고분자응집제를 이용한 건설현장 탁수처리

Turbidity Reduction for Construction Runoff Using Polyacrylamide

강지훈

Jihoon Kang

요 지

많은 건설사업장의 경우 토사 유출에 따른 고농도 탁수가 발생하며, 그 탁도를 낮추기 위해 침전지 혹은 토사탈수백 등의 Best Management Practices(BMPs)를 이용한다. 본 연구에서는 유입되는 탁수에 고분자응집제인 polyacrylamide(PAM)를 액상으로 주입하고, 침전지와 토사탈수백을 통해 탁도를 저감하는 field-scale 실험을 수행하였다. 일반적으로 침전지 중간에는 유입되는 물의 힘을 분산시키기 위해 배플이라는 구조물이 설치되는데, 본 연구결과에 따르면 PAM을 통한 화학적 처리 없이 배플 자체로는 탁도를 낮추는 데 그 효과가 낮았으나, PAM주입을 할 경우 배플 설치 여부에 상관없이 90-98%까지 방류수 탁도를 낮출 수 있는 것으로 나타났다. 침사지 이후에 설치한 토사탈수백은 그 효과가 낮았으나, 침사지 없이 토사탈수백만 사용할 경우 PAM을 이용한 화학적 처리 없이는 만족할 만한 방류수 탁도를 기대하기 어려웠다. 본 연구결과는 향후 미국에서 면적 10에이커 이상의 공사현장에 적용되는 탁도 규제에 대한 대응 방안으로 PAM을 이용한 탁수 처리의 효용성을 보여준다.

핵심용어 : Baffle, Erosion, Polyacrylamide, Sediment Bag, Stilling Basin, Turbidity

1. 서론

전세계적으로 인간의 토지 사용에 따라 발생하는 토사 및 탁수 유출은 지표수 및 해양 수질오염의 주요 인이 된다(US EPA, 2009). 미세토사와 함께 수계로 유입되는 오염 물질 등은 부영화 등 수질오염을 일으킬 수 있으며, 탁수 자체로는 수중으로 투과되는 빛을 차단하고 용존산소의 양을 감소시켜 수중생태계를 오염시킬 수 있다. 특히 건설사업장은 농경지와 같은 토지 사용에 비해 groundcover가 적어 강우에 따른 토사유출정도가 심하다(Pitt et al., 2007). 건설현장에서 흔히 사용되는 토사유출 저감기술들은 크게 토사유실 방지기술(erosion control)과 우수와 함께 유실되는 토사가 인근 수역으로 유입되는 것을 제어하는 토사유출 제어기술(sediment control)로 구분된다. 이러한 제어기술들을 이용한 BMPs(Best Management Practices) 대부분은 물리적인 처리 방법(침전, 여과)으로서 점토(clay)와 같은 미세입자의 경우 침전속도가 느려 효율적인 유출제어가 어렵다(Line and White, 2001). 따라서 실제 건설현장에서 적절한 BMPs들이 적용되더라도 최종 유출수의 탁도는 수천에서 수만 NTU(Nephelometric Turbidity Unit; NTU)까지 이를 수 있다(McCaleb and McLaughlin, 2008).

미국 환경부(EPA)에서는 건설사업장 탁수 유출을 최소화하고자 effluent limitation guideline(ELG)을 2009년 말 공포하였는데, 이에 따르면 20에이커가 넘는 면적의 건설사업장의 경우 일 최대(daily maximum) 방류수 탁도가 280 NTU 이하가 되어야 한다. 이 탁도 규제를 맞추기 위해서는 응집제를 이용한 화학적 처리가 불가피할 것으로 예상되며, EPA에서는 고분자폴리머 계열 혹은 바이오폴리머 계열의 응집제 적절한 사용을 권고하고 있다. 본 연구에서는 토사유출제어를 위해 흔히 사용되는 침사지(stilling basin)와 토사탈수백(sediment bag) 조건에서 화학적 처리를 통한 탁수 저감에 대해 살펴보고자 한다.

* 정회원・코오롱글로벌 R&BD Center 선임연구원・E-mail : kangji98@gmail.com

2. 침사지와 토사탈수백을 이용한 Field-scale 야외실험

침사지는 택지공사와 같은 현장에서 최종 방류 직전에 토사 및 부유 물질을 모아 침전시키는 용도로 쓰인다. 또한 지하 공사 및 교량 교각부 기초공사를 위한 가시설 또는 가물막이 공사를 할 경우 시설 내부에 지하수/하천수가 침투되는데, 이 때 침사지를 만들어 부유물질을 침강시키기도 한다. 일반적으로 침사지 내에서의 토사 체류시간은 24시간 이하이며, 이 때 sand나 silt들이 침전한다. 하지만 clay 크기 입자의 경우 침강속도가 느려 상등수는 여전히 혼탁한 경우가 많다. 본 연구에서는 field-scale의 침전지, 토사탈수백의 BMP를 설치하고, 유입되는 탁수에 액상의 PAM을 주입하는 실험을 수행하였다. 전체적인 실험방법은 흐르는 물에 토사를 유입해 탁수를 만들어 mixing basin에 저류하고, 그 탁수를 침사지(stilling basin)로 양수하였다(Fig 1). 사용된 토사는 Lumberton 토양통(soil series)으로서 sandy clay loam 토성(soil texture)을 가졌으며, clay 함유량은 32%였다. 침사지(stilling basin)내 배플(baffle) 설치에 따른 탁도 저감을 비교하기 위해 총 3가지 다른 종류의 배플(No baffle, Rock baffle, Jute/Coir baffle)을 테스트별로 설치하였고, 방류 직전에는 토사탈수백(sediment dewatering bag)을 설치하여 침사지 유출수에 대해 부가적인 탁도 저감이 가능한지 테스트하였다. 배플은 침사지 중간에 유입되는 물의 힘을 분산하는 역할(energy dissipator)을 하며, 흔히 바위들을 쌓아서 만들거나 혹은 jute 및 coir와 같은 열대나무로 만들어진 네트를 설치하곤 한다.

화학적 처리를 위해서 mixing basin에서 stilling basin으로 유입되는 탁수에 대해 peristalic pump를 이용해 액상의 polyacrylamide(PAM)을 주입하였으며, 유입 탁수 유량 대비 PAM 주입 농도는 5 mg L^{-1}였다. 본 실험에서는 총 3가지 종류의 PAM(대조군(No PAM), 중성 PAM, 그리고 양성 PAM)을 테스트별로 주입하였다. PAM의 전하는 제조방법에 따라 음성, 중성, 양성을 띨 수 있는데, field-scale 실험 이전에 예비 Jar Test를 통해 탁도 저감 효율을 비교해 본 결과 음성 PAM보다는 중성(N300) 및 양성 PAM(N9909)이 더 효과적이었다(data not shown). 따라서 field-scale 실험에서는 중성과 양성을 띤 PAM만 사용되었다. 탁수 채취는 mixing basin 내 (유입 탁도), stilling basin exit (침사지 후 탁도), 그리고 sediment bag exit (최종방류수)에서 2분 간격으로 이루어졌으며, 총 실험은 약 95분간 진행되었다. 채취된 샘플에 대한 탁도는 Analite NEP 260 Turbidity probe(McVan Instruments, Melbourne, Australia)로 측정하였다.

토사탈수백은 geotextile로 제조되며, 침사지를 건설할 공간이 없거나 탁수를 양수하기가 어려운 상황에서 침사지의 역할을 할 수 있다. 본 연구에서는 위 침사지 실험과 유사한 유입탁도 조건에서 침사지 없이 토사탈수백에 의한 탁도 저감도 살펴보았다.

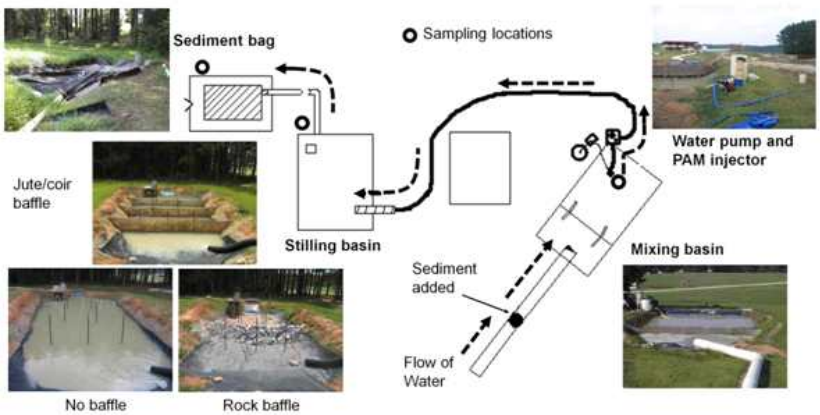

Fig 1. Schematic layout of the simulated borrow pit operation consisting of mixing basin, dosing system for liquid polyacrylamide (PAM), stilling basin, and sediment bag (not to scale).

3. PAM 주입을 통한 탁도 저감 결과

전반적으로 침사지 자체로는 설치된 배플 종류에 상관 없이 탁도 저감효과(2~16%)가 낮았으나 PAM 주입 시에는 큰 탁도 저감효과를 보여주었다(Fig 2). 양성 PAM을 주입할 경우 99%의 탁도 저감효과(<5 NTU)를 보여줬으며, 중성 PAM의 경우 90%(<100 NTU)까지 탁도를 저감시켰다. 침전지 내 설치된 배플 종류는 화학적처리 여부에 관계없이 탁도 저감 효과에 있어 통계적으로 유이한 차이를 보이지 않았다(P>0.05). 일반적으로 다공성 배플의 경우 굵은 입자의 토사가 유입될 경우 침사지에서 그 효과가 높은 것으로 알려졌으나(Thaxton and McLaughlin, 2005), 본 실험에서의 경우와 같이 미세입자가 유입될 경우 그 효과는 크지 않았다.

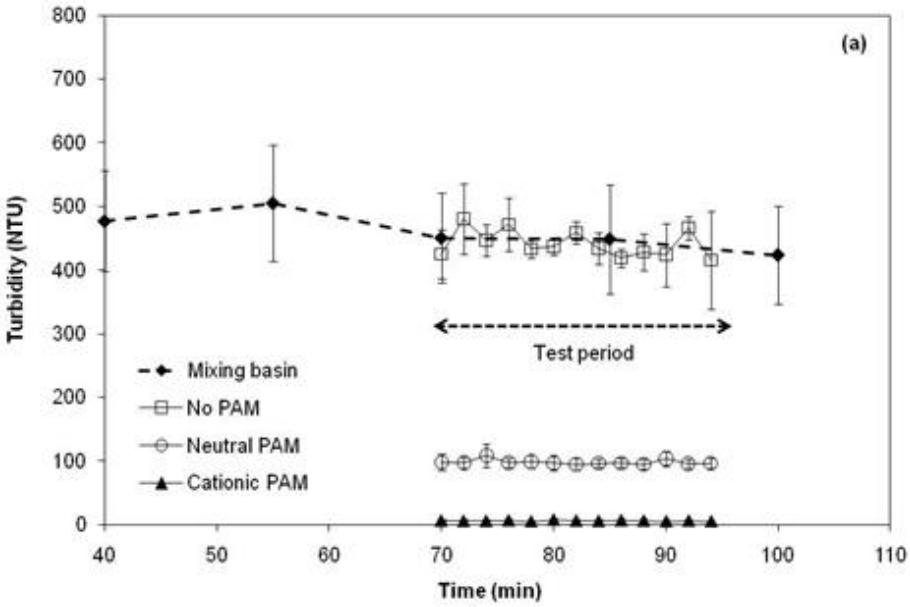

Fig 2. Turbidity in stilling basin exit affected by polyacrylamide (PAM) with Lumberton sediment. Data points represent mean turbidity averaged across baffle types and the error bars represent standard error of the mean for each point.

일련으로 연결된 침사지와 토사탈수백의 탁도저감 효과를 살펴하기 위해 유입 탁도에 대해 침사지 출구(stillin basin exit), 토사탈수백 출구(sediment bag exit)의 상대농도를 비교하였다(Fig 3). 응집제를 통한 화학적 처리를 한 경우 대부분의 탁도 저감은 침사지 내에서 이루어졌으며, 특히 양성 PAM의 경우 배플 종류에 상관없이 침사지 출구에서 90%이상의 탁도 저감을 나타냈다. 중성 PAM의 경우 침사지 출구에서 약 55~75%의 탁도 저감을 보였으며, 후단에 설치된 토사탈수백을 통해 10~15%의 부가적인 탁도 저감을 나타냈다. PAM을 사용하지 않은 대조군의 경우 침사지를 통과한 탁수는 토사탈수백에서도 거의 그 탁도가 저감되지 않았다. 본 결과는 침사지 이후에 설치된 토사탈수백은 탁도 저감에 있어 화학적 처리 여부와 상관없이 그 효과가 저조했다는 것을 나타낸다.

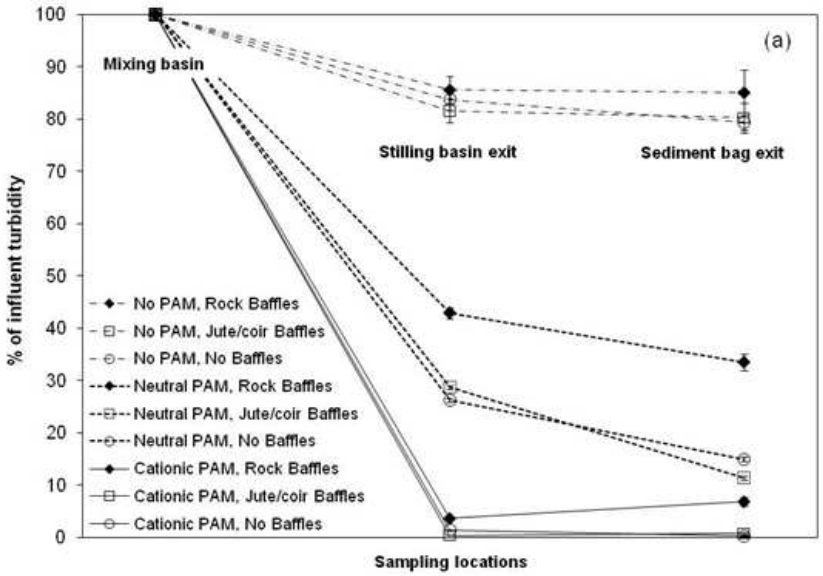

Fig 3. Turbidity (% of influent) affected by baffle types and polyacrylamide (PAM) treatments. The error bars represent standard error of the mean for each point.

침사지 없이 토사탈수백만 사용했을 경우 탁도 저감효과는 Fig 4에 나타나 있다. 화학적 처리가 없는 토사탈수백의 경우 화학적 처리 없이는 그 탁도 저감효과가 낮았으며(18%), 양성 PAM을 주입했을 경우 안정적으로 유출수 탁도를 13 NTU이하(98% 탁도 저감)로 유지시킬 수 있었다. 토사탈수백의 경우 침전지 설치에 비해 훨씬 적은 공간이 필요하며 초기 비용이 저렴하다(McLaughlin, 2008). 하지만 본 실험 중에 발견된 점은 토사탈수백 내에서 PAM과 반응해 생긴 플락(floc)이 사용 시간이 지나면서 그 탁수투과율을 저감시킨다는 것이었다. 이는 PAM을 토사탈수백과 사용 할 때 그 교체시기가 빨라 질 수 있다는 것을 의미한다.

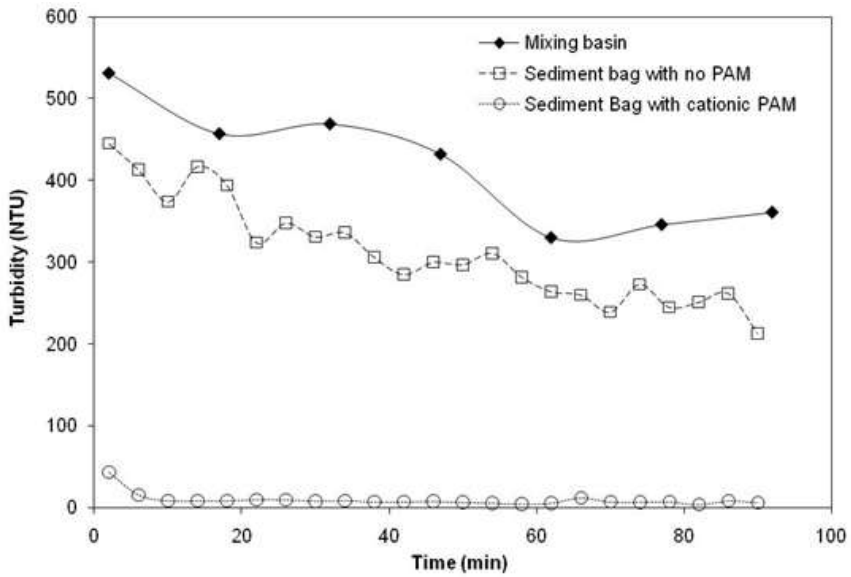

Fig 4. Turbidity change of turbid water (Plymouth sediment) pumped through a sediment bag with and without 5 mg L^{-1}cationic PAM.

3. 결론

액체상의 PAM을 간단한 펌프장치를 이용해 유입 탁수에 주입하는 실험을 수행한 결과 중성 혹은 양성 PAM 모두 만족할 만한 탁도 저감을 보여주었다(85-99%). 화학적 처리 없이 침사지 혹은 토사탈수백을 사용할 경우 만족한 말한 방류수 탁도를 기대하기 어려웠다. 또한 침사지에 흔히 설치되는 배플의 경우에도 화학적 처리 없이는 그 탁도 저감효과가 낮았다. 따라서 미세 입자가 다량 함유된 탁수의 경우 PAM 주입과 같은 화학적 처리를 통해서만이 그 방류수 탁도를 낮출 수 있을 것이다. 한편 양성 PAM의 경우 고농도로 수생태계에 방류될 경우 독성 문제를 야기할 수 있다. 따라서 이러한 독성 문제를 방지하고자 한다면 양성 PAM만큼 탁도 저감에 효과적이진 않지만 중성 PAM의 사용도 법적 규제 이내의 방류수 탁도(<280 NTU)를 만족시킬 수 있을 것이다.

감 사 의 글

본 연구는 미국 노스캐롤라이나 교통국(NC Department of Transportation)의 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. Pitt, R., S.E. Clark, and D. Lake. 2007. Construction site erosion and sediment controls. DESTech Publications, Lancaster, PA.
2. US EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 2009. Development document for final effluent guidelines and standards for the construction and development Category (EPA-821-R- 09-010). Washington, DC.
3. Line, D.E., and N.M. White. 2001. Efficiencies of temporary sediment traps on two North Carolina construction sites. Transactions of American Society of Agricultural Engineers 44(5): 1207-1215.
4. McCaleb, M.M., and R.A. McLaughlin. 2008. Sediment trapping by five different sediment detention devices on construction sites. Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineering 51(5): 1613-1621.
5. Thaxton, C.S., and R.A. McLaughlin. 2005. Sediment capture effectiveness of various baffles types in a sediment retention pond. Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineering 48(5): 1795-1802.
6. McLaughlin, R.A. 2008. Soil facts: Chemical turbidity control in pumped construction site water. North Carolina Cooperative Extension Service AG-439-68W.