

수치모의를 이용한 해평취수장의 취수장애 개선 연구

Improvement on Geomorphic Changes of Water Intakes at Haepyeng by
Numerical Simulation

장창래 *, 이광만 **

Chang-Lae Jang, Kwang Man Lee

요 지

본 연구는 하천수를 직접 취수하는 기존 취수장의 취수장애 문제를 해결하기 위한 대안을 개발하는데 목적이 있다. 이를 위해 지금까지 취수장 문제해결 방법으로 검토되지 않았던 유로(流路) 및 하천의 지형변동을 GIS 및 항공사진을 이용하여 정량적으로 파악하였으며, 유사영역 구분 및 하도특성 분석, 하천 특성 해석에 적합한 이동경계 좌표계를 이용한 수치모형을 적용하여 2차원 하상 및 지형변동 예측을 검토하였다. 저수로의 이동 및 하상저하로 인하여 취수문제가 발생하고 있는 경상북도 구미시에 위치한 해평취수장 주변에 대하여 항공사진 분석 및 GIS 기법을 이용하여, 시간 경과에 따른 하천 형태 변화, 저수로의 이동 특성을 조사하고 분석하였다.

저수로는 좌안에서 우안으로 이동해 가고 있으며, 이는 하천의 경사가 급하고 하폭이 증가하면서 발생하는 현상으로 저수로의 불안정성이 크게 증가하는 특성을 보여주었다. 시간의 증가에 따라 저수로 하폭의 증가율이 감소하고 있으며, 수로의 측방 이동을 보여주고 있으며, 시간이 증가함에 따라 측방향 이동율이 감소하였다. 만재유량을 이용하여 유사의 영역구분을 수행한 결과, 망상하천으로서, 모래하천으로 부유사가 지배적인 하천으로 판단되었다.

2차원 수치모형을 이용하여 하상변동을 모의한 결과, 유량이 2,000 m³/s일 경우에는, 해평 취수장 측의 하천 하상은 상승하였으며, 구미정수장 측에서는 하상이 저하되었다. 홍수유량 8,000 m³/s일 경우에는 해평 취수장 측에서는 약간 저하하였고, 구미정수장 측에서는 하상이 상승하나, 직하류에서는 하상이 세굴되고, 하천 가운데 자리하고 있는 하중도는 커지는 현상을 보여 주었다. 또한 하중도 직하류에서는 하중도를 중심으로 좌안인 해평 취수장과 우안인 구미정수장 쪽으로 분류된 흐름이 합류되면서 하상에서는 퇴적과 세굴이 반복되며, 복렬 사주가 발생하는 것으로 나타났다. 이는 두 흐름에 의해 와(vortex)가 크게 형성되어 하상의 세굴에 영향을 미치기 때문으로 판단되었다.

핵심용어 : 취수장, 수치모형, 유로이동, 망상하천

1. 서 론

충적하천의 이동특성을 이해하는 것은 하천공학적 목적으로 하천을 계획하고 관리하며, 수리구조물의 설계하고, 환경 및 생태 공학적 목적으로 하천을 복원하거나 주변경관을 유지하며 보전하는데 매우 중요하다.

최근에 및 원인을 파악하기 위하여 다양한 연구가 수행되어 왔다. 사행하천에서 하천의 측방향 이동은 유입 조건 및 지형에 따라 다른 형태를 갖는 것이 밝혀졌으며(Nanson and Hickin, 1986; Richardson, 2002), 망상 하천에서 하천의 이동, 분열이 다른 특성이 있다는 것이 연구되었다(Xu, 1996). 또한 하천의 이동특성을 정량적으로 모의하기 위하여 수치모형이 제안 되었다(Olsen, 2003; Jang and Shimizu, 2005).

우리나라에서는 유로 변동에 의해 취수장의 취수장애, 하안침식 등 많은 문제가 있으나, 그동안 이에 대한 연구가 거의 수행되지 않았다. 따라서 본 연구에서는 저수로의 이동 및 하상저하로 인하여 취수문제가 있는

* 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원 : cljang@kwater.or.kr

** 정회원 · 한국수자원공사 수자원연구원 수석연구원 : kmlee@kwater.or.kr

구미시에 위치한 해평 취수장 주변에 대하여 항공사진 분석 및 GIS 기법을 이용하여, 시간에 따른 하천 형태 변화, 저수로의 이동 특성을 조사하고 분석하여, 안정적인 취수를 위한 근본적인 대책이 수립하는데 기본 자료를 제공하고자 한다.

2. 연구대상지역의 특성 및 자료구축

본 연구에 핵심적인 대상지역인 해평취수장은 경상북도 구미시에 위치하며, 1983년 구미권 광역 상수도 1 단계 사업을 통해 낙동강의 우안에 건설하였다. 그러나 저수로의 유로 변동이 진행되면서 저수로가 좌안으로 이동하였고, 취수에 매우 어려움을 겪게 되어, 1997년 우안에서 좌안으로 취수장의 위치변경 공사가 완료되어 취수를 개시하였다. 그러나 최근에 홍수로 인해 유로가 다시 좌안에서 우안으로 변경되어 취수에 다시 어려움을 겪게 되었다(그림 1과 2).

하천의 지형변동을 분석하기 위하여 저수로의 평면변동은 항공사진과 GIS를 이용하고, 단면변화는 하천정비기본계획의 측량자료를 이용하였다. 저수로의 평면변화를 분석하기 위하여, 먼저 항공사진은 해상도 및 용량을 작업에 용이하게 변환하고, 항공사진의 보정 및 좌표를 부여하며, 항공사진의 GIS 자료 변환 과정을 거쳐, 각 연도별 저수로 및 제방의 shape 파일을 추출하여, 이를 바탕으로 하천의 변동 특성을 분석하였다.

본 연구에서는 ‘낙동강 하천정비기본계획(보완III) (남강합류부~반면천합류부)’의 지형도에 나타나 있는 외곽 좌표를 이용하여 좌표를 설정하였다. 항공사진을 분석하는데 촬영시 지면과 정확히 수직이 되지 못하고 조금의 각도 차이가 발생하는 기울기 문제 및 카메라 렌즈의 굴절률에 따른 문제가 발생한다. 이에 대한 오차를 보정하기 위해서는 ArcMap의 Control Point를 이용하였다. 이때 기준이 되는 자료로는 수치지도가 사용되는 것이 좋은데 이는 수치지도의 제방에 항공사진의 제방을 기준으로 보정하면 최소한 하천 및 제방의 좌표는 오차가 적게 된다.

그림 1은 시간에 따른 항공사진의 저수로 변동을 보여주고 있으며, 그림 2는 1976년부터 2004년까지 시간에 따른 저수로의 변동을 보여주고 있다. 저수로는 좌안에서 우안으로 이동해 가고 있으며, 특히 2004년도에는 저수로가 망상하천의 특성을 보여주고 있다. 이는 하천의 경사가 급하고 하폭이 증가하면서 발생하는 현상으로 저수로의 불안정성이 크게 증가하는 특성을 보여주고 있다. 그림 3은 해평취수장 앞에서 1977년에서

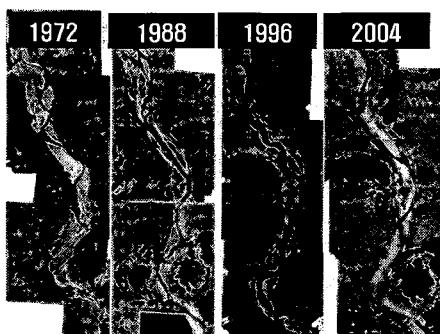


그림 1 해평 취수장 부근의 항공사진

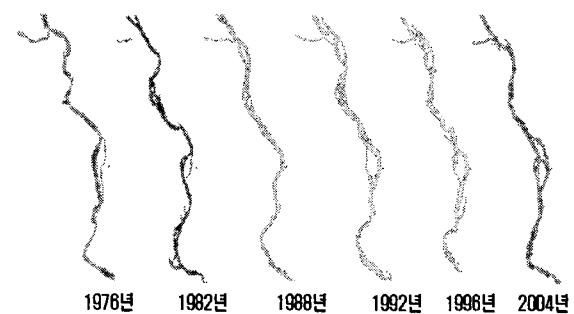


그림 2. 저수로의 변화

2003년까지 횡단면 변화를 보여주고 있다. 시간이 증가함에 따라, 좌안과 우안에서는 하상고가 크게 저하되고, 가운데에서는 하중도를 형성하고 있다. 좌안은 1977년부터 2003년까지 크게 하상이 저하되고 있으며, 우안에서는 하상고의 상승과 저하를 반복적으로 지속되다가 1993년 이후에는 크게 저하되는 것을 볼 수 있다. 이는 그림 2에서 저수로의 이동과 일치하며, 가운데 하중도의 형성 과정을 보여주고 있다. 특히 이 지점은 하천폭이 크게 되어 흐름 및 사주의 비선형성에 의해 발달된 것이며, 전반적으로 중앙부를 제외하고는 하상이 저하되는 특성을 보여주고 있다. 또한 하중도에서는 석생의 번성에 의해 고착화 되어 가고 있다.

3. 하천의 중규모 영역구분

중규모 영역 구분은 하천을 직선, 사행 및 망상하천을 물리적 특성을 고려하여 구분한 것으로 하천을 분류하는데 매우 중요하다. 본 연구에서는 Kuroki와 Kish(1984)의 영역구분법을 이용하여 영역구분을 수행하였다. 해평 취수장 주변에서 하폭 대 수심의 비와 무차원 소류력 비를 검토하여 중규모 영역 구분을 한 결과, 주로 망상하천의 특성을 보여주고 있다. 무차원 소류력은 만체유량(bankfull discharge) 혹은 강력유량($Q_b = 3800m^3/s$)을 기준으로 하여 계산 유량으로 사용하였다.

해평 취수장 주변에서 만체유량의 무차원 소류력에 대하여 D50에 대한 입경 Reynolds 수를 도식하였다. 그 결과, 만체유량 혹은 강력유량에 대하여 유사(流砂)의 이동은 소류사보다는 부유사가 지배적인 하천으로 판단되었다. 더욱이 만체유량 혹은 강력유량에서 모래하천에서 무차원 소류력은 한계 무차원 소류력의 50배 정도이고, 자갈하천에서는 한계 무차원 소류력의 1.6배 정도이다. 향후에 하천계획 및 관리를 위해서는 부유사의 거동에 대하여 검토를 해야 할 것으로 생각한다.

4. 수치모의 수행

본 연구에서 사용된 수치모형은 Jang(2003)에 의해 제시된 모형으로 형상이 자유로운 하천의 경계에 적합하도록 일반좌표계에서 하천의 흐름 및 하상변동을 모의할 수 있도록 하였다. 흐름의 지배방정식, 연속 방정식과 운동량 방정식은 일반좌표계(ξ, η)의 계산상에서 유한 차분법을 사용하여, 수치계산을 수행하였다. 운동량방정식과 연속방정식을 풀기 위해서, 고정도 Godunov 기법으로 알려진 3차 보간 가상입자법(Cubic Interpolated Psuedo-particle Method, CIP)이 이류향에 적용되었으며, 중앙차분법이 확산향에 적용되었다. 수치해석 절차는 Jang(2003)에 의해 자세히 서술되어 있다.

흐름을 계산하기 위한 경계조건으로 상류단에서는 유량과 흐름방향으로 유속을 일정하게 하였으며, 하류단에서는 등류수심을 일정하게 하는 조건을 사용하였다. 측면에는 양쪽 외측에 흐름의 각각 방향 유속 성분을 0으로 하고 흐름방향으로는 no slip조건을 적용하였다.

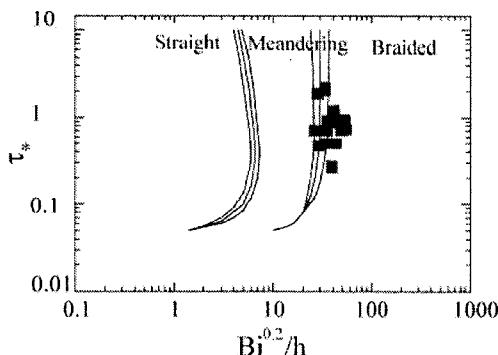


그림 3 중규모 영역구분

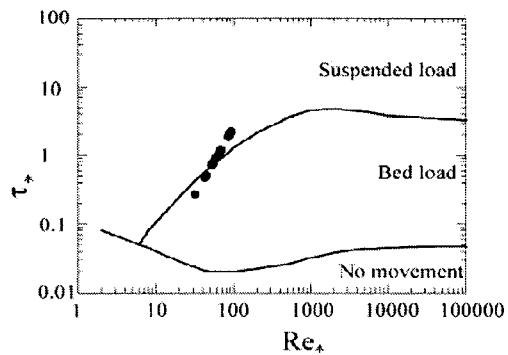


그림 4 유사의 지배특성

5. 빈도별 흐름에 대한 2차원 하상변동 모의결과 및 고찰

적용 대상구간은 해평 취수장의 부근의 8.0km 구간에 적용하였으며, 하상변동 모의를 위한 격자망은 그림 5.3에 나타나 있다. 길이방향으로 23개 횡방향으로 20개의 격자망을 구성하였다. 유량은 홍수기 유량인 $Q=2,000m^3/s$, $Q=8,000m^3/s$ 에 대하여 각각 가정하였으며, 모의 시간은 각각 200분으로 하였으며, 각 유량별 하상변동을 모의하여 보았다. $Q=2,000m^3/s$ 을 적용하였을 경우에, 상류 유입단에서는 큰 변화가 없으나, 좌안인 해평 취수장 부근에서는 약간 상승하는 것으로 평가되었다. 또한 하류단에서는 복력사주가 발생

하며, 좌안에서는 하상이 세굴되고, 우안에서는 하상이 상승되는 것을 알 수 있었다. $Q=8,000m^3/s$ 를 적용하였을 경우에, 상류 유입단에서는 큰 변화가 없으나, 해평 취수장에 유입되기 직전인 만곡부의 내측에서는 하상이 세굴되고, 해평 취수장 입구에서는 하상의 상승과 저하가 반복되면서 사주가 형성되고 있으며, 특히 취수가 유입구 부근에서는 하상이 약간 상승되는 것을 볼 수 있다. 우안인 구미 정수장 부근에서는 하상이 퇴적되며, 직하류에서는 하상이 세굴되는 것을 볼 수 있고, 좌측에는 하상이 퇴적되어 하중도의 크기가 크게 증가하는 현상을 볼 수 있다. 또한 하중도 하류단의 좌안에서는 하상이 세굴되고, 우안은 하상이 퇴적되어 사주가 발생하는 것을 볼 수 있다. 하류단 만곡부 부근에서는 하상의 세굴과 퇴적이 반복되면서, 특히 만곡부 외측에는 하상이 상승하는 것을 볼 수 있다. 따라서 유량이 $2,000m^3/s$ 일 경우에는, 해평 취수장에서는 하상이 상승하며, 구미정수장에서는 하상이 저하되고, $8,000m^3/s$ 일 경우에는 해평 취수장에서는 약간 저하되고, 구미정수장에서는 하상이 상승하나, 직하류에서는 하상이 세굴되고 가운데 있는 하중도의 크기가 커지는 현상을 볼 수 있다. 또한 하중도 직하류에서는 하중도를 중심으로 좌안인 해평 취수장과 우안인 구미정수장 쪽으로 분류된 흐름이 합류되면서 하상의 퇴적과 세굴이 반복되며, 복렬 사주가 발생하는 것을 알 수 있다. 이는 두 흐름에 의해 와(vortex)가 크게 형성되어 하상의 세굴에 영향을 미치기 때문으로 판단된다.

6. 결 론

본 연구에서는 저수로의 이동 및 하상저하로 인하여 취수문제가 있는 경상북도 구미시에 위치한 해평취수장 주변에 대하여 항공사진 분석 및 GIS 기법을 이용하여, 시간에 따른 하천 형태 변화, 저수로의 이동 특성을 조사하고 분석하였으며, 유사영역 구분 및 하도특성 분석, 하천 특성 해석에 적합한 이동경계 좌표계를 이용한 수치모형을 적용하여 2차원 하상 및 지형변동 예측을 검토하였다.

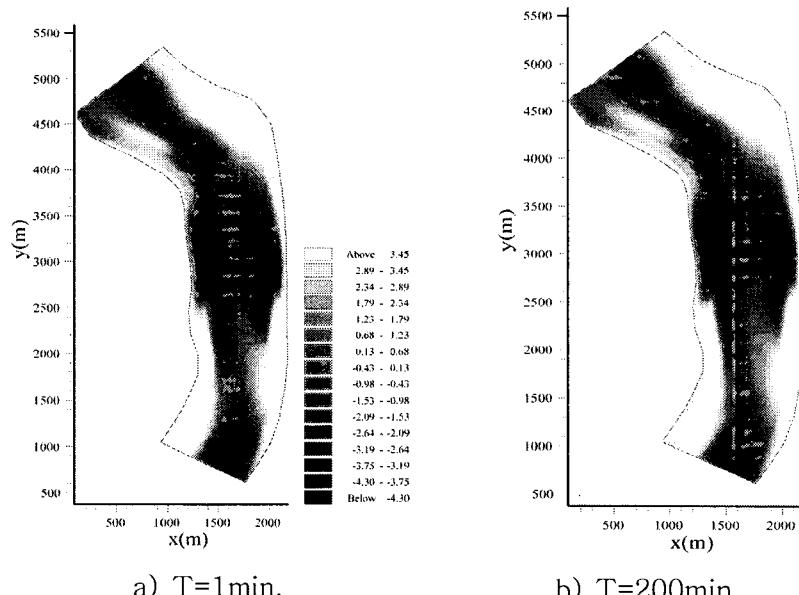
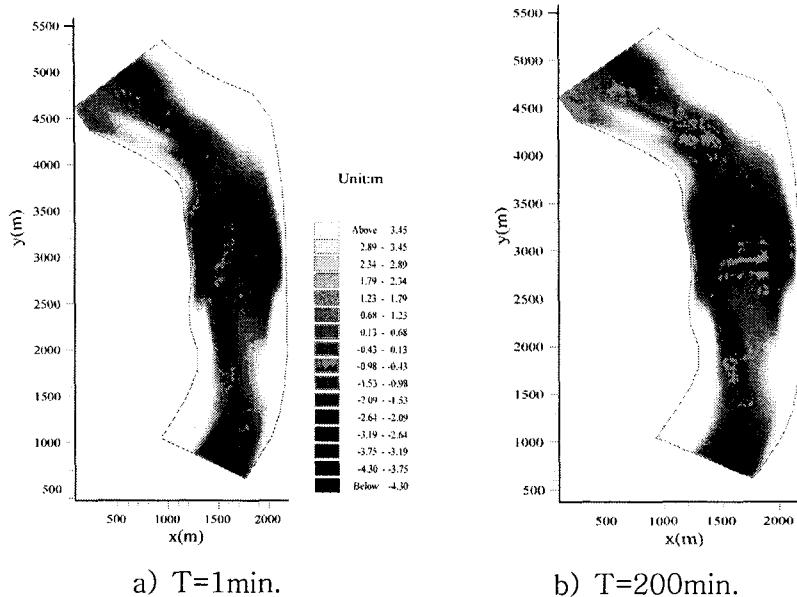


그림 5 수치모의 결과($Q=2000 m^3/s$)



a) $T=1\text{min.}$

b) $T=200\text{min.}$

그림 6 수치모의 결과($Q=8000 \text{ m}^3/\text{s}$)

- 1) 시간의 증가에 따라 저수로 하폭의 증가율이 감소하고 있으며, 수로의 측방 이동을 보여주고 있으며, 시간이 증가함에 따라 측방향 이동율이 감소하고 있다.
- 2) 만재유량을 이용하여 유사의 영역구분을 수행한 결과, 망상하천으로서, 모래하천으로 부유사가 지배적인 하천으로 판단되었다.
- 3) 2차원 수치모형을 이용하여 하상변동을 모의한 결과, 유량이 $2,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 일 경우에는, 해평 취수장 측의 하천 하상은 상승하였으며, 구미정수장 측에서는 하상이 저하되었다. 흥수유량 $8,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 일 경우에는 해평 취수장 측에서는 약간 저하하였고, 구미정수장 측에서는 하상이 상승하나, 직하류에서는 하상이 세굴되고, 하천 가운데 자리하고 있는 하중도는 커지는 현상을 보여 주었다. 또한 하중도 직하류에서는 하중도를 중심으로 좌안인 해평 취수장과 우안인 구미정수장 쪽으로 분류된 흐름이 합류되면서 하상에서는 퇴적과 세굴이 반복되며, 복렬 사주가 발생하는 것으로 나타났다. 이는 두 흐름에 의해 와(vortex)가 크게 형성되어 하상의 세굴에 영향을 미치기 때문으로 판단되었다.

참 고 문 헌

1. Jang, C.-L.(2003)."Study on the morphological behavior of the channels with erodible banks", PhD dissetation, Hokkaido University, Sapporo. Japan.
2. Nanson, G.C., and Hickin, E.J. (1986). "A statistical analysis of bank erosion and channel migration in western Canada." *Geol. Soc. Am. Bull.*, 97, 497-504.
3. Olsen, N.R.B. (2003). "Three-dimensional CFD modeling of self-forming meandering channel." *J. Hydraul. Eng.*, ASCE, 129(5), 366-372.
4. Richard, G.A., Julien, P.Y., and Baird, D.C. (2005). "Case study: Modeling the lateral mobility of the Rio Grande below Cochiti Dam, New Mexico." *J. Hydraul. Eng.*, ASCE, 131(11), 931-941.
5. Richardson, W.R. (2005). "Simplified model for assessing meander bend migration rates." *J. Hydraul. Eng.*, ASCE, 128(12), 1094-1097.
6. Xu, J. (1996). "Wandering braided river channel pattern developed under quasi-equilibrium: an example from the Hanjiang, China." *J. Hydrol.*, 181, 85-103.