

도시하천 합류부에서의 수리해석

한건연*, 이종태**, ○이을래***, 이재영***

1. 서론

최근에 들어 태풍 및 집중호우 등 이상홍수로부터 야기되는 급격한 하천수위의 변동은 하천제방을 월류하여 인근 제내지에 큰 피해를 주고 있다. 이러한 이상 홍수시에는 하도내에 설치된 교각은 홍수의 소통능력을 저해하고 교각의 후면에서는 수위상승을 야기하게 되며, 지류 합류부에서는 합류되는 양상에 따라 홍수위에 미치는 영향이 크게 나타날 수도 있다. 본 연구는 대연천 및 남천 합류부에서의 홍수위 변동양상을 정확하게 계산하여 홍수피해를 경감시키고자 함에 그 목적이 있다. 따라서, 대연천의 하천복개에 따른 홍수위 상승영향을 검토하였고, 남천유입시 합류부에서의 기존 교각의 영향을 검토하였다. 또한, 남천 합류부에서의 수리학적 영향을 경감하기 위하여 날개벽(wing wall) 설치에 따른 2차원 흐름특성의 양상을 파악하였다.

본 연구에서는 교각에 의한 대연천에서의 1차원 홍수위 변동을 예측하기 위해서 HEC-RAS 및 부정류 모형을 이용하였고, 남천 유입에 따른 2차원 흐름특성의 영향을 검토하기 위해서 동역학적 수치모형을 이용하였다. 교각의 영향은 부정류 해석방법과 부정류 해석방법에 의해 규명함으로써 정확한 홍수위 변동 양상을 예측하고자 하였다. 대연천 하구부에서 HEC-RAS 모형과 부정류 모형에 의한 하천복개에 따른 홍수위 변동을 산정하였고, 그 결과를 비교 검토하였다. 남천유입시 합류부에서의 기존 교각의 영향과 날개벽(wing wall) 설치에 따른 2차원 유속분포 및 수위변동 양상을 파악하여 본 유역에 적합한 최적안을 제시하였다.

2. 교각설치에 따른 홍수위해석

도시하천 복개로 의한 교각설치에 따른 배수현상은 교각 상류부의 도시화 지역에서의 홍수위의 증가를 가속화시킬 수 있다. 교각 상류부에서의 정확한 수면고의 계산은 교각 상류부의 제방고를 결정하는데 있어서도 매우 중요하다. 따라서 정교한 계산방법에 의한 수면고의 계산이 필요하며, 이는 하천복개에 따른 수리학적 설계에 반영되어야 할 중요한 기초자료가 된다.

* 경북대학교 토목공학과 교수

** 경기대학교 토목공학과 교수

*** 경북대학교 토목공학과 박사과정

기존의 계산기법들이 교각설치에 따른 홍수위를 결정하는데 사용되어졌다. 교각의 개구부를 통한 에너지 손실과 수면형의 연구를 위해서 BPR(Bureau of Public Roads)방법, USGS(United States Geological Survey), HEC(Hydrologic Engineering Center) 방법 등의 1차원 해석기법에 적용되었다.

대연천 복개에 따른 홍수위 변동 양상을 파악하기 위해서 HEC-RAS 모형과 동역학적 모형에 의해서 검토하였다. 대연천의 유량은 $166.7 \text{ m}^3/\text{sec}$, 남천의 유량은 $62.63 \text{ m}^3/\text{sec}$ 이며, 대연천 하류단의 수위는 1.04 m 로 부여하였다. 그림 1은 모의수행을 위한 대상구간을 도해적으로 나타낸 것이다.

대연천의 하도구간은 교각부의 영향을 전부 반영하여 174 개로 설정하였고, 남천의 하도구간은 17 개로 설정하였다. 대연천의 하도단면은 교량부의 직 상·직하류부 단면, 교각과 교각간의 중간단면을 설정하였다. 하도경사는 대연천의 경우 0.00083, 남천의 경우 0.00189 였다.

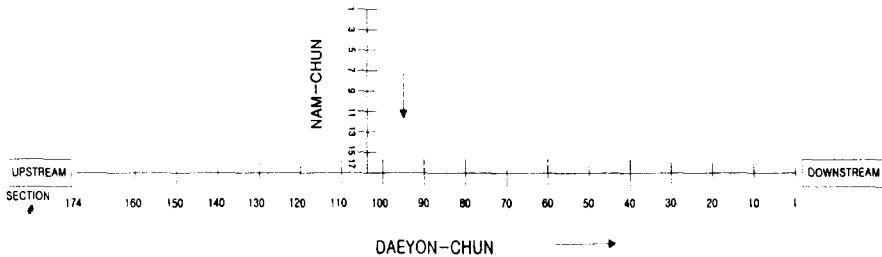


그림 1. 모의수행 검토구간

그림 2는 HEC-RAS 모형에 의한 수면형의 변화를 남천지류의 영향을 무시한 경우, 지류의 영향을 고려한 경우 및 교각의 영향을 고려한 경우에 대해서 비교한 것이다.

지류유입 직상류부에서의 수위는 교각의 영향을 고려한 경우 HEC-RAS 모형에서 EL 1.74 m, 동역학적 모형에서 EL 1.60 m로 나타났고, 최상류단에서는 HEC-RAS 모형에서 EL 1.89 m, 동역학적 모형에서 EL 1.86 m로 각각 나타났다.

교각설치에 따른 최상류단에서의 수위 상승량은 HEC-RAS 모형에서 67 cm, 동역학적 모형에서 63 cm로 나타났고, 지류유입 직상류부에서의 수위 상승량은 HEC-RAS 모형에서 53 cm, 동역학적 모형에서 37 cm로 각각 나타났다.

본 연구에서의 교각설치에 따른 수위상승고는 교각단면 전체를 직접 반영하여 계산한 것으로 HEC-RAS 모형과 동역학적 모형에 의한 최상류단에서의 수위 오차는 3 cm로 나타나 신뢰할 수 있는 계산결과로 판단되었다.

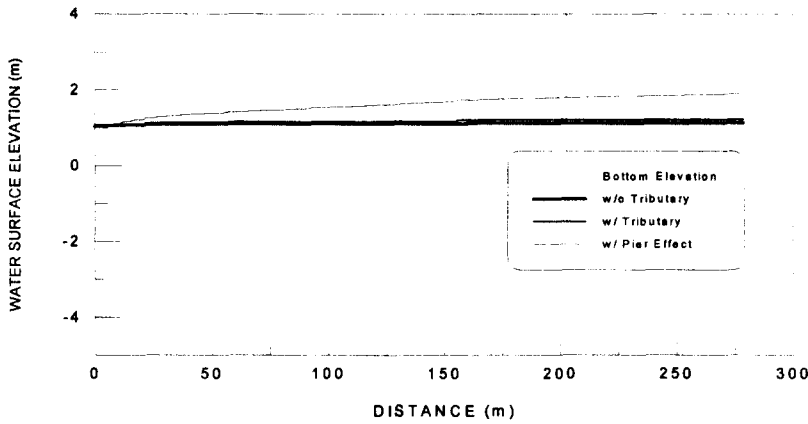


그림 2. 홍수위의 해석결과

3. 합류부에 의한 동수역학해석

대연천과 남천 합류부에서의 2차원 동수역학 해석을 위해서 유한요소모형을 적용하였다. 또한 합류부에 위치한 교각의 영향이 홍수위에 미치는 영향을 검토하였다. 다양한 조건의 날개벽 설치에 따른 대연천과의 합류부에 대한 흐름의 특성을 규명하였으며 각 경우에 대해서 유속벡터, 등유속선도 및 등수심도가 제시되었다.

상하류단의 경계조건으로서 대연천의 유입유량은 $166.2 \text{ m}^3/\text{sec}$, 남천의 유입유량은 $62.23 \text{ m}^3/\text{sec}$, 대연천 하류부인 해수면의 수위조건은 1.04 m 를 각각 부여하였다.

3.1 현 상태의 경우

현 상태의 조건에 대한 이차원 모의수행 결과를 그림 3, 4에 제시하였다. 본류인 대연천에 비해서 지천인 남천에서 유속의 분포가 빠르게 나타나고 있었는데, 이는 남천에 있어서는 본류부의 37.4%에 달하는 유량을 가지며 0.00189의 급경사 하도부를 폭이 좁은 암거를 통해서 유하하기 때문이었다. 합류부에서의 유속분포는 2.87~3.4 m/sec 였으며, 수심분포는 1.9~2.35 m의 범위로 나타났다. 합류부가 시작되는 부분의 지점에서는 국부적으로 낙차공의 효과를 가지면서 수심이 감소하면서 유속이 빠르게 나타나고 있었다. 합류부에서의 유속은 최대 4.3 m/sec 까지 증가하면서 본류부와 합쳐지는 흐름을 보여주고 있었다. 또한, 합류부 직하류부에서는 두 개의 흐름이 만나면서 발생하는 0.3~0.5 m/sec에 달하는 와류의 형성을 나타내고 있었다.

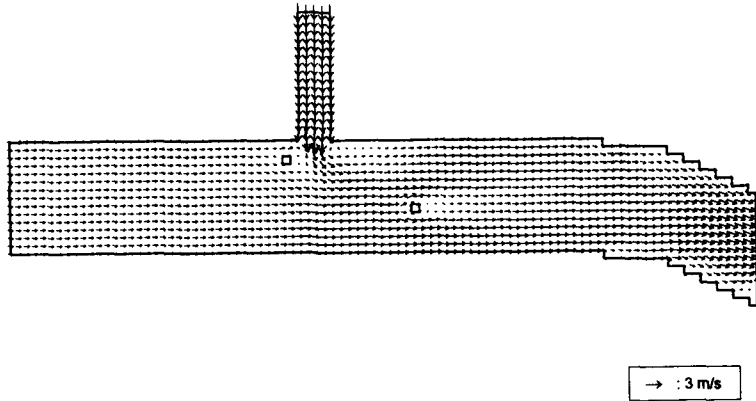


그림 3. 현 상태의 유속분포도

3.2 날개벽 설치의 경우

날개벽의 하상고를 대연천의 최심고인 -4.87~-4.94m로 설정하고, 대칭 날개벽을 30 m로 설치하였을 경우에 대하여 합류부에 미치는 수리영향을 검토하였다. 30 m의 대칭 날개벽 설치인 경우에 대한 유속벡터, 등유속은 각각 그림 5, 6에 도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 통수능의 증가로 인해서 날개벽 확장부에서 유속이 급격히 감소하였음을 알 수 있었으며, 남천 지류의 유입이 대연천의 흐름을 심하게 변화시키지 않고 있었다.

30m의 대칭날개벽을 설치한 경우, 유입에 의한 합류부에서의 흐름의 혼합양상은 형성되고 있지만 그 양상이 뚜렷하게 나타나지는 못하였다. 합류부에서의 유속은 0.9~1.2 m/sec를 나타내고 있었는데, 이는 유입부의 하상고를 대연천의 최심고가 아닌 현 상태의 기울기를 유지하였을 때 보다 큰 유속의 저하를 보여주는 것이었다. 합류부에서의 수심은 5.1~5.25 m으로 나타났고, 날개벽내의 상하류부에서는 미소한 와류현상이 관찰될 수 있었다. 합류부에서의 유속변화는 현재상태의 기울기를 가지는 경우보다 현저하게 감소하고 있었으며, 대연천의 주된 하도 방향으로 짧은 구간 내에서 회복하고 있었다. 유속분포는 0.4~2.0 m/sec로 나타났고, 매우 미소한 와류현상을 관찰할 수 있었다. 날개벽을 설치한 경우를 비교하여 보면 남천에서 대연천 방향으로 하상경사를 두고 날개벽으로 설치한 경우보다는 대연천의 최심하상고를 가지고 날개벽을 설치한 경우가 충분한 홍수소통능력을 가지므로, 합류부에서의 유속을 감소시키게 되어 수리학적 악영향을 방지할 수 있을 것으로 판단되었다.

30m의 편측 날개벽을 설치하였을 경우에 합류부에 미치는 수리영향을 검토하였다. 이 경우에 날개부는 대연천의 최저하상고인 -3.86 m를 남천합류부의 하류단으로 경사를 두었으며, 비확장부는 원래 하상상태인 0.29 m를 남천합류부의 하류단으로 하상경사를 부여하였다. 비확장부의 흐름은 유속이 4.8~5.5 m/s의 비교적 빠른 흐름을 가지면서 대연천과 만나고 있었으며, 수심은 그에 상응하는 0.3~1.5 m의 비규적 낮은 수심을 가졌다. 한편, 편측날개부에서는 최저하상고가 낮아짐으로 인하여 그에 따른 유속도 0.1~1.2 m/s로 작게 나타났으며, 수심은 1.6~3.5 m로 증가하였다. 비확장부에서는 남천 하류부의 낙차공의 영향을 따른 흐름단면적의 감소로 인해 유속이 증

가한 반면, 편측 날개부에서는 대연천 합류부에 이어지는 충분한 흐름단면적의 확보와 배수효과로 인해서 수심의 증가와 함께 유속의 감소를 나타내고있다.

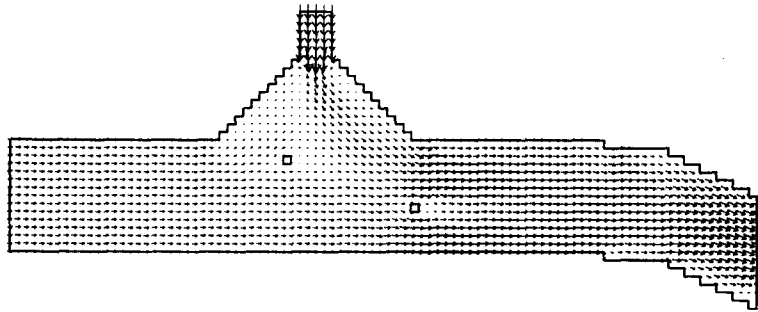


그림 4. 대칭 날개벽을 설치한 경우의 유속분포도

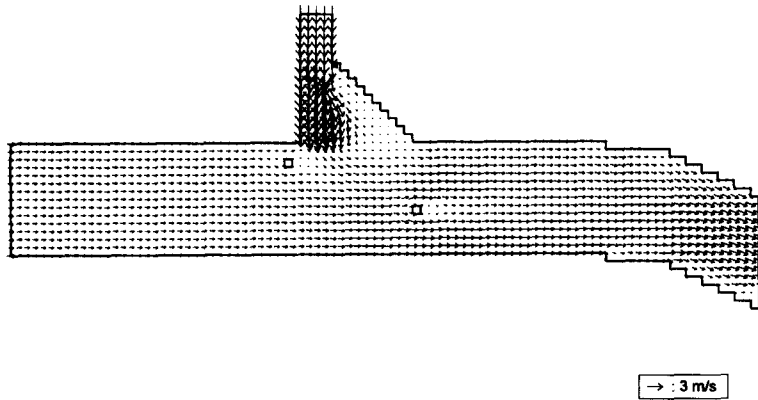


그림 5. 편측 날개벽을 설치한 경우의 유속분포도

4. 결론

(1) 대연천 복개에 따른 홍수위 변동 양상을 파악하기 위해서 HEC-RAS 모형과 동역학적 1차원 모형에 의해서 검토하였다. 하류경계수위(No. 20)을 기준으로 한 복개교각들의 설치로 인한 대연천 상류단(No. 14)에서의 계산 홍수위 상승치는 HEC-RAS 모형에서 67 cm, 동역학적 모형에서 63 cm로 나타났다. 복개교각들의 설치에 따른 홍수위 상승고에 대하여 HEC-RAS 모형과 동역학적 모형에 의한 계산결과를 비교한 결과 상류단에서의 홍수위 상대오차는 약 3~4 cm로 나타나 신뢰할 수 있는 계산결과로 판단되었다.

(2) 2차원 해석모형 실험 결과 기존상태에서는 남천으로부터의 빠른 유속이 상대적으로 느린 유속의 대연천과 합류하면서 본류의 흐름을 크게 변화시키는 것으로 나타났다. 이는 지류인 남천의 유량이 본류부의 약 37.4 %에 달하며 급경사의 직선수로를 통한 암거를 통해서 직각으로 유입하기 때문인 것으로 판단되었다.

(3) 합류부에서의 흐름특성을 개선하기 위해 30 m의 굴입깊이를 갖는 유도 날개벽을 설치하고 2차원 모의실험을 실시하였다. 날개벽 확장부의 하상고를 대연천의 최심고와 동일하게 굴입하였을 경우, 합류부의 통수단면의 증가로 인하여 유속의 뚜렷한 저하를 나타내므로써 지류유입이 대연천의 흐름변화에 주는 영향이 감소되는 것으로 나타났다.

(4) 하류쪽으로 편측 날개벽 설치의 경우에 대해서 2차원 수치모형 실험을 실시하였다. 이때 남천 유입부 직하류에 낙차공을 설치하고, 상류측으로 도류형 둔치를 두어 유황을 개선하였다. 본 경우에 대한 수치실험결과 합류부에서의 소통단면의 확보와 유황개선의 효과로 지천이 본류부의 흐름에 미치는 영향을 크게 저감하고 있음을 알수있었다.

(5) 합류부에서의 교량 교각(1 기)에 의한 영향으로 교각주변의 유속 및 수심의 국부적인 변화를 확인할 수 있었으나, 본 교량 교각이 남천 및 대연천 수위상승에 미치는 영향은 미미한 것으로 판단되었다.

5. 참고문헌

- Amein, M., and Fang, C.S. (1970). "Implicit Flood Routing in Natural Channels." J. of Hydraulics Div., ASCE, Vol. 96, No.12, pp. 2481-2500.
- ASCE. (1995). "Hydraulic Design of Flood Control Structures." Technical Engineering and Guides as Adapted from the US Army Corps of Engineers, No. 10, pp. 10-19.
- Bradley, J.N. (1970). "Hydraulics of Bridge Waterways." Second Edition. Hydraulic Design Series No. 1, Federal Highway Administration, US Department of Transportation, Washington D.C.
- Fread, D.L. (1985). "Channel Routing." in Anderson, M.G., and Burt, T.P.(eds) Hydrological Forecasting, John Wiley & Sons, pp. 437-503.
- Hoggan, D.H. (1997). "Computer-Assisted Floodplain Hydrology & Hydraulics." second Edition, McGraw-Hill.
- Hydrologic Engineering Center. (1990). "HEC-2 Users Manual.", US Army Corps of Engineers.
- Hydrologic Engineering Center. (1991). "HEC-2 Computer Program Version 4.6.2.", US Army Corps of Engineers.
- King, I.P., and Norton, W.R. (1983). "Users Guide of RMA2V." Resources Management Associates.
- Swain, E.D., and Chin, A. (1990). "Model of Flow in Regulated Open Channel Networks." J. of Irrigation and Drainage Eng., Vol. 116, No. 4, ASCE, pp. 537-556
- 한건연 등. (1992). "홍수시 교량에 의한 하천 수위의 상승해석." 1992년 대한토목학회 학술발표회 논문집, 1992. pp. 97-100.
- 한건연 등. (1993). "교량에 의한 하천 홍수위의 변동해석." 한국수문학회지, 제26권 제4호, 1993, pp. 35-46.