

OE7) 가상만곡수로에서 구조물 위치에 따른 수리특성에 관한 연구

- 실제자연하도를 대상 -

임동희*, 송인렬, 안승섭, 이증석¹

경일대학교 도시정보·측지지적공학과, ¹토목공학과

1. 서 론

자연하천에서는 유수력에 의하여 사행이 발달함에 따라 대부분 만곡현상이 나타나게 되며 만곡부로 유입되는 지류가 존재하기도 한다. 특히, 사행하천의 만곡부에서는 원심력의 영향으로 외측제방으로 향하는 부차류가 발생하고 외측의 수위가 내측의 수위보다 높아지는 횡방향 수면경사의 상승 및 내외측 수로의 불균등 유속차에 의한 세굴과 최적현상이 발생하고 있어서 직선수로와는 흐름특성이 큰 차이가 있다. 특히, 직선수로 말단부에서 사행하천이 이어지게 되면 자연적으로 배수위가 상승하게 된다. 사행하천의 만곡부는 흐름 방향전환으로 인한 소통능력이 문제되는 구간으로서 홍수발생시 하천범람이나 제체의 안정성 등으로 인한 홍수피해의 발생 가능성이 매우 높은 부분이다. 그러나 최근에는 수변공간의 개발로 인하여 만곡수로 합류부 하류에서도 수공구조물이 설치되어 수로 흐름에 저항을 주는 장애물로 작용하게 됨은 물론 이로 인한 편수위 상승과 유수충수단면적 감소로 인한 하천의 범람과 침식 등이 발생하게 되어 제방 외측에 심각한 피해를 주게 된다.

본 연구에서는 자연하도 만곡부에서 수리구조물에 의한 수리학적 특성검토를 위하여 가상의 만곡수로를 통한 다양한 경우의 수에 대해 수치해석을 실시하고 이를 기준으로 하여 도시하천 만곡부를 선택하여 수공구조물의 영향을 분석하였다.

2. 구조물의 위치에 따른 흐름특성 분석

2.1. 흐름특성 분석을 위한 기본이론

수치해석에 사용된 모형은 일반적으로 그 적용성을 인정받고 있는 이차원 수치해석모형인 RMA-2모형을 사용하였다.

RMA-2 모형은 2차원 수심평균한 유한요소 수치모형으로서 자원관리위원회(Resource Management Associates, RMA)의 Norten, King과 Orlob(1973)에 의해 개발된 정류·부정류 모의가 가능하고 전·후처리가 편리한 윈도우 응용프로그램으로서 2차원 흐름영역에서 자유표면, 상류흐름의 수평방향 유속성분과 수위를 계산하며, Navier-Stokes방정식에 난류의 흐름을 고려한 Reynolds방정식으로 유한요소해를 계산하는 모형이다. 이 모형에서 마찰력은 Manning방정식의 조도계수나 Chezy방정식의 평균유속계수로 계산되며, 와점성계수(Eddy Viscosity Coefficient)는 난류의 특성을 정의하는데 사용되며, 정상류 뿐만 아니라 부정류에서도 모의가 가능한 모형이다.

RMA-2모형은 전처리과정에서의 지형자료를 만드는 GFGEN(Geometry File Generation) 과 수치모의를 진행하는 RMA-2의 실행파일로 구성되어 있고, 결과자료는 텍스트파일과 binary 파일로 저장되어 자체결과 출력은 binary 파일에서 불러들여 분석할 수 있다.

GFGEN은 FastSMS 또는 문서편집기로 작성된 지형파일을 RMA-2 모형에서 사용할 수 있도록 2진 파일의 형태로 변환시켜 주며 유한요소망(finite element mesh)을 구성하는 격자(node) 및 요소(element)에 관한 정보를 읽어들인다. 또한 이미 작성된 망에서의 오류여부 검토가 가능하며, 계산소요시간 단축 및 효과적인 결과를 얻기 위한 목적으로 요소간 번호를 다시 매겨주는 기능(renumbering)이 있다. 유한요소망 구성, 경계조건 등이 정의되면 RMA-2 모형을 이용하여 각 격점에서의 수위 및 유속을 계산하게 되며, 계산결과는 2진 파일로 저장된다.

2.2. 유속변화 특성 분석

가상만곡수로의 만곡부에 설치된 수공구조물이 하도 수리특성에 미치는 영향을 검토하기 위하여 수로내에 가상의 교각을 설치하였다. 구조물의 설치위치는 수로만곡부에서 유속과 수위의 편이가 시작되는 유입부에서부터 45°, 90° 및 135° 지점에 교각의 길이에 대한 폭의 비를 2.5:1로 하여 설치하여 분석하였다.

가상만곡수로의 만곡부는 Fig. 1에서 보는바와 같으며, Fig. 2는 만곡부의 유속분포도 파란색에 가까울수록 유속이 빠르다. 또한 설치된 구조물의 위치에 따른 구조물 상·하류부의 유속의 분포특성은 Fig. 3에서와 같이 구조물 전·후부근에서 급격한 변화를 보이고 있다. 따라서 이 부분에 대한 등유속선도와 유속분포도를 나타낸 결과 Fig. 4~Fig. 6에서 나타나는 바와 같다.

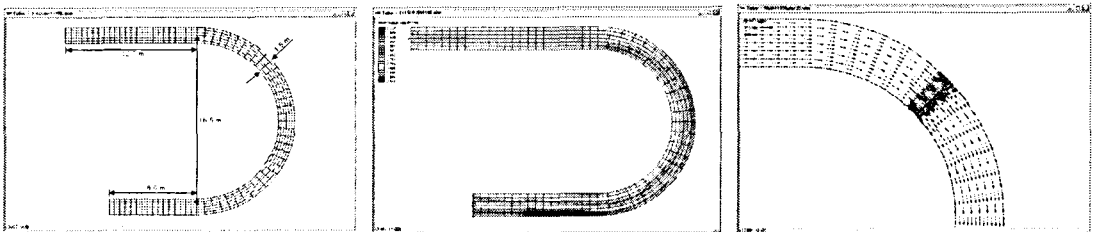


Fig. 1. 만곡부 격자망 구성

Fig. 2. 만곡부의 유속분포도

Fig. 3. 교각부근(45°) 유속분포도

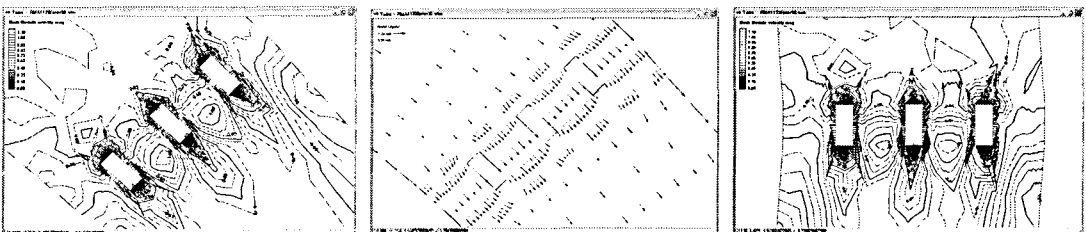


Fig. 4. 45°지점 전후 등유속선도

Fig. 5. 45°지점 유속분포도

Fig. 6. 90°지점 등유속선도

또한 가상만곡수로 만곡부에서 유입부에서부터 45°, 90° 및 135° 지점의 만곡부 내측에서 외측에 대한 횡방향 유속분포는 Fig. 7과 같이 검토되었다.

먼저, 만곡 유입부로부터 45°위치에 구조물이 설치될 경우 상류부는 만곡 요부(凹部)로부터 양안거리의 약 20%전후 부근에서 최대 유속이 발생하고 하류부는 하도중심을 기준으로 거의 좌우로 대칭 분포를 보이고 있으나 만곡 외측부(凸部등)에서 최대 유속이 발생하고 있었으며, 최대유속과 최소유속의 비는 상류부 1.90, 하류부 1.31로서 하류부가 훨씬 크게 감소되었다.

또한, 만곡 유입부로부터 90°위치에 구조물이 설치될 경우 상·하류부에서 모두 만곡 최측부에서 최대 유속이 발생하고 있으며, 최대유속과 최소유속의 비는 상류부 1.22, 하류부 1.37로서 하류부가 훨씬 크게 검토되었다.

마지막으로, 만곡 유입부로부터 135°위치에 구조물이 설치될 경우 90°위치에 구조물이 설치될 경우와 마찬가지로 상·하류부에서 모두 만곡 외측부에서 최대 유속이 발생하고 있었으며, 최대유속과 최소유속의 비는 상류부 1.44, 하류부 1.55로서 하류부가 훨씬 크게 검토 되었다. 이상의 검토결과에서 나타난 바와 같이 수공구조물이 만곡부 유출부에 설치될 경우에는 유입부에 비하여 최대유속이 약 30%이상 크게 나타나므로 구조물로 인한 세굴 등에 대한 대비가 필요한 것을 알 수 있었다.

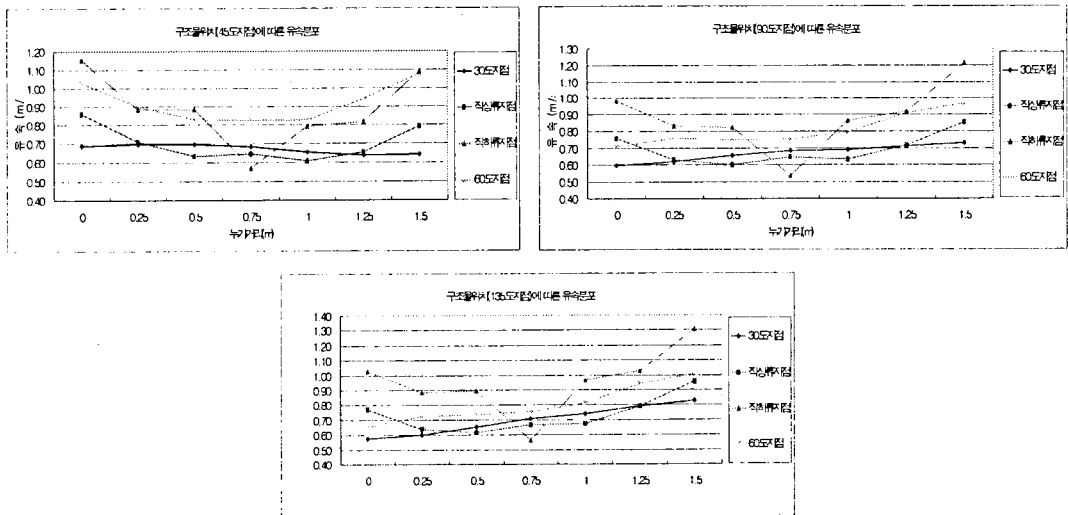


Fig. 7. 구조물 위치(45°, 90° 및 135°)에 대한 횡방향 유속분포도

2.3. 편수위 변화 특성 분석

가상수로 만곡부에 설치된 구조물의 위치에 따른 구조물 상·하류부의 편수위의 분포도를 나타낸 결과 Fig. 8과 같았다. 여기서 검토된 바와 같이 45°, 90° 및 135° 지점에 설치된 교각의 상류부에서는 외측 교각 직상류의 유속선이 조밀하고 하류부에서는 중앙부 교각 직하류의 등유속선이 조밀하게 검토되었다. 특히 상류부 보다는 만곡부 흐름이 활성화된 135° 지점에서 교각과 교각 사이의 등유속선이 조밀하게 나타나고 있었다.

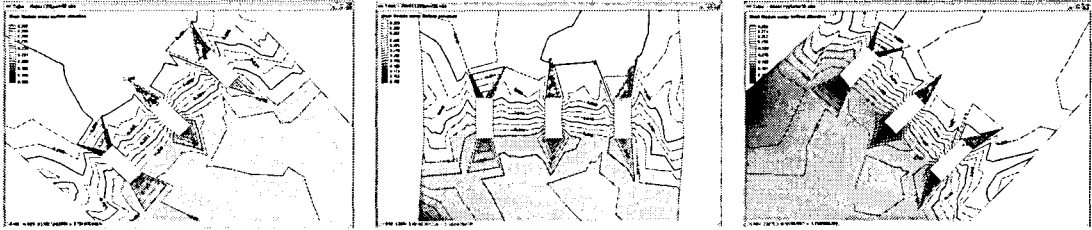


Fig. 8. 교각부근(45°, 90° 및 135°)에 대한 수위분포도

먼저, 만곡 유입부로부터 45°위치에 구조물이 설치될 경우 상·하류부에서 모두 만곡 외측부(凸部)에서 수위가 가장 높게 분석되었으며, 수면경사는 상류부 0.86%($\Delta h = 0.013m$), 하류부 1.27%($\Delta h = 0.019m$)로서 하류부가 수면경사가 훨씬 크게 검토 되었다.

또한, 만곡 유입부로부터 90°위치에 구조물이 설치될 경우 상류부에서는 만곡요부(凹部)로부터 외측부(凸部)로 가면서 점차 증가하고 있으며, 하류부에서는 만곡요부(凹部)로부터 양안거리의 약 30%전후 부근에서 최소 수위를 나타내고 있고 하도중심을 기준으로 좌우로 높게 나타났다. 수면경사는 상류부 0.86%($\Delta h = 0.013m$), 하류부 0.80%($\Delta h = 0.014m$)로서 하류부가 수면경사가 낮게 검토 되었다.

마지막으로, 만곡 유입부로부터 135°위치에 구조물이 설치될 경우는 상류부에서는 만곡요부(凹部)로부터 외측부(凸部)로 가면서 점차 증가하고 있으며, 하류부에서는 만곡요부(凹部)로부터 양안거리의 약 30%전후 부근에서 최소 수위를 나타내고 있고 하도중심을 기준으로 좌우로 높게 나타났다. 수면경사는 상류부 0.86%($\Delta h = 0.013m$), 하류부 0.93%($\Delta h = 0.014m$)로서 하류부가 수면경사가 크게 검토 되었다.

이상의 검토결과에서 나타난 바와 같이 수공구조물이 만곡부 유입부에 설치될 경우에는 유출부에 비하여 편수위 차와 편수위 경사가 크게 나타났으므로 제체의 정비를 포함한 하도 정비시에 만곡외측부의 재방고의 여유고를 높게 고려할 필요가 있음을 알 수 있었다.

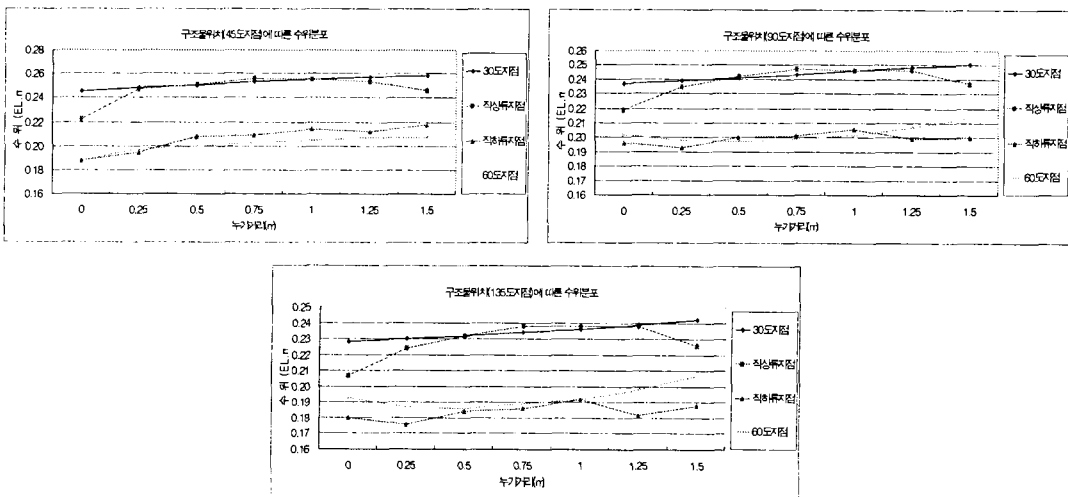


Fig. 9. 구조물 위치(45°, 90° 및 135°)에 대한 횡방향 수위분포도

2.4. 종방향 유속 및 수위 변화 특성 분석

가상수로 만곡부에서 유입부에서부터 45°, 90° 및 135° 지점에 설치된 구조물로 인한 상하류부의 최대 최소 유속 및 수위분포를 종방향으로 검토한 결과 Fig. 10~Fig. 11과 같았다. 여기서는 하폭에 대한 교각의 간격비(B_0/B)를 0.20, 0.25 및 0.33에 대하여 검토한 결과이다. 이 결과에서 나타난 바와 같이 B_0/B 의 비가 작을수록 구조물 전후의 최대유속과 최소유속의 편차가 크게 나타남을 알 수 있었다.

또한 최대 및 최소유속의 경우는 구조물의 설치위치가 큰 차이가 없었으나 수위의 경우는 유입부 45°지점의 경우가 종방향 수위차가 크고 유출부인 135°지점의 경우는 종방향 수위차가 적은 것으로 검토되었다.

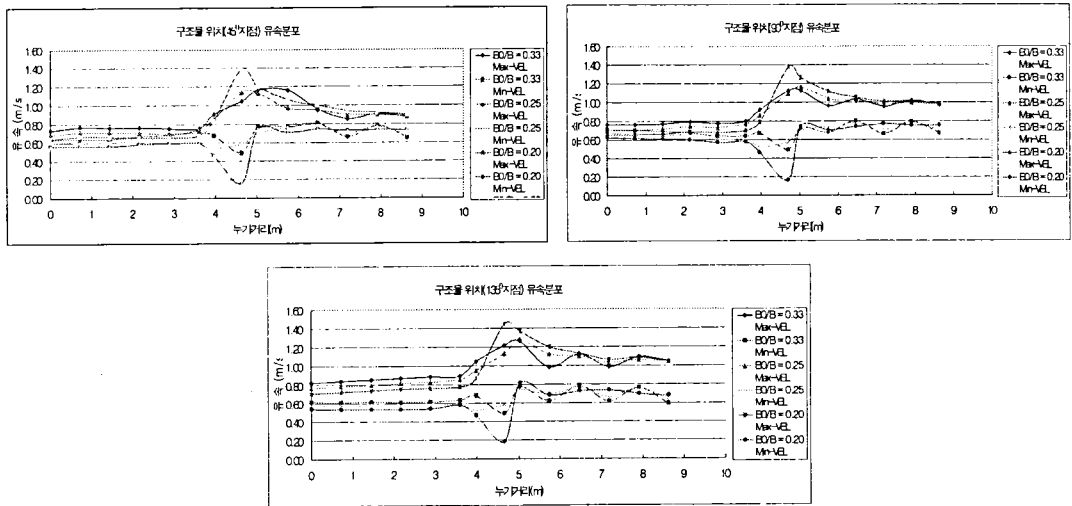


Fig. 10. 구조물 위치(45°, 90° 및 135°)에 대한 최대·최소 유속분포도

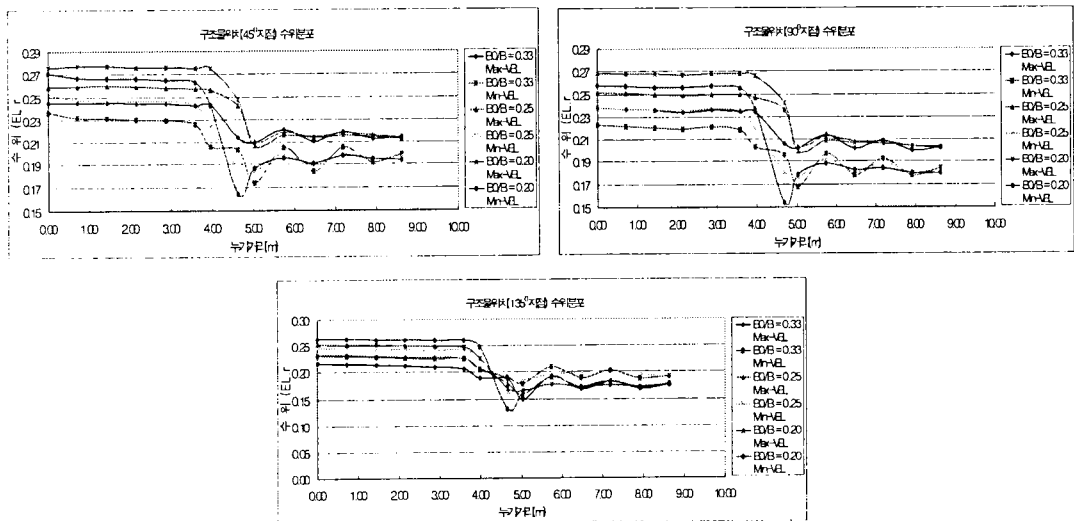


Fig. 11. 구조물 위치(45°, 90° 및 135°)에 대한 최대·최소 수위분포도

3. 결과 및 고찰

각 상태에 따른 최대 및 최소유속의 편위에 대하여 검토한 결과 유입부에 비해 유출부의 유속 편위가 크고, 수심에 대한 하폭의 비(B/h)가 클수록 유속의 편위가 크게 나타났으며, $0^{\circ} \sim 135^{\circ}$ 까지는 편수위 차가 점차 증가하고 그 후부터는 감소하고 있으며, 120° 전후에서 유속 편위가 가장 작은 것으로 검토되었다.

또한 최대 및 최소 수위에 대한 편위 및 편수위 경사에 대하여 검토한 결과 $0^{\circ} \sim 135^{\circ}$ 까지는 편수위 차가 점차 증가하고 그 후부터는 감소하고 있으며, 120° 전후에서 편수위 경사가 가장 심하게 검토되었다. 또한 수심비에 대한 하폭의 비(B/h)가 클수록 즉 일정하폭을 가진 수로에서 수심이 얕을수록 편수위 경사가 완만함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- R.T. Knapp, "Design of Channel Curves for Supercritical Flow", Trans. ASCE (116), 296 ~325, (1951).
- H.A Einstein and H.J. Harder, "Velocity Distribution and the Boundary Layer at Channel Bends", Trans. A.G.U. 35(1), 114~120, (1954).
- De Vriend, H.J and Geldof, H.J. (1983) Main flow velocity in short river bends, Journal of Hydraulics Division, ASCE, Vol. 109, No. 7, pp.991~1011.
- Nobuyuki Tamai and Tsuyoshi Ikeya, "Three Dimensional Flow over Alternating Pointbars in a Meandering Channel," J. of Hydroscience and Hydraulics Eng. Vol. 3, No. 1, pp.1~13, 1985.
- J.S Bridge, "Velocity Profiles and Bed Shear Stress over Various Bed Configurations in a River Bend", Earth Surface Processes, Vol. 2, pp.281~294, 1997.
- I.L. Rozovskii, "Flow of Water in Bends of Open Channel", Academy of the Ukrainian SSR Institute of Hydrology and Hydraulic Eng. (1957).
- Ye, B. J., and McCorquodale, J. A., "Depth-Averaged Hydrodynamic Model in Curvilinear Collocated Grid.", ASCE, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 123(5), 380~388 (1997).