

비점원 오염관리를 위한 식생여과대의 적용

Application of vegetative filter strip to control nonpoint source pollution

*정 지 은 · 정 상 옥(경북대)

*Chung, Ji-Eun · Chung, Sang-Ok

Abstract

Non-point source pollution of sediment, plant nutrients and pesticides from cropland has been identified as a significant environmental problem. Vegetative Filter Strips have been identified as one of BMPs to control nonpoint source pollution. This paper reviews the concept, functions, design criteria and management of VFS to control nonpoint source pollution.

I. 서론

수질오염은 부유물질, 부패성 물질, 유독물질 등이 지표수, 지하수 및 해수로 유입되어 물의 물리·화학적 변화를 일으킴으로써 각종 용수로 사용할 수 없게 되거나 수서 생물에 악영향을 초래하는 경우를 말한다. 수질오염 물질은 배출되는 형태에 따라 점원(point source pollution)과 비점원(nonpoint source or diffuse pollution)으로 분류할 수 있다. 점원오염이란 공장, 폐수처리장, 발전소, 광산, 유류저장 탱크 등과 같이 특정 지점이나 장소에서 배출되어 오염을 일으키는 것을 말하며, 비점원 오염이란 광범위한 지역에 걸쳐 발생하는 오염으로 정의할 수 있다.

비점원오염 방지대책은 오염원의 종류나 오염과정 만큼이나 다양하다. 점원오염과 같이 처리시설을 갖추어 오염물질의 농도 또는 총량을 적정수준 이하로 처리한다는 것은 비점원오염이 광범위한 지역에 걸쳐서 발생하는 특성상 현실성이 없다. 따라서 비점원지역에서 오염물질의 배출을 억제하든지 또는 방류수계에 도달하기 전에 적절히 처리할 수 있는 방안이 모색되어야 한다. 비점원오염의 방지에 대한 전략으로 농경지, 공사장, 도시지역 등 토지이용의 합리적인 관리를 통해서 영양물질 유실과 토양침식을 감소시키는 노력이 포함되어야 한다. 소위 최적관리기법(Best Management Practices)을 선정하여 오염을 억제하는데 최적관리기법이라고 함은 비점원오염을 최소화하는데 적합한 유·무형의 방법들로서 정의할 수 있다. 토지이용별 최적관리기법의 종류는 농업, 산림, 도시, 습지 및 수변지로 나누어 볼 수 있다. 농업지역에서 생태계를 이용한 기법의 하나로서 식생여과대(Vegetative Filter Strip; VFS)의 설치가 있다. 본 고에서는 비점원오염 관리를 위한 최적관리기법 중 VFS에 대해 알아보고자 한다.

II. VFS의 개요

VFS는 보통 식생여과대라고 부르며, 이는 잠재 오염원과 유출을 받아들이는 수체(water body) 사이에 위치하는 자연적 또는 인공적인 식생 지대이다. VFS는 물이 오염되는 것을 완충하는 곳이라고 해서 식생완충대(buffer strip or buffer zone)라고도 한다. VFS는 유출수에 의하여 운반되는 토사, 유기물질, 영양물질, 및 독성물질을 물리적, 화학적 및 생물학적인 메커니즘으로 제거하여 지표수의 수질 보호를 위해 수로, 하천, 연못 또는 호수를 따라 건설되며, 이는 또한 야생동물의 서식지를 제공한다. VFS의 주된오염물질 제거 메커니즘은 먼저 지표 유출수와 오염물질이 침투될 수 있도록 흐

를 지체시켜 부유 물질을 침전시킨다. 식생은 부유 토립자를 여과시키고 토양과 식물의 표면이 화학물질과 미생물을 흡착하고 식물이 용해물질을 흡착 또는 섭취한다.(Virginia Tech, 2002). 폭이 3m 내지 30m 되는 목초나 나무로 조성된 VFS 개요는 Fig 1과 같다.

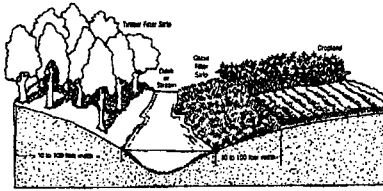


Fig 1. Vegetative filter strip
(자료 : Leeds, et al., 2001)

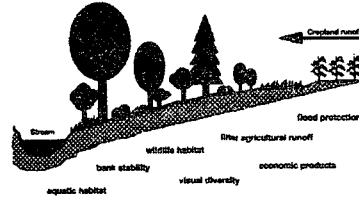


Fig 2. Benefits that a riparian buffer can provide
(자료 : Strohmeyer, 2002)

III. VFS의 기능과 장·단점

하천변에 위치한 VFS의 기능은 Fig 2로 도시하였다. VFS의 장점과 단점은 Table 1에서 보여준다. VFS는 많은 장점을 가지고 있지만 단점도 가지고 있다. Table 2는 목초(grass), 관목(shrub), 및 나무(tree)등의 VFS의 식생 종류에 따른 기능의 비교를 보여주고 있다. 우리나라에서 필요한 비점원 오염의 저감을 목표로 하는 경우에는 목초가 가장 높은 효과를 보여주는 것을 알 수 있다. Table 3은 Kentucky 주립대학의 자료(Strohmeyer, 2002)로 지면경사가 9%인 경우에 목초 VFS의 폭에 따른 포착 효율을 나타낸 것으로 폭이 30ft일 때 그 효율이 가장 좋은 것을 보여준다. Table 4은 Arkansas주의 자료로 지면 경사가 3%인 경우에 목초 VFS의 폭에 따른 포착효율을 보여주고 있으며 폭이 70ft 일 때 가장 높은 포착효율을 보여주고 있다. 즉, 지면경사가 완만할수록 넓은 폭의 VFS가 상대적으로 높은 포착효율을 보여준다는 것을 뜻한다. Leeds등(2001)은 CREAMS(Chemical Runoff Erosion and Agricultural Management Systems) 모형을 사용하여 미국 29개 주의 230개의 지점에서 VFS의 효과를 분석하였다. Table 5은 30년간의 모의발생 분석결과를 보여주고 있으며 VFS가 농경지로부터의 유출에서 침전물, 총 인과 총 질소의 양을 감소시킨다는 것을 알 수 있다.

Table 1. VFS의 장·단점

장 점	단 점
-강우로부터 토양을 보호함으로써 침식량 감소	-수질조절을 위한 저류와 침투가 충분하지 못할 경우가 있음
-지표면 유속감소, 침수시간 증가, 침투증가에 의해 유출량 감소	-오염물 제거에 필요한 이상적 환경이 유지되어야 함
-유속이 감소됨에 따라 여과, 흡수 및 침전으로 부유성 침전물을 제거	-일정규모의 토지가 필요함
-자연환경개선 효과	
-동물군과 식물상에 대한 서식지 제공	
-홍수 저감	

Table 2. Comparison of VFS benefits with respect to vegetation type

benefit	vegetation type		
	grass	shrub	tree
stabilize bank erosion	low	high	high
filter sediment, nutrients, pesticides, microbes	high	low	low
filter soluble nutrients, pesticides	medium	low	medium
aquatic habitat	low	medium	high
pasture wildlife habitat	high	medium	low
forest wildlife habitat	low	medium	high
economic products	medium	low	medium
visual diversity	low	medium	high
flood protection	low	medium	high

(자료 : Strohmeyer, 2002)

Table 3. Trapping Efficiency of Grass Filter Strip

Filter width(ft)	Trapping Efficiency (%)			
	sediment	water	nitrate	atrazine
15	96	96	94	93
30	99	97	98	99
45	99	91	97	98

(자료 : Strohmeier, 2002; 9% slope, Kentucky)

Table 4. Trapping Efficiency of Grass Filter Strip

Filter width(ft)	Trapping Efficiency (%)	
	Ammonium-N	T-P
10	47	40
20	70	58
30	78	74
50	94	87
70	98	91

(자료 : Strohmeier, 2002; 3% slope, Arkansas)

Table 5. Predicted pollutant removal in runoff by VFS

State	Site	Filter Width (ft)	Drain Area (acre)	Slope (%)	Soil Texture	Vegetation Quality*	Percent Removal		
							Sediment	Phosphorus	Nitrogen
Illinois	1	99	2.5	7.3	Silt Loam	F	42	36	36
	2	99	28	4	Silt Loam	G	67	68	68
Iowa	1	66	39	2.2	Loam	E	75	71	71
	2	99	30	3.8	Silt Loam	F	61	54	54
Ohio	1	66	9.9	2.6	Silt Loam	G	71	72	72
	2	99	32	0.6	Silt ClayLoam	G	71	73	73

* F : Fair, G : Good, E : Excellent

(자료 : Brown, et al., 2001)

VFS의 효과는 토양특성, 토지경사, 지형 및 배수면적, 식생의 형태, 품질 및 폭, 적합한 설치와 지속적 관리상태 등에 지배된다. 일반적으로 VFS에서 식생의 품질이 VFS 효과를 결정짓는 가장 중요한 인자이다. VFS의 효과는 토양특성, 토지경사, 지형 및 배수면적, 식생의 형태, 품질 및 폭, 적합한 설치와 지속적 관리상태 등에 지배된다. 일반적으로 VFS에서 식생의 품질이 VFS 효과를 결정짓는 가장 중요한 인자이다. VFS의 기능을 추정하기 위한 모형에 대하여 알아보면, Hayes et al. (1979)은 VFS 모형인 GRASSF를 개발하였고, Warner et al. (1984)은 GRASSF를 이용하여 SEDIMOT II 모형을 개발하였고, Lee et al.(1989)은 VFS내에서 인의 거동을 추정하기 위하여 인 부모형을 SEDIMOT II에 추가하여 GRAPH (GRASS PHosphorus)모형을 개발하였다. 최근에는 USDA Southeast Watershed Research Laboratory (1999)는 주로 VFS를 통과한 질소의 지하에서의 거동을 모의하며, 추가로 퇴사, 질소, 인의 지표수에서의 거동을 모의하기 위하여 종합 VFS 모형인 REMM (Riparian Ecosystems Management Model)을 개발하였다. Tucker et al. (2000a, b) 과 Stone et al. (2001) 은 GLEAMS 모형과 REMM 모형을 통합하여 강변생태계 관리모형을 개발하였다

IV. VFS의 설계기준 및 유지관리

VFS의 설계기준과 적지 선정 시 고려하여야 할 사항은 다음과 같다(Virginia Tech, 2002).

- ① 식생이 잘 자랄 수 있는 적당한 토양배수와 지하수면까지의 깊이가 요구된다.
- ② 경사지나 다른 배출원으로부터 연속적으로 VFS로 물이 흘러 들어오는 것을 방지하여야 한다.
- ③ 눈이 올 때와 토양이 얼면 VFS의 효율이 저하된다.
- ④ 설계기간 동안 VFS의 효율을 유지할 수 있는 폭이 요구된다.
- ⑤ 지면경사가 VFS의 효율에 미치는 영향을 고려하여야 한다.

VFS의 설치 후 지속적인 유지관리는 매우 중요하다. 지속적인 관리는 VFS의 효과와 내구성 증진에 중요하다. 지속적인 관리를 위한 요구 사항은 다음과 같다. ① 자주 조사를 실시한다. 특히 비가 온 후 또는 장기간의 강우 유출 후 조사한다. ② 침식성 하천의 발생을 최소화한다. 즉시 수리하고 다시 씨를 뿌

린다. ③ 필요시에는 관개를 하고, 노출된 지점에는 다시 씨를 뿌린다. ④ 잘 자라는 곳에서 정기적으로 일년에 약 2~3회 정도 식생을 베거나 제거한다. ⑤ 정기적으로 식물의 상태를 보충하기 위해 토양검사를 실시한다. ⑥ 불필요한 나무, 덩굴 및 유해한 잡초를 억제한다.

우리 나라의 경우 VFS의 주목적이 비점원오염 관리에 있으므로 식생의 종류로는 목초가 가장 적합하다. 목초의 식재는 일반적인 경우를 한 후에 전면 살포(broadcast)를 한다. 토양시험의 결과에 따라서 석회나 비료를 살포하여야 한다. 토양시험의 결과에 따라서 석회나 비료를 살포하여야 한다. 목초를 이용한 VFS의 폭은 지면 경사, 토성, 배수 면적, 식생의 종류, 토지 이용 등에 따라 다르나 대체적으로 지면 경사 15%까지는 5~10m 정도가, 지면 경사 15% 이상에서는 10~20m 정도가 적절할 것으로 판단된다. 축분을 살포하는 농경지 인근의 VFS는 축분 입자의 비중이 토립자의 비중보다 작기 때문에 잘 여과되지 않으므로 폭이 더 넓어야 한다. 이 때에도 여러 가지 설계 인자를 고려하여 폭을 결정하여야 하나 대체적으로 일반 농경지 인근의 VFS의 폭보다 50~100% 더 크며, 22~30m 폭의 VFS가 적절할 것으로 판단된다. 우리 나라와 같이 토지 자원이 풍부하지 못한 곳에서는 넓은 토지를 VFS에 할당할 수 없으므로 최소한의 폭을 가지는 VFS를 설치하는 것이 가능할 것이다. 또, 보다 효율적인 토지이용을 위해서는 VFS 단독으로보다는 저류지나 습지 등과 함께 사용하는 것이 좋을 것이다. 앞의 Kentucky 주 자료에서 9m 폭의 목초 VFS의 제거율의 대부분이 상부 4.5m 폭에서 제거되었다는 것을 볼 때 적절한 조건 하에서는 폭 5m 정도의 VFS도 충분히 기능을 발휘할 수 있을 것으로 사료된다. 그러나 이러한 기준들은 앞으로 VFS의 실제 적용을 통하여 많은 자료를 축적한 후에 보다 신뢰성 있는 설계 기준을 마련하여야 할 것이다.

V. 적용사례

가. 국내

- 1) 난지천 : '살아 숨쉬는 한강 만들기' 운동 중 난지천에 대한 환경개선안에서 VFS를 적용하고 있다.
- 2) 온천천 : 온천천 유역에서 식생을 위한 천연섬유마대공법은 방부목 등을 이용하여 천연섬유를 호안에 안착시키고 식생호안을 피하는 공법으로 차후에 식생여과대의 효과를 기대할 수 있다(동의대학교, 1999).

나. 국외

- 1) 미시시피 삼각주 지역 : 겨울 피복작물을 재배하고 경운을 줄이고 식생여과대를 설치하는 등의 보존농업을 해서 토양의 이동을 최소화하고 제초제가 호수로 흘러가는 것을 제한했다. (Weaver, 2000).
- 2) Nebraska : 1997년에 Nebraska주에서 지표수 수질을 향상시키기 위해 VFS를 사용하였다.

VI. 요약

VFS는 침전물, 영양물질, 농약 등이 지표수로 유입하는 것을 감소시킬 수 있는 유용한 BMP이다. VFS의 식생의 종류는 목초, 관목 및 나무가 있으나 우리 나라와 같이 비점원오염 관리를 목적으로 하는 경우에는 목초가 가장 적당한 식생이다. VFS의 효과는 토양특성, 배수면적, 지형과 지면경사, 식생의 품질과 토지이용과 기후에 지배된다. 그리고 주기적인 VFS의 관리는 비점원오염을 관리하는데 중요한 요소이다. 식생의 정화능력을 이용한 VFS는 비점원오염 관리에 매우 효과적인 것으로 밝혀지고 있다. 그러나 VFS 독자적인 적용보다는 저류지와 같은 다른 기법과 동시에 적용하는 복합적인 관리대책을 강구하는 것이 더 효과적이다. VFS의 폭은 토양 특성, 배수면적, 지면 경사, 식생의 종류, 토지 이용도 등에 따라서 다르나 대체로 10m 정도가 적당할 것으로 사료된다. 그러나 보다 신뢰성 있는 VFS의 설계기준은 실제 시공과 사후 효과분석을 통하여 많은 자료를 축적한 후에 얻을 수 있을 것이다.