

하천의 준설에 의한 지형변화와 적응



장 창 래 >>>
 충주대학교 토목공학과 조교수
 cljang@cjnu.ac.kr

1. 서론

최근에 하천에 대한 체계적인 조사 및 연구가 수행되지 않은 상태에서 골재 채취 및 하천 준설이 이루어져 왔다. 이로 인하여 하천의 급격한 하상 및 지형 변화가 나타났다. 또한 하천의 안정성, 홍수범람, 수리구조물의 안정성, 하천수를 취수하는 취수장의 취수장에 발생 등 문제점이 야기되고 있다.

하천 준설은 준설지점의 상류 하상 경사를 급하게 하며, 이것은 두부침식(headcutting)을 야기하고, 상류 수 까지 이동해 간다. 또한 본류의 하상고 저하는 지류의 하상고를 저하시키며, 하상경사를 증가시



그림 1. 하천준설에 의한 강턱침식의 예

키고, 급격한 침식을 촉발한다. 하상저하는 종종 하천의 측방향 불안전을 야기하고, 하폭을 변화시키며, 과거의 안전한 구간에서 강턱(하안) 침식과 하천의 이동을 촉발시킨다(그림 1). 또한 기존에 존재하는 평형 하천의 교란을 통하여 하천의 상하류에 불안정성이 야기된다. 천급점(遷急点, nickpoint)이 상류로 이동할 때, 하상저하 및 강턱(하안) 침식은 하류구간에 추가적인 유사 이송을 일으키며, 이곳에서 하상고가 상승하게 되어 하천이 불안정하게 된다(그림 2).

일반적으로 하천의 저수로 준설은 어떤 구간에서 대량의 골재를 채취하며, 평균 하상고를 저하시킨다. 사주는 모래와 자갈이 통과하는 임시저장 장소이며,

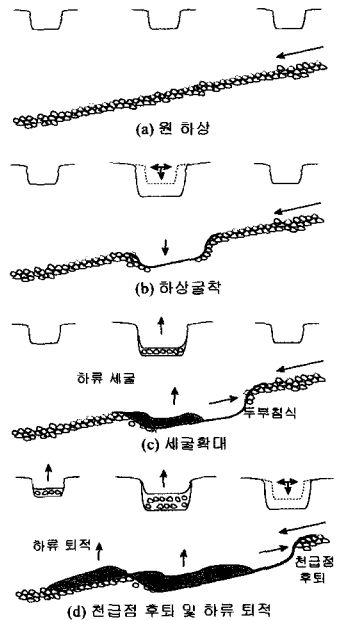


그림 2. 하천준설에 의한 하천의 종단변화(Kondolf, 1994)

대부분의 사주는 적절한 평형상태를 유지하고, 상류에서 유입하여 하류로 이송하는 하상 재료는 수년동안 평균했을 때 평형이 된다. 만약에 사주에 도달하는 모래와 자갈이 모두가 제거되면, 하류의 사주에 공급되는 것은 없어질 것이다 (Dunne 등, 1981).

하상저하에 의해 하상토의 입경은 굵어진다. 강택 침식은 하폭 확대를 촉진시킨다. 평면 변화는 사행도가 작은 사행하천을 일으킨다. 하류하천으로 증가된 유사 이송량은 하상 저하 및 불안정성을 증가시킨다. 하상저하의 동시발생은 하상토의 조립화를 야기한다. 하상토의 조립화는 어류의 산란지에서 평균입경의 크기를 증가시킨다 (Kondolf 등, 2001). 하천의 준설에 의해 발생한 유사의 결핍은 하상토에서 세립토사를 선택적으로 유실(流失)시키고, 하상에서 장갑화 현상을 발달시킨다.

2. 준설하천의 적용 과정

2.1 하천준설로 인한 웅덩이의 흐름특성

하천의 준설에 의해 하상이 급격하게 변하게 되며, 그 지점에서 수심이 증가하므로, 유속이 감소하게 된다. 이러한 영향은 물의 압력이 증가하여 흐름에 크게 감소되는 하상 부근에서 매우 중요하다. 사면 경사가 급한 경우(1:5 그리고 더 급한 경우)에, 흐름의 분리 및 역류가 발생하며, 복잡한 흐름의 형상이 나타난다. 재순환 구역(recirculation zone)에서 유속

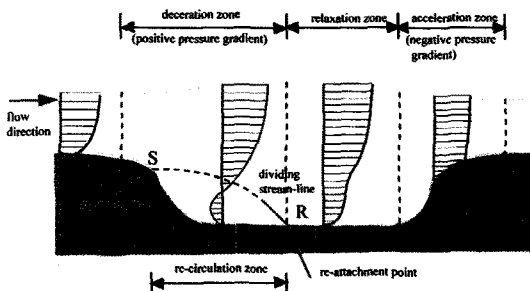


그림 3. 흐름의 모식도(L.C. van Rijn, 1996)

은 본류에 비하여 작다. 수면 부근에서 유속은 하천 준설에 의한 영향을 거의 받지 않는다. 수면층과 재순환 구역 사이(혼합층, mixing layer)에서는 난류 에너지의 발생 및 전달에 의해 지배된다. 준설 구역의 하류 끝단에서, 흐름이 회복하여 새로운 평형상태에 도달한다. 이 과정은 흐름이 가속되는 경사면에서 크게 된다. 유속 분포는 더 균일하게 되며 난류의 발생은 억제된다. 흐름에 직각인 하천의 하천 준설면에 대하여 전반적인 흐름의 형태는 도식적으로 그림 3에 나타나 있다 (van Rijn, 1996).

기본적으로, 준설 하천에서 4가지 유사이송 현상이 발생한다. 첫째, 지형학적 작용에 의한 퇴적, 둘째, 제방의 전환에 의한 퇴적, 셋째, 하천에서 소류사 및 부유사의 이송능력 감소에 의한 퇴적, 넷째, 하천에서 사면 침식에 중력의 영향에 의한 퇴적이다.

흐름이 하천 준설 구역을 통과할 때, 유사이송 능력은 감소한다. 소류사 입자와 많은 부유사 입자가 하천 준설 구역에 퇴적될 것이다. 침강작용(settling process)은 하강경사(감속구역)가 있는 지역과 중간 구역에서 지배적이다. 흐름이 분리가 되어 상대적으로 많은 난류 에너지가 발생하는 급사면에서, 침강작용이 크게 감소된다. 상승 경사면(가속구역)에서, 지배적인 작용은 유사가 하상에서 포착되고 가속된 흐름에서는 연행되어 부유사 농도가 증가된다. 퇴적면 및 침식면에서 가장 실제적인 작용은 수평 및 수직으로 작용하는 유속, 난류 및 회전류에 의한 유사 입자의 혼합, 중력에 의한 유사입자의 침강, 그리고 흐름에 의한 하상 전단력에 의해 하상에서 유사 입자

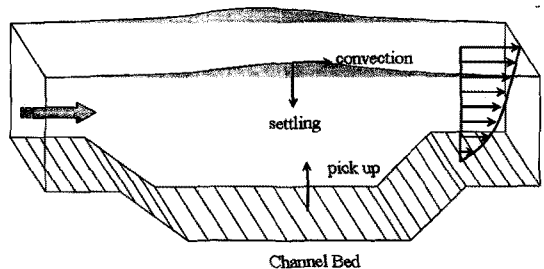


그림 4. 하천에서 침식과 퇴적(L.C. van Rijn, 1996)

의 포착에 의해 유사 입자가 운반된다. 이러한 과정은 도식적으로 그림 4에 잘 나타나 있다.

2.2 준설 하천의 반응과 적응

하천의 준설로 인하여 웅덩이(pit)가 생기게 되며, 이로 인하여 흐름 및 유사이송 특성에 영향을 주게 된다. 이러한 변화는 하상고, 하폭, 하상토의 구성 특성 등에 변화를 주면서, 새로운 평형상태에 적응해 간다. 이에 따라 웅덩이 주변에서 발생하는 하천의 지형변화 특성은 초기에 웅덩이 상류부에 침식이 발생하며, 이로 인하여 지속적으로 웅덩이 내부에 퇴적물 현상이 발생하게 된다. 또한 웅덩이 직하류는 웅덩이에서 포착된 유사에 의해 하상이 침식되게 된다. 웅덩이에 대한 유사의 퇴적물 과정에서 급격한 수심의 변화에 의하여 와(vortex)가 발생하게 되며, 흐름의 가속구간에서는 이러한 와(vortex)가 소멸하게 된다(그림 5).

웅덩이 퇴적물 과정에서 상류는 흐름이 감속되고 저면에서 회전류가 발생하여 수중안식각이 크다. 그러나 하류에서는 흐름이 가속되고 하상이 저하되며 하상이 완만해진다(그림 3과 5).

하상에서 하천 준설 및 골재 채취에 의한 웅덩이의 이동특성은 세굴심과 유효길이에 의해 결정된다. 최고의 세굴심은 유사의 이송능력이 증가할수록 감소하고 최대 유효길이는 유사의 이송능력에 따라 역으로 변한다. 웅덩이의 이동은 이류단계와 확산단계 등 두 단계로 나눌 수 있다. 이들 두 단계로 분리하는 시간은 웅덩이의 상류 경계가 원래(초기)의 웅덩이 하류 경계를 통과하는 순간이다. 각 단계에서 이동 시간은

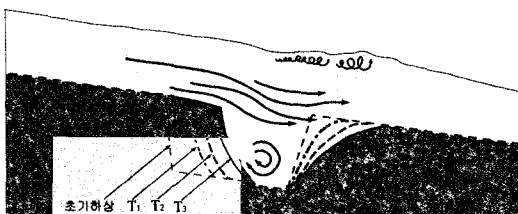


그림 5. 웅덩이 퇴적물 모식도(장창래, 2009)

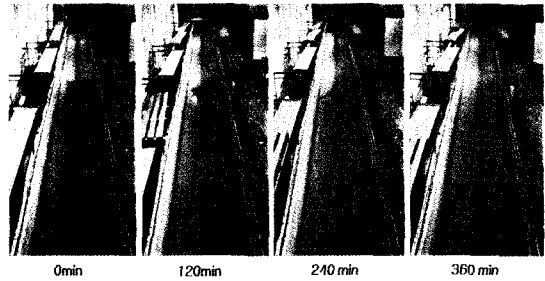


그림 6. 실내실험에 의한 준설하천의 적응과정(장창래, 2009) 유사의 이송능력과 유효길이가 증가할 때 증가한다.

최근에 이러한 준설하천의 적응과정을 실내실험과 2차원 수치모형을 이용하여 파악되었다(그림 6, 7, 8)(장창래, 2009). 하천 준설 혹은 골재 채취로 인하여 발생한 웅덩이(pit)에서 그 적응과정의 절차로서 퇴메우기가 진행 중일 때에는 웅덩이의 이동속도는 일정하지만(그림 7), 퇴메우기가 완료 된 후에는 웅덩이의 이동속도가 빠르게 진행된다. 또한 하상경사가 급할 경우에, 웅덩이의 변화에 대하여 퇴메워지는 시간이 빠르고, 웅덩이의 이동속도가 빠르다. 웅덩이의 규모가 증가하게 되면, 웅덩이의 퇴메워지는 시간이 증가하게 되며, 이것은 웅덩이의 규모가 증가할수록 적응시간이 증가한다.

우리나라에서 하천 준설 및 골재 채취가 이루어지고 있는 하천은 주로 대하천이며, 상류에는 대부분 댐이 건설되어 있다. 상류에서 건설된 댐은 하류에 공급되는 유사를 포착하며 하류에 많은 영향을 주고 있다. 하류 하천에서 하천 준설 혹은 골재 채취가 수행 될 경우에는 댐과 골재 채취의 영향을 동시에 받게 되며, 하류 하천에 많은 영향을 미친다. 상류에서 유입 유사량이 적은 경우에 초기에는 웅덩이의 퇴메우기 과정이 진행되고 있으며, 시간이 증가하면서

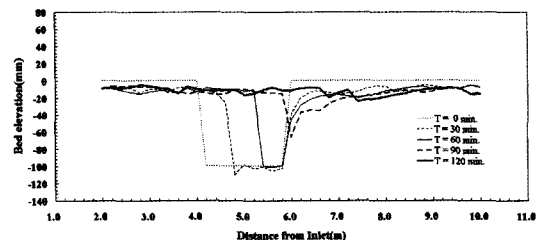


그림 7. 종방향 하상고의 변화(장창래, 2009)

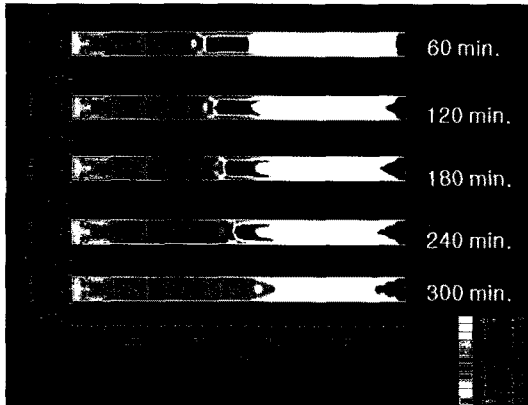


그림 8. 수치모의에 의한 준설하천의 적응과정(장창래, 2009)

웅덩이 되메우기 과정은 일정한 안식각을 유지한 채로 지속되고 있으나, 웅덩이 이동속도는 느리다(그림 5와 7). 그러나 웅덩이의 되메우기가 완료되면서, 그 이동속도는 빠르게 된다.

초기에 발생한 두부침식은 시간이 증가하면서 상류로 전파되고 있다. 또한 웅덩이 하류에서는 웅덩이의 유사포착에 의해 하류로 공급되지 않기 때문에 하상이 지속적으로 저하된다. 상류에서 공급되는 유사량이 많은 경우에는 시간이 증가하면서 웅덩이 되메우기 과정이 매우 빠르게 진행되고 있으며, 상류에서는 하상이 지속적으로 상승된다. 웅덩이의 되메우기가 완료된 후에는 유사가 하류로 이동하여 웅덩이 하류부에서 하상고가 상승하고 있다. 상류에서 공급되는 유사량이 적은 경우에는 하천 준설로 인한 하천의 영향이 상류와 하류로 전파되고 있으며, 유사 공급량이 증가하면 하천 준설로 인한 교란하천이 적응하는 시간이 상대적으로 빠르다.



그림 9. 전면 어도식 개념을 도입한 지류의 하상유지공의 예

3. 준설하천의 영향 저감 방안

많은 하천에서 댐에 의한 유사포착, 제방 보호로 인한 저수로의 고정화, 제방에 의한 홍수터 범람의 감소, 하천에서의 골재 채취 및 하천 준설 등과 같이 하도 내에 하천의 하상 및 지형변동에 대한 여러 잠재적인 요인들이 동시에 작용할 수 있다.

하천에서 유사의 이송은 유량이 증가하면 유사의 이송량도 증가하게 된다. 대부분의 하천에서 많은 양의 유사이송은 홍수기와 같은 짧은 시간 내에 발생하고, 이러한 일시적인 현상은 하천의 하상 및 지형변동에 크게 영향을 미친다.

하천에서 준설 및 골재 채취의 영향은 하천에 작용하는 인위적인 충격에 대한 응답 작용의 특성으로서 유사의 이송이 상하류로 전파되는 하상의 불안정성과 같은 결과이기 때문에 단시간내에 뚜렷하게 나타나지는 않는다. 하천에서는 지형학적으로 눈에 띄는 유사의 이송이 빈번하지 않기 때문에, 하천 준설의 영향이 하도를 따라 전달되어 그 영향이 뚜렷하게 나타나기까지는 수년정도 걸리게 된다. 더욱이 초기의 하천 준설은 하도에 공급되는 유사와 하도에서 이송하는 유사량을 일시적으로 제한함으로써 하안의 경사를 증가시키고 침식을 일으키며, 지류로 그 영향을 전달하여 두부침식을 야기한다. 이러한 영향을 방지하거나 저감시키기 위하여, 생태계를 고려한 전면 어도식 개념을 도입한 하상유지공 등이 도입되어야 한다(그림 9).

하상저하는 종종 하천의 축방향 불안전을 야기하고, 하폭을 변화시키며, 과거의 안전한 구간에서 하



그림 10. 하안침식 방지를 위한 자연친화적 수제공법의 예

안 침식과 하천의 이동을 촉발시킨다. 강탁(하안) 침식 과정은 하안의 크기, 기하학적 형태 및 구조와 하안을 구성하는 재료의 공학적 특성에 따라 결정되므로, 그 특성을 정확하게 이해하는 것은 매우 중요하다. 따라서 하천 준설로 인한 그 영향을 저감시키기 위하여, 생태계를 고려한 자연친화적 수제의 공법을 도입해야 한다 (그림 10).

4. 결론

지금까지 하천 준설 혹은 골재 채취로 인한 하천의 물리적 변화와 이에 대한 적응과정을 소개하였다. 하천은 일반적으로 장기 복원력을 가지고 있으며, 이는 하도가 하상굴착이나 자연적, 인위적인 교란에 대하

여, 오랜 시간이 지난 후에 하도 자체적으로 새로운 환경에 적응하여 평형상태를 유지하게 된다. 그러나 이러한 평형상태에 도달하기까지는 일시적으로 강탁(하안)침식, 하상토의 입경변화, 수리구조물의 안정성 저하 등 문제가 발생되고 있으며, 기본적으로 홍수에 안정하며, 하천 환경과 조화를 이룰 수 있는 방안이 모색되어야 한다. 특히, 하천의 특성을 정확하게 파악하고, 개개의 특성에 맞도록 생태계의 영향을 최소화 하면서 주변 경관과 어울릴 수 있는 적극적인 방안 필요하다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 및 한국건설교통기술평가원 건설핵심기술연구개발사업의 연구비지원(06건설핵심B01, ECORIVER21)에 의해 수행되었습니다. ☺

참고문헌

1. 장창래 (2009). 교란하천의 적응현황 및 메카니즘 분석, 자연과 함께하는 하천복원 기술개발 (ECORIVER21) 기술 보고서.
2. Dunne, T., W.E. Dietrich, N.F. Humphrey, and D.W. Tubbs.(1981), "Geologic and geomorphic implications for gravel supply." Proceedings of the Conference on Salmon-Spawning Gravel: A Renewable resource in the Pacific Northwest, Washington Water Resource Center, pp.75-100.
3. Kondolf, G.M. (1994), "Geomorphic and environmental effects of instream gravel mining." Landscape and Urban Planning 28, pp.225-243.
4. Kondolf, G.M., Smeltzer, M., and Kimball, L. (2001), "Freshwater Gravel Mining and Dredging Issues" Water Paper, Washington Dept. of Fish and Wildlife, Washington Dept. of Ecology, Washington Dept. of Transportation.
5. van Rijn, L.C.(1996), Sedimentation of dredged channels and trenches, Handbook of coastal and ocean engineering(ed. by Herbich, J.B.), pp.611~650.