

사주에서의 식생거동과 수리 및 지형특성의 관련성

Hydraulic Effect on Vegetation Behavior in the Sand Bar

김진홍*, 양전영**

Jin Hong Kim, Jeon Young Yang

요 지

생태계에서 식생의 중요성은 식물이 일차적인 생산자로서의 역할뿐만 아니라 홍수 조절과 토양 등 지형의 여러 가지 환경요인을 변화시킨다. 일정 구간의 식물상과 식생분포는 그 하천의 환경요인과 밀접하게 연관되어 있으며, 환경요인의 변화에 따라 식물상과 식생도 영향을 받게 된다. 특히, 홍수 전·후에는 수중 및 수변에 분포하는 식물들에게 극히 민감하게 작용되고, 그 영향도 광범위하게 나타난다. 자연생태계에 있어 식생의 변화양상은 환경요인의 변화에 따라 달리 형성된다. 즉, 일정지역의 식물상과 식생은 지형, 토양(하상입경의 크기), 수리 특성 등과 밀접하게 연관되어 있으며 이들 요인이 변하면 식물상과 식생도 영향을 받아 식물군락의 공간적 분포범위가 구별된다. 특히, 하천에서는 유수에 의한 지형 형성 과정이 역동적이며, 유수량과 수위의 계절적 변화가 심하여 식생의 구조, 공간적 분포가 다양하게 나타난다.

우리는 서울의 대표적인 도심 하천 중 하나인 도림천을 대상으로 조사하였다. 도림천을 4구간으로 홍수 전(4~7월), 홍수 후(8~10월)로 나누어 월별로 식생의 분포와 거동특성, 수리·수질적인 특성에 대해 결과를 도출하였으며, 연구 결과를 통해 식생 별 하상입경의 변화와 하상변동, 세굴 및 퇴적 등을 분석하였다.

핵심용어 : 사주, 식생, 흐름유속, 프루드 수

1. 서 론

하천에서의 식생은 생태계적으로 중요한 역할을 한다. 하지만, 유수의 흐름과 하상물질의 운송에 영향을 미친다. 그러므로, 식생의 증가로 인한 하천 관리는 매우 중요하다. 최근의 많은 연구결과를 살펴보면 하상에서의 지형적인 특징과 식생의 변화를 쉽게 이해할 수 있다.

도림천은 관악산에서 발원하여 안양천으로 흘러 들어가는 7.2km의 한강의 제 2지류 하천이다. 상류 부분의 하도는 직선형으로 정비되어 있으며, 하도 양쪽에는 콘크리트 옹벽이 세워져 있고, 유속을 조절하기 위한 폭 4~5m의 콘크리트로 포장부분이 있다. 중·하류 부분에는 지하철 교각이 20m간격으로 설치되어 있으며, 구로구 신도림동과 양천구 신정동의 경계에서 안양천에 합류한다. 하도는 직선형으로 정비되어 있으며, 하상 경사는 하류부 1/720, 중류부 1/440, 상류부 1/100을 이루고 있다. 그리고, 하류 지역인 신림 4, 8동 지역은 비가 많이 오면 상습침수지역으로서 무엇보다도 도림천의 가장 큰 문제는 도심하천의 특성상 건천화가 계속 진행되고 있다는 점이다. 도림천의 지류가 되는 작은 개천들이 무분별한 복개 작업으로 인해 충분한 유량을 공급해 주지 못하고 있으며, 하천의 가장 큰 수원 중 하나인 지하수가 하천 양쪽의 건물들로 인해 지하수면이 내려가게 되어 유량 부족이 심각하다는 점이다. 이러한 결과로 지하수가 하천에 물을 공급해 주지 못하고 오히려 하천의 물이 지하로 스며들어 건천화가 더욱 빠르게 진행되는 현상이 나타난다. 그리고, 도림천의 상류부는 풍부한 유량에 깨끗한 수질을 보이지만, 서울대학교 신축공학관 아래의 우수관을 기점으로 오수의 유

* 정회원·중앙대학교 토목공학과 교수·E-mail : jinhkim@cau.ac.kr

** 정회원·중앙대학교 토목공학과 석사과정·E-mail : didwjsdud@hanmail.net

입으로 인해 급격하게 오염도가 증가하고 있는 실정이다.

2. 고수부지 식재 현황 및 지형적 변화

2.1 대상유역 식재 현황

본 조사에서는 사주에서의 식생의 활착, 흐름 거동 및 홍수 시 변화 등에 대해 그림1에서와 같이 4구간으로 구분하여 매월 1회씩 정량적으로 조사 실시하였다. 최근 도림천에는 옹벽에 덩굴식물을 식재하여 녹화사업을 실시하였고, 2지점 우안 고수부지 비수충부 지점에는 물억새, 갯버들 등의 수생식물을 식재하였다. 그림2를 보면 옹벽녹화는 덩굴식물 전면 바닥에 화단을 폭 0.5m, 길이 415m에 걸쳐 설치하고 맥문동을 식재하였으며, 이들 식물이 잘 활착되도록 전면에 스크린(대나무와 rope등으로 조립)을 설치하였다. 그러나 현재 식재된 덩굴식물은 동절기에 식재된 특성상 성장이 충분하지는 않다. 고수부지에는 정수식물을 식재하였는데, 2지점(양산교~충무교 구간)을 살펴보면 기존 고수부지에 활착된 환삼덩굴과 고마리를 제거하고 그림3에서와 같이 물억새와 갯버들을 식재하였다. 이 지점은 비수충부로서 흐름의 소류력을 주변 지점보다 덜 받는 지점이나, 하상경사가 급하기 때문에 홍수시 흐름에 의한 식물의 유실이나 훼손의 우려가 있다. (1구간 : 서울대 지점, 2구간 : 썩고개 지점, 3구간 : 봉천천 합류지점, 4구간 : 안양천 합류지점)

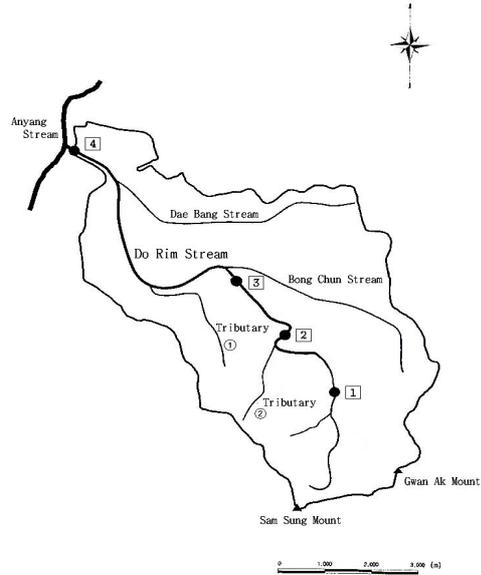


그림 1. 도림천 유역도



그림 2. 옹벽에 식재된 덩굴식물



그림 3. 고수부지 식재모습

2.2 지형적 변화

조사 구간은 총 4개의 구간이나 가장 많은 변화를 보인 2지점을 대표 지점으로 살펴보도록 하자. 하상 높이의 변화를 알기 위해 유수 흐름 방향의 우안으로부터 1m 간격으로 측정 조사하였다. 그림4는 2지점의 총 12m 하폭의 횡단면도를 보여준다. 조사 기간은 4월~10월까지 월별로 조사하였으나, 홍수 후 큰 변화를 보인 7월을 기점으로 5월부터 9월까지의 조사내용을 기재하였다. 홍수 전인 5월, 6월은 2지점이 건천화 현상으로 인해 비수충부의 토사 퇴적현상은 발생하지 않았다. 2지점에 식재 된 물억새, 고마리, 갯버들의 서식 여건을 고려 할 때, 2지점의 지형 여건 및 추후 지형 변화는 다음과 같이 예측 될 수 있었다. 첫째, 비수충부로서 모래, 자갈이 일부 퇴적 될 것이다. 둘째, 일부 퇴적된 지점을 시작으로 식생 활착은 활발해질 것이다. 셋째, 식생 활착은 흐름의 유속과 소류력을 감소시키므로 모래퇴적은 진행될 것이다. 위 지형 변화의 예측은 홍수기 이후의 하상 높이와,

입경가적곡선, 추후 모니터링을 통해 조사되었다.

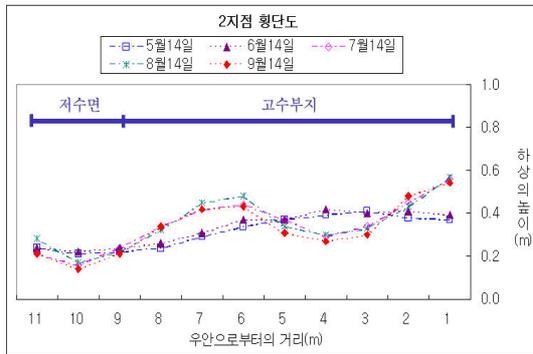


그림 4. 2지점 12m 하폭의 횡단면도

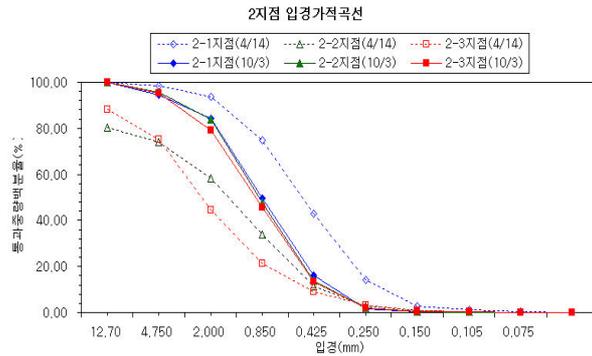


그림 5. 2지점 홍수 전, 후의 입경가적곡선

그림4를 살펴보면 7월 달을 기점으로 홍수 전(5, 6월)과 홍수 후(7, 8, 9월) 하상의 변화를 알 수 있다. 유량이 많아지는 홍수 시 상류로부터 자갈의 이송으로 세굴 및 퇴적이 진행되어 하상의 변화가 발생되었다. 그림4에서 우안으로부터의 거리 8~11m사이에는 저수면으로서 많은 변화를 보이지는 않지만, 1~8m까지는 식재 구간으로서 홍수 전·후를 비교하여 봤을 때, 3m 지점에 세굴이 되며, 홍수 전에 비해 많은 양의 자갈이 퇴적된 것을 알 수 있다. 7월을 기점으로 홍수 후에는 식재 구간에 하상의 변화가 안정적으로 진행되며, 그림6을 통해 2지점의 홍수 전·후의 하상 변화를 알기 쉽게 살펴 보도록 하자.



(a) 4월14일



(b) 7월14일

그림 6. 홍수 전·후의 세굴, 퇴적 변화

2지점은 고마리 표토층의 일부가 느슨해졌으며, 7월14일 큰 강우가 발생하면서 고마리 식재 부분(우안 고수부지)에 흐름이 형성되어 고마리가 유실되고, 고수부지 전면부는 흐름의 소류력으로 인한 침식, 입경이 큰 자갈과 돌이 퇴적되었으며, 수로가 형성되어 하중도가 생겨났다. 우리는 2지점을 그림6에서 보는 것처럼 아래에서 위 방향으로 각기 다른 식재가 심어진 3개의 지점으로 세분화시켜, 2-1지점(고마리), 2-2지점(물억새), 2-3지점(갯버들)의 입경 크기를 홍수 전·후로 나누어 비교 분석하였다. 그림5 입경 측정 결과를 바탕으로 홍수 전·후의 입도를 분석하면 대상 하천은 대체적으로 급격한 유량의 증가로 유속이 빠르기 때문에 하상 입경에 자갈이 많이 분포되었다. 도림천 4개의 지점 중 가장 많은 변화를 보인 구간은 2지점으로서 흐름방향의 우안에 위치한 식생구간에는 유량, 유속의 증가로 인한 세굴, 퇴적 작용으로 2-1지점(고마리 식재 구간)은 유실되어 전반적으로 하상고가 낮아졌으나, 상류로부터 떠내려 온 돌덩이들로 일부 퇴적이 발생되어 입경이 굵어졌다. 2-2지점(물억새 식재 구간)을 살펴보면 2-1지점에서 세굴된 모래 등이 2-2지점에 퇴적되면서 입도분포는 홍수 전(4월14일) 측정시보다 나아진 상태로 변했으나, 입자의 크기는 전체적으로 작아진 것을 알 수 있다. 2-3지점(갯버들 식재 구간)도 2-2지점과 같이 입경이 작아진 것을 알 수 있다.

3. 식생거동특성

가장 많은 변화를 보인 2지점은 비수충부로서 고수부지의 표고가 저수로의 표고보다는 상대적으로 높아 식생활착여건에 좋았다. 식생 영역에는 기존 환삼덩굴과 고마리 군락을 일부 제거하고 물억새와 갯버들을 인공적으로 식재하였다. 물억새는 외떡잎식물 벼목 화본과의 다년생으로 굵은 뿌리 줄기가 옆으로 뻗으면서 줄기가 군데군데 나오는 특징을 가지며, 고마리는 양지바른 들이나 냇가에서 자라며 높이 약 1m로서 덩굴성 1년생이다. 갈대, 달뿌리풀과 같이 수질정화에 큰 효과가 있다. 갯버들은 버드나무과에 속하는 낙엽 활엽 관목으로서 하천 수변 또는 들판의 습지에서 자라며 높이 1~2m이고 뿌리 근처에서 가지가 나오는 특징을 가진다. 2지점은 홍수 전에는 비수충부로서 일부 모래, 자갈이 퇴적되며 퇴적된 지점을 시작으로 식생활착은 활발해질 것으로 보였으나, 4월 말 작년 동절기에 고사된 고마리를 걷어내는 과정에서 표토층의 일부가 느슨해지며 그림7을 보면 알 수 있듯 7월14일 큰 강우 후 고마리 성장 지점(고수부지 전면부)에 흐름이 형성되면서 고마리가 유실되고 입경이 큰 자갈과 돌이 퇴적되었다. 고수부지 일부는 유실되고 수로가 형성되어 하중도가 생겨났다. 반면, 물억새와 갯버들 식재 구간은 고수부지 내측에 위치해 있어 흐름의 소류력으로부터 피해를 덜 받았다.



(a) 고마리 식생구간 유실 및 퇴적

(b) 고수부지 일부 유실 및 하중도의 형성

그림 7. 2지점 변화 모습

아래 그림8을 통해 3월14일부터 11월14일까지 2지점의 고마리, 물억새, 갯버들 식생 변화를 살펴보도록 하자.



3월



4월



5월



6월



7월



8월



9월

10월

11월

그림 8. 2지점 월별 식생 활착 모습

2지점의 경우 6월까지의 큰 흐름이 없어 하상입경의 변화와 식생 영역에 큰 변화가 없었고 도심하천의 특성상 수량이 적어 수변하상은 드러나는 양상이다. 갯버들은 잘 자라는 반면 물억새의 성장은 더디며, 콘크리트 저수 호안의 일부 공극에는 개여뀌가 새롭게 활착되어 성장하고 있었다. 큰 강우가 내린 7월부터 고수부지 전면부가 세굴, 퇴적되며 고마리 식생 구간은 물억새, 갯버들 식재 구간으로 분포 구역이 증가하였으며 반면, 물억새와 갯버들 식재 구간은 비수충부로서 유속의 영향을 덜 받는 지역이었으나 고마리와 경합에서 밀린 양상을 나타냈다. 이는 인공적인 식재를 할 경우에는 각 구역 별 식재 여건과 수리 특성을 고려하여 시행할 필요성을 보여준다.

4. 결론

지금까지의 현지 조사를 결과로 홍수 전·후의 각 지점 별 식생 활착 범위, 지형, 토양(하상입경의 크기)과의 연관성은 알 수 있었다. 그러면 이들 식생 별 변화 요인이 수질적인 측면과 수리적인 측면에서의 상관관계가 식물군락의 공간적 분포범위에 어떠한 영향을 주는지 알아보도록 하자.

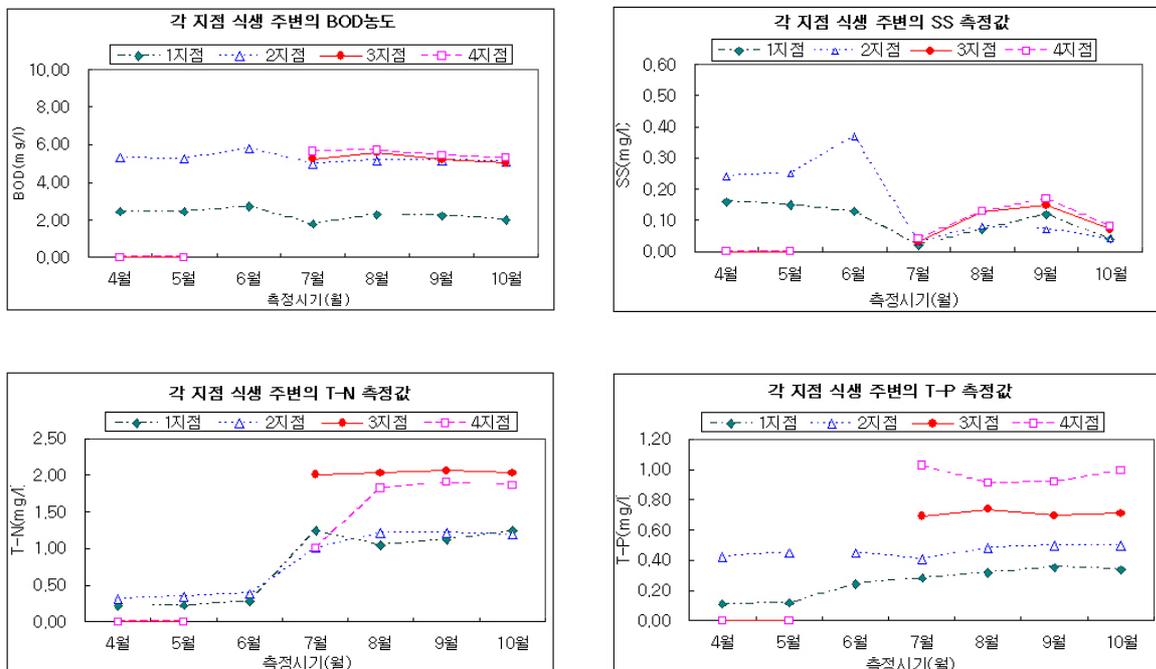
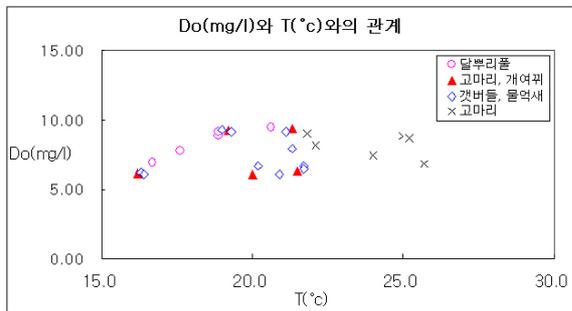


그림 9. 각 지점 식생 주변의 수질 측정 값

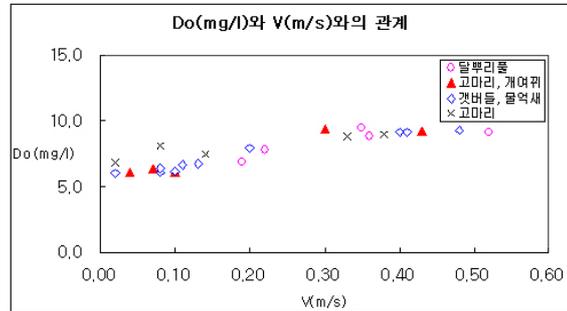
수질 측정 값 역시, 위에서와 같이 4~6월 3, 4 지점은 흐름이 형성되지 않아 측정이 불가능하여 0으로 계산하

였다. 먼저, 부영양화 판정의 중요한 지표항목인 T-N(총질소), T-P(총인)는 미생물 증식의 원인이 되는 물속에 녹아있는 영양염류이다. 질소 같은 경우 대기중에 70%가 녹아 있으나, 미생물의 이용이 적어 소비량도 적다. 혐기 상태에서 미생물은 인을 방출하고 다른 물질을 끌어들이며, 호기상태에서는 인을 끌어들이고 다른 물질을 배출한다. 위 그림9를 보면 7월 이후 수량의 증가와 함께, 온도의 상승, 하류라는 위치적 특성으로 인해 조류가 번식하기에 적합한 환경이 만들어지며 1,2지점에 비해 3,4지점의 T-N, T-P 값이 높음을 알 수 있다. SS(부유물질)는 7월 큰 강우가 내리고, 1지점의 식생 활착 정도에 비해 2지점의 식생 활착 공간 분포 범위가 넓어지며 부유물질의 수치도 1지점에 비해 더욱 낮아졌음을 알 수 있다.

BOD(생물학적산소요구량)는 물에 포함된 유기물질의 함유 정도를 나타내는 지표로서 온도와도 밀접한 연관성을 가지는데, 상류측(1지점)에서 하류측(4지점)으로 흐름이 발생하며 온도가 점점 높아지는 것과 같이 각 지점별로 BOD농도가 높음을 알 수 있다. 지점 별 식생의 정화 효과를 분석하기에는 위치적 특이성, 온도 등 여러 요인이 있어 정확한 평가는 내리기는 어렵지만, 4월에 비해 식생활착이 활발해지는 10월까지의 수치 값이 미비하게나마 작아짐을 알 수 있어 수질정화에 도움이 된다는 사실을 알 수 있다.



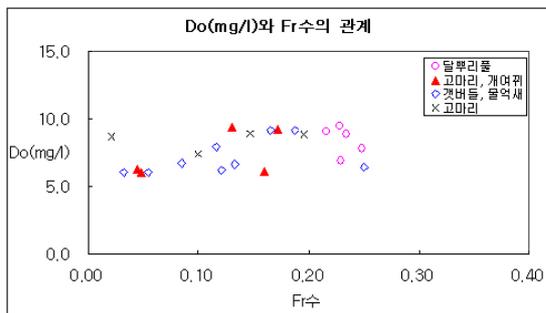
(a) Do와 T(온도)와의 관계



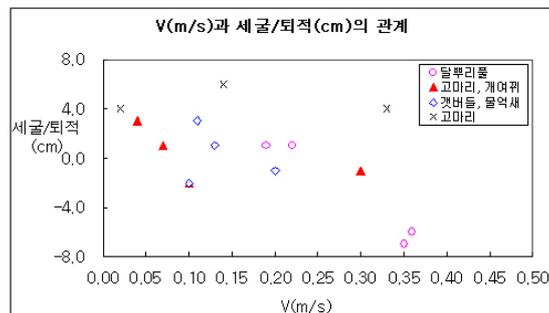
(b) Do와 V(유속)과의 관계

그림 10. 각 식생 별 수질특성과의 관련성

위 그림10 (a)를 살펴보면 수온이 높아져도 Do는 변화하지 않는데, 이는 Do에 영향을 미치는 여러 변수, 예를 들면 유속, BOD, T-N, T-P등이 같이 포함되어 있기 때문이다. 대체적으로 달뿌리풀은 갯버들이나 고마리에 비해 수온이 낮은 범위에서 서식하고 있음을 알 수 있다. 이는 달뿌리풀이 하천의 상류에 많이 서식하기 때문이다. 그림(b)를 보면 달뿌리풀은 다른 식물에 비해 유속이 빠르고 Do가 높은 범위에서 서식하고 있음을 알 수 있는데, 이는 하천의 상류에 서식하는 달뿌리풀의 전형적인 특성이라 판단된다.



(a) Do와 Fr와의 관계

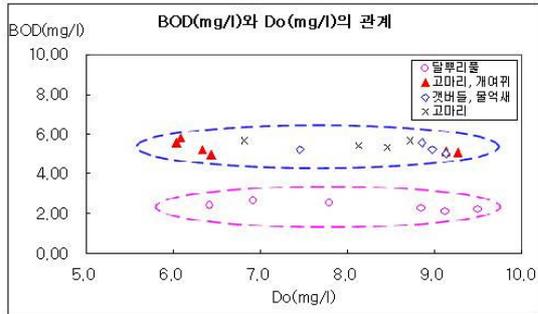


(b) V(유속)과 세굴/퇴적의 관계

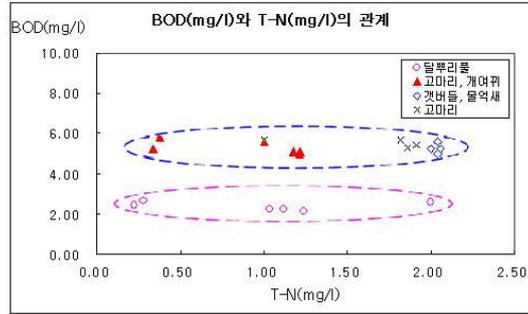
그림 11. 각 식생 별 수질, 수리 특성과의 관련성

그림11. (a)를 보면 달뿌리풀은 유속이 빠르고 수심이 비교적 낮은, 즉 Froude수가 비교적 큰 범위에서 서식함을 알 수 있으며, 하천의 상류에 서식하는 전형적인 특성을 보여준다. 또한 Do는 Froude수와 상관관계가 있음을 알 수 있다. 그림(b)를 보면 상기 그림에서 (-)는 세굴, (+)는 퇴적을 의미한다. 유속이 클수록 세굴이

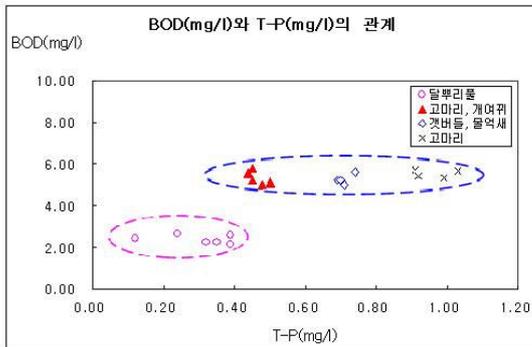
많이 진행되며, 달뿌리풀 영역은 유속이 큰 관계로 세굴이 발생되었다. 그러나 대상 하천의 유속이 비교적 큰 점을 고려하여 볼 때, 달뿌리풀은 세굴을 감소시키는데 기여함을 알 수 있다.



(a) BOD와 Do와의 관계



(b) BOD와 T-N과의 관계



(c) BOD와 T-P와의 관계

그림12 (a)를 보면 대체적으로 Do가 높을수록 BOD는 줄어들음을 알 수 있다. 이들 관계의 상관성은 별로 없지만 개략적인 판단을 하는데 지침이 될 것이다. 또한, 달뿌리풀은 다른 식물에 비해 비교적 Do가 높고, BOD가 낮은 범위에 서식함을 알 수 있다. (b), (c)그림을 보면 T-N, T-P값이 작을수록 BOD값도 작아 짐을 알 수 있다. 상대적으로 달뿌리풀은 다른 식생에 비해 T-N, T-P값이 낮고 BOD범위가 낮은 곳에 서식하고 있다

그림12. 각 식생 별 수질특성과의 관련성

감사의 글

본 연구(보고서)는 환경기술개발 사업 '하천생태 기능복원을 위한 핵심기술 개발' 연구용역 결과의 일부로서 본 연구를 지원해 주신 환경부에 감사를 드립니다.

참고 문헌

1. 강살리기네트워크 강의날 대회 조직위원회 (2004), 제3회 강의날 대회 발표집.
2. 환경부 홈페이지 환경정보서비스 시스템, <http://www.me.go.kr>
3. 한국건설기술연구원 연구보고서 (2003), 하도 특성과 식생의 상관관계분석.
4. Braia M. Das, Principles of Geotechnical Engineering (Fifth Edition)