$	$W_{25}=0.8945$
$D_{th}/W_s=0.2900$	$W_{50}=0.7336$
	$W_{75}=0.6352$

Type I



$W_{th}/W_s=0.2817$	$W_{25}=0.9194$
$D_{th}/W_s=0.1517$	$W_{50}=0.6909$
	$W_{75}=0.4357$

Type II

그림 6. 제안된 만곡정점부 대표단면형상 - 금강 Type I, Type II

그림 7은 금강에 대한  $D_{th}/W_s$ 와 곡률반경의 상관도이며 여기서,  $D_{th}/W_s$ 가 작아질수록 곡률반경은 커지는데, 이는 곡률반경이 클수록 하쪽에 비해 수심이 작아짐을 의미한다.

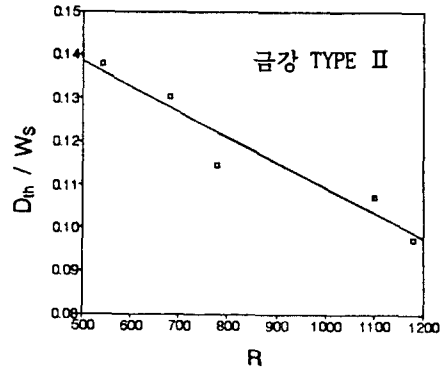
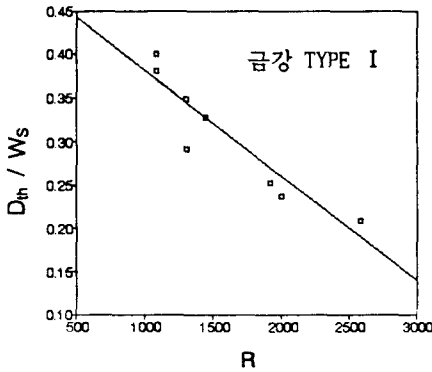


그림 7.  $D_{th}/W_s$ 와 곡률반경 ( $R$ )

$D_{th}/W_s$ 와 곡률반경 ( $R$ )의 상관관계를 분석한 결과는 다음과 같다.

$$\text{금강 (Type I)} : \frac{D_{th}}{W_s} = -122.5 \times 10^{-6} R + 0.50 \quad (r = 0.86) \quad (5)$$

$$\text{금강 (Type II)} : \frac{D_{th}}{W_s} = -0.58 \times 10^{-6} R + 0.17 \quad (r = 0.93) \quad (6)$$

## 4. 결 론

하도재해의 주요인으로 작용하는 유로의 사행성향과 그에 따른 단면형상의 변화를 정량적으로 분석 및 검토해 본 결과는 다음과 같다.

1. 유로 단면변동율을  $\Delta A_s$ 로 정량적으로 분석하였으며  $\Delta A_s$ 의 변화를 통하여 모든 유로에서의 하상단면변화에 영향을 미치는 유수력 집중위치의 경년적 변동을 나타낼 수 있었다.

2. 만곡정점부 대표단면을 하폭( $W_S$ ), 최심선까지의 하폭길이( $W_{th}$ ) 그리고 최대수심( $D_{th}$ )으로 분석한 결과 금강에서  $W_{th}/W_S$ 는 0.2~0.4의 값을 보였으며  $D_{th}/W_S$  분포에 따라 두가지 유형의 대표단면이 제시되었다.
3.  $D_{th}/W_S$ 과 곡률반경( $R$ )의 상관분석 결과 금강의 경우, Type I은  $D_{th}/W_S = -122.5 \times 10^{-6} R + 0.50$ , Type II는  $D_{th}/W_S = -0.58 \times 10^{-6} R + 0.17$ 으로서 양호한 상관관계를 보였다.

## 5. 참고문헌

- 1) Bagnold, R.A., "Some aspects of the shape of river meanders," *U.S. Survey, Prof. Paper*, 282-E, 1960, pp.135~144.
- 2) Brice, J.C., "*Stream Channel Stability Assessment*," Report No. FHWA/Rd-82/021, Federal Highway Administration, Washington, D. C., 1982.
- 3) Friedkin, J.F., *A laboratory study of the Meandering of Alluvial Rivers*, U.S. Waterway Experiment Station, Vicksburg, Miss., 1945.
- 4) Ikeda, S., G. Parker, and K. Sawai., "Bend theory of river meanders,1, Linear development," *Journal of Fluid Mechanics.*, Vol.112, 1981, pp.363~377.
- 5) Johannesson, H., "*Theory of River Meander*," thesis presented to the Univ. of Minnesota, at Minneapolis, Minnesota, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, 1988.
- 6) Ripley, H. C., "Relation of depth to curvature of a channel," *Trans, ASCE*, Vol. 90, 1927.
- 7) 고재웅, "만곡수로에서의 하상변동에 관한 연구", 한국수문학회지, 제8권 제2호, 1975, pp.75~80.
- 8) 송재우, "우리나라 하천의 사행특성에 관한 연구", 박사학위논문, 연세대학교 대학원, 1980.
- 9) 송재우, "유로만곡부의 수리 및 계량형태학적 특성", 대한토목학회 논문집 제 12권 3호, 1992, pp.173~180.
- 10) 윤세의, "수심이 얇은 고정상 만곡수로에서의 흐름 특성 해석", 박사학위논문, 연세대학교 대학원, 1986.
- 11) 건설부, "금강하상변동조사보고서," 1983~85.
- 12) 건설부, "섬강 하상변동 조사보고서," 1990.
- 13) 건설부, "만경강 하상변동 조사보고서," 1987.