

CCHE2D 모형을 이용한 사행하천에서의 흐름해석

An Analysis of Flow in Meandering River by Using CCHE2D Model

김제국*, 안정환**, 조원철***

Jekuk Kim, Jeonghwan Ahn, Woncheol Cho

요 지

하천의 만곡부에서는 유량에 따라 흐름특성이 달라지고, 하도의 변화가 끊임없이 일어난다. 만곡부의 흐름변화 현상을 파악하기위해 정형화된 하도를 가정하여 개수로 실험을 하거나 수치모형을 이용하여 연구하고 있다. 하지만 실제 자연 하천에 적용한 사례는 많지 않은 실정이다.

본 연구에서는 만곡 자연하천에 대한 흐름특성을 분석하기위해 2차원 수치모의 모형인 CCHE2D 모형을 이용하여 평창강 본류 청령포 만곡부를 모의하였다. 평창강의 계획빈도인 50년, 100년 및 200년 빈도별 확률 홍수량을 적용하여 대상하천을 분석하였다. 모의 결과 유속분포는 만곡부 외측보다 내측에서 유속이 빠르게 나타나며, 최대 유속선은 최단거리에 근접하는 것을 볼 수 있었다. 만곡부 외측에서는 흐름분리가 발생하였으며 와류의 발생을 볼 수 있었다. 또한 홍수시 청령포의 요곡사주부분이 침수되어 침식을 예상할 수 있었다.

본 연구에서는 기존의 개수로 실험 연구와 비교하여 만곡부에 적용 시 불안정한 해석과 계산 결과를 산정하는 2차원 수치모형의 실제 하천에 적용성을 검증하였고, 평창강의 빈도별 홍수량을 모의하여 비교·분석함으로써 홍수시 사행하천의 흐름특성과 침식에 대한 기초자료를 제시하였다.

핵심용어 : 만곡부, CCHE2D, 2차원 수치모의, 요곡사주, 사행하천

1. 서 론

하천계획 수립 시 유로를 가능한 부드럽게 설계하는 것이 바람직하지만 하도와 토지이용 등의 제약조건으로 인하여 만곡부로 계획하는 경우가 종종 있는데, 직선부와 곡선부의 흐름 특성의 차이는 크며, 만곡부에서는 홍수로 인한 피해를 입을 가능성이 높다.

만곡부의 흐름 특성에 관한 연구는 1876년에 Thomson이 최초로 곡선수로에서 나선형 흐름을 발견한 이후로 활발한 연구가 계속되고 있다. 국내에서는 1990년대 이후 만곡부 하상변동에 관한 관심이 높아져 차영기와 이대철(1991)의 흐름특성 해석을 시작으로 연구가 계속되고 있다. 현재까지 연구들은 다양한 흐름 특성을 가정하고 실내에서 개수로 장치를 이용하거나 수치모형 실험을 이용하는 정형화된 하도에서의 실험으로 이루어진 것이 대부분이다.

본 연구는 만곡 사행하천의 경우로 흐름 특성은 3차원이고, 난류이며, 수로의 지형이 불규칙하고 침식과 퇴적의 결과로 시간에 따라 변화를 겪게 된다. 이러한 현상에 대해 정량적으로 묘

* 학생회원 · 연세대학교 대학원 토목환경공학과 석사과정 · E-mail : youngone83@yonsei.ac.kr

** 정회원 · 연세대학교 대학원 토목환경공학과 박사과정 · E-mail : daliza@yonsei.ac.kr

*** 정회원 · 연세대학교 토목환경공학과 교수 · E-mail : woncheol@yonsei.ac.kr

사하기 위해서는 3차원 수치모형이 필요하지만, 방대한 양의 계산결과와 수치계산의 복잡성 때문에 2차원 수치모형을 사용하였다. 2차원 수치모형은 짧은 시간에 장기적인 모의결과를 얻고자 할 때나 모의 영역의 수로가 길 때 사용되고 있다.

본 연구에서는 만곡 자연하천의 흐름 특성을 분석하기 위해 평창강 본류 청령포 만곡부에 유한요소법을 이용하여 평창강 계획빈도인 50년, 100년, 200년 빈도 확률 홍수량별로 만곡부의 수면 형상, 유속, 소(pool)에 의해 변화하는 흐름특성을 비교·분석하여 하천의 개수계획 또는 유로의 유지관리에 대한 자료를 제시하는데 목적을 두고 있다.

2. 기본 이론

2.1 유로 만곡부 흐름 특성

사행하천 유로 만곡부의 유선은 나선운동이나 교호파(Cross Wave) 때문에 유로의 우안 측 또는 좌안 측으로 편이 된다. 또한 주 흐름 방향 유속의 방향 변경으로 인한 원심력가속도의 변화, 횡방향 전단응력의 변화와 2차 흐름의 변화로 인하여 편구배가 발생하며, 박리현상과 jump 현상도 존재한다.

사행현상에 기인한 만곡부의 흐름특성은 편수위 상승현상, 세굴과 퇴적현상 발생 등으로 수공구조물에 크게 영향을 주고, 홍수피해를 입기 쉬운 지역으로 이에 따른 만곡부의 흐름특성분석이 필요하다고 사료된다.

2.2 CCHE2D 모형의 이론

CCHE2D모형은 미국 미시시피 공과대학의 CCHE(Center for Computational Hydroscience and Engineering)에서 개수로의 부정류와 유사이동에 대한 모의를 위해 개발된 수치해석 모형으로 EEM(Efficient Element Method)방식을 사용한 모형이다. CCHE2D모형은 개수로에서 부정류 해석과 상류와 사류의 영역 그리고 천이영역까지 적용이 가능하다. 만곡하천에도 하상 경사와 2차류 영향으로 인한 하도변화에 대한 모의가 가능하다.

2.2.1 지배방정식

CCHE2D모형에서 사용되는 수심 적분된 2차원 방정식들은 다음과 같다.

연속방정식,

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0$$

운동량방정식,

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{1}{h} \left[\frac{\partial(h\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{xy})}{\partial y} \right] - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} + f_{Cor}v$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial y} + \frac{1}{h} \left[\frac{\partial(h\tau_{yx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{yy})}{\partial y} \right] - \frac{\tau_{by}}{\rho h} + f_{Cor}u$$

여기서 u 와 v 는 x 와 y 방향에 대해 수심 적분된 유속성분이고, g 는 중력가속도, Z 는 수위, h 는 수심, f_{Cor} 는 코리올리 계수로 $\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yx}, \tau_{yy}$ 는 수심 적분된 레이놀드응력을 나타내고, τ_{bx}, τ_{by} 는 하상에서의 전단응력이다.

3. 적용구간

본 연구의 대상구간은 한강수계의 제1지류인 평창강(서강)의 일부로 강원도 영월군 영월읍 광천리 일원이다. 유역면적은 1774.32km²이고, 유로연장은 146.86km이다. 수치모의에 적용한 청령포 만곡부의 유로 연장은 1920m이고, 모의를 실시한 구간은 그림 1의 측점 21부터 11번까지를 모의 구간으로 선정하였다. 이 지역의 물리특성은 표 1과 같다.

표 1. 청령포의 물리특성

빈도(년)	홍수량(m ³ /sec)	홍수위-상류경계(El.m)	홍수위-하류경계(El.m)	측점
50	4,430	194.94	194.21	21~11
100	4,820	195.21	194.41	21~11
200	5,120	195.43	194.58	21~11

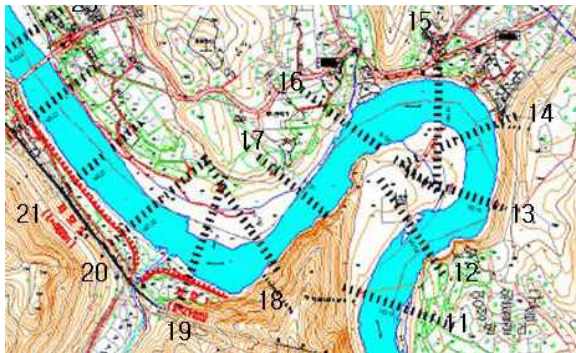


그림 1. 청령포 횡단 위치도



그림 2. 청령포 위성사진

4. 흐름해석 결과 분석

4.1 평면 유속 분포

그림 3은 왼쪽부터 50, 100, 200년 빈도별 홍수량에 대한 유속분포를 나타내고 있다.

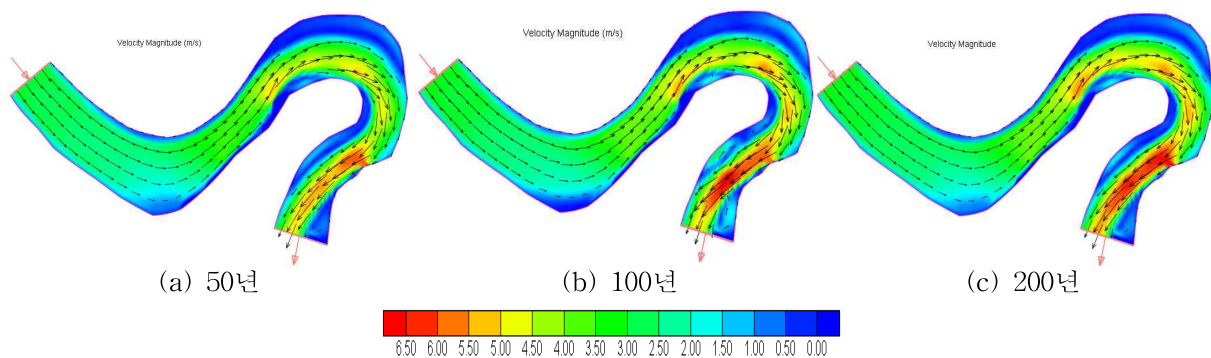


그림 3. 빈도별 평면 유속 분포

유속분포의 변화를 살펴보면 만곡부의 내측에서 유속이 외측보다 빠른 것을 볼 수 있다. 유량이 증가하여 수심이 상승함에 따라 최대 유속선은 최단거리에 근접하는 경향을 보여주고 있

다. 위의 결과는 복단면 사행하도의 흐름 특성에 대한 실험 연구(이두한 등, 2005) 결과와 일치한다. 평면 유속분포에서 특징적인 부분은 만곡부 외측에 흐름이 역류하는 것이 관찰되며(그림 4), 이 지역에 와류가 발생하여 홍수시 유사 퇴적을 유발시켜 유효하폭 감소로 인해 통수능이 작아질 것으로 예상된다.

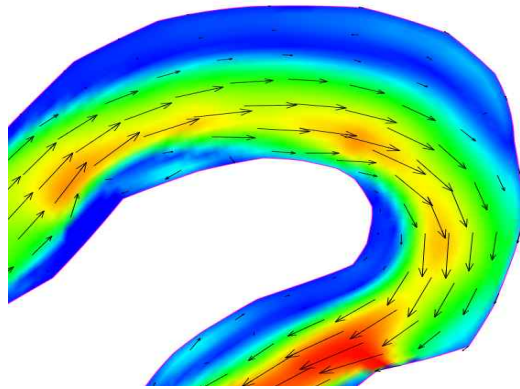


그림 4. 와류발생 지역 유속 분포

4.2 횡단면 유속 분포

홍수시 만곡부의 흐름특성을 극대화하여 나타내기 위해 제시된 빈도별 홍수량 중 가장 큰 200년 빈도를 적용하여 횡단위치도(그림1)에 있는 단면16, 14, 12의 횡단면 표면유속을 도시하였다.

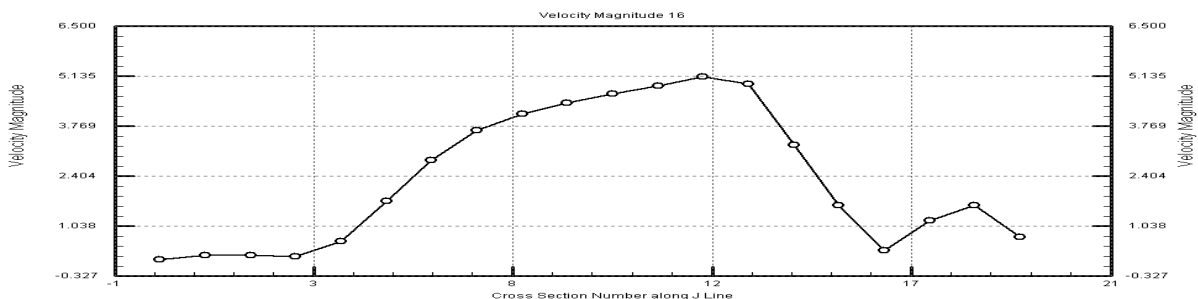


그림 5. 단면16 유속 분포

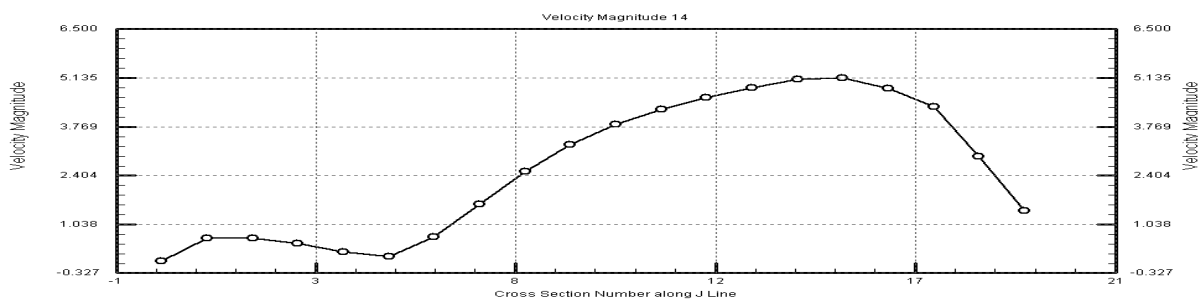


그림 6. 단면14 유속 분포

단면16은 만곡부 진입 부로써 최대유속이 우안에 위치해있으며, 단면14에서 좌안과 우안 유속의 차이가 두드러짐을 알 수 있다. 만곡부의 횡방향 유속분포는 우안의 유속이 빠른 경향을 나타내고 있다. 또한 그림 2에 표시된 요곡사주부에서 횡단면상 최대유속을 갖으며 홍수시 상당량의 침식이 발생하여 사주가 유실될 것으로 예상된다. 단면12의 유속 분포를 보면 만곡부를

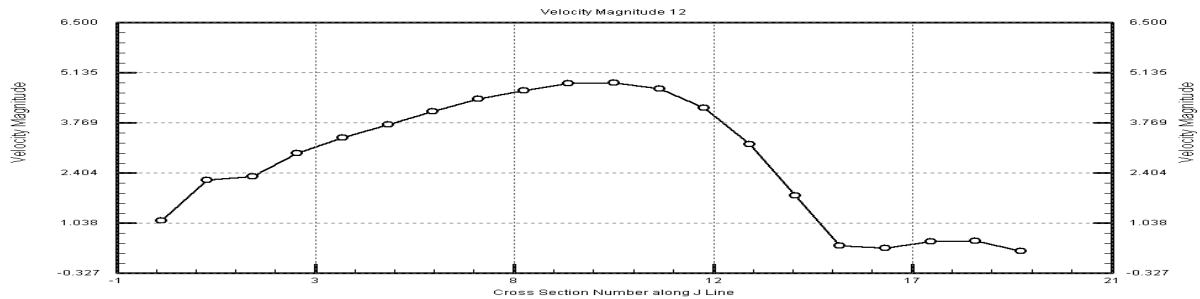


그림 7. 12단면 유속 분포

빠져나온 횡단면의 최대유속이 하천의 중심부로 이동하는 것을 볼 수 있다. 이는 상대 수심이 증가하면서 수심 간의 유속차이보다는 횡방향 유속차이가 더 지배적임을 유추할 수 있으며, 사행의 영향이 지배적임을 알 수 있다.

5. 요약 및 결론

본 연구에서는 평창강 본류 청령포 만곡부에 CCHE2D 모델을 이용하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1. 만곡부 내측유속이 외측보다 빠르게 나타나며 최대유속은 만곡부 내측을 따라 최단거리에 근접하게 형성되었다.
2. 만곡부 좌안에서 사행과 흐름분리로 인한 와류가 발생한다. 역류의 발생은 홍수시의 통수능 감소에 영향을 줄 것이다. 따라서 와류발생으로 유사 퇴적에 의한 피해 감소대책을 수립해야 할 것이다.
3. 횡단면상 유속분포는 홍수량이 증가하면서 사행의 영향을 많이 받아 유속차이가 큼을 볼 수 있었다.
4. 청령포 요곡사주부분 사구가 홍수시 침수되고 최대 유속이 발생하는 것을 고려하여 침식이 예상된다. 퇴사가 하구로 쓸려 내려가지 않도록 적절한 수제공법을 적용하여 침식을 방지하거나 퇴사가 하구 합류부에 쌓여 흐름을 방해하지 못하게 할 대책을 강구해야 할 것이다.
5. CCHE2D모형을 이용한 2차원 해석결과는 기존 정형화된 개수로에서의 연구 동향과 유사한 결과를 도출하였으며, 본 연구에서 실시하지 않았던 유사이동과 세굴에 대한 검토 또한 필요할 것이라 사료된다.

참 고 문 헌

1. Thomson, W.(1876). On the origin of windings of rivers in alluvial plains, with remarks on the flow of water round bends in pipes. *Proc. Royal Soc. London*. Vol. 25, pp. 5-8.
2. 차영기, 이대철(1991). 만곡 수로의 횡방향 하상경사와 흐름특성, 한국수자원학회논문집, 제24권, 제1호, pp. 99-107.
3. 이두환, 이찬주, 김명환(2005). 복단면 사행 하도의 흐름 특성에 대한 실험 연구, 대한토목학회 논문집, 제25권, 제3B호, pp. 197-206.
5. Yaoxin Zhang, Graphical Users Interface for NCCHE Model - Version 3.0 Technical Report No. NCCHE-TR-2006-02.