

KEI/2000

2000. 12



한국환경정책·평가연구원
Korea Environment Institute

序 言

수변지역의 식생대는 물을 저장하고, 물에서 유해한 물질을 제거하며 수중과 육상의 식물과 동물을 위한 서식처를 제공하는 등 많은 기능들을 수행하고 있습니다. 그러나 지금까지는 수질개선과 수량확보를 위한 수변지역의 중요성이 제대로 인식되지 못하여 무분별한 개발이 이루어져 왔습니다. 다행히 1998년 11월 「팔당호등 한강수계 상수원 수질관리특별종합대책」에서 상수원의 수질을 보전하고 개선시키기 위한 예방대책의 일환으로 수변구역제도가 도입되었습니다.

수변구역내 수변녹지의 조성은 수질개선 뿐만 아니라 생태계 보호, 친수환경 제공, 수질에 대한 국민의 심리적 안전성 제고 등 여러 가지 기능을 동시에 이룰 수 있는 방안으로 사료됩니다. 그러나 수변구역 제도 도입에 따른 수변녹지과 관리방안에 대한 사전연구가 부족하여 수변녹지 조성에 따른 여러 가지 현실적인 어려움이 예상되기 때문에 수변녹지 조성에 대한 기초연구가 절실하였습니다. 이에 본 연구에서 제시한 수변녹지에 대한 이론적 체계 확립과 수질개선에 초점을 둔 수변녹지 조성 및 관리 방안 등은 우리나라 수변녹지 조성을 위한 시의 적절하고 필요한 연구라고 판단됩니다. 앞으로 4대강에 확대 적용될 수변구역내 수변녹지의 조성에 있어서 본 연구에서 제시된 기본방향이 충실히 반영되어 수질오염 예방을 목적으로 한 수변구역 지정목적이 달성되도록 하여야 한다고 봅니다. 그리고 지역특성별 구체적인 수변녹지 조성방안, 수변녹지의 수질개선 효과 검증, 녹지조성에 따른 오염정화능 조사 등 수변녹지에 대한 지속적인 연구가 추진되어야 한다고 봅니다.

끝으로 본 연구를 맡아 수행한 本院의 崔智龍 博士와 鄭有珍 研究員에게 감사를 포함합니다. 아울러 본 연구의 내용은 정부나 본 연구원의 공식견해가 아닌 연구자 개인의 견해를 밝혀 드립니다.

2000년 12월

韓國環境政策·評價研究院

院 長 李 相 垠

목 차

제1장 서 론	1
1.1 연구의 필요성과 목적	1
1.2 연구의 범위와 방법	2
제2장 수변녹지의 기능과 역할	3
2.1 수변지역과 수변녹지의 정의	3
1. 학술적 정의	3
2. 미국 정부기관의 정의	4
3. 본 연구에서의 정의	5
2.2 수변녹지의 일반적 기능	5
1. 수질보전	5
2. 홍수 조절	6
3. 야생동물 서식지 및 이동통로	7
4. 어업 보호	8
5. 물 공급 보호	9
6. 지하수 보호	9
2.3 토지이용별 완충녹지로서의 수변녹지	10
1. 삼림지역 수변완충지	10
2. 농업지역 수변완충지	10
3. 교외지역 수변완충지	11
4. 도시지역 수변완충지	11
2.4 수변녹지의 수질개선 기능 분석	11
1. 수질개선 영향요소	12
2. 오염물질 제거 메커니즘	14
3. 식생완충대의 하천구간별 오염제거 효과	17
제3장 국내·외 수변녹지 조성 및 관리실태	21
3.1 우리나라의 수변구역과 수변녹지 실태	21
1. 수변녹지 조성 역사	21
2. 수변구역 지정 및 운영실태	22

3.2. 주요국의 수변녹지 조성 및 관리실태	25
1. 미국	25
2. 일본	32
3. 네팔	34
4. 호주	35
5. 영국	36
6. 프랑스	36
7. 덴마크	36
3.3 주요국의 수변녹지 조성에 관한 시사점	36
제4장 수변녹지 조성 및 관리방안	37
4.1 수변녹지 조성방안	37
1. 조성 기본 방침	37
2. 오염제어를 위한 수변녹지 설계시 고려사항	39
3. 수변녹지 적정 폭 결정	44
4. 수변녹지 조성을 위한 토양관리	51
5. 수변녹지의 식재와 관리	54
4.2 구역별 수변녹지대 조성방안	62
1. 상류지역	63
2. 중류지역	64
3. 하류지역	65
4.3 수변녹지 관리방안	66
1. 수질측면에서의 관리	67
2. 홍수 조절측면에서의 관리	68
3. 생태계 유지 측면에서의 관리	68
4. 어업 보호측면에서의 관리	69
5. 지하수 보호측면에서의 관리	71
제5장 결 론	72
참 고 문 헌	73
부록 : 우리나라 하천에 서식하는 나무의 특성	75

표 차 례

<표 2-1> 문헌에 수록된 수변지역(녹지) 정의	3
<표 2-2> 수변녹지에서의 기타오염물의 제거기작	16
<표 2-3> 총질소, 질산성 질소, 총인의 연안식생대 물질수지	19
<표 2-4> 연안산지내 영양염류의 주변산림식생의 포착	20
<표 2-5> 식생대 길이에 따른 영양물질 제거율	20
<표 3-1> 행정구역별 대상지역 면적	23
<표 3-2> 행정구역별 제외지역 면적	24
<표 3-3> 현 법에서의 수변구역 안에서의 행위제한	25
<표 3-4> 수변녹지 관련 프로그램별 비용지원	26
<표 3-5> 미국 각 주(州)의 완충띠(buffer strip) 요구사항	32
<표 4-1> 유역조건에 따른 퇴적물 부하량	40
<표 4-2> 수변 조건에 따른 표면 유출수의 퇴적물 여과 잠재력	40
<표 4-3> 식물에 의한 질산염 부하량	42
<표 4-4> 지형적 요인에 따른 상대적인 지하수 깊이	43
<표 4-5> 지형적 요인에 따른 수변 지하수 포집능력	44
<표 4-6> 수변녹지의 오염물질 제거효율에 영향 요인	45
<표 4-7> 녹지로 구성된 수변지역의 장점	47
<표 4-8> 하천 가장자리까지 전달된 영양소 부하량	48
<표 4-9> 수변녹지 조성 및 관리에 필요한 토양 영향 조사사항 예	51
<표 4-10> 우리나라 하천구역에 서식하는 식물종 특성	61
<표 4-11> 토심이 얇은 상류지역	63
<표 4-12> 토심이 깊고 경사가 급한 경우	64
<표 4-13> 기반암이 불투수암이고 토심이 얇은 지역	64
<표 4-14> 토심은 깊고 기반암이 불투수인 경우	65
<표 4-15> 토심이 비교적 깊으나 기반암이 투수성인 지역인 경우	65
<표 4-16> 퇴적층이 적은 지역	66
<표 4-17> 퇴적층이 많아 배수가 잘되는 지역	66
부록 : 우리나라 하천에 서식하는 나무의 특성	75

그림 차례

<그림 1-1> 과업의 흐름도	2
<그림 2-1> 거리에 따른 질산성 질소 제거효과	19
<그림 4-1> 수변녹지의 폭 결정을 위한 준거치	45
<그림 4-2> 특정 수변녹지 목적에 부합하는 최소 폭 범위	48
<그림 4-3> 토지등급별 토지이용 제한점	53
<그림 4-4> 수변녹지의 구조별 특징	54

제1장 서론

1.1 연구의 필요성과 목적

수변지역은 하천주변의 토양, 식물, 동물을 포함하는 시스템으로서 하천흐름을 조절하고, 물을 저장하며, 물에서 유해한 물질을 제거할 뿐만 아니라, 수중 및 육상의 식물과 동물을 위한 서식처를 제공하는 등, 수질과 수량 그리고 생태계 측면에서 중요한 지역이다. 또한 수변지역은 수변지역 바깥지역과는 아주 다른 식물과 토양특성을 가지고 있는데, 특히 높은 종다양성과 종밀도, 생물학적 생산력을 보유하고 있어, 생태학적 측면에서도 적합한 관리가 요구되고 있다. 이의 중요성을 파악한 일부 국가에서는 수변지역의 관리에 많은 노력을 기울이고 있다.

우리나라의 경우, 1980년대 이후 공장폐수, 도시하수와 같은 점오염원의 처리 비율은 크게 향상되었으나, 기대한 만큼의 수질개선이 이루어지지 않고 있으며 어떤 수계는 오히려 수질이 악화되고 있는 실정이다. 이 같은 수질악화는 수변지역의 관리미흡도 원인중의 하나라고 판단된다. 즉, 수변 지역을 개발하게 되면, 수변의 식생을 제거함에 따라 자연정화능력이 저하됨과 동시에 유달음이 큰 수변지역에 오염원이 밀집되기 때문에 하천으로 유입되는 오염물은 타 지역보다 훨씬 많아진다.

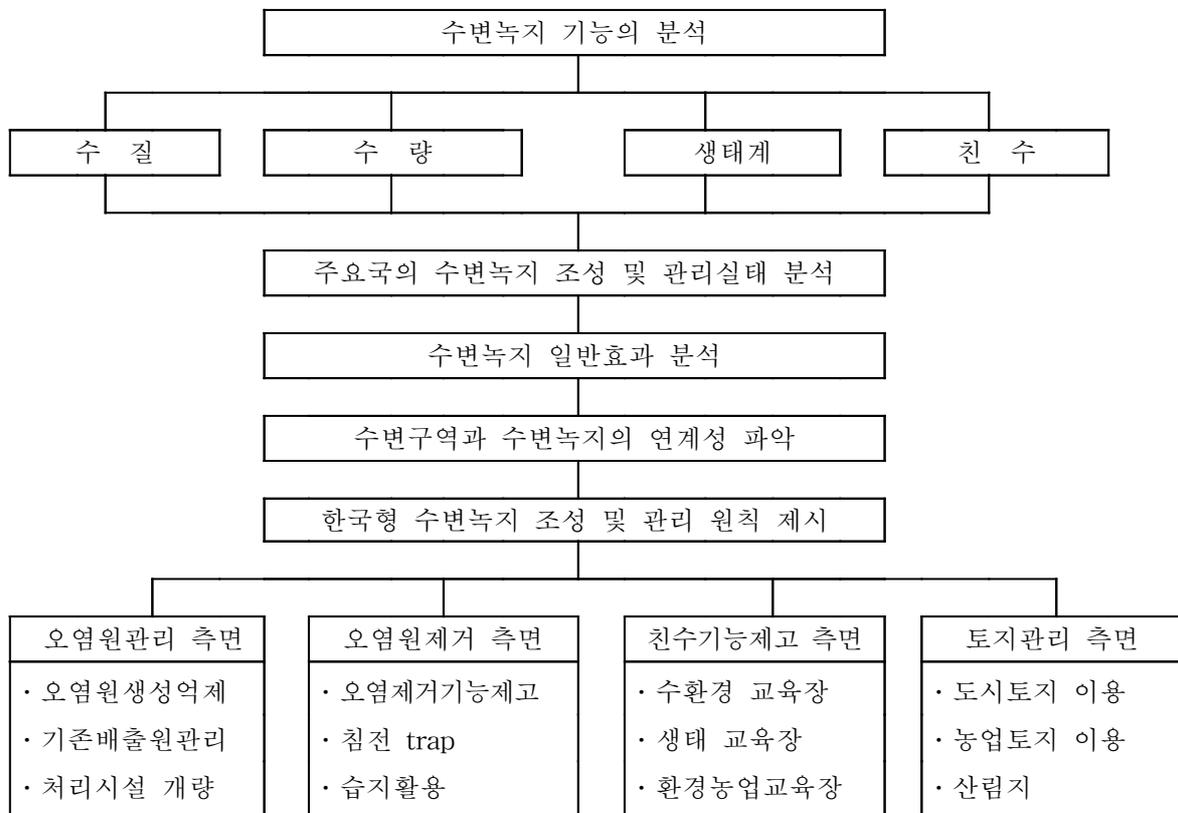
이와같이 수질개선과 수량확보를 위해 수변지역에 삼림을 조성하거나 자연상태로 유지하는 방법은 물 관리에 있어 중요한 일이나, 이때까지는 이러한 중요성이 제대로 인식되지 못하고 무분별한 개발이 이루어져 왔다. 다행히 정부에서는 1998년 11월에 마련한 「팔당호 등 한강수계 상수원 수질관리 특별종합대책」(이후 「팔당대책」)에서 상수원의 수질을 보전하고 개선시키기 위한 예방대책의 일환으로 수변구역제도를 도입하였다. 그리고 이 대책을 효율적으로 집행하기 위해서 제정된 「한강수계상수원 수질개선 및 주민지원에 대한 법률」(이후 「한강법」)의 제4조에 의해 수변구역 지정에 관한 사항을 법제화하였다.

수변구역의 지정목적을 달성하기 위한 다양한 수단 중에서도 수변녹지의 조성은 수질개선을 위한 가장 중요한 수단이며, 상류에서 사용한 물을 하류에서 다시 사용해야하는 우리나라의 수자원 여건에서 수변녹지 조성을 통한 하천의 자연성 회복은 정서적인 차원에서도 국민이 물을 안심하고 사용하게 하는 역할을 한다. 이와 같이 수변녹지의 조성은 하천의 수자원 보호에 있어 가장 핵심적인 사항이다. 한강유역의 경우 「한강법」에 의해 수변구역이 지정되었고, 수변구역내 매입토지는 녹지로 조성하여 관리하고자 하는 방침이나, 상수원 및 하천 수질개선을 위한 우리나라 실정에 맞는 수변녹지 조성과 관리에 관한 기초연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구는 수변구역 내에 조성되는 수변녹지의 기능 및 효과, 외국의 조성 사례 등을 분석하고, 이를 바탕으로 수질개선에 초점을 둔 우리나라의 수변녹지 조성 및 관리 원칙을 제시하는데 있다.

1.2 연구의 범위와 방법

하천이나 호수의 수질은 당해 유역에서 이루어지는 모든 인위적 및 자연적 행위의 결과로서 나타나기 때문에, 수질 환경을 보호하기 위한 합리적인 물 관리는 유역 차원의 관리가 요구되고 있다. 수질관리와 관련된 유역 구성은 크게 3지역으로 구분할 수 있는데, 물이 흐르는 하천, 하천과 인접한 수변지역, 수변지역외 배후지역으로 구분할 수 있다. 이 중 수변지역은 하천의 수질과 수량에 큰 영향을 미치는 지역으로 수변지역과 수변구역을 같은 의미로 사용할 수 있으나 본 연구에서의 수변구역은 「한강법」에 의한 법정용어로 한정한다. 수변녹지는 수변구역 내 하천에 인접한 초지대로서 본 연구의 대상은 이에 한정한다.

본 연구는 우리나라에 처음 도입되는 수변구역내 수변녹지의 기능정립과 조성 및 관리원칙을 제시하는 것이므로, 지역적 범위는 특정지역이 아닌 우리나라의 일반하천을 대상으로 하였다. 연구 방법은 우선 수변녹지의 일반적인 기능을 수질, 수량, 생태계, 친수 측면에서 분석하였고, 동시에 외국의 수변녹지의 조성 및 관리실태를 분석하였다. 그리고 수변구역과 수변녹지의 연계성을 바탕으로 한국형 수변녹지 조성 및 관리원칙을 마련하였다. 수변녹지 조성 및 관리원칙은 오염원 관리, 오염원 제거, 친수기능 제고, 토지관리 측면을 고려하여 제시하였다. 구체적 과업의 흐름도는 <그림 1-1>과 같다.



<그림 1-1> 과업의 흐름도

제2장 수변녹지의 기능과 역할

수변지역에 조성되는 수변녹지를 외국에서는 수변보호지대(riparian protection zones), 완충지(buffers), 여과띠(filter strips), 수변관리지대(riparian management zones), 수변관리지역(riparian management areas), 수변서식지보전지대(riparian habitat conservation zones), 물 및 호수보호지대(water and lake protection zones) 등으로 다양하게 부르고 있다. 일반적으로 수변녹지는 영양물질과 침식물이 유역으로부터 하천으로 유입되는 것을 방지하는 기능을 함과 동시에, 하천변의 생태계를 보전하여 하천의 기능을 유지하도록 한다. 이와같이 수변녹지는 단순히 수질보전의 차원에서뿐만 아니라, 생태계 보전, 하천기능 유지, 홍수억제 등 다양한 기능을 가지고 있다. 외국의 경우 수변녹지의 주요 기능을 생태계보전에 큰 비중을 두고 있으나 우리나라는 생태계 보전과 더불어 수질보전에 오히려 더 큰 비중을 두고 있다.

2.1 수변지역과 수변녹지의 정의

1. 학술적 정의

수변지역과 수변녹지는 일반적으로 물과 수변고지대 사이의 토지를 말하며 강과 하천을 따라난 선형 지역으로 때때로 범람이 되기도 하는 지역으로서 명확한 구역의 범위는 존재하지 않는다. 그리고 호수, 저수지, 습지 등과 같은 다른 수체에 인접한 식생 또한 종종 수변으로 간주된다. 수변지역의 정확한 위치에 대한 견해는 계절마다 수위, 토양수분, 식생 등이 변하기 때문에 다를 수 있다. 외국의 경우 수변지역은 다양한 시각(즉, 식물 생태학, 수문학, 수산업 및 야생생물, 지형학, 초목 및 토양)에서 연구되었으나 통일된 정의는 마련되지 못했고, 수변지역의 정의는 “수로와 관련된 토지” 정도의 간단한 기술에서부터 “자세한 기술”까지 다양하다.(<표 2-1> 참조)

<표 2-1> 문헌에 수록된 수변지역(녹지) 정의

출 처	정 의
Lowe(1964)	수변지역[늪(marsh) 제외]은 수로의 인접지역에 있고, 기후, 식생형태에 의해서 특징지워진다.
Dick-Peddie and Hubbard(1977)	큰 강이나 작은 강, 심지어 건천같은 간헐적인 흐름이 있는 구역과도 연관된 초목을 말한다.
McCormick(1979)	배수지역과 인접 수변고지의 침식에 의해 생성되며, 또한 수중 생태시스템의 주기적인 범람에 의해서도 생성된다.
Johnson and McCormick(1979)	수면에 가깝기 때문에 높은 지하수면이 있는 생태시스템...그리고...일반적으로 수중 생태시스템과 수변고지 생태시스템사이의 이행대로서, 뚜렷한 초목 및 토양 특징을 가지고 있다. 수변 생태시스템은 높은 종다양성, 종밀도, 생산성 등의 특징이 있다. 지속적인 상호반응이 수변 생태시스템, 수중 생태시스템, 수변 고지의 육상 생태시스템 사이에 에너지, 영양소, 종의 교환을 통하여 일어나는 지역이다.
Warner and Hendrix(1984)	담수, 수로, 표면발생 대수층(우물, 용천수) 등으로 둘러 쌓인 지역이다.

자료 : Environmental Laboratory US Army Engineer, 2000

<http://oriris.cso.uiuc.edu/denix/...on/Legacy/Riparian/riparian1.htm>

2. 미국 정부기관의 정의

미국의 경우 대부분 주(州)가 수체를 보호하고 수변지역에서의 토지교란 행위를 관리하기 위해 수변지역을 관리하고 있다. 미국에서 수변지역 개념으로 사용하고 있는 용어로 ‘하천변 관리지대’, ‘완충지대’, ‘여과띠’, ‘수변관리지대’, ‘수변지역’ 등이 가장 일반적으로 사용된다. 여과띠와 완충지대 등이 일부 혼재 이용하고 있으나 각 기관의 목적에 적합하게 수변지역을 정의하고 수변지역 구성요소를 명시하고 있다. 미농무성 산림청(USDA Forest service)에서는 농지를 관리하는 부처로서 수변지역을 “수변지역은 수생태계, 수변지역 생태계, 습지로 구성되어 있고, 수생태계란 하도, 호수, 하구 그리고 생물 군락, 이들 안에서 보이는 서식지를 포함하며, 수변지역 생태계는 독이나 물가에서부터 육지-물의 직접적인 상호작용이 있는 토지까지 포함한다”(USDA Forest Service, 1994)라고 하여 비교적 넓게 해석하고 있다.

이에 비해 미내무성 어류 및 야생동물청(USDI Fish and Wildlife Service)에서는 “수변지역이란 연중 또는 간헐적으로 수체(강, 하천, 호수, 또는 배수로)에 인접해 있으면서 지표수 및 지하수의 수문특성에 의해 영향을 받는 식물군락으로 (1)인접한 지역과 다른 식물 종으로 구성되거나 또는 (2)인접한 지역과 유사한 종이지만 좀더 왕성한 성장형태를 보이며, 일반적으로 물과 인접육지부(upland) 사이의 전이대”(USDI Fish and Wildlife Service, 1997)라고 비교적 좁은 의미로 해석하였다. 이에 비해 미국 어업협회(American Fisheries Society)에서는 어족자원의 영향을 고려하여 “수변지역은 초목이 물에 의해 강력히 영향받는 강 또는 다른 수체에 인접한 토지”라고 수체와 연관시켜 더욱 좁게 정의하고 있다.

그리고 연안지대관리법(Coastal Zone Management Act)에서는 “수변지역은 수생태계를 제외하고, 수체를 따라 에너지, 물질, 물의 교환이 일어나는 식생대로서 지하수위가 높고 주기적으로 홍수에 침수되며, 습지를 둘러싸고 있는 지역”으로 정의하여 수생태계를 제외하고 정의하여 법 집행의 효율화를 도모하고 있다. 또 미내무성 토지관리국(USDI Bureau of Land Management)에서도 “수변지역은 수생태계를 제외하고 영구히 포화되는 습지와 인접육지부의 전이지대”(USDI Bureau of Land Management, 1993)라고 하여 토지관리를 위해 수생태계를 고려하지 않고 있다. 이와 같이 수변구역의 정의는 각 기관 또는 법의 목적에 적합하게 정의하고 있으나, 각 기관에서 내린 수변구역 정의 중 다른 기관과 공통으로 가지는 관점은 다음과 같다.

- 수체에 인접해 있다.
- 수체와 나란히 선형으로 구성된다.
- 명확히 정의되거나 정확히 경계를 정하기가 어렵다.
- 수중 및 토지 환경 사이에 전이지대를 제공한다.

3. 본 연구에서의 정의

수변지역이란 가장 좁은 의미로 물이 직접적으로 닿는 육지부 즉, 물 가장자리로서 여기에는 여러 종류의 수생식물과 동물이 독특한 군락을 형성하는 부분을 말한다. 이 보다 좀더 넓은 의미로 고수위에 의해 정기적으로 잠기는 지역까지 포함하고, 가장 넓은 의미로는 하천에 영향을 주거나 하천에 의해 영향을 받는 숲의 띠까지 포함한다. 따라서 수변지역이란 일년 중 일정기간동안 물을 담고 있는 외곽을 둘러싼 수체와 육지 생태계사이의 상호작용을 하는 지대로서 다양한 폭과 경계를 가진다고 볼 수 있다.

우리나라의 수변관련 법적 용어는 「한강법」상 ‘수변구역’과 하천법상 ‘하천인접구역’과 ‘연안구역’이 있다. 「한강법」상 수변구역은 하천에서 500m~1,000m까지의 구간을 정해 토지이용규제와 배출허용기준 규제강화 등을 주요내용으로 하고 있다. 하천법에서도 하천인접구역 400m와 연안구역 500m를 규정하고 있는데, 이 기준은 주로 홍수가 미치는 범위를 대상으로 하고 있어 엄격한 의미에서 보면 수변지역을 보호하기 위한 지정이라고 보기 어렵다. 또 하천·호소·연안을 관리하는 공유수면관리법에서도 수면을 지역적 위치에 따라 분류하고 있을 뿐 공간적 범위로는 규명하고 있지 않다.

이러한 측면에서 수변지역의 정의는 “물에 인접한 환경에 있는 식물과 기타 유기체의 복잡한 집합체로서 명확한 경계는 없으며, 육지와 수중서식지 사이에 전이지대를 형성하는, 뚝, 범람원, 습지 등을 포함한다. 모양과 크기가 주로 선형으로 측면에 흐르는 물에 의해서 특징 지워지는데, 흐르는 물이 풍수기에 1년에 1회 이상 범람하는 곳은 수변지역에 반드시 포함시키는 것을 원칙으로 한다”로 함이 적합하다. 그리고 수변녹지는 수변지역(구역)내에 수체와 인접한 지역으로 초지로 구성된 선형의 지역으로 한다. 이러한 정의는 다양한 규모로 나타나는 수변지역에 대한 수자원 및 수자원과 연계된 자연자원의 관리에 적절하다. 이렇게 광의로 접근하는 것은 수변지역을 단순한 단일목적이 아닌 하천생태계를 구성하는 중요한자로서 관리하여야 함을 의미한다 하겠다. 따라서 수변녹지의 역할도 수질개선측면 뿐만 아니라 수생태계와 육지생태계의 연결고리 까지 고려한 개념으로 관리함이 바람직하다.

2.2 수변녹지의 일반적 기능

1. 수질보전

삼림이 잘 보전되어 있는 수변 지역의 가장 확실한 오염방지 기능은 그 지역이 근본적으로 오염물을 유발시키지 않는다는 점이다. 즉, 수변지역이 개발되지 않고 녹지로 유지된다면 오염물질이 발생하지 않아 수계로 오염물질이 흘러들지 않게 될 것이다. 수변지역은 유달음이 거의 100%이기 때문에, 수변 지역을 천연상태로 복구하거나 유지하는 것이 오염을 방지하는 데에 가장 효과적인 수단인 것이다. 그리고 수변 지역의 삼림을 천연 상태로 유지하는

것은 단순히 오염물질을 배출하지 않게 된다는 것 이상의 의미를 지닌다. 즉, 수변녹지는 인접한 개발지로부터 흘러나오는 과도한 영양분, 퇴적물 그리고 다른 오염물질들을 막고 흡수하는 살아있는 여과지의 기능을 하기 때문이다.

강우시 지표 유출수가 초목이 있는 수변지역으로 유입되면 이 수변지역은 퇴적물을 잡아두고 영양분은 흡수한다. 진흙 물이 범람원의 습지와 삼림으로 들어가면, 물 속의 실트는 수중 식물의 줄기에 붙고 바닥에 침전된다. 홍수가 빠질 때는 지표흐름이나 지하흐름을 통해 강으로 돌아가는데, 그 과정에서 과도한 퇴적물과 영양분은 상당부분 제거된다. 특히 습지는 수질개선에 큰 기능을 하며, 이들은 혐기성 또는 호기성 과정들을 통해 수질을 개선시킨다. 또한 이런 과정들을 통해 어떤 화학물들은 침전되거나 증발되기도 한다. 습지는 유기물질을 함유한 토양을 호수바닥에 침전시킴으로써 강으로 유입되는 많은 화학물질들에 대한 영구적인 흡수원의 역할을 수행한다. 또한 습지의 높은 생물학적 생산성은 식물체 내에 영양물을 집적시켜, 이를 다시 다른 생태계에 먹이나 보금자리로 제공하는 역할을 하여 생태계를 풍요롭게 하는 기반을 형성한다.

어떤 오염물질(대장균 박테리아, 인산염, 질산염 등)은 오염물로서 물 속에 단순히 존재한다는 것 자체보다도 전체적인 농도가 중요한데, 수변녹지는 이러한 오염물의 농도를 무해한 수준으로 저감시킴으로써 오염을 예방하는 기능을 수행한다. 수변지역에 녹지를 조성하였을 때, 단기적으로는 수변 식물에 의해 영양염이 보유되어 유역에서 지표수로의 영양염 유출이 감소(특히 홍수 기간동안)하고, 장기적인 효과로는 토양 내 광물화 과정이 증가하여 유역에서 유입되는 질산염 등이 수변식물에 의해 조절된다. 농업용지에서 지표수와 지하수로 유출되는 비점원 오염원을 감소시키는 데에 있어서도 완충녹지가 전체 농업생태계 관리에서 중요한 요소임이 최근에 인식되었다. 지하수의 수질을 개선하는 데에 있어서도 수변구역의 역할은 잘 알려져 있다. 강변 여과수를 수원으로 이용하는 경우 취수구를 수변의 수립대를 거치도록 하면, 수변녹지를 거치지 않을 경우보다 유리한 수질을 가질 수 있다.

2. 홍수 조절

식물이 자연적으로 자라고 있는 수변 지역은 홍수 조절에 있어서 많은 유익한 기능을 한다. 개발되지 않은 채 식물이 자라고 있는 범람원의 경우 홍수가 났을 때, 홍수를 수평적으로 퍼지게 함으로서 홍수의 힘, 높이, 양을 줄이게 하는 것이다. 식물이 자라는 수변지역으로 흘러 들어오는 물의 경우, 수변 삼림 등이 스펀지 같은 역할을 하게 되어 물의 에너지를 흡수하게 되고 이로 인해 하류로 흐르는 물의 속도가 빠르지 않게 된다. 식생은 또한 인접 육지에서 나오는 유출수를 보유하게 되는데, 이런 작용이 없을 경우, 유출수는 직접적으로 강으로 유입되어 하류에 심각한 홍수 문제를 야기할 수 있다. 수변 삼림의 뿌리는 토양의 흡수공을 크게 유지하기 때문에, 경작지와 목초지의 경우보다 2~3배 정도 많은 물이 토양 속으로 흡수될 수 있다.

위에서 언급한 모든 기능들은 피크 유량을 감소시켜 홍수를 저감한다. 수변지역으로부터 삼림을 제거하게 되면, 삼림으로부터 제공받는 자연스런 물막이 기능이 없어지게 되어 홍수

를 담아둘 수 있는 기능이 크게 악화된다. 또한 토양의 압축이 강화되고 토양의 공극률이 감소하게 된다. 이런 모든 영향들이 작용하게 되면 물의 흡수가 상당히 줄어들고 홍수의 속도와 양이 증가하게 된다. 마지막으로, 침식으로 생긴 퇴적물이 많이 생겨 수로를 메우게 되면, 강은 많은 양의 물을 운반하지 못하게 된다. 그 결과 홍수 저장 능력이 떨어지게 되어 피해를 가져올 수 있게 되는 것이다. 이와 같은 예는 임진강 유역에서 나타나는 수해가 그 사례로서, 도시화로 인해 수변지역의 산림이 제거되고 토양침식이 증가되어 침식물이 하도로 유입되게 됨으로써 홍수저장능력과 소통능력을 감소시켜 나타나는 현상이다. 또한 수변지역 내에 주차장과 같은 불투수층이 생기게 되면, 인접한 육지에서 발생하는 유출수를 흡수하는 용량이 작아지게 되어 이에 따라 수변지역으로부터 하천으로 유입되는 유출수의 양과 속도가 증가하기 때문에 하류에서는 홍수 피해를 입게된다.

또한, 사행하천을 직강화하면 하천이 보유하고 있는 물 저장 용량을 감소시키고 물의 흐름을 더 빠르게 만들어 결국 하류에 홍수 피해를 입힐 수도 있다. 유속이 빨라지면 강의 침식력을 증가시켜 다리나 강둑 등 취약한 지역을 위협에 빠뜨릴 수 있다. 즉, 홍수를 빠르게 하류로 흘러보낼 목적으로 수변 지역을 변형시켰을 때의 종합적인 영향은 결국 하류에서의 홍수의 강도, 기간, 빈도를 악화시키게 된다. 결국 홍수 문제는 해결되는 것이 아니라, 한 장소에서 다른 장소로 이동될 뿐이다. 대하천은 수 많은 작은 지류들에서 물이 흘러 들어와 형성된 것이기 때문에, 만약 이런 지류들을 따라 형성된 수변녹지가 훼손되어 홍수 조절 기능이 악화되면, 지류들에서 많은 양의 물이 빠른 속도로 유입되어 결국, 강의 본류 유역에 살고 있는 지역 사회에 더 큰 홍수 피해를 초래할 것이다. 수변지역의 식생을 유지하고 복원하는 것은 토양의 물 보유력을 증가시켜 지하수 공급원의 역할을 하게 됨과 동시에 기저 유출을 형성하여 하천의 생태계 유지에도 큰 도움이 된다.

3. 야생동물 서식지 및 이동통로

수변녹지는 생태학적으로 매우 다양하고 생산성이 높다. 수변지역이 야생동물의 서식지로서 매우 귀중한 또 다른 이유는 풍부한 물과 많은 동·식물 종들이 강기슭과 수생/습지, 수생/육지, 습지/육지 서식지간의 생태학적 이행 지대를 따라 한꺼번에 모여 있다는 점이다. 강과 수변지역사이의 상호 작용이 매우 다양한 생태계의 서식지를 창조하고 유지하도록 도와준다. 강과 시내를 자갈이 깔린 시내로부터 조류의 영향을 받는 하구와 넓은 범람원의 강에 이르기까지 그 모습이 다양하며, 그런 강과 시내를 따라 펼쳐진 서식지 또한 다양한 모습을 지닌다. 수변지역의 식생은 많은 종들에게 먹이와 은신처를 제공하며, 특히 야생동물의 먹이(씨앗, 싹, 열매, 과일, 땅콩 등)는 자연적으로 식생이 존재하는 수변지역에 풍부하다.

강과 시내를 따라 존재하는 수변지역은 야생동물의 중요한 서식지를 제공하는 것 이외에, 야생동물들이 그 개체수를 유지하기 위해 필요한 이동을 가능하게 하는 이동 통로를 제공한다. 이런 이동 통로가 단절되면 서식지 사이에 연결고리가 없어져 야생 동물이 감소하거나 심지어 멸종하게 될 수도 있다. 예를 들면, 많은 종류의 파충류, 양서류, 그리고 포유류들은 먹이를 구하고 번식하기 위해 수변에서 새로운 서식지로 퍼져나가야만 한다. 이것은 여러 종

들간에 지속적인 유전물질 교환이 일어나도록 해줄 뿐만 아니라, 여러 종들이 질병과 그 밖의 외부의 충격에 적응할 수 있도록 하는 중요한 요소이다. 그러므로 동물들이 육상에서 한 서식지로부터 다른 서식지로 안전하게 이동할 수 있도록 하기 위해서, 충분한 폭의 자연적인 식생이 존재하는 서식지간 통로를 유지하는 것이 생태계 유지에 있어 중요하다. 서식지의 주위가 개발되어 다른 서식지로부터 고립되게 되면, 비록 그 서식지 자체는 직접적인 영향을 받지 않겠지만 그 안의 생태학적 가치는 매우 떨어지게 될 것이다.

4. 어업 보호

자연적인 식생이 존재하는 수변 지역은 어업 보호에 있어 많은 긍정적인 기능을 수행한다. 이들 기능은 큰 범주로 볼 때 서식지 조성, 수질, 수량, 그리고 먹이 공급 등으로 나뉜다. 수질 기능의 한 예로 수변 삼림숲에 의해 생기는 그늘을 들 수 있는데, 이와 같은 그늘은 수온을 적절하게 유지시켜주는 역할을 한다. 수온이 적절하게 유지되어야 상대적으로 높은 용존 산소량을 유지할 수 있어 송어와 기타 수생 생물들이 살 수 있게 된다. 서식지 및 먹이 공급, 즉, 수변에 수생식물이나 강으로 유입되는 나무 조각(나무 줄기, 뿌리 등)은 어류들이 포식자로부터 숨을 수 있는 은신처를 제공해 줌과 동시에, 수변에서 침식물이 발생되지 않게 하거나 인근지역에서 유입되는 침식물을 차단하여 주는 역할을 한다. 한편, 강은 여울(riffle : 얕고 물살이 빠른 곳)과 소(pool : 강의 깊은 곳)가 공존하면서 하나의 시스템을 만들어 주고 있는데, 소는 깊이가 깊고 물살이 느린 지역이고, 여울은 얕고 물살이 빠른 지역이다. 소는 큰 고기들에게 은신처를 제공해 주고, 여울은 물에 산소를 공급하고 어류들의 먹이를 제공해 주는데 산란 장소와 새끼를 키우는 장소로도 사용된다. 근처의 깊은 곳은 유량이 적은 기간에 물고기의 휴식처와 은신처로서의 역할도 한다. 강에 서식하는 거의 모든 물고기는 산란 장소로 깨끗한 자갈을 필요로 하고 휴식과 은신처로 큰 돌 등을 사용한다. 그러나 수변구역에 산림이 없을 경우, 침식물이 유입되어 특히 소의 바닥이나 여울의 돌 사이에 실트나 점토처럼 미세한 물질들이 덮이게 되면 산란 장소로 적합하지 않게 된다. 이와 같이 수변녹지는 침식과 퇴적의 양을 조절하여 물고기들이 산란하는 데 필요한 강바닥의 자갈들이 매몰되지 않도록 해준다.

이와같이 수변녹지는 강둑의 침식과 홍수의 악영향을 줄임으로써 수생태계의 교란을 최소로 할 수 있다. 홍수가 나면 물고기들의 서식지인 소나 여울이 망가지는 것은 물론 문자 그대로 물고기들을 쓸어 가버리기 때문에, 강속의 서식지로부터 수변녹지 지역으로 홍수를 피하게 된다. 실제로 홍수시 물고기가 수변으로 모이는 것도 이 때문이다. 이와 같이 수변녹지는 많은 물을 저장하고 흡수함으로써 홍수의 유량과 속도를 줄일 뿐만 아니라, 나무들은 홍수의 힘을 흡수하고 물고기들에게 홍수에 떠내려가지 않을 수 있는 피난처를 제공한다. 또한 갈수기에는 수변녹지에 저류된 물을 서서히 흘려주기 때문에 하천의 유량을 유지할 수 있도록 도와준다. 마지막으로, 수변녹지는 살아있는 생물학적 완충지대의 역할을 하여 인접 지대와 상류로부터 흘러오는 과도한 양의 퇴적물, 영양분, 기타 오염물들을 흡수한다. 이 기능이야말로 수생 생물들이 살 수 있는 최상의 수질을 유지하는데 필수적인 것이다.

5. 물 공급 보호

우리나라의 상수도 공급은 90%이상이 지표수에 의존하고 있으며, 지표수 중에도 대부분이 하천 표류수를 이용하고 있다. 강에 인접한 토지에서 행해지는 대부분의 인위적 토지이용행위는 공공의 물 공급에 나쁜 영향을 줄 수 있다. 물 저장량이 많은 대부분의 대수층은 강바닥 및 수변구역 바로 아래에 위치해 있다. 이들 지역에서는 빗물이나 강물이 지하수로 흘러들어 갈 수 있으며, 수변지역에 저장된 지하수는 다시 지표수로 나타나는 등 지표수와 지하수의 유출입이 빈번하여 물 공급기지 역할을 한다. 이와 같이 수변구역은 하천과 수문학적으로 연결되어 있기 때문에 이 지역의 보전은 물 공급량 확보와 수질개선을 위해서도 중요한 기능을 한다. 특히, 갈수기에는 수변구역에 저장된 지하수가 하천으로 유입되어 기저유출로 나타나므로 수변지역의 보호는 수자원 확보와 보호에도 중요한 역할을 한다.

강과 시내를 따라 존재하는 천연 식생지역은, 인접한 개발지로부터 흘러나오는 과도한 영양분, 퇴적물 그리고 다른 오염물질들을 흡수하는 살아있는 여과지나 다름없다. 수변 삼림의 천연적인 오염제거 기능이 없다면, 강과 시내는 다양한 화학물질에 무방비로 노출될 것이고, 그 오염물질을 수처리과정에서 제거하는 데에는 또 다른 많은 노력이 들게 된다. 수변 삼림을 제거함으로써 생기는 또 다른 문제는 여름철 수온이 증가하여 펌프나 장비가 잘 부식되고 조류는 번식하게 되어, 물의 맛과 냄새를 악화시키며 병원균들이 서식하기에 좋은 환경이 조성된다는 점이다. 식생이 존재하는 수변지역은 매우 효율적이고 값싸며, 보수도 필요 없는 수처리 시설인 셈이다. 현재 수변 지역으로부터 취수지점이 개발될 예정이 없다하더라도, 수변녹지는 미래의 물 공급원으로서 필요할지도 모른다. 수변을 천연의 식생이 존재하는 지역으로 보전하는 것이 오염된 물을 처리하기 위한 고급 시설을 짓는 것보다 장기적인 관점에서 식수를 안전하게 지키는데 훨씬 효과적이고 저렴한 방법이 될 것이다.

6. 지하수 보호

지표수가 지하로 들어오는 두 가지 주요한 방법은 땅에 떨어진 강수가 토양을 통해 스며드는 방법과 강, 호수, 습지 등 물이 수계의 측면과 바닥을 통해 스며들어 인접한 지하로 흘러가는 방법이다. 강과 인접해 있는 수변지역(식생이 존재하는 땅)은 강수와 유출수가 토양으로 흡수되어 지하수로 도달할 수 있게 하는데 매우 효과적이다. 예를 들어, 수변의 삼림 밑에 있는 토양은 부패한 나무뿌리, 굴을 파고 돌아다니는 동물들과 균류 등에 의해 생긴 구멍들로 별집모양처럼 되어 있어, 강수가 쉽게 흡수될 수 있다. 동시에, 삼림 바닥에 쌓인 낙엽과 나무 조각들은 비가 온 후나 눈이 녹을 때, 지표의 유출수의 흐름을 늦추어 땅속으로 물이 스며들 수 있는 시간을 벌게 된다.

모래와 자갈로 된 지하 대수층은 대부분 수변구역 바로 밑에 존재하므로 수변지역을 자연적인 식생이 존재하도록 유지함으로써 토양의 흡수율을 유지하고 또한 지하수를 새롭게 보충하며 대수층을 충전하게 된다. 따라서 하천에 인접한 지역의 식생을 보존하지 못하거나 물을

흡수하지 못하도록 지표층을 불투수층으로 변형시키면, 지하수를 재충전하지 못하게 되고, 결국 기저유출이 감소하게 되어 갈수기 건천화의 원인이 된다. 작은 하천에서 기저유출이 감소하게 되면 완전히 말라버릴 수 있고, 이와 같은 조건은 물고기와 그 밖의 수생 생물들에게 치명적인 결과를 초래할 것이다. 더욱이 대부분 지하수의 오염물질의 농도가 지표수에서보다 낮기 때문에, 지하수가 강과 시내로 배출되면 강물 속의 독성 화학물과 다른 오염물질들을 희석시키거나 흘러 내보내는데 도움이 된다. 그리고 비가 오면 수변 삼림 완충지대로 쉽게 흡수되어 지하수로 내려가기 때문에 인접한 육지에서 흘러 내려오는 오염물질의 농도를 강에 도달하기 전에 희석시킬 수도 있다.

2.3 토지이용별 완충녹지로서의 수변녹지

일반적으로 토지이용에서 말하는 완충지는 인접한 토지 상호간의 이용이 상당히 다른 경우, 혹은 충돌의 잠재력이 심각한 곳에서, 이들 토지이용간의 충돌을 완화 또는 억제하기 위해 조성된다. 우리가 흔히 접하는 완충지대는 고속도로와 집, 공업지대와 주거지대, 도시지역과 공항 사이에 ‘완충지’ 등이 있다. 일반적으로, 특정의 토지이용행위가 주변에 끼치는 영향의 크기가 증가할수록, 특히 부정적인 영향을 포함하는 경우 완충지의 폭은 비례적으로 증가한다. 수질의 측면에서 배후지역이 개발되거나 교란된 토지가 증가할수록 인접 토지이용에서 나오는 영양물질, 화학물질, 퇴적물이 증가하여 이로 인한 수질영향이 커지며, 그에 따라 완충지의 크기나 중요성은 증가한다. 토지이용 특성에 따른 수변 완충지의 특성은 다음과 같다.

1. 삼림지역 수변완충지

삼림지의 수변 부분 관리를 위한 것으로 수질이나 수자원에 영향을 미칠 수 있는 지역에 대한 관리이다. 목재 생산을 위해 관리되는 산지에서도 물에 매우 인접한 삼림지에 대한 관리의 목재 생산과는 별개로 수질 보호와 수생 동식물의 서식처 문제에 중점을 두어야 한다. 삼림지에서의 완충지 규모는 삼림지 경사나 수자원의 중요성에 따라 조절된다.

2. 농업지역 수변완충지

농경지나 목초지 하단부에 조성되며 이들은 하천서식지를 복원하고, 영양소, 퇴적물, 살충제, 다른 화학물질 등이 지표수나 지하수로 유입되는 것을 억제하는 목적으로 조성된다. 이런 지역들은 농업지역의 일 부분으로 남아있던 삼림을 이용해 조성할 수 있으며, 대부분은 농사 짓기에 어려운 습한 토양이나 급경사지와 언덕 등이 주로 이용된다. 수질적인 측면에서는 경작지나 목초지에서 나오는 표면유출이나 지하수에 함유된 영양물질과 화학물질을 저감하기 위해 이용된다.

3. 교외지역 수변완충지

공원, 도로, 교외지역을 접경으로 하는 삼림은 자연적 기능과 퇴적물 여과, 침투증진, 영양소 흡수 및 처리, 소음 조절, 경관, 야생생물 서식처 등의 기능을 위해서 관리되는 수림대이다. 교외지역의 수변완충지에 수변녹지가 적절히 조성된다면, 도로 유출수와 인근 주거지 등에서 나오는 부유물 등 오염물질을 수변 녹지에 의해서 효과적으로 처리할 수 있다.

4. 도시지역 수변완충지

일부 지역에 존재하는 도시지역의 수변 완충지는 폭이 좁고 매우 불규칙적인 형태로 이루어져 있다. 도시 수변완충지는 시민의 심미적 기능, 동·식물의 서식처, 여가활동, 기후, 수질 등 다양한 편익을 제공한다. 삼림 완충지를 또한 연못, 저류지 등과 같이 조성하면 도시지역의 우수유출수 관리에 있어 좋은 역할을 하게 된다. 도시화된 지역의 삼림은 대부분 소규모로 분리되어 있는 경우가 많아, 이들 삼림은 도시의 수질과 생태계관리 측면에서 기능이 상당히 미약하다. 따라서 수변을 따라 연속적으로 삼림을 복원하는 것이 수질과 서식처 측면에서 가장 가치 있는 일이다. 도시지역의 수변 삼림은 조류, 양서류, 기타 야생생물을 위한 피난처로서 유일한 지역일 수 있으며, 도시민에게 여가공간을 제공한다. 외국도 마찬가지로 우리나라는 최근 들어 도시지역의 친자연형하천 조성 등 수변지역의 삼림 식재에 대한 관심과 활동이 크게 증가하였다. 특히 우리나라는 도시 하천 개수시 수변삼림이 파괴되었기 때문에, 수변삼림 완충지를 회복시키고 연결하는 것은 중요한 과제라 할 수 있다. 그러나, 도시지역의 우수유출수 수질을 향상시키는 수변 삼림 완충지의 능력은 유출수의 부피와 유속에 따라 그 효율이 매우 제한적이다. 따라서 수변 삼림의 식재만으로 도시지역의 우수유출수 수질 개선에는 한계가 있으므로, 비점오염원 저감시설을 수변녹지 조성과 동시에 추진된다면 효과가 더욱 클 수 있다.

2.4 수변녹지의 수질개선 기능 분석

수변녹지의 수질 개선기능은 유역, 토양 및 식생 특성에 따라 크게 좌우되며, 오염물 제거 기능도 오염물질별로 다양하다. 수변녹지에서 높은 탈질화율이 가능키 위해서는 낮은 산화/환원전위(Eh)를 유지하여야 하고, 이를 위해 충분한 유기물질이 공급되어야 한다. 국내 수변녹지에서의 오염물 제거기작에 대한 자료는 전무하고, 외국의 실험자료 중에서도 수변녹지를 통과하는 물에서 질산염과 부유 미립자의 제거에 대한 자료는 상당히 있지만, 이런 기능들이 기후나 수변녹지 특성에 따라 어떻게 변화하는지에 대한 자료는 부족하다. 따라서 수변녹지의 형태 및 구성에 따른 수질개선 기능을 분석하기 보다는 수변녹지의 오염물 제거에 영향을 끼치는 일반적인 요소와 제거 메카니즘 및 구간별 제거효과 등을 분석하고자 한다.

1. 수질개선 영향요소

수변녹지에서 우수유출수와 지하수에 함유된 오염물질 제거효율은 상당부분 수문학적 요소에 달려있다. 부유미립자, 용존영양물, 독성물질 등이 표면유출수에서 효과적으로 제거되기 위해서는 집중된 표면 유출수 흐름보다는 얇은 판 흐름으로 형성되어야 한다. 또한 질산염이 효과적으로 제거되기 위해서는 지하수가 수변녹지를 통과할 때 수변녹지의 뿌리지대 내에서 흐름이 형성되어야 한다. 수변녹지 내 초목은 미립자 포집의 효율을 향상시키기 위하여 표면 흐름에 대해 충분히 접촉하여야 하고, 지표에 쌓인 낙엽은 용존 영양소와 독성 물질을 동화하는데 이용될 수 있는 여건에 있어야 한다. 이와 같이 수변녹지가 수질개선에 끼치는 영향은 다양하며, 이에 대한 구체적 사항은 다음과 같다.

가. 유역특성

수변녹지 시스템의 오염제거 기능은 수변녹지 자체보다는 외부의 물리적 영향을 더 많이 받는다. 즉, 수변녹지에서 오염물 제거효과는 수변녹지 토양의 물리 및 화학적 구조, 수변녹지대의 경사, 식생종류보다는 수변녹지로 유입하는 집수구역의 경사도, 주변구역의 토지이용 특성과 토양 및 기반암 유형, 깊이 등 수변녹지의 외부의 유역특성에 더 많은 영향을 받는다. 이중에서도 우수유출수의 양과 속도를 정하는 배후지역의 경사도, 외부 유입물의 화학적 구성요소에 영향을 미치는 토양구조, 지하수로 유입되는 물질의 비율을 결정하는 토양조직 등은 주요 인자이다. 표면유출수에 포함된 오염물은 경사가 5%이하의 상대적으로 작은 유역에서 얇은 흐름으로 당도할 때, 수변녹지에 의해서 효과적으로 제거될 수 있다. 그러나 유역이 크거나 표면유출수가 집중될 때는, 오히려 수변녹지가 침식되어 수로를 형성할 수 있다. 산림화된 수변녹지에 도달하기 전에 표면유출수를 잔디층 등을 이용해 평면으로 얇게 퍼지게 하면 수변녹지의 오염물 제거효과는 커진다.

나. 토양의 산화/환원 잠재력

수변녹지에서의 탈질화 과정이 왕성하게 일어나기 위해서는 수변녹지의 토양이 혐기성이거나 산화/환원 전위(Eh)가 낮아야 한다. 수변녹지대의 낮은 산화/환원 전위(Eh)를 초래하는 반응과정은 연속된 생지화학적(biogeochemical) 반응들로 구성된다. 이런 반응들은 유기물질에서 유출된 전자를 다양한 최종 전자 수여자에게 전달한다. 최종 전자 수여자의 유용성은 수변녹지의 일정 시간과 공간에서 연속 반응과정이 어느 정도로 반응과정의 주가 될 것인지를 결정한다. 일반적으로 중요한 반응들은 망간산염이온 환원, 탈질화, 제2철이온 환원, 황산염 환원, 메탄생성 등이며, 이 반응들은 열역학적인 순서로 발생한다. 이런 반응들은 산소 분자 존재 하에서 진행될 수 없으며, 일단 산소가 호흡이나 황화물과 암모늄 이온 산화 등과 같은 반응과정에 의해서 소모되어야, 망간산염 환원이 진행될 수 있다. 일단 모든 망간산염이

환원되거나 그 지역에서 산화반응이 일어나지 않는다면, 탈질화 등이 시작될 수 있다. 또한 많은 반응의 가역성 혹은 휘발성 생산물 등이 pH 변화에 의해서 영향을 받는다. 낮은 산화/환원 전위(Eh)를 유지하는 수변녹지에서 이런 반응을 유도하는 충분한 전자를 제공한다는 것은 중요하다.

다. 초본의 종류

Groffma et al.(1991)은 로드 아일랜드 주에서 잔디가 깔린 수변녹지의 탈질화 잠재력은 삼림화된 수변녹지보다 다소 높다고 분석하였다. 또, Haycock and Burt(1993)은 영국에서 잔디로 구성된 수변녹지가 지하수로부터 질산염을 제거하는 데에 효과적이라고 발표하였다. Haycock and Pinay(1993)도 포플러 삼림으로 이루어진 수변녹지가 잔디보다 질산염 제거에 더 효과적이지만, 지하수에서 인산염과 용존 유기인을 제거하는 데는 덜 효과적이라는 것이 밝혀졌다. 마지막으로 Correll et al.(1996)은 메릴랜드 주에서 잔디로 구성된 수변녹지와 산지로 구성된 수변녹지를 비교한 결과 질산염 제거에 비슷한 효과를 보였다고 발표하였다. 이와 같이 단순히 삼림의 형태만으로 제거능력을 확정하기는 어려우나, 일반적으로 잔디 혹은 조밀한 광엽 초본이 우수유출수에서 미립자를 포집하는데 효과적이다. 그러나 지하수에서 질산염을 제거하는데 있어서는 나무로 구성된 수변녹지가 더 효과적이다. 이는 나무로 구성된 수변녹지가 토양에 유기 물질을 유지하는 데 효과적이어서 낮은 산화/환원 전위(Eh)와 탈질화 같은 반응과정을 일으키는데 필요하기 때문이다. 또한 삼림은 깊은 토양에까지 유기 물질을 제공하는데 훨씬 효과적이는데, 이는 깊은 토양에서 탈질화를 촉진한다.

라. 오염부하율

수변녹지에서의 질산염제거 중 탈질화(질산염이 미생물반응에 의해 질소가스로 환원)가 주 제거기작인 곳에서 질산염부하가 높을수록 제거 제거비율이 높다. 한편, 인의 경우 질소 부하량이 높은 경우에 비해서 부하량이 클수록 제거 효율이 낮는데, 이는 수변녹지에서 인을 제거하거나 격리하는 탈질화와 같은 미생물학적 과정이 없기 때문이다. 인 부하량은 퇴적물 침전과 용존 인의 침투에 의해 제거되며, 이러한 사실은 인의 효율적 제거를 위해서는 수변에서 원거리에 있는 지역이 잘 관리되어야 함을 뜻한다. 만약 용존인이나 미립자 인이 뿌리지대에서 오랫동안 유지될 수 있다면, 생물학적 및 화학적 제거 과정 모두가 가능할 수 있다. 부하율과 수변녹지 규모와의 관계는 특히 용존 오염물질에 대해서는 잘 정립되지 않았다. 표면에서 낙엽과 접하는 물이나 생물학적으로 활성인 뿌리지대에서, 약 30m의 완충지대는 적어도 퇴적물과 질산염 제거에 효과적이었다(Hanson et al., 1994). 농경지 대 삼림완충지대 비율이 5:8인 경우 효과적인 완충이 가능하지만 11:1 비율에서는 그렇지 않았다(Franklin et al., 1996). 이와 같은 관계는 유역특성에 따라 변하며 또한 오염물질 부하량이 표면유출수나 지하수 또는 둘 다에서 증가될 경우에도 각각 제거 효율이 달라지게 된다. 즉 지하 유출이 증가할 경우에는 질산염 제거가 증가할 것이고 지표유출이 일정수준 이상이면 오히려 퇴적물의 제거는 감소할 것이기 때문이다.

마. 지하수 수질

지하수 수질도 수변녹지에 의한 오염물 제거에 영향을 끼치는 주요 인자이다. 각종 지하 반응에서 H_3O^+ (hydronium 이온)을 소비하거나 방출하므로 지하수 pH는 자주 변한다. 비석회질의 토양이나 논밭에서는 질산화 및 산성 침적의 영향으로 농지에서 배수되는 지하수가 상당히 산성을 띄고 있는데, 이들이 수변녹지를 통과할 때 질산염은 식물동화 및 탈질화를 통해 H_3O^+ 을 소비하여 pH는 증가하게 된다.

2. 오염물질 제거 메커니즘

수변녹지에서는 영양염, 탄소 그리고 입자성 물질에 부착된 오염물질의 제거기능도 크다. 특히 질산염과 침식물 및 침식물에 부착된 오염물질을 제거하는 기능이 탁월하다. 다음은 주요 오염물질에 대한 수변녹지의 제거기능을 살펴보았다.

가. 질산염 제거

많은 연구에서 나타난 바와 같이 수변녹지를 지나 이동하는 지하수에서 질소를 제거하는 것은 매우 효과적이어서, 질소제거율이 90%를 넘는 경우도 자주 보고되었다. 그러나, 질소 농도의 변화가 탈질화의 결과인지 아니면 다른 수원으로부터의 물에 의한 단순한 희석인지에 대한 의문이 제기되기도 한다. 질산염 농도가 높은 지하수가 수변지역을 통과하게 되면 수로와 하천에 도착하기 전에 질산염 농도가 급격히 감소한다. 하천을 따라 수변지대를 통과하는 지하수에서 직접 질산염 농도를 측정 한 첫 번째 연구는 북 캐롤라이나 연안평원에서 수행되었다. 1980년대 초에 이와 같은 연구결과의 발표는 계속되었는데 대표적으로 조지아 주의 Little강 유역, 북 캐롤라이나의 연안평원, 메릴랜드지역의 Rhode강 유역 등은 농지에서 나오는 유출수의 대부분이 낮은 산화/환원 전위(Eh)를 유지하는 수변 삼림지를 통하여 그 흐름이 실측되었다. 이 연구에서 물질수지를 산정한 결과 Rhode강 지역에서는 74kgN/ha/yr의 총 질소를 보유하여 유입량의 89%에 해당하였고, Little강 유역은 26kgN/ha/yr으로 유입량의 67%, 북캐롤라이나 Beaverdam Creek 지역에서 질산 보유력은 30kgN/ha/yr로서 질산염 유입의 85%이었다. 질산염이 수변녹지를 통과할 경우 대부분이 제거되어 하천으로 유입되지 않는다는 것은 아주 명확하나, 수변녹지에서의 질산염의 보유력에 대한 정확한 메커니즘은 아직까지 완전히 규명되지는 않았다. 예상 메커니즘에는 탈질화, 동화, 초목에 의한 보유, 수변녹지 내 토양보유로 인한 암모늄 및 유기 질소로의 변환 등이 있다.

1) 탈질화

물에 포함된 유기질소는 무기화되고, 암모니아 형태로 휘산되거나 식물에 의해서 흡수 또는 탈질화되는 과정에 의해 제거된다. 탈질화는 질산염 보유의 주요 메커니즘으로 자주 언급되나, 수변녹지 내 탈질화율은 시·공간적으로 변이가 심하여서 정확한 양을 결정하기 힘들다. 탈질화의 생산물은 N_2 , NO, N_2O 등이 있고 이들의 비율도 변화가 심하여 대부분의 연구에서 이들을 모두 측정하지는 못한다. 질산염 유동에 관한 현장 연구에서는 질산염이 온화한 기후의 얇은 지하수에서 효과적으로 제거되었다. 수변 토양의 잠재적인 탈질화 연구(Ambus, 1993)에서 하천과 주변 습지 사이에 존재하는 다소 좁은 폭(20m~50m)의 전이지대에서 탈질화 작용이 왕성하게 일어난다.

특히 하천변 식생지대에서는 유속이 느려 물의 체류시간이 길고 용존성 유기물이 많이 공급되는 혐기성 조건이므로 최소 50% 이상이 제거된다. 초지보다 포플러 숲으로 이루어진 하천변 생태계에서 지하수에 존재하는 질소를 제거하는 효과가 더 큰 경우도 있고(Haycock and Pinay, 1993), 탈질화 작용이 교목대보다 초지에서 우세하여 지하수에서 유입되는 질산염보다 더 많은 양의 질소를 제거하는 경우도 있다.(Lowrance et al. 1995) 이와 같이 하천변의 녹지는 탈질화로 질소를 제거하는 주요한 지역이고 제거특성은 다양하다.

2) 식물동화

지하수내 질산염제거에서 초목에 의한 흡수도 주요 제거 메커니즘 중에 하나이다. 이와 같이 초목이 질산염 제거를 설명하는데 매우 중요한 인자이나 겨울에 낙엽 활엽수림이 동면하는 지역에서도 질산염은 제거되었다. 그리고 목질 생물량이 매년 증식함에 따른 질소 축적치가 12kgN/ha/yr에서 20kgN/ha/yr 정도였다. 그러나 이와 같은 생물량에 대한 모든 질소가 지하수의 질산염에서 왔다고 하더라도, 식물동화에 의한 질산염 제거비율은 총 제거량의 약 30% 밖에 설명하지 못한다. 따라서 질소 동화의 일정부분이 다른 원인에 의해 발생한다고 생각된다. Jacobs and Gilliam (1983)은 수변 초목의 질소 축적이 그 지역에서 제거되는 질산염의 적은 부분에 해당한다는 것을 밝혔다. 이런 사실들은 목질 생물량에서 동화 및 저장이 중요한 메커니즘이지만, 주 메커니즘은 아니라는 것을 말한다. 그러나 초목에 의한 동화와 낙엽으로서의 삼림층의 재순환이 전체 메커니즘을 설명하는데 중요하다. Rhode강 지역의 동화율은 77kgN/ha/yr이고 낙엽은 66kg/Nha/yr였다. 그래서 삼림에 의한 동화는 식물의 성장기에 지하수에서 질산염을 제거하는 주요 메커니즘이 될 수 있고, 낙엽과 같은 삼림 층에 전달되는 유기 질소량은 점차 광물화되고 토양 표면에서 탈질화될 수 있다.

3) 화학적 기작

수변녹지를 통과하는 지하수에서 질산염 제거는 생물학적인 탈질보다는 화학적 작용에 의해서도 이루어진다. 철 황화물과 같은 강력한 환원제는 질산염과 반응할 수 있다. 화학적 탈질화는 장기간 동안 충분히 낮은 산화/환원 전위(Eh)를 유지하기 위해 수변녹지 지표 밑에서 유기물질이 적절히 공급되느냐에 달려있다.

나. 기타 퇴적물, 인, 살충제 제거

기타 퇴적물, 인, 살충제 등은 지표 유출수에 포함되어 수변의 초지대로 유입되고, 지표흐름에서 침전과 흡착에 의해 제거된다. 오염물 제거기작에서 수변 초목은 미립자를 제거하거나 보유하는데 중요한 역할을 한다. 토양 표면에 의해 마찰이 증가하여 속도를 줄이고 결과적으로 미립자의 퇴적을 유발할 수 있지만, 토양 표면에 쌓이는 수변 초목과 낙엽층이 표면 유출수 속도를 줄이는 데 훨씬 효과적이다. 표면이나 표면 가까이로 집중된 식물의 건강한 뿌리와 토양 표면, 낙엽, 지상 식물에 사는 미생물 군집도 표면유출수로부터 용해된 영양소를 동화할 수 있다. 그러나 우수유출수로부터 살충제와 다른 독성 물질을 포집하는 수변녹지의 효과에 대한 연구는 상대적으로 적은 편이다.

<표 2-2> 수변녹지에서의 기타오염물의 제거기작

오염물	오염물 제거기작
부 유 물 질	침전/여과
산소소모물질	미생물 분해, 침전
병 원 균	침전/여과, 자연 사멸, 식물에 의한 항생물질 분비
인	침전, 토양흡착, 식물과 미생물 흡수

수변녹지를 통해 흐르는 물에는 부유물질과 용존물질이 포함되어 있다. 이러한 물질은 수변녹지대에서 유출수 에너지가 감소되어 침전되거나 식생 사이를 지나면서 여과된다. 수변녹지는 물에 부유하는 병원균을 침전시키며, 태양광선이나 식물에서 나오는 화학물질로 병원균을 무력화시키기도 한다. 하천변의 식생지대에서 물 속의 입자에 흡착되어 있는 인은 입자가 침전되어 제거되고, 용존상태의 인은 토양 표면에 흡착되거나 식물에 흡수되어 제거된다. 그러나 인은 공기 중으로 날아가는 양이 거의 없기 때문에 질소에 비해서 하천변 식생지대에서 제거 효율이 뛰어나지 못하고, 계절적인 영향도 많이 받는다. 인은 호기성 상태에서는 주로 무기성분(점토, 철)이 풍부한 토양 표면층에 결합되고, 상부지역에서 침식된 인의 경우는 식생에 의한 유속감소로 축적되며 용존인의 경우는 식생에 의해 흡수된다. 하지만, 토양의 범람으로 침수되어 혐기성 조건이 형성될 때에는 쉽게 용출된다. 결국, 부유물질을 침전시켜, 침전물을 불포화된 호기성 상태로 유지시키는 것이 인 제거에서는 중요한 부분이다. 수변녹지에서의 퇴적물 제거기능은 얇은 흐름에서 효과가 크며, 퇴적물 방출의 감소는 1m, 4m~5m, 10m 너비 각각에 대해 50%~60%, 60%~90%, 90%~99%로 다양하다. 이러한 값들은 Line(1991)과 Dillaha et al(1987)에 의해 제시된 결과와 잘 일치한다.

3. 식생완충대의 하천구간별 오염제거 효과

성숙한 나무(30년에서 75년)로 이루어진 수변 삼림은 뿌리지대의 물리·화학적인 조성변화 등으로 인해 배후지역에서 방출되는 각종 비점오염원을 효과적으로 감소시킨다고 알려졌다.(Hanson et al., 1994) 이와 같이 같은 식생이라도 식물의 나이에 따라 오염물 제거 효과가 다양하기 때문에 식생, 지형, 수문조건의 차이에 따른 오염물 제거효과는 더욱 커질 것이다. 따라서 수변녹지의 오염제거효과를 분석하기 위해 수변녹지를 상, 중, 하류지역으로 3구분하여 분석하였다.

가. 상류지역

석회암 지역과 같이 공극이 큰 지역은 대부분의 유출수가 지하대수층으로 흐르기 때문에 질산성 질소 제거기능이 거의 없다. 그러나 기반암이 불투수성 지역인 경우, 심층 지하수로의 이동이 적으므로 식물에 의한 질산성 질소의 제거가 이루어지며, 제거정도는 퇴적깊이, 모암의 정도 등에 따라 다양하다. 따라서 깊이 뿌리내린 식생이 질산성 질소의 포획력을 최대화할 수 있으며, 질산성 질소의 제거는 수변에 가까운 지역이 중요한 역할을 한다.

1) 천층 지하수에서의 질산염 제거

초지대 밑의 얇은 지하수 내 질산성 질소 농도는 성장기 동안 하천으로부터 9m와 6m거리에서 25%~50%로 감소된다. 그러나 Gburek et al(1986)은 Mahantango수역의 연안지역 내 질산성 질소의 감소가 연간 수역으로부터 배출되는 질소의 4% 정도로 질산성 질소를 제대로 조절하지 못하는 것으로 발표한 바도 있다. 이와 같이 천층 지하수에서의 질산성 질소의 제거효과는 지역에 따라 차이가 크다는 것을 알 수 있다.

2) 표면 유출수에서의 침식물과 영양물질제거

Dillaha et al.(1988)은 식생대 9.2m를 통해 흐르는 동안 침전물과 용존고형물이 각각 81%, 91% 제거되었고, 용존 영양물질의 제거에는 효과가 없었다. 침전물은 초기에 포획되지만 적절한 관리가 뒤따르지 않으면 처리능력은 급격히 감소한다.

나. 중류지역

석회암 지역이나 화강암 지역은 두 시스템 모두에서 뿌리 깊은 식생에 의해 질산성 질소가 제거될 수 있는데, 경사가 급한 경우에는 침전물과 침전물 부착성 화학물질의 제거에 침전물 여과용량 및 물의 체류시간에 대한 한계가 있을 수 있다. 그러나 경사가 완만할 경우 용존성 인의 제거능력이 부족하나 침전물 부착성 인의 제거기능은 높다.

1) 천층 지하수에서의 질산염 제거

McFarland(1995)는 지역 내 하천의 질산성 질소 농도가 5mg/L~10mg/L 정도로 깊이 뿌리 내린 식생으로 조성된 식생시스템에서 질산성 질소를 상당량 제거할 수 있다고 지적하였으며, Daniels & Gilliam(1996)은 식생완충대의 질산성 질소 제거효과가 지하수의 흐름깊이에 따라 크게 변동한다고 지적하였다.

2) 표면 유출수에서의 침식물과 영양물질 제거

Daniels & Gilliam(1996)은 식생완충대에서의 총 침전물부하량 감소가 30%~60%, 실트와 점토는 80%, 총인(T-P)은 50%~70%, 용존 인은 변화 폭이 크나 50%미만이 제거된다고 하였다. 질소도 변동폭이 크고 40%~60% 제거되었으며, 대부분의 감소가 현장에서 7m거리 이내에서 제거되고 침전물 제거율은 경사변화에 가장 민감하였다.

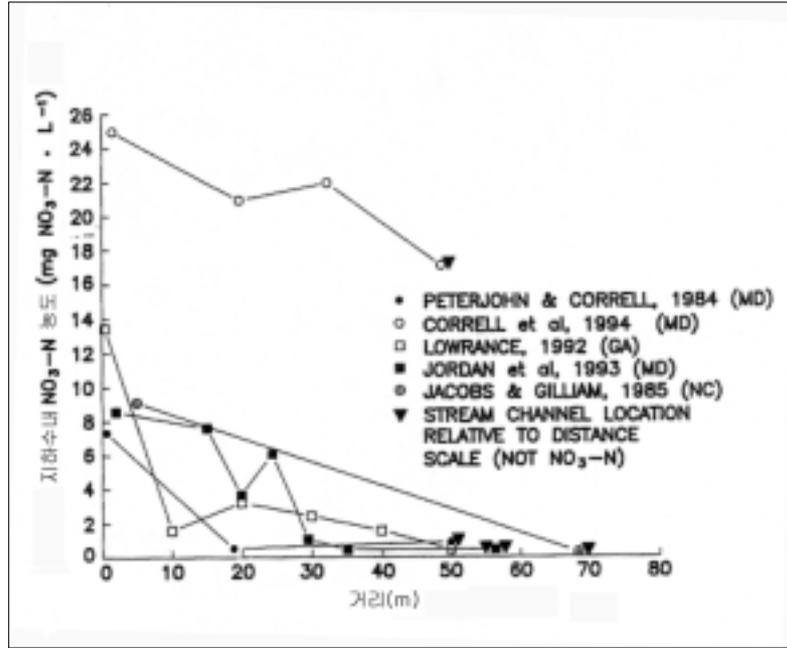
다. 하류지역

하류지역의 물질수지에 대한 기존 연구결과를 취합한 결과, 식생 완충대는 얇은 지하수내로 유입하는 질산성 질소의 85%~90%를 제거할 수 있으며, 이는 20kgNO₃-N/ha/yr~39kg NO₃-N/ha/yr에 해당한다. 또, 시스템 내 총질소(T-N) 잔류량도 유입량의 67%~89%에 이르는 데, 이는 26kgN/ha/yr~74kgN/ha/yr에 해당한다. 한편, 하천주변에서 인공배수를 하는 시스템 내 식생 완충대가 적용되기 위해서는, 배수시스템이 식생 완충대와 함께 운용될 수 있도록 하여야 한다. 식생 완충대를 설치했을 때, 무산소 침전물과 고농도의 유기물질을 함유하고 있는 표토가 존재하는 경우에는 5년~10년 동안 지표하 질산성 질소 부하량 감소와 같은 지속적인 효과를 가질 수 있을 것이나, 15년~20년 후에는 식생 완충대의 기능을 점검하여 효과를 검증하고 필요할 때 식생 보완을 하여야 한다. 질산성 질소의 경우, 물질수지상에서 언급된 것 이상의 고부하에 노출되더라도 식생 완충대가 가진 높은 탈질용량으로 질산성 질소를 충분히 제거할 수 있을 것으로 나타났다.

조성시스템 내 인의 순간류량은 유입량의 24%~81%로 1.2kgP/ha/yr~2.9kgP/ha/yr에 해당한다. 제거되는 인은 대부분 입자성 인으로 식생대에서의 포획과 침전에 의한 것이며, 지표수나 지하수에 함유된 용존성 인의 제거효율은 비교적 적다. 일반적으로 대상지역과 식생 완충대 면적비가 약 2:1인 경우, 이는 흐름이 수로화되지 않았을 경우에도 침전물과 침전물 부착성 질소, 인 제거는 침전물의 96%, 총질소의 75%, 총인의 77%가 감소할 것이다.

1) 천층 지하수에서의 질산염 제거

하류지역 내에서 질소농도의 변화에 대해 많은 연구가 수행되어 왔다. 지하수에서 질산성 질소가 제거되는 것은 연중 지속적으로 발생하고, 제거기작에 대한 해석은 명확히 밝혀지지 않았으나 일부는 겨울의 뿌리성장에 의한 것도 포함된다. 다음 그림은 산림 식생대에서의 지하수내 질산성질소 농도를 거리에 따라 정리한 것이다.



<그림 2-1> 거리에 따른 질산성 질소 제거효과

<그림 2-1>에서 보듯이 지하수에서의 질산성 질소의 농도는 7mgNO₃-N/L ~ 14mgNO₃-N/L가 1mg/L이하로 감소하였음을 보여주고 있다. 이와 같이 질산성 질소는 상당한 감소효과를 나타내고 있는데, 염화물 농도는 질산성 질소 감소농도보다 적게 감소하는 것으로 파악됨에 따라 질산성 질소의 감소는 생물학적 작용에 의한 것임을 알 수 있다.

2) 영양물질 물질수지

수변녹지의 오염물 조절기능을 직접적으로 파악하는 방법은 물질수지를 검토하는 것이다. <표 2-3>에서 정리한 물질수지에서 보듯이 총질소, 질산성 질소, 총인에 대한 하류지역에서의 물질수지 결과, 총인을 제외하고는 식생대가 상당한 기능을 하고 있음을 알 수 있다.

<표 2-3> 총질소, 질산성 질소, 총인의 연안식생대 물질수지

인용문헌	단 위(kg/ha/yr)			flux notes ^b
	유입량	유출량	잔류량 ^a	
T-N Peterjohn & Correll(1984)	83	9	74	NO ₃ , NH ₄ , Org-N in SRO, GW, P, PSF, PQF NO ₃ , NH ₄ , Org-N in GW, P, SF
Lowrance et al.(1984)	39	13	26	
NO ₃ -N Correll & Weller(1989)	45	6.4	38.6	NO ₃ , in GW, SF(baseflow only) NO ₃ , in GW, SF NO ₃ , in GW, SRO, SF
Lowrance et al.(1984)	22	2.1	19.9	
Cooper et al.(1986)	35	5.1	29.9	
T-P Peterjohn&Correll(1984)	3.6	0.7	2.9	T-P in SRO, GW, P, PSF, PQF T-P in GW, P, SF
Lowrance et al.(1984)	5.1	3.9	1.2	

a : 잔류량 = 유입량 - 유출량

b : SRO = surface runoff input; GW = groundwater input ; P = precipitation input ;
SF = streamflow output ;
PSF = partitioned slow flow ; PQF = partitioned quick flow

3) 식물의 섭취와 탈질산화

하천변 식생대에 의한 질소와 인의 섭취 및 나무에 저장에 관한 연구에 따르면, 질소는 77kg/ha/yr, 인은 10kg/ha/yr이다. 섭취한 질소와 인은 나무에 저장하는 양은 <표 2-4>에서 보듯이 섭취량 보다 적다. 탈질화가 질소 제거과정에서 중요한 역할을 하며, 대부분의 연구에서 일반적인 식생 완충대의 뿌리영역에서 탈질화가 활발하게 일어나는 것으로 규명하였다. 표토 50cm까지 수변 식생대에서 탈질되는 양은 질소와 탄소의 농도에 따라 다양하여 31kgN/ha/yr에서 295kgN/ha/yr 이었다.

<표 2-4> 연안산지내 영양염류의 주변산림식생의 포획

인용문헌	단위(kg/ha/yr)			
	질 소		인	
	총포획량	나무저장량	총포획량	나무저장량
Correll & Weller(1989)	ND ^a	12-20	ND	3-5
Peterjohn & Correll(1984)	77	12	10	1.7
Fail et al.(1987)	84	22	7.5	3.8

^a ND : not detected

4) 표면 유출수에서의 침식물과 영양물질제거

강 유출수 내 영양물질과 침전물 제거는 하류지역에서 측정지점과 방법의 다양함에도 불구하고 대부분 유입된 침식물의 80%~90%가 제거되었으나, 영양물질의 제거 효율은 이보다는 저조하였다. 19m 정도의 수변 식생대에서 침식물의 90%가량이 제거되었으나, 영양물질은 70% 수준이었다.

<표 2-5> 식생대 길이에 따른 영양물질 제거율

인 용 문 헌	식생대 길이	제 거 율
Magette et al(1989)	4.6m	- 질소 : 거의 제거되지 않음 - T-P : 27% 제거
Magette et al(1989)	9.2m	- 질소 : 약 50% - 인 : 약 50%
Peterjohn & Correll(1984)	19m	- T-N : 74% - T-P : 70%

제3장 국내·외 수변녹지 조성 및 관리실태

수변녹지는 생태적으로 가장 중요한 지역으로, 동·식물상이 다양하고 동태적이며, 복잡한 생물학적 시스템을 가진다. 그러나 대부분의 국가에서는 수변녹지가 수환경에 끼치는 영향을 고려하지 못한 채 농업용지, 주거지, 도로건설, 도시개발, 레크리에이션 등으로 개발하여 이용하여 왔다. 그러나 최근에 들어 수변녹지의 수자원에 미치는 중요성이 파악됨에 따라, 각국에서는 수변녹지의 조성 및 복원에 많은 노력을 기울이고 있다. 다음은 우리나라와 미국, 일본 등 주요 국가의 수변녹지 조성 및 관리실태에 관한 내용이다.

3.1 우리나라의 수변구역과 수변녹지 실태

우리나라의 수변녹지 훼손은 최근까지만 해도 국토전역을 통해서 이루어져 왔고, 특히, 홍수소통 위주의 하천관리로 인해 대도시를 끼고 흐르는 하천의 수변녹지는 거의 사라졌다해도 과언이 아니다. 농촌지역의 소하천 수변구역도 농로 및 농수로 개선을 위해 파괴되어 왔다. 최근에 이르러서야 수변녹지의 수자원 측면뿐만 아니라 생태기능에 미치는 중요성이 인식되어, 정부의 4대강 수질개선대책에서 수변녹지 조성이 중요한 대책으로 도입되었다. 이 절에서 우리나라의 수변구역(수변녹지)에 대한 조성역사 및 운영, 관리실태 등에 관한 사항을 분석하고자 한다.

1. 수변녹지 조성 역사

우리나라의 수변녹지는 근대로 접어들면서 그 가치가 제대로 인식되지 못하여, 각종 도시용지, 홍수소통 위주의 하천관리를 위한 개발 이용의 대상이 되어 왔다. 그러나 옛날에는 홍수관리, 방풍림의 개념으로 수변녹지의 조성 및 보전이 체계적으로 이루어져 왔음을 옛 문헌에서 알 수 있는데, 경남 거창, 경북 하회, 전남 담양지역은 그 숲이 지금까지 보전되어 하천의 기능유지에 큰 역할을 하고 있다. 영조 36년(서기 1760년) 하천관리를 주 업무로 설치되었던 준천사의 절목(節目)에 포함된 내용을 보면 “매년 봄, 가을과 우기에 갯버들과 수양버들 그리고 주로 양지에서 자라는 잡목을 제방과 틈이 난 곳에 여러 그루 옮겨다 심어, 오래 동안 자라게 하며 유지하는 곳으로 삼는다”라는 대목이 나온다. 준천은 지금의 청계천과 같이 오물과 모래, 돌 등에 쌓여 수로가 막히고 악취를 풍기게 되는 것을 막고, 궁극적으로는 수해방지를 위해 국가적으로 벌이는 개천 청소 및 보수 작업이다. 어전준천제명첩의 그림을 보면 준설을 통해 하천의 수로기능을 유지시킬 뿐만 아니라, 청계천 주변에 버드나무 등을 식재하여 여과기능을 동시에 확보하고 있었다는 사실을 짐작할 수 있다.

수변녹지의 역사를 살펴보면 담양천(전남 담양읍)의 경우 현재, 약 2km 둘을 따라 느티나

무, 팽나무, 푸조나무, 음나무, 개서어나무, 곰의말채나무, 벗나무, 갈참나무 등 수변에 녹지가 우거져 있다. 그 숲을 관방제림(官防堤林)이라고 부르는데 관비를 들여 독을 축제하여 그 이름이 유래되었다고 한다. 인조 26년(1638년) 담양 부사가 수해방지를 목적으로 독을 쌓아 나무를 심기 시작했고, 그 후 해마다 장마철이 시작되기 전에 독을 다시 보수했다. 철종 5년(1854년)에도 연인원 3만 명을 동원하여 담양읍 남산리 동정마을에서 수북면 황금리를 지나 대전면 강의리에 이르는 지금의 독을 완성하여 숲을 조성했고, 지금은 천연기념물 366호로 지정하여 보호받고 있다.

관방제림의 안내문을 보건대, 우리나라 강둑 숲의 관리는 준천사의 업무에서 공식적으로 언급하기 오래 전에 식재가 이루어진 것으로 짐작된다. 중국의 중세 자료는 홍수 방지를 위한 하천관리정책으로 버드나무 심기를 장려하고 있다. 이 자료에 의하면 "홍독 양쪽으로 땅을 기는 초본류를 땅 표면을 보호하기 위해 식재한다. 제방을 보호하는 가장 좋은 방법은 버드나무를 심는 것이고, 버드나무는 옆으로 뉘어 심어 버드나무 가지가 뿌리로부터 가장 가깝게 자라도록 하기 때문에, 버드나무 가지로부터 새싹이 가장 많이 나오게 하여 물의 영향에 저항하도록 한다. 버드나무 심기는 제방 안에서부터 밖으로 시작해야 하며, 죽은 나무는 즉시 교체해야 한다"고 하였다. 중국의 하천 제방 관리 방식에 영향을 어느 정도 받았는지 고증이 필요하지만, 영조 36년(1760년)에 하천관리를 주요업무로 설치되었던 준천사의 절목에 포함된 내용에서 식생 완충대로서 수변녹지의 기능을 어느 정도 알고 있었던 조상들의 선견지명을 엿볼 수 있다. 이런 정책의 결과로 적어도 1960년대까지만 해도 우리 나라 하천 주변은 어느 정도 숲의 모습을 지니고 있었다.(이도원, 2000)

2. 수변구역 지정 및 운영실태

우리나라는 1998년 말에 확정된 「팔당대책」에서 수변구역 제도를 도입하였고, 이를 지원하기 위한 「한강법」에서 법적인 근거를 마련하였다. 본법 제4조(수변구역의 지정 등) 제1항에서 "환경부장관은 한강수계의 수질보전을 위하여 팔당호, 남한강(팔당댐부터 충주 조정지댐까지), 북한강(팔당댐부터 의암댐까지) 및 경안천(하천법에 의하여 지정된 구간)의 양안 중 다음 각 호에 해당되는 지역으로서 필요하다고 인정하는 지역을 수변구역으로 지정·고시한다"고 하였고, 구체적인 범위로서 환경정책기본법 제22조의 규정에 의한 특별대책지역의 경우에는 당해 하천·호소의 경계로부터 1km이내의 지역, 제1호외의 지역의 경우에는 당해 하천·호소의 경계로부터 500m이내의 지역으로 하였다.

수변구역 안에서의 행위제한에 관해서는 법 제5조에서 폐수배출시설, 축산폐수배출시설, 식품접객업, 숙박업, 목욕탕업 등을 원칙적으로 제한하고 있다. 한편, 동법 제4조제2항에서는 수변구역 법정제외지역을 다음과 같이 지정하였다.

- 수도법에 의한 상수원보호구역
- 도시계획법에 의한 개발제한구역
- 군사기밀보호법에 의한 군사시설보호구역
- 하수도법에 의한 하수처리구역

- 하수도법에 의한 하수처리예정구역
- 국토이용관리법에 의한 도시지역 및 준도시지역중 기존취락지
- 자연부락이 형성되어 있는 지역의 경우 현지 실태조사후 제외

가. 수변구역 지정대상 면적

행정구역(리·동) 단위로 수변구역 지정면적을 포함하여 1:5,000 지적 전산도면으로 지정·고시하였고, 수변구역 경계에 접하는 토지 중 건축법상 대지최소면적(60㎡)이하의 토지는 제외하였다. 수변구역 포함여부는 수변구역 토지정보 데이터베이스와 지적전산도면으로 확인하고, 민원서식인 토지이용계획 확인원에 수변구역 저촉여부를 기재토록 하였다. 수변구역 예정지 전체면적은 428.3km²으로 상수원보호구역 등 법정 제외지역 면적을 제외한 255km²를 수변구역으로 지정·고시하였다. 이중 경기도가 195km²로 전체의 약 77%를 차지하며, 강원도가 12%, 충청북도가 11%를 차지하고 있다.

<표 3-1> 행정구역별 대상지역 면적

도	시·군	보전지역(km ²)			제외지역(km ²)	보전:제외지역(%:%)
		수변구역	기타	소계		
계		255.0	82.3	337.8	91.0	79:21
경기도	소계	194.9	73.2	268.1	88.6	75:25
	남양주시	11.0	15.7	26.7	2.5	91:9
	용인시	30.9	2.1	32.9	19.3	63:37
	광주군	11.0	38.6	49.6	15.5	76:24
	가평군	33.1	-	33.1	25.0	57:43
	양평군	44.1	15.6	59.7	14.7	80:20
	여주군	64.8	1.2	66.1	11.6	85:15
강원도	소계	31.2	7.7	38.9	0.6	98:2
	춘천시	21.6	7.7	29.3	0.2	99:1
	원주시	9.6	-	9.6	0.4	96:4
충북도	충주시	28.9	1.4	30.3	1.8	95:5

자료 : 환경부 고시(99.9.30)

나. 수변구역 제외지역 현황

법 제4조제2항에서는 수변구역 법정제외지역을 상수원보호구역, 개발제한구역, 군사시설보호구역, 하수처리구역, 하수처리예정구역, 도시지역 및 준도시지역 중 기존취락지구, 자연부락이 형성되어 있는 경우는 수변구역에서 제외토록 하고 있다. 이에 따라 법정 제외지역은 총 173.3km²로 전체 대상지역 428.3km²의 40%를 차지하고 있으며, 제외지역 중 상수원보호구역이 74.3km²로 가장 넓고, 도시지역이 47.4km², 하수처리 및 예정구역이 37.4km²를 차지하는 등 3개 지역이 92%로 대부분을 차지하고 있다. 그러나 법정 제외지역 중 상수원보호구역, 개발제한구역, 군사시설보호구역은 보전지역으로 분류할 수 있어 실제 수질에 영향이 없으나, 수질에 영향을 끼치는 시가화지역(하수처리구역, 하수처리예정구역, 도시지역)과 농촌지역(취락지구, 자연부락)이 총 91.0km²로 전체의 21%를 차지하고 있다.

<표 3-2> 행정구역별 제외지역 면적

도	시·군	계 (km ²)	상수원보호구역	개발제한구역	군사시설보호구역	하수처리구역 및 예정구역	취락지구	도시지역	자연부락 등
계		172.6	74.3	7.7	2.0	37.4	1.1	47.4	2.5
경기도	소계	161.2	72.9	-	2.0	37.4	0.5	46.4	1.9
	남양주시	18.1	15.6	-	-	2.4	0.1	-	-
	용인시	21.2	-	-	2.0	10.4	0.2	8.4	0.3
	광주군	53.7	39.1	-	-	11.3	-	3.3	0.0
	가평군	25.2	-	-	-	3.1	-	21.8	0.2
	양평군	30.1	17.0	-	-	7.7	-	5.2	0.3
	여주군	12.8	1.2	-	-	2.5	0.2	7.7	1.1
강원도	소계	8.3	-	7.7	-	-	0.3	-	0.2
	춘천시	7.9	-	7.7	-	-	0.1	-	0.0
	원주시	0.4	-	-	-	-	0.2	-	0.2
충북도	충주시	3.1	1.4	-	-	-	0.3	1.0	0.4

자료 : 환경부, 1999

자연부락 선정기준은 취락지구 정비지침상의 농촌형 취락 기준(가옥 20호 이상으로 대지 밀도 65%이상이거나 호수밀도 20호/ha이상)을 준용하였으나, 현장조사시 지역주민의 의견을 수렴하여 제외대상에 대한 기준을 재조정하였다. 따라서 당초 강원·충북도의 지형특성상 20호 이상의 자연부락이 드물고 가옥이 1ha당 20호 이상 조밀하게 형성된 곳이 거의 없어 대지밀도 65%는 그대로 적용하되, 가옥 10호 이상인 마을 중 호수밀도 10호/ha이상으로 기준을 완화하였다.

다. 수변구역 관리

현재 수변구역 지정·고시 후 개발수요 발생을 대비하여 도로의 ‘접도구역’ 뜻말과 같이 ‘수변구역’ 뜻말을 설치하여 수변구역 토지이용에 있어 구분을 하도록 하였고, 춘천권 등 개발제한구역이 해제되는 지역 중 수변구역 제외대상이 아닌 지역은 수변구역으로 재지정하며, 수변구역 매입토지는 녹지로 조성하여 관리하고자 하는 방침이다. 한편, 기존의 법에서 수변구역 내에서의 행위제한을 하고 있는데, 그 구체적인 조항은 다음 표와 같다.

<표 3-3> 현 법에서의 수변구역 안에서의 행위제한

구 분	특별대책지역 내	특별대책지역 외
폐수배출시설	설치금지	설치금지
축산폐수배출시설	설치금지	전량 공공처리시설에 유입하거나 전량 퇴비화할 수 있다고 판단되는 경우 허용
식품접객업·숙박업 목욕장업·관광숙박업	설치금지	BOD 10ppm이하로 처리하여 방류하는 경우 허용

3.2. 주요국의 수변녹지 조성 및 관리실태

대부분의 국가에서 수변녹지의 지정과 관리에 대한 법 및 제도적 장치는 미흡한 실정이다. 그러나 최근 들어 수변구역 관리의 중요성이 부각되면서 각국에서는 수변구역의 기능에 대해 새롭게 인식하고, 그 관리를 위해 노력하고 있다. 한 예로 미국의 경우 각 주(州)별로 완충지 또는 수변구역에 대한 각종 지원책 등 인센티브제도를 구축하고 있다. 일본의 경우도 하천관리에 있어 환경성이 강조되고 있으나, 수변구역에 대한 제도적 기반이 아직은 미흡하다. 다음은 주요국의 수변구역 관리에 관해 제도적 장치와 물리적인 구조 등에 대해 고찰해보았다.

1. 미국

가. 관련법 및 제도

미국에서 하천변의 식생 완충대에 대한 최초의 법은 1971년에 제정된 오레곤(Oregon)주의 산림관리법이다. 이 법은 1962년과 1964년의 폭우와 홍수에 의해 큰 피해를 본 후 제정되었으며, 하천변의 식생유지, 하상의 보호, 상류에서의 배수규제 등이 주요 내용이었다. 이후 개정안에서는 침식물, 영양물, 비료, 농약의 하천 유입을 감소시키고 하천의 수온과 용존산소의 변화를 최소화시켜 생태계를 유지시키는 역할로서 식생완충대의 중요성이 부각되었다. 이

와 같이 수변구역의 기능이 치수에서 환경, 생태보전 우선으로 옮겨가게 되었다. 이와 같은 관심도의 변화에 따라 각 연방, 주(州), 지방정부에서는 각종 프로그램을 개발하여 지원하고 있다. 다음은 각 기관별로 유지하고 있는 지원정책이다.

1) 연방정부

미국에서는 수변녹지 등을 보호하기 위한 각종 프로그램을 연방정부 차원에서도 운영하고 있다. 연방정부의 각종 프로그램을 활용해 주 정부 차원에서 각종 사업을 수행하고 있으며, 국가신탁(national trust)제도 등을 이용하는 민간단체 차원에서의 보호와 보전을 위한 각종 장치도 마련되어 있다. 연방정부 차원의 주요 프로그램은 다음과 같다.

<표 3-4> 수변녹지 관련 프로그램별 비용지원

프로그램	지원정도
Conservation Reserve Program(CRP)	영구식생조성은 CRP와 10~15년 계약하에 비용의 50% 지원
Wet Reseve Program	10년 유지조건으로 습지복구비의 75%지원(토지자 제외)하고 30년 이상 및 영구유지시 습지복구비와 습지대의 75~100% 지원
U.S. Fish and Wildlife Service's Partners for Wildlife Program	습지, 야생동물서식지, 하천복구비의 대부분 지원
Environmental Quality Incentives & Wildlife Habitat Incentives Programs	복구비의 75% 지원

2) 주 정부

주 정부 차원에서는 각 주의 특성에 적합하게 다양한 관리방안을 모색하고 있다. 메릴랜드주의 경우 수변구역관리 관련 프로그램을 비점오염원 프로그램의 일부로서 활용하고 있다. 예를 들어, 메릴랜드 보전지역 강화프로그램(Maryland's Conservation Reserve Enhancement Program)은 연방 보전지역 프로그램(Conservation Reserve Program)과 공동으로 운영하는 프로그램으로서, 농지를 습지나 수변식생으로 조성하는 경우 토지소유자에게 금전적인 인센티브를 제공하는 것이다. 또 다른 프로그램은 자연하천 재삼림화 프로그램(Natural Resources's Stream Relief Program)으로 이 프로그램에서는 수변지역에 나무를 심는 경우 토지소유자에게 인센티브를 제공하는 프로그램이다.

남부 캐롤라이나 주의 경우를 보면, 환경보존과 보호에 관련해서 법 1976, 타이틀 48을 개정하고, 주의 하천, 하구 지역에 대해 수변완충지대를 두도록 하고 있다. 수변구역의 관리를 위해 수변지역의 토지이용을 통제할 뿐만아니라, 보건 및 환경 관리부(Department of Health and Environmental Control, DHEC)에서는 지방 정부가 최소한의 수변완충보호 프로그램요건을 채택하고 집행하도록 지도하고 있다. 그리고 DHEC는 주 전체에 대해 최소한의 수변완충지대를 조성, 유지하기 위해 남캐롤라이나 수변 완충지대 관리법 2000 (South

Carolina Riparian Buffer Zone Management Act:2000)을 제시하였다.

이 법안의 주요 내용은 본 법에서 허가된 토지이용이나 토지이용 변화를 제외하고 주의 모든 수변완충지대가 자연적인 서식지로 환원되거나 자연적인 식생상태로 관리되어야 한다는 것을 포함하고 있다. 수변완충지대 내에 있는 모든 부동산이나 토지 일부분은 그 토지에 적용되는 모든 규정이나 제한 뿐만 아니라, 수변완충지대에 독특한 제한도 따르도록 하였다. 수변지대에서 일반적으로 금지되는 행위와 허용되는 행위는 다음과 같다.

① 수변완충지대 내에서 금지되는 행위

- 토지교란 행위
- 정화조 설치와 정화조 유출수 배출
- 건물, 부속구조물 신축, 그리고 모든 유형의 불투수표면 설치
- 쓰레기 또는 폐기물 매립
- 독성 또는 위험한 기타 오염물질 저장 및 유통
- 광산
- 우수저류시설, 단, 지방의 계획위원회의 승인을 충족시키는 인공습지와 같은 시설물 제외.

② 허용되는 토지이용

- 다음을 제외한 기존의 토지이용
 - 기존의 토지이용이나 그 이용과 관련된 건물이나 구조물이 확장되거나 이용이 증가될 때.
 - 기존의 토지이용이나 그 이용에 관련된 건물이나 구조물의 용도가 일부 또는 전부가 바뀔 때.
 - 기존의 토지이용이 1년 이상 중지될 때
- 농업생산과 관련되는 기존의 토지이용은 모든 주와 연방의 법 규정에 일치되어야 한다. 그리고 남캐롤라이나 내 수질보호를 위한 농업(Farming for Clean Water in South Carolina)에서 규정한 보호절차와 미국 자연자원보존국에 의해 만들어진 최적관리기법(Best Management Practices, BMPs)에 따라야 한다.
- 하천의 50ft내를 제외한, 선택적인 별목은 산림위원회(Forestry Commission)에 의해 규정된 최적관리기법에 따라야 한다.
- 수송수단과 공익설비에 의한 횡단. 그러나 이러한 이용이나 행위허가는 수변완충지대에 대한 영향을 최소화하는 완화프로그램을 조건으로 한다.

③ 주요형질변경 신청

- 토지소유자는 지역계획위원회에 수변완충지대의 주요 토지 형질변경을 신청할 수도 있다.
- 형질변경에 대한 신청자는 토지변화가 수질의 저하를 야기하지 않을 것이라는 내용을 구체화한 서류를 제출해야 한다.

- 수질저하를 일으키지 않는다는 근거서류
- 보호지역의 상태를 포함한 기존의 부지 상황
- 제안된 계획의 목적과 필요성
- 완충지 잠식을 최소한으로 축소하는 방안과 토지형질변경의 당위성
- 부지준비, 건설 기간 및 건설 후 기간에 제안된 잠식지의 영향을 상쇄하는 완화 계획
- 주요 형질변경은 지방계획위원회의 명백하고 납득할 만한 증거에 의해 내린 결정이 없다면 허가될 수 없다.
- 수변완충지대의 요건이 수변완충지대의 폭을 줄이지 않고서는 토지소유자가 토지에 대한 경제적 이용을 전혀 할 수 없을 때
- 크기, 모양, 또는 지형으로 인해 수변완충지대를 침입하지 않고 단일가족 주거지를 건설하는 것이 불가능할 때
- 지역계획 위원회로부터 허가된 모든 주요형질변경은 다음의 상태를 충족시켜야 한다.
- 수변완충지대 폭은 단지 경감을 위해 필요한 최소한의 정도 내에서 축소된다.
- 토지교란 활동은 우수유출수관리 및 침식물 감소법 (Stormwater Management and Sediment Reduction Act, SMSRA)(1991)과 모든 적용할 수 있는 최적관리기법의 요건과 일치해야 한다. 이러한 활동은 연방의 CWA와 DHEC에 의해 명시된 바와 같이, 수질에 영향을 주어서는 안된다.
- 형질변경을 허가하는 부가적인 조건으로, 지역 계획위원회는 수질에 영향을 주지 않는다는 것을 입증하기 위해 토지교란 행위가 발생한 장소에서 하류까지 수질모니터링을 할 필요가 있다.

④ 소규모 형질변경

- 토지소유자는 지방의 계획위원회에 신청하여 수변완충지대의 요건에서 소규모 변경을 요구할 수도 있다.
- 소규모 변경을 신청하고자 하는 자는 수질악화에 영향을 주지 않을 것이라는 구체적 내용을 제출해야 한다.
- 모든 소규모 변경은 다음의 기준을 지켜야 한다.
 - 수변보존지대의 잠식은 가능한 최소한으로 하여야 한다. 또한 어떠한 지점에서라도 완충지대가 25ft이하가 되어서는 안되고, 평균 폭이 75ft보다 더 적어서는 안 된다.
 - 수변완충지대 폭의 축소는 같은 수변완충구역의 토지 내 다른 곳에서 이에 상응하도록 증가시켜야 한다.
 - 토지교란 활동은 우수유출수관리 및 침식물 감소법(SMSRA)과 모든 적용 가능한 최적관리기법의 요건에 부합되어야 한다.

⑤ 기타 주요 조항

- 다른 법 규정에도 불구하고 수변완충지대 기준에 대한 토지형질변경에 대해서는, 본 법에서 제시한 사항과 일치하지 않는 토지이용의 허가 또는 주와 연방법에 의해 만들어진 최

소한의 기준보다 더 적게 수변완충지대를 줄이는 것은 허용되지 않는다.

- 수변완충지대에 대한 규제사항이 타법의 내용과 상충되는 경우, 수질에 대한 가장 보호적인 요건이 적용되어야 한다.

⑥ 수변완충지대 요건의 실행

- DHEC는 수체 일부분 및 중요한 유역을 보존지역으로 지정할 수도 있고, 지방의 요건보다 좀더 엄격한 수변완충지대 요건을 부과할 수도 있다. 주 전체의 수변완충지대 요건에서 어떠한 변화라도 지방정부에 의한 변경허가 전에 DHEC에 의해 승인을 받아야 한다.
- 관련 부서는 지방정부의 수변완충지보호 프로그램 이행절차, 조사, 유지에 대한 지침을 제공하여야 한다. DHEC에 의해 채택된 지침은 최소한으로 개발밀도를 통제하는 규정, 건전한 공학 원리에 기반한 개발밀도 통제에 대한 사항, 관리요건 등을 포함하여야 한다.
- 모든 지방정부는 수변완충지 보호규정을 DHEC에 제출하여 승인을 얻어야 한다. 이 경우 지방정부는 DHEC에 의해 채택된 것보다 엄격한 수변완충지 관리요건을 부과하는 지방의 규정을 채택하여야 한다.
- DHEC은 프로그램의 승인에 있어, 주에서 요구하는 최소한의 수변완충지 보호요건 이상인 경우에만 지역의 프로그램을 승인하여야 한다.

⑦ 수변완충지대의 강제 집행

- 만약 지방정부가 수변완충지대 보호프로그램을 채택하는데 실패하거나 승인된 프로그램의 최소한의 수변완충지대 보호요건을 시행하는 의무를 적절히 수행하지 못한다면, DHEC는 주에서 요구하는 최소한의 요건을 시행해야 하고, DHEC가 수변완충지대 보호를 위한 의무를 맡아야 한다.
- DHEC는 지방정부가 수변완충지대 프로그램 수행준비를 할 수 있도록 최소한 120일을 주어야 한다. DHEC는 지방정부가 수행에 대한 진전이 없을 경우, 승인된 지방의 프로그램의 책임인수를 명령해야 한다.

⑧ 미 집행에 대한 벌칙

- 주 전체의 최소한의 수변완충지대 요건을 고의로 집행하지 않았거나 이 법에서 요구되는 수변완충지 보호프로그램을 채택하지 않은 지방정부에 해당 벌칙을 부과하도록 한다.
- 이 법에 따라 수변완충 보호요건이나 관리요건을 실행하지 못했거나 어긴 개인에게도 해당 벌칙을 부과하도록 해야 한다.
 - 이 법의 규정 또는 관련 부서의 명령이나 최종 판결을 고의 또는 부주의로 어기는 사람에게는 매일 벌금 500달러이상 또는 25,000달러이하, 2년미만의 감금형, 또는 둘 다 부과할 수 있다.
 - 이 법의 규정 또는 관련 명령이나 최종 판결을 어기는 사람은 그러한 위법의 날수에 대해 10,000달러를 초과하지 않는 과태료를 부과할 수 있다.

⑨ 보조금 지원

- 예산관리위원회(Budget and Control Board)는 기금에서 수변완충 보호 프로그램을 보조하기 위해 지방정부에게 매년의 보조금을 준다.
- 모든 주정부기관은 이 법의 목적과 정책에 일치되도록 모든 사업을 실행해야 한다. 또한, DHEC에 의해 채택된 최소한의 수변완충지 보호요건과 지방정부에서 채택된 수변완충지 보호규정에 따라야 한다.

3) 시와 군

시·군의 사례로는 미국 메사추세츠에 있는 Sherborn시를 대상으로 하였다. Sherborn시는 인구 약 5,000명 정도의 소도시이나, 일반습지조례(General Wetlands By-Laws : SBL)를 1979년에 제정하였고, 이 법은 주 습지 보호법(Commonwealth's Wetland Protection Act)과는 독립적인 지방 법률로써 제정되었다. Sherborn의 조례에서는 Sherborn 보전위원회(Conservation Commission)에 습지에 인접하거나 습지 안에서 수행되는 프로젝트를 규제하는 권한을 주었다. 메사추세츠주의 법이 환경보호부(Department of Environmental Protection, DEP)에 규제를 만들 수 있는 권한을 줌에 따라, 지방 조례는 보전 위원회에게 규제를 만들 수 있는 권한을 위임하였다. 이 규정은 완충구역(습지지역의 경계에서 바깥쪽으로 수평하게 100ft 내)에서 제안된 활동의 실행기준에 대한 사항을 제시하고 있다.

① 목적

이 규정의 목적은 Sherborn 자원보호지역에 영향을 주는 활동의 규제를 통해 다음과 같은 공공의 이익을 도모하는데 있다.

- 지표수 및 지하수 공급과 수질보호
- 홍수 조절 및 홍수 피해 방지
- 오염 및 침식 방지
- 식물과 동물 그리고 그들의 서식지 보호
- 레크리에이션 지역 보호

② 규제행위

- 토양이나 자갈, 모래의 준설, 제거, 굴착
- 기존의 배수 특성, 흐름패턴, 침전 패턴, 홍수저류 특성 등을 바꾸는 것
- 지표수나 지하수의 수위 교란
- 투기, 배출 또는 매립 등 수질악화 요인행위
- 건물 내·외부의 구조 또는 건물의 변경이나 건설
- 수체 내 각종 장애물을 설치하는 것
- 자원보호구역이나 완충지역에서 식생에 불리한 영향을 주는 것
- 물의 물리적 특성, 생화학적 산소 요구량, 수온을 변화시키는 것
- 수체나 지하수에 영향을 줄 수 있는 활동, 변화, 작업

③ 규제지역의 구분

○ 자원지역

자원지역은 제방, 습지, 해안, 소택지(marsh), 습한 목초지(wet meadow), 습원(bog), 늪(swamp), 강, 하천, 연못, 호수, 또는 범람지역이 있으며, 이 지역은 SBL하에 보호받는다. 이 자원지역을 보호하기 위해서, 자원지역의 가장자리로부터 바깥쪽으로 100ft이내의 변경행위는 위원회에 의해 검토되어야 한다.

○ 완충구역

완충구역은 SBL에 의해 보호되는 자원지역의 인접지 가장자리로부터 100ft내의 토지이다. 완충구역을 보호하기 위해 다음 사항을 준수하여야 한다.

- 도로배출수, 비료, 살충제, 그리고 기타 다른 오염물에 포함된 영양물과 화학물을 흡수하는 자연적 필터를 제공함으로써, 수질오염 저감
- 표면수의 토양 침식과 침전작용을 줄이기 위해, 표면수 배출속도 지연
- 토착 수생 양서류나 파충류 생활을 보호하기 위해, 수온체계를 보존하기 위한 차광 조건 유지
- 야생생물 이동을 위한 통로나 야생생물 서식지 제공
- 물 공급을 보호하고 오염물을 방지하는 필터 구역으로서의 역할

○ 변경 금지 지대

자원지역이나 자원지역의 인접지 가장자리로부터 바깥쪽으로 수평하게 최소한 50ft내에 매립, 준설, 건설이나 기타 변경으로 인해 불리한 영향이 있을 것으로 판단되는 지역이다.

○ 자원지역과 완충구역 내에서의 활동 제한

자원지역으로 명시된 지역의 인접지 가장자리로부터 바깥쪽으로 수평하게 100ft내에서 SBL하에 보호받는 지역을 변경하는 행위는 SBL의 규제를 따라야 하고, 의향 통지서(Notice of Intent)가 필요하다.

나. 수변구역의 물리적 구조

미국에서는 각 지역마다 다양한 형태의 수변구역을 조성하고 있다. 1990년대 초에 아이오와 강을 따라 만들어진 수변녹지시스템은 다양한 식물로 건설된 녹지대, 제방의 안전성 제고를 위한 식재, 그리고 비점원오염원을 제거하기 위해 만들어진 습지 등 세 가지 요소로 구성되어 있다. 태평양 연안 서북부(Pacific Northwest)에서는 하천에 대한 완충지 폭을 정하는데 있어 일차적으로 어류와 야생생물 서식지의 질(하천 온도, 먹이 공급, 하천 구조, 퇴적물 조절)을 유지하는데에 중점을 두었으며, 인접한 고지대의 경사, 습지의 분포, 토양과 식물의 특성, 그리고 토지이용에

따라 다른 효과적인 완충지 너비를 밝히는 연구를 수행하였다.

<표 3-5> 미국 각 주(州)의 완충띠(buffer strip) 요구사항

주	하천등급	완충띠(buffer strip) 요구 사항		
		폭	그늘면적	나무수에 관한 규정
아이다호	Class I*	75ft 이상	75% current shade ^a	하천의 폭에 따라 1000ft 당 개수로 규정 ^b
	Class II**	5ft이상	없음	없음
워싱턴	Type 1,2,3*	하천의 크기에 따라 5~100ft사이	온도가 60. F 일 경우에 50%, 75%	하천폭과 하상재료에 따라 1000ft당 개수로 규정
	Type 4**	없음	없음	1000 ft당 지름 6in 나무 25그루
캘리포니아	Class I and Class II*	경사와 하천등급에 따라 50~200ft사이	경사와 하천등급에 따라 차이가 있으나 50%정도	천개밀도에 따라 결정
	Class III**	없음 ^c	50% ^d	없음 ^e
오리건	Class I**	하천폭의 3배(25~100ft)	천개 50% 그늘 75%	1000ft당 개수로 규정
	Class II special protection**	없음 ^f	그늘 75%	없음

주 *) 상수원 또는 어업용도

**) 퇴적물 등으로 인한 하류의 악영향이 우려되는 하천

a :그늘은 하천온도 유지를 위해 적용

b :나무 그루수는 나무유지를 적용

c :어떤 형태의 목재 수확을 위해서는 300ft만큼 큰 범위로 할 수도 있음

d :현장조사에 의해 결정

e :하류의 유익한 용도의 악화를 막기위해 충분한 식생유지

f :1등급하천에서는 침식이 일어나지 않을 정도로 충분히 유지하도록 규정

자료 : Belt et al., <http://www.uidaho.edu/cfwr/pag/pagr8.html>

2. 일본

일본은 20세기 중반까지 인구의 증가와 도시의 발전·팽창으로 인해 토지이용이 세분화·고도화됨에 따라 전 국토에 걸쳐 개발이 진척되어 수변지역이 많이 파괴되었다. 그러나 20세기 후반 들어 자연환경 보전 즉, 산지와 수변의 자연생태계와 자연경관 보전에 관심을 두게 되어, 환경 복원적 치산·사방사업에 대한 관심이 증대되었다. 최근 들어 대규모의 인공댐과 견고한 호안의 건설이 결국 하천생태계와 수변구역의 식생을 파괴하고 있다는 사실이 판명되어, 각종 건설 사업에서 자연환경을 고려하는 방안을 모색하고 있다.

1) 일본의 수변구역 실태

예전에는 최상류 유역의 계류를 제외하고 하천은 통상 유로, 범람원, 그리고 자연제방, 단구에 연속적으로 이어지고, 육지와 수역의 생태적인 연결고리가 형성되어 있었다. 그러나 오늘날에는 하천주변에 농경지, 택지개간 등 토지이용이 진척되어, 수변구역, 산림 등 하천의 배후지를 잃게 되었고, 각종 치산·사방사업 및 개발이 실시되어 육지와 수역이 일체였던 수변환경을 잃어 가고 있다. 콘크리트호안은 그 가운데 가장 두드러진 것으로 하천과 수변의

상호작용을 단절하고 있다. 그 결과 육지로부터 토사, 물, 유목이나 낙엽 등의 공급이 막히고, 하천의 증수, 범람 등에 의한 육지의 교란이 감소되어, 육지와 하천이 물리적·생물적으로 일체가 되었던 수변의 환경이 파괴되고 있는 것이다. 전국의 주요 153개 1급하천(6,249km)을 대상으로 조사한 결과 1990년에는 인공화된 수변이 26.6%(2,441.5km)에 달했다. 수변을 구성하는 산림군락은 많은 적든 하천으로부터의 물리적, 생리생태적 영향을 크게 받고 있다. 그 때문에 홍수 조절이나 이수를 목적으로 하는 대규모 댐 건설로 하천 유량의 감소나 안정화 등이 발생하고 수변에 자생하는 산림군락에서도 종조성이나 구조에 변화가 나타난다. 따라서 현재까지 수변구역 산림과 그 주변 산림은 실제 엄밀하게 구분되지 않는다(鎌田 等, 1997).

2) 수변구역산림의 기능과 다양성

현재까지는 식물학적 연구에 의해서 수변구역 산림의 종조성과 수종의 분포특성을 밝혀왔지만, 수변구역 산림의 수종구성은 기후조건에 의해서 달라진다. 홋카이도에서 버드나무류를 우점종으로 하는 수변구역 산림은 상류에서 하류지역까지 넓게 분포하고 있고, 선상지에는 당느릅나무를 우점종으로 하는 산림이, 습지에서는 들메나무가 우점하는 산림이 분포하고 있다(鈴木 等, 1997). 하나의 하천이라도 수변구역 산림은 상류와 하류에 따라 다르다. 홋카이도에 있는 상류지역과 하류지역에서는 버드나무의 종도 틀리고, 같은 지역에서도 하천의 특성에 따라 몇몇 종의 버드나무가 공존하고 있다. 관동지방의 황폐계천에서는 최상류 지역의 아고산대 하부에서 자라는 낙엽송이나 화백나무가 수변구역 산림이다(新山, 1989). 지금까지는 수목의 분포나 갱신이 하천지형과 퇴적물에 의해서 달라진다는 결과가 보고되었으나, 지형변화를 일으키는 계류·하천의 교란이 수변구역 산림의 갱신에 미치는 영향에 관한 연구는 아직 시작 단계에 불과하다(崎尾 等, 1995).

일본의 냉·온대지역 중소하천변에 발달하는 수변구역 산림은 인접한 산복비탈면에 발달하는 산림군집과는 종분포에 큰 차이를 보인다. 안정된 산복비탈면의 임관층에서는 너도밤나무가 우세하고, 林床에서는 조릿대류가 우점하지만 전체적인 종조성은 극히 단순하다. 이에 반하여 수변구역 산림에는 임관층과 임상에 우세한 종이 없고, 종다양성의 지표가 되는 종다양도지수는 동시에 높은 대표값을 나타낸다. 이와 같은 수변구역 산림에 있어서 종다양성은 단순히 수변의 특성인 입지를 선택적으로 이용하는 식물종군이나 하천의 범람 등 빈번한 교란 하에 적응하는 종군이 보이지 않고, 상부비탈면에서 우점하는 종군이나 원래 넓은 분포지역을 가지면서도 산복비탈면 등에서 탁월한 종에게 밀려난 희소종이 피난처로서 수변지역을 이용하고 있다(鈴木 等, 1997).

이와 같이 수변지역에서는 다양하고 복잡한 식물군집이 성립하고, 또 그것들을 먹이로 하는 동물종이 존재하여 수변지역의 생물다양성이 형성되고 있다. 계류·하천지역에서는 범람, 토석류에 의한 사력의 침식, 운반, 퇴적 등의 교란 외에 계류에 접한 비탈면으로부터의 교란 등에 의한 복잡한 교란체계를 나타낸다. 또한, 빈도, 규모, 강도가 다른 교란에 의해서 형성된 수변지역 구조는 복잡한 모자이크 형태가 된다. 즉, 그 곳에서는 토양, 수분, 조도환경이 다른 유로, 사력퇴적지, 비탈면 등의 입지에 적응한 식물군이 종, 나이, 규모가 다른 모자이크를 형성한다. 그 결과 수변지역에서는 많은 식물종이 갱신, 생육하여 다양성이 존재하게 된다. 결

국 수변지역에서 종의 다양성은 계속되는 교란에 의한 식물군락의 파괴와 복원에 의해 유지되고 있다고 할 수 있다. 수변구역 산림을 구성하고 있는 수목은 종자생산 및 산포, 발아, 싹생의 정착, 치수의 성장 등 생활사의 여러 가지 단계에 있어서, 계류·하천지역의 다양한 교란현상과 특유의 수분환경에 대응하는 성장을 하고 있다. 한 예로, 홋카이도에서는 수중에 따라서 개화나 종자산포 시기가 다르다. 그 때문에 해빙에 의한 증수시부터 하천수위의 저하에 따라서 하안에는 다른 종의 버드나무가 정착해 공존한다. 수변지역과 같이 지표가 빈번하게 교란하는 입지에 분포하는 종은 정착초기에는 줄기가 한 개이지만, 맹아줄기를 성장시키기 위해서 휴면아를 만들고, 붕괴에 의해 뿌리가 자라지 못할 때에는 맹아를 성장시켜 손상을 복원하고 있다.

하천생태계에 있어서 수온의 변화는 미생물, 조류, 무척추동물, 어류 등 그 곳을 서식환경으로 하는 모든 생물에게 영향을 주고, 분포를 제한하는 요인이 된다. 특히 연어과 어류의 서식과 번식을 위해서는 낮은 수온의 유지가 필요하고, 수변구역 산림은 하천과 계류에 있어서 수온의 상승을 억제하는 중요한 역할을 하고 있다. 상류지역의 수변구역 산림에 있어서는 수관이 계류에 내려찍는 직사광을 차단하고 있다. 하천폭이 넓은 하류지역에 있어서도 수변구역 산림 아래는 직사광이 차단되어 어류의 중요한 서식환경이 된다. 겨울이 되면 수변구역 산림에서는 낙엽활엽수를 주체로 한 많은 양의 낙엽이 생산된다. 이들 가운데 일부는 직접 유로 내에 공급되기도 하지만, 일단 林床에 떨어져 바람에 의해 유로 내로 이동하는 것도 있다. 유로 내에 공급된 유기물은 물의 흐름을 타고 흘러 돌 틈이나 流木에 걸리거나, 웅덩이에 퇴적해서 하루살이 등의 유충인 수생곤충의 먹이가 되어 분해되는데, 잎의 분해는 수중에 따라서 다르다(柳井과 寺澤, 1995).

일본에서의 수변구역관리는 최근까지만 해도 생태적, 학술적 차원에서의 연구와 친수 및 자연환경 보전측면에서의 연구수준에 머물고 있다. 최근들어 친수환경조성, 친자연형하천 정비사업 등의 활발하게 진행되고 있으며 이들 사업은 수질, 수량, 친수, 생태 등을 종합적으로 고려하고 있다.

3. 네팔

네팔은 1993년 완충지대법을 제정하여 관리하고 있다. 네팔은 완충지대에 대한 입법화를 추진하고 국립공원경계에 인접한 토지에서 일어나는 자연자원의 문제를 다루기 위해, 1993년 중앙정부인 자연공원 및 야생생물 보호국(Department of National Parks and Wildlife Conservation, DNPWC)에 권한을 위임하여 이 기구에서 국립공원 및 보전법(BZMA) 4차 개정안을 통과시켰다. 이 법은 중앙정부에 국립공원이나 보존구역에 인접한 토지에 완충지대를 계획하는 권한을 부여하였다. DNPWC는 완충지대에서의 사적인 토지의 소유권을 가질 수는 없으나, 산림부(Department of Forestry, DF)나 기타 정부의 기관에 의해 시행되는 공공토지에 대한 관리임무를 맡을 수 있다. DNPWC는 계획된 완충지대에서 숲 자원을 관리하는 책임을 맡고 있다. 그러나 법은 숲 관리에서 지방의 참여를 촉진하기 위해 사용자단체위원회(User Group Committees, UGCs)를 구성하도록 장려하고 있다.

이 외에도 법은 공원 수입(입장료, 호텔 로열티 등)으로 벌어들이는 재원의 30%~50%가

지방의 지역사회개발을 위해 소비되어야 한다는 내용을 제시하고 있다. 이 법의 구성은 완충지대 숲 자원에 대한 책임 있는 관리를 통해 공원을 보호하고 지방의 지속 가능한 숲 자원을 확보하기 위해서, 공원 관계자와 지방의 마을사이의 관계조정을 촉진하도록 계획되었다.

1) 법적인 문제

완충지대 관리권한의 적용범위문제(국립공원 내에서의 외부에서의 적용문제, 보존구역으로 확대하는 문제 등), 기금을 배분하는 문제에 대한 제한 여부문제, 계획된 완충지대에 위치하는 개인소유의 부동산에 대해서 영향력을 행사할 수 있는가의 문제, UGCs가 어떻게 구성되고 선택되어야 하는가의 문제, UGCs에게 어떠한 책임과 권한이 주어지는가 문제, 완충지대의 관리가 개인적인 자원이용활동과 상업적인 자원이용활동을 구분해야 하는가의 문제, 완충지대 관리 당국이 여행시설 개발을 규제할 수 있는가 또는 해야 하는가의 문제 등에 대한 질의 그 대답을 명시한다.

2) 실행전략

완충지대법의 실행 초기에는, 잠재적으로 영향을 받는 지역사회와 논의한 후에 정부는 완충지대를 관리하기 위한 제도적인 틀을 형성하는 일반적인 규정을 발표하도록 하였다. 이 제도적인 구조와 관련된 과정은 위에서 대략적으로 살펴본 원리에 기초하고 있다. 완충지대 자원을 무책임한 지방정부 관리로부터 보호하기 위해 공원관리자에게 충분한 권한을 주도록 하였다. 또한 다양한 지방여건에 맞는 유연성을 고려하였다. 규정을 최종적으로 승인한 후에, 관련 부서는 관리인에게 완충지대를 계획하고 지방의 UGCs를 구성하는 것에 대한 시간의 틀과 기준을 제시하였다. 그 외에도 정부는 자금 분배 메커니즘(Fund dispersal mechanism)을 구성해야 하는데, 이는 기금이 완충지대에 대한 지방의 책임성 있는 관리가 이루어지도록 보증해 주어야 한다. 마지막으로 관련 부서는 시스템이 어떻게 작동하는지 모니터링 해야하고, 수정이 필요한 곳은 수정하며, 공원 시스템전반에 걸친 이러한 정보를 공유해야 한다. 모니터링 과정을 용이하게 하기 위해서, 관리자는 그들의 완충지대관리 향상을 평가하는 정기적인 보고서를 제출하여야 한다.

4. 호주

호주의 경우, 농업의 확장과 수변구역에서의 벌채는 하천에 퇴적물과 영양염의 유입을 크게 증가시켰다. 그 결과, 하천 내 생태계는 외부에서 유입된 오염물질에 의한 일차생산력의 영향을 받게되었다. 이와 같이 과거에는 수변구역에 크게 관심을 기울이지 않았으나 수변구역의 중요성을 깨달은 후, 현재에는 농업용 저수지에서 수질을 개선시키는 수변 완충지를 포함하여, 수질기능을 회복시키고 악화를 방지하기 위해 수변 식물을 복원시키는 데에 노력을 기울이고 있다. 완충띠는 수로 확장을 막기 위해 이용될 수 있고 영양염과 퇴적물의 하천이나 호수로 유입억제를 위해서도 이용된다. 목표는 하천생태계를 개선시키기 위한 효율적이고 경제적인 관리를 하는데 있다. 호주에서 수질에 대한 주요한 관심은 인, 탁도 그리고 퇴적물과 관련되어 있다.

5. 영국

영국에서는 비점원오염원으로부터 수자원을 보호하기 위해 완충띠를 사용한다. 현재의 산림 지침은 농지에서 방출하는 물이 식재된 완충지역을 통과하도록 권장하고 있고, 저수지의 퇴적물 이동을 규제하는 퇴적물 트랩(traps)으로서의 이용도 추천된다.

6. 프랑스

1992년부터 농지에서의 지표유출에 의한 농약의 유출을 억제하기 위해, 잔디화된 완충띠(Grassed Buffer Strips, GBSs)의 효율성 평가를 위한 연구를 수행하였다. 1992년부터 1995년까지 연구결과에 따르면 5.7m와 11.1m 너비는 유출량을 8%~91%까지 감소시켰고, 부유 고형물을 69%~96%까지 감소시켰다. 아트라진과 그의 대사산물 등의 농약류는 44%~99%까지 제거되었다. 실험 결과는 5.7m 그리고 11.1m 너비가 강도 높은 유출조건에서도 효과적임을 보여주었고, 특히 살충제 등 농약의 유출을 감소시키는 큰 역할을 함이 증명되었다. GBSs를 적당한 농업적 조치와 결합시키는 것이 지표수 수질을 개선시키기 위한 좋은 도구로 인식되고 있다.

7. 덴마크

덴마크는 농경지의 약 2%의 지역에 해당하는 습한 목초지가 농경지로부터 유출되는 질소를 25%까지 감소시킬 수 있다는 것을 밝혀냈고, 이러한 결과에 따라 수로를 따라 습한 목초지를 조성하는 프로젝트를 실시하였다.

3.3 주요국의 수변녹지 조성에 관한 시사점

수변녹지의 기능은 하천으로 유입하는 오염원을 차단하고, 하천수온을 조절하며, 햇빛의 양을 조절하고, 서식지 및 종의 다양성을 유지하는 것 등이다. 이와 같이 수변녹지는 유역에서의 각종 비점원오염을 효과적으로 조절할 뿐만아니라 하천의 생태적, 물리적, 화학적 환경을 유지하는 데도 중요한 역할을 한다. 주요국의 수변녹지는 생태계 보전에 큰 비중을 두는 것이 일반적이거나 우리나라의 수변구역내 조성되는 수변녹지의 주된 기능은 수질개선에 있다. 따라서 우리나라의 수변녹지 조성은 이와 같은 목적에 부응하기 위해서 수변녹지 조성시 구역을 구분하여 각 구역이 수질개선을 위한 목적을 가질 수 있도록 기능을 부여하고, 인접한 구역과 상호작용을 하여 전체 수변녹지의 수질개선 기능이 활성화되도록 하여야 한다. 또한 수변녹지의 관리에 있어서도 수변녹지가 가진 수질개선, 오염예방, 야생생물 서식지 보호 등 다양한 기능이 유지되도록 관리하여야 한다.

제4장 수변녹지 조성 및 관리방안

우리나라의 수변녹지 조성은 수질개선에 초점을 두고, 당초 인간에 의해 훼손되기 전 상태의 녹지로 되돌리는 수변지역 복원사업이 될 것이다. 또한 관리방안에 있어서도 지금까지 하천에 인접한 토지인 수변녹지를 다른 토지와 동일한 입장에서 이용하고 관리해 왔으나, 이제는 수변녹지가 하천시스템에서 가지는 중요성을 인식하여 하천생태계에서 수변녹지가 제자리를 찾을 수 있도록 관리하여야 할 시점이다. 따라서 본 장에서는 우리나라의 목적에 적합한 수변녹지의 조성 및 관리방안에 대한 사항을 검토하고자 한다.

4.1 수변녹지 조성방안

유량, 퇴적물, 수온 등과 같은 하천시스템(하천과 수변지역을 합쳐 하천시스템이라고 한다)에 영향을 끼치는 변수들은 자연적인 범위 내에서 평형을 유지하고 있는데, 이를 동태적 균형(dynamic equilibrium)이라고 한다. 그러나 이러한 동태적 균형은 유역내의 각종 인위적 행위가 자연적인 범위를 넘어설 경우 파괴될 수 있으며, 이러한 균형의 상실은 수환경의 악화로 나타나고 이는 다시 기존의 생태계에 악영향을 미친다. 즉, 유역 내에서의 인위적 변화가 자연의 동태적 균형을 유지할 수 있는 범위를 벗어나는 경우, 이러한 변화는 하천 시스템 내에서 발생하는 물리적, 화학적, 생물학적 과정에 악영향을 끼친다.

수변지역은 물에 대한 접근성과 용수이용의 편리성 때문에 산업용지, 도시용지, 그리고 농업용지에 대해 많은 수요를 발생시켜 왔다. 이러한 활동들의 누적 효과는 수질의 저하, 물 저장용량의 감소, 어류와 야생생물을 위한 서식지의 손실, 레크리에이션과 심미적 가치의 저하 등과 같은 형태로 나타난다. 우리나라의 하천은 음용수 공급, 어류와 야생생물의 서식지, 레크리에이션, 농업, 그리고 홍수소통 등의 다목적으로 이용하고 있다. 이러한 상황 하에서 우리나라의 하천기능의 손실은 사회적으로나 경제적으로 큰 영향을 미치며, 이를 회복시키고 손상되지 않도록 보호하는 것이 얼마나 중요한가는 아무리 강조해도 지나치지 않는다.

1. 조성 기본 방침

수변녹지의 복원은 수질개선, 홍수예방 등 물 관리 목적뿐만 아니라, 기존에 단절되어 있는 생태계 고리를 연결하는 것도 고려되어야 한다. 이와 같은 목적을 이루기 위해서는 고려하여야 할 사항은 다음과 같다.

가. 개발전의 수문조건에 최대한 적합

수변녹지 조성시 수변에 식재하는 것만이 능사가 아니라, 당해 지역에서의 개발 전 수문

조건으로 회복시키는 것을 목적으로 하여야 한다. 이를 위해 유역 내에서 피크유출을 감소시키기 위한 저류지 등 다양한 우수유출수 저류시설과 침투시설 등을 동시에 추진하는 것이 바람직하다. 또한 기존의 수변지역과 수변 산림지의 현황을 파악하여, 조성시 그 지역 토착 동·식물을 이용하고, 그 지역 삼림 및 현 수변지역과 연계되도록 함으로써 경제적, 생태학적 시너지 효과를 얻는 것이 바람직하다.

나. 비점오염원 저감

수변녹지의 조성과 복원에서 두 번째로 필요한 것은 과도한 퇴적물 부하 억제뿐만 아니라 하천으로 유입하는 영양염, 박테리아, 그리고 독성물질의 농도를 감소시키는 것이다. 일반적으로, 하천의 오염물질 유입을 감소시키기 위해 수변녹지의 복구와 더불어 배후지역에서는 발생한 비점오염원의 저감을 위한 저류지 또는 습지 건설, 유역 비점오염원 예방 프로그램, 우수관과 오수관의 불량연결 개선 등의 수단을 동시에 고려하여야 한다.

다. 하천흐름의 안정화

식생이 제거되면 시간이 지남에 따라, 하천 수로는 규모가 확대되고 둑과 하상의 침식이 심각해지는 경향이 있다. 따라서, 수변녹지 조성시 이와 같은 하천흐름의 특성을 반영하여 수로를 안정화하고, 하상이 균형상태를 회복하여 하천흐름이 안정화되도록 정비하여야 한다.

라. 하천 서식지 회복

수변구역이 훼손된 대부분의 하천은 불량한 하천 내 서식지 구조를 가지고 있고, 특히 강우시 하천의 서식환경은 개발지에서 유출하는 피크 유량에 의해 심각한 타격을 받는다. 수변구역 조성시 파괴된 하천내 서식지도 복원하는 것이 중요하며, 주요 복원대상은 어류의 은신처와 휴식처를 제공하는 여울과 소 그리고 갈수시에도 물이 흐를 수 있도록 저수로를 정비하는 것이다. 한편 댐, 보 등이 설치되어 어류의 자연적인 이동이 불가능할 경우, 하천에서 어류생태계를 회복하는 것은 어려울 수 있다. 따라서, 수변구역의 복원과 더불어 하류의 어류이동 장애물을 개선하고 토착 어류의 선택적인 방류도 필요할 경우 실시한다. 이러한 방법은 수변구역의 복원에 의해 하천수질이 개선되어 하천이 살아있다는 것을 증명하는 수질개선의 효과를 보여주는 최종 결과물로서의 역할이기도 하다.

마. 식생회복

하천변 식생은 하천생태계의 필수적인 구성요소이다. 수변식생은 하천흐름을 안정화시키고, 하천에 그늘을 제공하여, 수온의 급변을 막아 하천생태계에 안정된 서식환경을 제공한다. 식생회복은 하천을 따라 토착종 식재, 외래종의 제거 또는 점차적인 천이를 허용하는 것 등

이 있다. 하천을 식생 완충대를 이용해 보호하는 것은 수질, 생태계, 친수공간 확보차원에서 필수적이다.

바. 하상구조의 안정화

안정되고 잘 조화된 하상구조는 어류의 산란과 수생 곤충의 서식을 위해 중요한 필요조건이다. 그러나 수변구역이 파괴된 유역의 하천하상은 아주 불안정하고, 미세한 퇴적물 침전에 의해 막혀져 있는 경우가 많아 하상구조를 회복하기 위한 수단을 적용할 필요가 있다. 강우시 종종 깨끗한 물의 유출이 있을 경우, 이 유량을 이용해 하상 개선작업을 시행할 수 있다. 만약 두꺼운 침전물이 하상에 축적되면, 기계적인 퇴적물의 제거도 필요할 때가 있다.

2. 오염제어를 위한 수변녹지 설계시 고려사항

수변녹지가 비점원오염 물질을 효과적으로 제거하는 기능을 하기 위해서는, 설계시 인접 지역의 오염물질 부하량과 물 흐름을 고려하여야 한다. 수변녹지에 의한 비점오염원 제어에 주변의 토지이용과 지형학적 인자가 큰 영향을 미치기 때문에, 오염물질의 이동 경로와 이러한 오염물질을 제거하는 수변녹지의 잠재력 등을 지형학적 인자와 연관시켜 평가하여야 한다.

가. 퇴적물과 퇴적물에 결합한 오염물질

1) 인접지역에서 유출되는 부하량 평가

부유 퇴적물과 인산염과 같이 토양에 흡착된 오염물질 부하량을 결정하기 위해서는 인접 지역의 토지이용을 평가하여야 한다. 토지이용평가를 위해서는 항공사진, 토지이용현황 및 계획도, 토양도 등을 이용하여 사면 길이, 토양 침식가능성, 토지 커버, 관리 기법 등에 대한 정보를 추출한다. 한편 부유 퇴적물을 정량적으로 산정하기 위해서는 USLE(Universal Soil Loss Equation), 지리정보시스템(GIS)과 농업비점오염모델(AGNPS) 등과 같은 컴퓨터 프로그램을 이용해 퇴적물량을 산정할 수 있다. 부하량이 가장 많은 지역에서는 하천유입 지점까지 유출수에 함유된 비점오염물을 제거하기 위한 잠재력에 대해서도 평가하여야 한다. 이런 자료를 이용할 수 없는 곳에서는 수변녹지 설계를 위해서 정성적인 접근법도 이용가능하며, <표 4-1>에서 제시된 자료를 이용해 퇴적물의 발생정도를 추정하여 수변녹지가 가장 필요한 곳을 결정할 수 있다.

<표 4-1> 유역조건에 따른 퇴적물 부하량

용지 조건	낮은 부하량	중간 부하량	높은 부하량
인접지역 부하량	<1,000 kg퇴적물/ha	1,000-10,000 kg퇴적물/ha	>10,000 kg퇴적물/ha
인접지역 사면 길이	<50m	50-100m	>100m
인접지역 사면경사	1-5%	5-15%	>15%
인접지역 커버	삼림이나 건초밭	목초지(pasture)	경작 농작물
인접지역 토지관리	경작하지 않거나 대지 교란이 없음	경작-식물, 띠, 등고선 경작	등고선을 따르지 않는, 전통 경작

자료 : USDA 등, NA-TP-02-97, 1998

2) 수변녹지에 의한 침식물 포집

침식물 부하량이 과도하지 않을 때, 수변녹지는 침식물의 포집에 효과적일 수 있다. 퇴적물 부하가 많은 곳에서 수변녹지는 퇴적물로 빨리 포화되며, 적정하게 유지·관리되지 않으면 효율이 떨어지게 된다. 게다가 수변녹지는 집중된 흐름에 의해서 기능을 쉽게 상실한다. 수로화된 흐름을 방지하기 위해서는 수변녹지 유입부에서 흐름이 얇은 판 흐름 조건이 되도록 하여야 한다. 흐름을 수평으로 할 수 있는 장치나 습지대가 제공되지 않는다면, 침식물 부하 조건이 아주 낮은 경우에도 제거가 되지 않는다. 밭에서 수로화된 흐름형성은 경사가 10%이상인 사면이 75m이상인 경우 시작될 수 있다. 높은 해상도의 입체 항공사진이나 현장 조사를 통해 수로화된 흐름이 어디에 발생하는지를 파악할 수 있다. 수변지역의 토양 안정성도 여과 잠재력을 나타내는데 중요한 역할을 하는데, 쉽게 침식될 수 있는 토양이 수로를 쉽게 형성하기 때문이다. <표 4-2>는 부유 퇴적물을 여과하는 수변녹지의 잠재력을 결정하기 위한 용지 조건이다. 인접지역 사면, 사면 길이, 흐름 상태, 토지의 오목한 정도 등은 집중된 흐름 가능성을 결정하는 인자이다. 수변 사면, 흐름 상태, 침식가능성은 수변삼림완충지의 퇴적물 여과잠재력을 결정한다.

<표 4-2> 수변 조건에 따른 표면 유출수의 퇴적물 여과 잠재력

용지 조건	높음	중간	낮음
인접지역 사면 길이	<50m	50-100m	>100m
인접지역 경사	1-5%	5-15%	>15%
인접지역 흐름 상태	세류 없음	작은 세류	세류와 협곡
인접지역 오목한 정도	발산하는 언덕사면	직선형 언덕사면	수렴성 언덕사면
수변녹지 경사	0-5%	5-15%	>15%
수변녹지 흐름 상태	수로 없음	작은 세류	세류와 협곡

자료 : USDA 등, NA-TP-02-97, 1998

수변녹지로 들어가는 퇴적물 부하 값이 매우 높은 곳이나 집중된 흐름이 있거나 수변의 용지 조건이 얇은 수평흐름조건에 적합지 않은 곳에서는, 습지대가 집중된 흐름을 분산시키는데 이용될 수 있다. 이와 같은 구조는 높은 부하률에서 효과적일 수 있지만, 매년 축적된 퇴적물을 제거해야 한다.

3) 설계 고려사항

수변녹지에서 표면유출수가 얇은 판 흐름이 있는 곳에서만 퇴적물이 효과적으로 제거될 수 있다. 부하율이 보통 1,000kg/ha 미만인 경우, 정기적인 퇴적물 제거를 안 해도 될 만큼 낮은 곳에서는 광엽 초본과 관목이 수변녹지 원거리에 배치될 수도 있다. 퇴적물의 효과적인 침전을 위해서, 5%이하의 사면에 수변녹지가 조성되어야 한다. 부하량이 증가할수록, 지대 내에 퇴적물 침전지역의 폭은 비례적으로 증가되어야 한다. 주어진 퇴적물 부하량에 수변 사면이 5%이상인 곳에서, 수변 침전지대 내에 사면에서 각 1%가 증가할 때 폭도 2m 증가하여야 한다.

수로화된 흐름이 시작되는 곳의 퇴적물 제어를 위해서 흐름을 평평하게 하는 시설을 설치하여야 하고, 유출수가 수로를 형성하지 않는 곳에서도 수평흐름이 되도록 하여야 한다. 수평흐름장치는 또한 퇴적물을 상류에 즉시 가라앉도록 하므로, 효과적인 운영을 위해서는 지속적인 유지가 필요하다. 이런 이유로, 수평흐름장치는 퇴적물 부하량이 높거나 수로화된 흐름이 발생하는 곳에서는 사용하지 말아야 한다. 이와 같이 상당량의 수로화된 흐름이 존재하는 곳에서 이용할 수 있는 하나의 대안은 습지대이다. 집중된 흐름에서 나오는 퇴적물이 가라앉도록 설계된 습지대는 인접지역에서 나오는 수로화된 흐름을 포집하고 수변 통로와 평행하게 한다.

유속이 0.6m/S 를 초과하는 곳에서는 방지댐(check dam)을 설치해야 한다. 굵은 사석의 방지댐은 규칙적인 간격으로 흐름이 높은 기간동안 습지대를 안정화시키고 유속을 느리게 하기 위해서 설치된다. 피크 속도가 1.5m/S 를 초과하는 곳에서는, 방지댐을 설치하여 핀 물이 방지댐 상류 바닥까지 이르도록 한다. 이런 방식으로, 침식성이 큰 흐름의 에너지는 사석에 의해서 조절된다.

나. 질산염 및 용존 오염물

1) 인접지역 오염원에서 나오는 부하량

농지에서 유출되는 질산염으로 오염된 유출수는 공공수역의 부영양화의 주요 원인이 된다. 수변 완충지에 의한 질산염(과 제조제) 제거 방안으로서 수변녹지 이용이 부각되어 왔다. 질산염을 제거하기 위해서 수변삼림 완충지를 배치하고 설계할 때, 유역을 통해서 수변지대로 들어오는 인접지역 부하량의 양을 우선적으로 평가해야 한다. 많은 연구에서는 투여된 질소비료의 약 20%에서 40%가 지하수로 유출된다고 한다. <표 4-3>은 다양한 토지이용에서 나오는 질산염 부하량을 나타내며, 부하율이 비료를 투여하는 비율에 따라 광범위하고 다양하다.

지하수 질산염 농도가 높을 때 자주개자리는 질소고정을 멈추고 대신, 지하수에서 질산염을 이용하기 시작한다. 따라서 자주개자리는 배수가 잘 되는 토양을 가진 수변구역 중에서도 배후지역과 인접한 지역에 심을 수 있다. 건초 밭에서 나오는 부하량 또한 아주 낮는데, 이는 투여된 질소가 침출되지 않고 건초가 흡수하기 때문이며, 대량으로 비료가 투여된 골프 코스에서 오히려 질소가 많이 유출되었다. 잔디에 대한 부하율은 5kg/ha/yr~10kg/ha/yr로 추정된다.

건초 밭과는 반대로 대량으로 비료가 뿌려진 목초지는 질산염이 쉽게 유출될 수 있는데, 이는 질소가 요소의 농축된 형태로 되고 요소의 대부분이 토양을 통해서 쉽게 유출되는 질산염으로 전환되기 때문이다. 목초지 부하율은 방목의 정도, 뿌려진 비료량 등에 따라서 20kg/ha/yr에서 120kg/ha/yr의 범위로 추정된다. 호수나 하구와 같은 수체에서는 대기에서 유입량이 평균 10kg/ha/yr~15kg/ha/yr이다. 질소가 제한되는 삼림에서는 보통 2kg/ha/yr~5kg/ha/yr의 범위로 질산염 유출이 매우 낮다. 그러나 벌채될 때, 뿌리부분이 썩어가면서 삼림은 상당량의 질산염을 지하수로 방출한다. 이와 같은 자료를 이용하여 질산염 과다 유출지역을 스크리닝하고 보다 세밀한 조사를 실시한 후 완충지 등을 설치하여야 한다.

<표 4-3> 식물에 의한 질산염 부하량

식물	토양 수분농도 (mg/l)	부하량 (kg/ha/yr)	비료 (kg/ha/yr)	출처
옥수수	7.1	29	105	Peterjohm & Correll, 1984 Angle et. al., 1989 Roth & Fox, 1990 Jemison & Fox, 1994 Hall & Risser, 1992
	9-15	38	154	
	19.3	94	259	
	17.5-24.3	107	192	
	12-56	162*	310+	
일반곡물	14.8	52*	0	Bergstrom, 1987
콩	13.7-14.4	52-55*	0	Angle, 1990
건초 밭	2.2	8.1	179	Chichester, 1977 Ryden et. al., 1984 Gold et. al., 1990
	-	29	420	
	-	6	224	
목초지	-	162+27.1	420	Ryden et. al., 1984 Owens et. al., 1992
	-		56	
삼림	0.04	1-2*	0	Mulholland et.al., 1993

* 이 값들은 보고된 질산염-N 농도에 연평균 지하수 재충전을 곱해서 추정된 것이다.
자료 : USDA 등, NA-TP-02-97, 1998

2) 설계 고려사항

질산염이 수변지역을 통과할 때 수변 삼림은 지하수에서 많은 질산염을 제거할 수 있다. 제거율이 가장 높은 조건은 사실상 질산염이 함유된 지하수가 뿌리지대 내에서 갇혀 있는 조건이다. 지하수 유입량이 뿌리지대에 갇혀지지 않은 곳의 수변 삼림에서는 지하수 내 질산염 감소가 상당히 저하된다고 밝혀지고 있다. 이런 결과들은 하천으로 들어가는 지하수가 질산염 제거를 위해서 뿌리지대를 가까이 지나거나 통과해야 한다는 것을 의미한다. 그러므로, 수변지대와 인접지대간의 수문학적 관계가 수변 완충지에 의해서 질산염이 제거되는 잠재력을 결정짓게 된다.

지하수의 수리 및 수문학적 특성은 수변 완충지에 의한 질산염 포집의 잠재력에 영향을 미친다. 하천에서부터 멀리 떨어진 지역에서 침투되는 지하수는 가장 깊은 경로를 따르는 반면, 하천에서 가까운 인접지역에서 침투되는 지하수는 얇은 종단면을 따른다. 그러므로, 하천에서 가까운 오염원에서 나오는 부하량은 수변삼림지에서 더 포집되기 쉬운 얇은 경로를 따른다. <표 4-4>은 지역 수문지질학, 지세, 토양사이의 관계를 요약한 것이다. 수변 완충지에서 이런 관계들은 흐름의 상대적인 깊이에 영향을 미친다. 얇은 흐름에 영향을 미치는 인자들이 있는 용지는 지하수 흐름 경로가 깊은 용지보다는 수변 상호작용에 있어서 더 큰 잠재력을 갖게 될 것이다. 지하수에서 질산염이 잘 제거되는 지역은 수변구역과 지하수 상호작용이 최적인 곳으로 유역 내에 모든 지하수가 잘 섞여있고 얇은 경로로 수변지대를 통과하는 지역이다.

<표 4-4> 지형적 요인에 따른 상대적인 지하수 깊이

지하수 흐름	얇음	중간	깊음	제일 깊음
지질구조	Aquiclude	혈암	사암	석회암
기저흐름 비율	<1100m ³ /m ²	1100-1500m ³ /m ²	1500-1900m ³ /m ²	>1900m ³ /m ²
배수 밀도	>0.78km/km ²	0.61-0.78km/km ²	0.47-0.62km/km ²	<0.47km/km ²
인접지역 언덕 사면	수림, 오목(계곡)	수림에서 직선	직선에서 발산	발산, 볼록(산마루)

자료 : USDA 등, NA-TP-02-97, 1998

계곡과 산록으로 구성된 지역과 같이 복잡한 수문·지질적 체제에서는 수변녹지에 의해서 지하수에 함유된 영양물질이 포집되는 잠재력은 매우 다양할 수 있다. 두꺼운 표토 때문에 지하수 흐름이 깊은 경우에는, 지하수가 수변녹지 저부를 통과해 하천으로 직 유입하여 수변녹지의 뿌리지대를 우회하기 때문에, 질산염 제거기능이 미약하다. 표토가 얇은 경우 수변녹지에 의한 질산염 포집능력은 더 커질 것이다. 석회암 지역에서 지하수 흐름이 깊고, 지하수로 따라난 기저 흐름과 같이 지하수 흐름이 하천 아래에서 용출하는 경우, 이는 지하수와의 수변 상호작용이 가장 적다는 것을 암시한다.

사암은 일반적으로 배수가 잘 되고 파쇄가 잘되어서, 깊은 우회 흐름을 형성한다. 혈암(shales), 이암(mudstone), 실트암(siltstone) 등은 물을 가두게(aquicludes) 되는 경향이 있어서 흐름 경로가 수변지역안으로 얇은 경로를 만들 수 있다. 이런 모암에서 생기는 토양 또한 대개 얇은 지하흐름과 지표유출 비율을 높이는 점토 성분을 많이 함유하는 경향을 나타낸다. 지질구조, 배수밀도 등 지역 수문학적 특성은 기저흐름의 특성에 변화를 주고, 이들은 수변지역에서 지하수에 함유된 오염물질 포집에 대한 잠재력을 평가하는 정보를 제공한다. 석회암 지역에서 발견되는 상대적으로 많은 기저유출은 지하수가 수변지역에서 포집되기 보다는 깊은 경로를 통해 수변지역을 우회한다는 것을 나타낸다. 이런 지역에서 배수밀도 또한 낮은데, 이는 하천 수로를 조성하는 수로가 적기 때문이다.

지형과 지세도 질산염 포집에 영향을 끼친다. 지하수는 하천 가장자리를 제외하고, 계곡이 상대적으로 가파른 곳에서 수변 완충지를 우회하는 경향이 있다. 수변 완충지역이 상대적으로 평평한 곳에서, 지하수는 하천 가장자리에서부터 뿌리지대에 가깝게 되고, 수변녹지의 기능도 높다. <표 4-5>에서는 지하수와 상호작용하는 잠재력에 영향을 미치는 수변지역의 특성을 나타낸다.

<표 4-5> 지형적 요인에 따른 수변 지하수 포집능력

포집 잠재력	최고	중간	낮음	최저
수 변 사 면	0-3%	3-8%	8-15%	>15%
수문학적 토양 그룹 ^{*)}	D	C	B	A
지하수위 깊이	0-60cm	60-120cm	120-240cm	>240cm
오염원까지 근접성	인접	60m이내	60-180-m	180m 이상
하천 차수	1차	2차	3차	높은 차수

주 *) 수문학적 토양그룹은 강우시 발생하는 표면 유출수에 따라 분류되는 토양특성으로, 초목이 없을 경우에 침투량과 관련하여 토양이 가진 수문학적 고유용량에 관한 사항이다. 그룹 분류는 포화된 토양의 수리학적 전도도로 설명되고, 이는 지하수속도(유속 밀도, flux density)를 수리학적 경사도와 연관시킨 인자로, 토양 내 수분이동이 용이한 지를 나타내는 척도로서 경사도와 식물커버 종류는 고려되지 않고 순수 토양이 가진 잠재력만을 고려하여 다음과 같은 네 가지 그룹으로 지정된다.

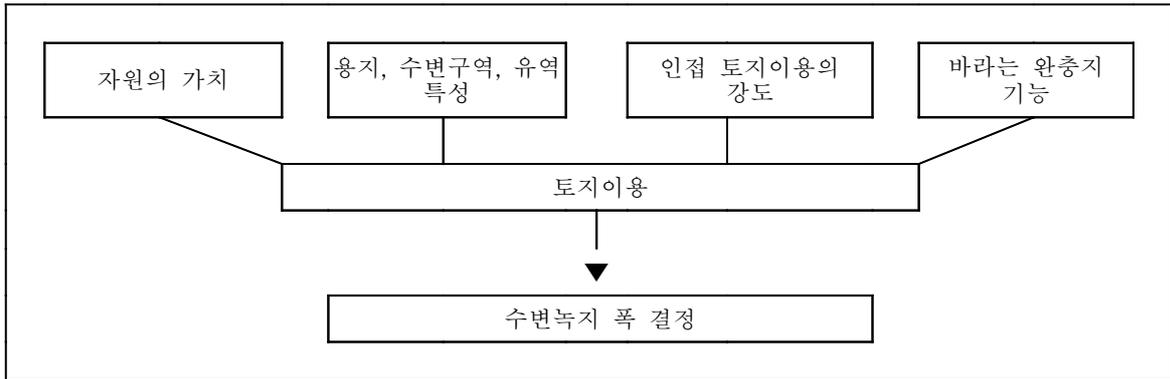
- A - 완전히 젖을 때 높은 투과를 보이고 낮은 표면유출을 가지는 토양으로, 주로 깊고 잘 배수되는 사질이나 자갈로 이루어진다.
- B - 포화된 수리학적 전도도는 중간이상이고, 자유수분 발생이 깊거나 매우 깊다.
- C - 포화된 수리학적 전도도는 중간이하이고, 자유수분 발생은 약간 깊다.
- D - 투과율이 매우 낮아서 유출수 잠재력이 높은 토양으로 점토층이 표면이나 표면 가까이 있다. 포화된 수리학적 전도도는 낮고, 내부 자유수분 발생은 매우 얇다.

자료 : USDA 등, NA-TP-02-97, 1998

앞의 표에서 제시된 준거치를 이용해서 지질, 수문, 지형 등을 조사한 후에, 수변 뿌리지대와 지하수의 상호작용에 대한 잠재력을 추정할 수 있다. 지하수 상호작용을 위한 최적 위치에서는 수변 상호작용을 위한 가장 얇은 흐름과 가장 큰 잠재력이 존재한다. 용존 비점오염물질의 제거를 위해 설계된 수변 삼림 완충지의 폭은 지하수 흐름을 포집하는 잠재력에 의해 크게 좌우된다. 지하수 질산염의 제거는 15m 정도로 좁은, 비교적 짧은 폭내에서 발생하는 것으로 조사되고 있다.

3. 수변녹지 적정 폭 결정

수변녹지의 효율성을 결정하는 중요한 인자 중에 하나는 수변녹지의 크기 또는 유효 폭이다. 너무 좁은 수변녹지는 수질이나 수중 자원을 보호할 수 없고 수자원의 지속 가능성에 관한 문제를 나타낼 수 있다. 수변구역이 넓을수록 좋지만 도시지역 등 토지이용이 고도로 이용되는 지역에서는 필요 이상으로 넓은 완충지는 효율적 토지이용을 제한할 수 있다. 이에 따라 적정 또는 최소필요 폭 결정을 위해서 수변구역을 지정한 외국에서도 많은 논의가 있어 왔으나, 대부분의 수변녹지 크기는 과학적인 가치에 대해서라기 보다는 정치적 용인성 또는 정책적인 편의성에 의해서 결정되었다.



<그림 4-1> 수변녹지의 폭 결정을 위한 준거치

수변녹지의 적정 폭을 결정하기 위해서 (1) 자원의 현재 혹은 잠재적 가치, (2) 유역과 완충지 특징, (3) 인접 토지이용의 강도, (4) 완충지의 수질 및 서식처에 끼치는 기능 등이 있다. 이와 같은 준거치가 완충지 폭 결정의 지표가 되지만, 기타 사회·경제적 변수들도 영향을 미친다. 예를 들어, 20m 폭의 완충지가 적합하다고 결정되었지만 토지이용에 의해서 부과되는 압박에 의해 10m로 줄었다면, 잠재된 지속 가능성에 대한 위험도를 확인하여야 한다. 마찬가지로, 완충지 식생으로써 잔디를 선정했을 때, 하천 안정성의 감소, 범람 완화, 지하수 영양소 제거, 수중/육지 서식지 등에 대한 영향을 확인해야 한다. 자원 가치가 낮거나 인접 토지이용이 수질에 끼치는 영향이 작을 때는 좁은 완충지도 적합할 수 있으나, 수자원이 높은 가치로 인해 질 높은 완충지 기능을 요구하는 경우에는 넓은 완충지가 필요하다. 완충지 폭을 결정하기 위한 4가지 준거치는 <그림 4-1>과 같고 이들은 현재 및 미래의 토지이용을 기초로 해서 완충지 폭이 설정되어야 함을 보여주고 있다.

<표 4-6> 수변녹지의 오염물질 제거효율에 영향 요인

	효율을 강화시키는 요인	효율을 감소시키는 요인
경사	5% 이하	5% 이상
흐름길이	50m 이하	100m 이상
지하수 흐름형태	얕은 지하수면	깊음, 지역 지하수 흐름
토질	투과성	조밀한 상태
흐름형태	수평이나 흐름 분산	집중된 흐름
유기물 농도	유기 물질, 부식토	낮은 유기토양
유입수 유속	50cm/s 이하	150cm/s 이상
유지정도	일상적인 유지	입구에 퇴적물 축적
뿌리시스템	깊음	얕음
식생카바	삼림 및 뾰뾰한 잔디 커버	키가 큰 나무; 초목 커버

자료 : Schueler, 1995

가. 자원 가치

일반적으로 좁은 수변녹지는 하천, 호수 등의 가치가 상대적으로 낮을 때 적당하다. ‘가치’를 결정하는 것이 주관적인 판단을 포함할 수 있지만, 과학적인 정보도 이런 평가를 돕는데 적용될 수 있다. 예를 들어, 상수원 지역은 가치가 높게 평가되고 반대로 상수원이나 생태적인 중요도가 미미하면서 외래종들에 의해서 우점된 지역은 낮은 기능적 가치를 가질 수 있다.

나. 유역 특성

유역특성은 오염물질 제거정도를 평가하는데 중요하다. 오염물질 제거에 영향을 끼치는 요인으로는 사면, 하천 차수, 토양 깊이 및 침식가능성, 수문, 습지, 독, 식생 종류, 우수유출 시스템 등이 있다. 수변녹지의 영양소 및 퇴적물 여과 역할은 수변지역의 토양 조건(존재하는 식물, 동물, 미생물 군집 등을 포함)과 수변녹지를 통과하는 표면 및 지하수 흐름 등에 영향을 받기 때문이다.

1) 사면경사

사면은 퇴적물 제거에 대해서 가장 큰 영향을 미치고 유속과 물 흐름의 특성을 결정짓는다. 일반적으로, 가파른 사면은 유출수 속도와 표면 유출수 양을 증가시킨다. 따라서 가파른 사면을 포함하는 경우 인접 토지이용의 영향에 대한 위험도를 낮추기 위해서 수변녹지 폭은 증가될 것이다. 메릴랜드주 삼림의 경우, 수변녹지 폭을 최소 15m로 하고, 가장자리에서 사면의 경사가 1%씩 증가할 때 1.2m씩 증가시킴으로서 사면 경사에 대한 영향을 감소시켰다.

2) 하천 차수

하천 차수는 하천 네트워크의 구성 요소를 분류하는 유용한 도구이다. 1차나 2차로 정의되는 상류 하천은 보통 길이가 짧지만, 총 하천 길이의 75%이상을 구성한다. 일반적으로, 수변녹지는 차수가 낮은 소하천일 경우에 수질 제어에 대한 큰 잠재력을 가진다. 작은 수변녹지는 1차 하천을 보호하는 수준을 유지하는데 적합할 수 있으나, 하천 차수가 늘어날수록 수변지역이 이용가능한 기여 면적과 물의 부피 또한 증가하게 되어서, 총 부하량의 백분율로서 오염물질을 여과하고 제거하는 수변녹지의 상대적인 용량이 줄어들게 된다. 마찬가지로, 하천 차수가 증가해서 하천 크기가 증가할수록, 수온을 조절하는 하천변 나무의 기능도 떨어지게 된다. 한편 범람을 완화하는 수변지대의 중요성은 하천 차수가 커질수록 증가할 것이고, 중요한 물고기 서식지는 낮은 차수에서 중간 차수 하천의 하천변 나무에서 최대화된다.

3) 식생조건

식생이 적절히 설계되고 잘 유지된다면, 수변 완충지(예, 뾰뾰한 토종 초목, 교란되지 않

은 토양, 건강한 미생물 군집)는 다양한 기능을 효과적으로 제공할 것이다.

4) 토양

수문과 함께, 토양 특성은 인이나 살충제와 같이 퇴적물에 의해서 주로 운반되는 오염물질의 제거 잠재력을 결정짓는 주요인자이다. 주된 고려사항은 토성(texture), 지하수면까지의 깊이, 토양의 유기 물질 함유량 등이다. 중간이상으로 잘 배수되는 토양은 투수성이 크고, 수변녹지로 들어가는 많은 양의 표면흐름을 포집하여, 퇴적물과 관련된 오염물질의 침전을 증가시킨다. 반대로, 중간이하의 미세 조직 토양은 넓은 범위에서 일어나는 탈질화의 좋은 조건을 제공할 수 있다.

탈질화가 혐기성 미생물에 의해서 진행되기 때문에, 토양 조건은 산소 고갈이 일어날 수 있도록 충분히 습해야 한다. 삼림 완충지 표토층에 있는 많은 부식 유기 물질은 산소 공급을 고갈시키고 탈질화 과정을 촉진시킨다. 배수가 잘 안 되고 유기물질이 많은 토양의 상층부에서, 탈질화는 비교적 빠른 속도로 진행될 수 있다. 배수가 잘 되는 용지에서 탈질화는 일정하진 않지만, 토양 표면에서는 활발할 것이다.

<표 4-7> 녹지로 구성된 수변지역의 장점

장 점
<ul style="list-style-type: none"> - 하천둑 침식 보호 - 질소 제거 증가 - 인과 퇴적물 제거 - 하류 범람 줄임 - 수온 조절 - 야생생물을 위한 먹이와 서식지 - 물고기와 양서류를 위한 먹이와 서식지 - 도시/교외 토지 가치 상승 - 서식지 보전을 위한 통로 제공 - 유역 불투수성의 감소 - 관련 유역의 보호

다. 인접 토지이용의 강도

일반적으로 토지이용의 밀도, 강도, 크기, 잠재적인 영향이 증가할수록, 부정적인 영향을 해소하기 위해 필요한 수변녹지 폭은 비례적으로 증가한다. 인접토지가 강도 높게 개발되거나 교란될수록 수변녹지에 대한 요구는 더 중요해진다. 마찬가지로, 수변녹지의 크기나 중요성은 인접 토지이용에서 나오는 영양소, 화학물질, 퇴적물, 유출수의 잠재적인 발생량이 증가할수록 커진다. <표 4-8>에서는 토지이용에 따라서 이런 부하량이 어떻게 달라지는지를 보여준다. 영양소 제거와 같은 수변녹지 기능은 불투수 표면이 증가하는 도시지역에서 감소된다. 불투수 표면은 하천으로 들어가는 기저흐름을 감소시키고 수변녹지를 통과하는 물의 총 부피를 늘려 제거 효율을 저하시킨다.

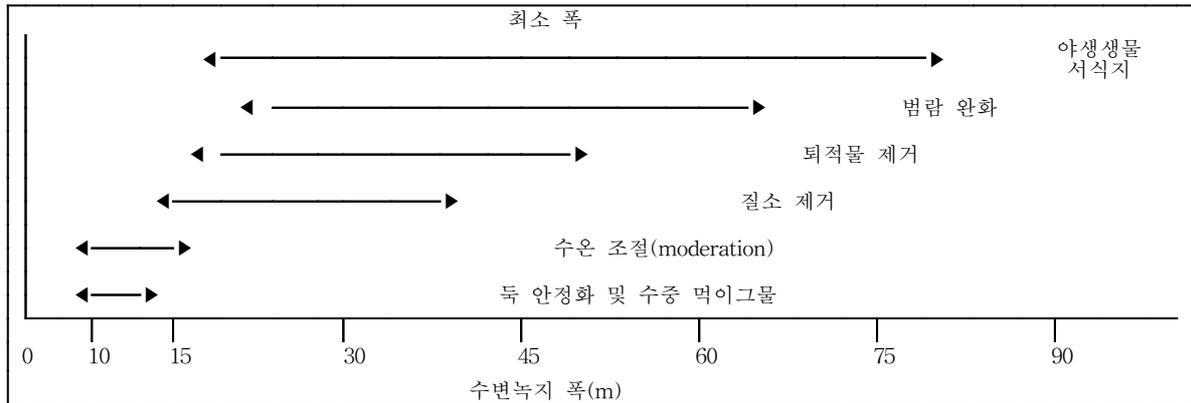
<표 4-8> 하천 가장자리까지 전달된 영양소 부하량

토지 이용	총질소(kg/ha/yr)	총인(kg/ha/yr)
삼림	3.36	0.056
목초지	10.47	0.68
도시	12.82	0.75
농경지	23.68	2.06

자료 : Chesapeake Bay 유역 모델

라. 수변녹지 기능별 최소 폭

수변녹지 크기 요구조건을 결정하기 위한 가장 중요한 과학적 준거치 중에 하나가, 지역적 특정(site-specific) 조건하에서 수변녹지가 제공하는 필요한 특정 기능을 평가하는 것이다. 문헌 조사에 의하면 수변녹지의 특정기능을 적절히 실행하기 위해서 필요한 수변녹지 크기는 다양할 수 있다. 따라서, 중요도를 판단하고 설정하는 것이 얻고자 하는 기능 종류에 대한 최소 수변녹지 폭을 도출하는데 필요하다. <그림 4-2>에서 특정 목적에 근거를 둔 수변녹지 최소 폭의 일반적인 범위를 제시하였다.



<그림 4-2> 특정 수변녹지 목적에 부합하는 최소 폭 범위

1) 지속 가능성

수변 녹지를 논할 때, "없는 것보다 있는 게 낫다"라는 개념이 제기될 것이다. 이는 안정한 하천독 기능을 유지하고 하천의 서식지를 개선하게 될 때 아마도 정확한 평가일 것이다. 그러나 수변지역이 인접 토지이용에서 나오는 수질영향을 완충하는 역할을 하기 위해서, 10m 정도의 좁은 녹지는 아주 작은 하천을 제외하고 보통 퇴적물이나 영양소 감소에는 적합하지 않다. 좁은 삼림띠도 그늘과 독 안정성을 제공하지만, 유기 물질을 축적하고 질소를 제거하기 위해서 필요한 물 저장을 할 수 있는 삼림 생태시스템을 유지할 수는 없다. 이런 좁은 띠는 또한 범람과 강풍에 의한 손상에 더 민감할 것이다. 잔디 여과띠는 퇴적물 부하량을 줄이는 초기에 효과적일 수 있지만, 퇴적물 부하량이 높게 유지된다면 빠르게 매몰될 것이다.

2) 질소 제거

질소 제거 능력을 결정하는 것은 질소가 수변녹지로 들어가는 경로(예, 표면 유출수, 깊거나 얇은 지하수, 대기 침적)와 완충지 내에서 질소 변환에 대한 잠재력 등이다. 질소(및 용존인)와 같은 영양소는 뿌리지대 내 지하수로 여과되고 흡착됨으로써, 식물 흡수에 의해 처리되거나 탈질화에 의해서 변환된다. 탈질화 과정에서 과도한 질소 화합물은 대기로 방출되는 질소가스로 변환된다. 미생물은 유기물질을 간단한 화합물로 분해하거나 생체량으로 합성하면서, 유기물질을 먹이로 사용한다. 특히 수변 삼림은 아직은 더 많은 연구가 필요하나, 다양한 미생물 분해 메커니즘을 유지한다고 알려져 있다. 그 동안 대부분의 연구가 표면유출수에 중점을 두었으나, 지하수로 움직이는 물과의 상호작용을 인식하는 것도 중요하다.

탈질화의 과정은 넓은 범위에서 발생하며, 습한 하천변 지역에서 가장 강하게 발생한다. 반면, 초목에 의한 질소 흡수는 초목의 윗사면 가장자리에서 시작될 것이다. 식물은 생체 내에서의 적극적인 질소 흡수, 뿌리-곰팡이 상호작용, 수분 보유량 등을 통해서, 완충 기능을 강화한다. 이런 방식으로, 삼림이 상당한 완충 시스템을 보유하고 있을 때, 전반적인 수변녹지 폭을 줄이는 것이 가능할 수 있다. 효율은 체류시간(폭에 의해 영향받음)과 영양소 부하량에 달려있다. 거의 모든 문헌 연구에서, 대부분의 질소 제거는 삼림의 10m~30m에서 발생하였다. 야외조사 결과 총 부하량의 25%~90%의 질소 감소를 보였다. 물 저장, 식물 흡수, 탈질화 등이 적절한 곳에서는, 10m정도의 작은 폭으로도 상당한 양의 질소가 감소될 수 있다.

3) 퇴적물과 인의 감소

초목은 지표수 흐름에 대한 기계적인 저항으로 유속을 감소시키고, 수로화된 흐름을 방지시키는 역할을 하여, 퇴적물의 침전이 이루어 지도록 하고 있다. 인의 90%는 토양 미립자나 유기 물질에 붙어서 하천으로 운반되기 때문에, 퇴적물 이동을 감소시키는 것은 인 부하량을 감소시키는 것이 된다. 수변녹지를 이용하면 토지에서 토양 퇴적물이 보통은 40%~70%까지 감소된다. 대부분의 연구에서 최소한 15m~30m의 완충지 폭을 요구하고 있지만, 완충지 폭과 퇴적물 제거량간의 관계는 선형적이지 않다. 80% 이상의 제거효율을 위해서는 넓은 완충지 폭이 필요하지만, 과도한 수로화 흐름과 가파른 경사 조건만 아니라면, 완충지 폭이 50m를 초과하는 경우 폭에 비례하여 효과가 나타나지 않는다. 한편 농업지역에서 조사된 10m이상의 잔디 여과띠 중에서 3년~5년 동안 이용 후에 여과띠의 가장자리에 쌓인 퇴적물에 의해 제 기능이 저하되었기 때문에, 여과띠와 삼림화된 완충지를 결합하여 조성하는 것이 이러한 역기능을 최소화하는데 있어 효과적이다.

4) 살충제의 감소

일반적으로 13m이상의 완충녹지는 살충제를 제거하는데 효과적임이 증명되었다. 완충녹지에서 살충제 이동에 영향을 미치는 인자는 영양소에 영향을 미치는 인자와 비슷하다. 일반적으로 사용되는 대부분의 살충제는 토양 입자에 흡착되거나 유출수와 지표하 흐름으로 이동된다. 유기 살충제는 유기물질이 풍부한 수변 삼림 환경에서 미생물의 분해 과정에 지배받는다. 예를 들면, 완충지는 아트라진으로부터 상수원을 보호하는데 효과적인 수단이 된다.

5) 수온 조절

삼림 수변녹지는 여름철 수온을 낮추고 겨울철 수온 저하를 둔화시킨다. 만약 그늘에 의한 차광효과가 충분치 않다면, 햇빛은 직접적으로 수질과 수중 생물에 영향을 미치게 된다. 수온 상승은 비점오염원의 영향을 증가시키며, 시스템에서 산소를 빼앗음으로 해서 수질악화를 가속화시키는 역할을 하게 된다. 작은 하천은 여름철 태양에 약 30m 노출되어 흐르면 수온이 8°C만큼 증가한다. 일교차에 대한 최대온도 변동은 7°C~8°C 이상이고, 주위 온도는 3°C~4°C이상 차이가 나는 것이 일반적이다. 하천을 따라난 잔디 여과대는 보통 수온을 조절하기 위한 충분한 커버를 제공할 수 없다.

6) 독 안정성

수변지역에 있는 식생은 하천과 하천독의 안정성에 유의한 역할을 한다. 작은 뿌리는 하천독의 토양을 단단히 묶어 두고 큰 뿌리는 흐름 에너지에 물리적인 저항을 하게 된다. 목질 쇄설물은 수로 하층토를 묶고 빗장을 형성하게 되며, 상당한 양의 하천 퇴적물과 자갈을 저장하고, 만곡을 조정할 뿐만아니라, 물살이 느리거나 빠르기를 조정하여 수로 구조를 형성한다. 최근까지 큰 목질 쇄설물의 가치는 잘못 인식되어 하천개수시 많은 양을 제거하였다. 하천 독에 인접한 지역에 있는 8m 식생만으로 독 안정화에 큰 기여를 할 수 있다. 수변녹지 폭을 늘리는 것은 인간의 영향에 대한 물리적 장벽으로써의 기능과 큰 홍수에 대한 보호대를 제공함으로써 하천 안정도를 강화시킬수 있다.

7) 유출수 완화

식생은 물 흐름 에너지를 분산시키고, 수변지역은 일시적으로 범람수를 저장하며 퇴적물 부하량을 제거하는데 도움을 줌으로써, 범람에 의한 하류에의 영향을 저감하는데 도움을 준다. 삼림은 물 저장능력에 있는데 농경지의 40배, 잔디밭의 15배 정도이다. 이렇게 많은 물을 저장할 수 있는 것은 주로 잎, 줄기, 가지 등의 넓은 표면적에 떨어지는 강우를 저장하는 삼림 하층부와 토양에 저장된 유기물질의 다공성 및 수분 보유능력, 식생의 큰 증발률 등 삼림의 능력 때문이다. 삼림은 우수유출수 관리에서 물의 부피를 감소시키는 역할을 한다.

8) 육상 서식지 통로 제공

수변지역은 야생생물중에 다양한 서식지를 제공하고, 인접지대와 수중 환경간에 이행지대를 제공한다. 수변녹지만으로는 서식지로서 충분하지 않지만, 약 30m 수변녹지만으로도 조류의 종과 수가 증가되었다는 연구가 있다. 사슴이나 곰과 같은 큰 포유류의 이동통로를 제공하기 위해서는 더 넓은 완충지(30m ~300m)가 필요하다.

4. 수변녹지 조성을 위한 토양관리

수변녹지를 조성하기 위해서는 토양조사와 이를 바탕으로 한 토양의 특성평가가 필수적이다. 다음은 수변녹지에 적용할 수 있는 토양조사 사항, 수문학적 토양 특성 등을 분석하였다.

가. 토양 조사

수변녹지에서의 삼림조성 및 관리 계획은 토양 조사결과에 바탕을 두어야 한다. 토양 조사는 조사목적에 따라 그 방법이 다양하므로 본 장에서는 수변 삼림을 위한 토양 조사에서 필요한 사항을 중심으로 고찰해 보았다. 대부분의 토양 조사에서 삼림지 조성 및 관리에 영향을 미치는 요인은 다음과 같은 사항이 될 것이다.

<표 4-9> 수변녹지 조성 및 관리에 필요한 토양 영향 조사사항 예

토양 종류	생산성	관리 관심사						선호 종	
		침식 위험도	장비 제한	묘목 사망률	바람 위 험도	침엽수 경쟁	활엽수 경쟁	현존 식생종	식재 식생종
실트	상중	하	하	하	중하	중상	중하	포플러, 철쭉	미송, 소나무

1) 생산성

토양의 생산성을 나타내는 것으로, 당해 토양에 식재했을 때 토양이 가지는 잠재적 생산성과 관련 주요 토양 특성을 결정하기 위해서 사용된다. 분류단계는 자료의 정도에 따라 다양한 단계로 하는 것이 좋다.

2) 침식 위험성

침식 위험성은 삼림 식재를 위한 용지조성과 관리도로를 건설할 때의 침식 위험성 정도를 나타내는데 사용된다. 침식 위험성은 상, 중, 하의 세 단계로 구분함이 적합하다.

3) 장비 제한지역

장비 제한은 토양 특성상 장비사용의 제한사항을 점검하기 위한 것으로, 연중 혹은 계절적으로 장비 사용의 제한사항을 파악하는 것이다. 구분은 상, 중, 하의 세 단계로 하되 특히 장비사용이 어려운 시기를 조사표에 명시할 수도 있을 것이다.

4) 묘목 사망률

묘목 사망의 주요 원인은 수분이 너무 많거나 너무 적은 경우, 적절한 때에 비가 오지 않아 이용 가능한 수분 용량이 적은 경우, 뿌리 깊이가 얇고 높은 증발 요인들이 조합된 경우,

토성이 너무 굵어서 물이 쉽사리 들어가지만 이용 가능한 물 용량이 적은 경우, 토양의 이용 가능한 수분 용량과 뿌리 깊이가 불일치 한 경우, 남향의 가파른 경사에서 높은 온도와 증발이 일어나는 경우 등 다양하다. 이 역시 상, 중, 하의 세 단계로 구분할 수 있다.

5) 바람에 의해서 쓰러질 위험도

바람에 의해서 쓰러질 위험도는 알맞게 뿌리가 내릴 수 있는 토양의 깊이가 충분하지 못하여 바람에 의해서 나무가 뿌리째 뽑힐 가능성이 있다. 하천이 바람의 통로로 이용되고 있고 특히 육지부와 온도차이 등에 의해 바람의 크기가 상대적으로 크므로 수변지역에서의 이러한 조사는 필요하다. 바람에 의해서 쓰러질 위험도는 상, 중, 하 등으로 분류함이 바람직하다. 일반적으로 뿌리 깊이가 80cm 이상이면 위험도는 약하며, 뿌리 깊이가 50cm에서 80cm 이면 위험도는 중간이고, 50cm이하이면 위험한 상태이다.

6) 식물 경쟁력

식물 경쟁은 중간 벌채나 낙엽기에 수목의 단집이 개방될 때, 바람직하지 않은 종이 침입하거나 성장할 수 있는 가능성이 있다. 등급은 상, 중, 하를 기본으로 하되 더 세분할 수도 있을 것이다.

나. 토지특성 분류

이 토지특성 분류는 토양특성과 한계에 근거를 두고 분류되는데, 이런 정보는 수변 삼림 완충지의 폭을 결정하는데 매우 유용하다. USDA NRCS(Natural Resources Conservation Service)에서는 농지에 대해 8가지 토지특성 등급을 이용하고 있으며, 이런 시스템은 주로 농업적 이용을 위해서 개발되었지만, 일반적으로 수변지역에도 사용할 수 있을 것이다.

[등급-I] 이 등급의 토양은 어떤 이용에 적합한지에 관한 제한이 거의 없다. 강도 높은 경작에서 삼림과 야생생물 보호지 까지 가능하다. 토심은 깊고, 배수가 잘되며, 평지로서 자연적으로 비옥하거나 토양 개량에도 잘 반응할 수 있으며, 토양의 수분 보유력도 높다.

[등급-II] 이런 토지 등급의 토양은 식물 선택이 좁아지는 제한점을 가지고 있거나 보존 기법을 사용하도록 요구된다. 등급II 토양의 제한 인자 중에는 경사, 중간적 침식 위험도, 불충분한 토심, 토양구조의 다소 열악함, 다소간의 염류 축적, 다소 제한된 배수 등이 있다.

[등급-III] 등급III의 토양은 식물 선정을 줄이거나 특정 보존 기법을 요구하는 엄격한 제한점을 가지고 있다. 등급III의 토양이용에 대한 제한점은 보통의 가파른 경사, 높은 침식 위험도, 매우 느린 물 투수성, 얇은 깊이와 제한적인 뿌리 지대, 낮은 수분 보유력, 낮은 비옥도, 중간 정도의 알칼리성 혹은 염도, 불안정한 토양 구조 등이다.

[등급-Ⅳ] 이 등급의 토양은 농경지로 이용되지만, 자랄 수 있는 농작물 선정을 급격히 제한시키는 매우 엄격한 제한점이 있다. 이런 토양에 대한 제한 인자는 다음의 하나나 그 이상일 수 있다 제한인자는 가파른 경사, 심각한 침식 민감도, 심각한 과거 침식, 얇은 토양, 낮은 수분 보유력, 빈약한 배수, 심각한 알카리성이나 염도 등이다.

[등급-Ⅴ] 이 등급의 토양에서는 보통 경작하지 않고, 흔히 목초지로 사용된다. 일반적으로 침식이 우려되지는 않지만, 몇 가지 다른 제한점으로 빈번한 범람, 짧은 성장 계절, 돌이나 바위, 배수가 되지 않은 물이 끈 지역 등을 들 수 있다.

[등급-Ⅵ] 이 등급의 토양은 방목, 삼림, 목장, 야생생물 등의 이용으로 극도로 제한된다. 등급Ⅴ 토양보다 다소 제한점이 많다.

[등급-Ⅶ] 이 등급의 토양은 방목, 삼림, 야생생물 등으로 매우 심하게 제한한다. 이 등급의 토양에서 목초지 개선은 비현실적이다.

[등급-Ⅷ] 이 등급의 토양은 상업적 농작물을 생산할 수 없다. 여가활동, 야생생물, 용수공급, 심미적인 이용 목적으로 제한된다. 이 등급 토양의 예로써 수변모래, 노출된 바위 등이 있다.

토지이용의 강도 증가 →

	야생 생물	삼림	방목			경작			
			제한	보통	양호	제한	보통	양호	아주양호
I									
II									
III									
IV									
V									
VI									
VII									
VIII									

자료 : Brady, N.C. 1984. 에서 작성
 주) 명암부분은 적절한 등급에 대한 이용을 나타내며, 등급 I에서 등급Ⅷ으로 갈수록 신중한 토지이용에 대한 한계가 증가한다. 또한 등급 I에서 등급Ⅷ까지 이용의 적응성과 선택의 자유가 감소하게 된다.

<그림 4-3> 토지등급별 토지이용 제한점

다. 수변녹지 조성과 관련되는 토양

수변녹지 즉, 수변삼림 완충지의 성공적인 조성을 위한 첫 단계는 주변에 우선 어떤 식물이 자라고 있는지 조사하는 것이다. 주변에서 자라고 있는 나무는 그 용지에서 어떤 나무를

조성할 수 있는지를 나타내는 주요한 근거가 된다. 소나무는 보통 사암에서 나오는 토양에서 잘 자라는 반면, 활엽수는 석회암이 분포한 토양에서 유리하다. 다음은 다양한 토양조건에서 자라는 나무 종의 예들이다.

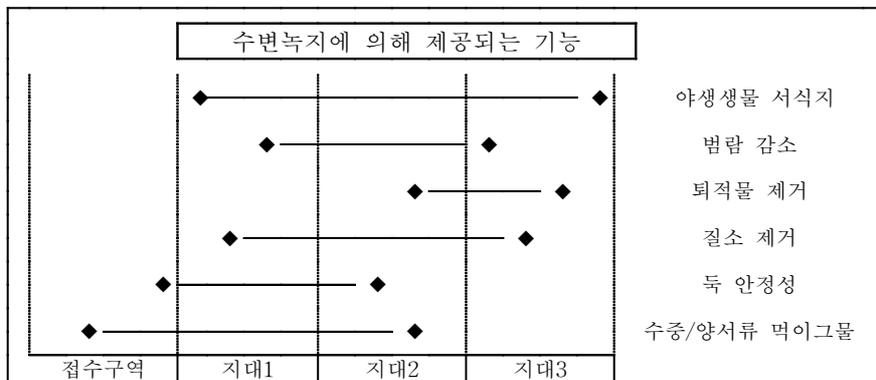
- 석회암 - 호두나무, 밤나무, 물푸레나무, 느릅나무, 향나무
- 사암과 규질암 - 오크, 말채나무 무리

기반암 성분은 토양의 중요한 특성 중에 하나인 토성에 직접적인 영향을 미친다. 또한 기반암 성분은 토양의 화학적 성질, 토양 수분, 뿌리 발달에 영향을 미친다. 토양의 비옥도는 토양 내 점토와 미사의 양과 직접적으로 관련된다. 심한 사질 토양은 비옥하지 않고 침엽수만 자랄 수 있으며, 사질 토양에 활엽수를 심는 것은 시간 낭비일 수 있다.

5. 수변녹지의 식재와 관리

수변녹지의 조성 및 복원을 위한 고려사항은 지하수면의 깊이, 토양 입도 및 구성, 범람 규모 및 횡수, 식재된 나무에 대한 지하수면의 상승 및 하강 영향, 설치류 및 토끼의 포식으로부터 보호, 경쟁 잡초 제거, 자동차·가축으로부터 보호, 성장률 및 생존률 등이다. 수변녹지대에서 생물공학기술 같은 soft-engineering 접근법에 의한 침식 제어는 댐, 수로화, 사석기초 등과 같은 hard-engineering 접근법 보다 우선하여 고려되어야 한다. 더 이상 필요하지 않거나 효과적이지 않은 제방이나 둑 등은 수변, 범람원, 서식지, 강 및 하천간의 수문학적 연결을 위해 제거되어야 한다.

수변을 따라 수목으로 덮인 녹지지역을 조성하고 보전하는 것은 아름다운 경관 이상의 의미를 가진다. 나무나 초지로 이루어진 수변지역은 퇴적물과 각종 오염물질을 하천으로 유입되기 전에 제거함으로써 수질을 향상시킬 수 있을 뿐만 아니라, 적절히 관리된 수변지역은 범람을 완화시키고, 지하수를 재충전할 수 있으며, 토양침식을 막고, 야생생물 서식처를 보전하거나 개선할 수 있다. 수변녹지 내 식재 조합은 지역 조건, 주변 토지이용, 토지소유자 이용목적, 비용 등을 고려하여 결정하여야 한다. 수변녹지 식재를 세분화하면, 물과 직접 접하는 접수구역과 접수구역외 수변지역으로 구분하고, 접수구역외 지역은 다시 구역을 삼등분하여 각각의 기능이 결합함으로써 수변녹지로서의 기능이 최대화되도록 하여야 한다.



<그림 4-4> 수변녹지의 구조별 특징

가. 접수구역의 식재

접수구역 복원에 대한 중요한 고려사항은 프로젝트 목적에 합당한 수문학적 조건의 수립, 건설 중 토사 및 골재의 효율적인 운용, 지역 및 프로젝트 목적에 알맞은 식물 선택 및 번식, 목표 종의 서식지를 강화하기 위한 기능 평가 등이다. 물과 접하는 지역에 나무를 심는 것은 침식을 억제하는 동시에, 야생생물 및 물고기의 서식지를 수변 시스템 내에서 조성할 수 있도록 해준다. 식생이 공학적 구조와 결합될 때, 이것을 생물공학이나 생물기술적 방법이라고 일컫는다. 많은 생물공학적(bioengineering) 수단들이 강둑 침식 억제를 위한 유용한 도구가 될 수 있지만, 필요할 경우 옹벽 같은 물리적인 구조물과 연결되어야 한다. 식생, 그 자체가 침식을 억제하는 해결책은 아니며, 지역 특성의 견지에서 고려되어야 한다. 잔디와 초본의 씨를 직접 뿌리는 것은 일반적으로 늦가을에 유리하지만, 하천의 수위에 따라 계획해야 한다. 초본 및 나무 종을 초봄에 옮겨 심는 것이 가장 좋으며, 나무는 휴면상태가 깨기 전에 옮겨 심어야 한다.

1) 식재 이용의 이점

식생은 뿌리를 통해 토양을 강력하게 응집하고, 물의 흐름 에너지를 흠뜨리며, 물을 포집하거나 물 침투를 강화시키고, 흡수 및 증산작용에 의해서 토양 수분을 증산시킨다. 구체적으로 첫째, 뿌리 시스템은 동여 묶는 그물망 구조에 의해서 토양을 붙잡는 데 도움을 주고 전반적인 독 안정화를 증가시킨다. 둘째, 노출된 식생(줄기, 입자루, 가지, 잎)은 물 흐름에 대한 저항을 증가시켜 유속을 감소시킨다. 강둑 토양에 충격을 주는 흐름에 대해 식물이 저항함으로써 흐름 에너지를 분산시킨다. 셋째, 식생은 운송물질의 연마 효과에 대한 완충역할을 한다. 넷째, 빈틈없이 자라는 식생은 독에 유속이 느린 지역을 만들어서, 퇴적물 침전을 유도할 수 있다. 식생은 또한 대부분의 구조적 방법보다 비용이 덜 들고, 야생생물의 상태를 향상시키며, 수질을 개선하고, 문화적/고고학적인 자원을 보호할 수 있다.

2) 식재시 고려해야할 요인

① 일반적인 사항

하천 흐름 및 하천특성 분석, 독의 물리적 구성, 용지 준비 및 보호, 식생 유형, 재식재 기술 등이다.

② 하천흐름 특성

강둑에 식생을 어디에, 어떤 종류를, 언제 심을지를 결정하기 위해서, 하천의 수로 특성 및 하천 특성에 관한 자료가 필요하다. 특히 유량자료는 필수적이며, 그 외에 홍수터 분석, 지역에 사는 주민들에 대한 자료, 주기적인 범람을 표시하는 지방 식생과 토양에서 얻은 자료 등을 분석하여 하천흐름 특성을 분석하며, 이를 바탕으로 식재 방안을 설정한다.

③ 둑 형태

침식되었거나 밑 부분이 잘려 식재를 할 수 없는 경사는 식재 전에 기울기를 완만하게 조성하여야 한다. 요구되는 지면과의 각도는 토양에 따라 다양하며, 모래는 각도가 약 30도 정도까지만 가능한 반면, 진흙의 경우 더 가파를 수 있다. 밑 부분이 잘린 가파른 둑에서는 문제가 발생할 수 있는데, 강둑의 아래 끝 부분을 사석이나 다른 것으로 보호할 필요가 있다.

④ 용지 준비

적절한 둑 경사를 정하는 것과 둑의 아래 끝을 보호하는 경우 뿐만 아니라, 다른 용지 준비 과정이 있을 수 있다. 사면은 적어도 10cm의 유기물질 표토층으로 덮이는 것이 바람직하다. 그러나 토양의 이동은 비용이 많이 들기 때문에, 비용상의 문제가 있는 경우 표토층을 이동시키는 것 대신에 비료와 양질토양을 생산하는 뿌리덮개를 이용할 수도 있다.

⑤ 식생 유형

토착 식물이나 이미 그 지역에 있는 귀화된 식물을 일반적으로 사용한다. 왜냐하면 그 지역의 기후, 토양, 다른 생태학적 특징에 적응되었기 때문이다. 선정된 식물은 홍수에 내구력이 있어야 하는데, 하천의 특성에 따라 강력한 내구력을 필요로 할 경우 수종 선택에 신중을 기해야 한다. 잔디, 풀, 관목, 나무 등의 혼합지는 다양한 야생동물 서식지를 제공할 수 있어야 한다. 클로버와 같은 콩과식물은 물에 대한 저항력이 있고 질소고정 능력이 있기 때문에 잘 이용되나, 간헐적이고 단기 홍수에만 영향받은 지역에 심어야 한다.

3) 접수구역 식재 방법

식물은 홍수기간에 견딜 수 있는 능력과 파도 및 물결 에너지에 적절히 대응하도록 식재하여야 한다. 수변지역은 수위가 계절별, 일별로 변하기 때문에, 식물 종 및 식재 패턴은 자연적으로 복구된 상태를 참고하여 당해 지역에서 가장 잘 적응한 종을 선택하여야 한다. 전체 하천둑 침식 보호를 위한 적당한 지표 커버, 야생동물 서식처 등을 제공할 수 있는 식생 뿐만 아니라 심미적인 면도 고려하여야 한다. 물 에너지에 민감할 뿐만 아니라, 생태적으로 물과 육지의 천이지대인 접수구역에서의 식재는 다음과 같이 4지역으로 나누어 식재함이 바람직하다.

① 아래 끝 지대

이 부분은 평수위 밑의 지대로 매우 스트레스가 심하고, 흐름에 의해 종종 밑 부분이 깎일 수 있다. 이 지대는 종종 1년 중 6개월이상이 물에 잠겨있기 때문에 바위나 돌 같은 단단한 물질로 구성하여야 한다.

② 물장구 지대

이 부분은 평수위와 저수위 사이에 있으며 가장 스트레스가 심한 지대이다. 물장구 지대

는 파도, 얼음, 쓰레기 등에 자주 영향을 받는 지역으로 우기와 건기, 동절기와 하절기에 따라 노출되는 지역의 차이가 크다. 이 부분은 1년 중 6개월이상 침수되며 수심은 날마다, 물장구 지대 내 위치에 따라서 변동될 것이다. 물장구 지대 식재에는 갈대, 골풀과 같은 초본 식물들이 적합하다. 이런 종류의 식물은 홍수에 강하고 물장구 지대에 잘 적응한다. 갈대의 뿌리와 줄기는 물밑에서나 육지부에서 토양을 감싸 하천둑을 보호한다. 물장구 지대는 앞에서 언급한 것처럼, 일반적으로 가장 스트레스를 많이 받는 지대로서 뿌리와 줄기가 모두 물이나 파도에 잘 적응된 종을 식재 하여야한다.

③ 둑 지대

이 지대는 간혹 홍수와 파도 등에 노출될 수 있으며, 잔디 같은 홍수에 강한 종이 유리하다. 일반적으로 잔디는 그물이나 말뚝으로 고정시키면서 심어야 한다. 이 지대는 주기적으로 파도, 홍수, 얼음, 쇄설물 등에 노출되고 동물이나 사람의 출입도 빈번하다. 둑 지대에서는 초본(죽, 잔디, 클로버 등) 및 나무가 이용되고 이런 종들은 홍수에 강해야 하며, 몇 주 동안 완전히 물에 잠기는 것도 견딜 수 있어야 한다. 예를 들어, 갈대는 8주까지 범람에 견딜 수 있다. 다양한 종류의 관목류 버드나무도 적합하며, 수위가 높은 기간에는 이런 관목의 위쪽 가지들이 유속을 줄여서 물의 침식력을 감소시킨다. 이런 관목의 가지들은 탄성이 크고, 흐름이 지나간 후에 원상회복이 빠르다.

④ 언덕 지대

이 부분은 둑 지대에서 내륙 쪽에 있으며, 일반적으로 가끔 있는 홍수기간을 제외하고 강의 침식에 영향받지는 않는다. 언덕 지대는 둑 보호에서 덜 중요한데, 이는 범람과 침식문제가 거의 없기 때문이다. 언덕 지대에서 일반적으로 경사가 1V:3H 보다 크지 않을때, 직접 씨를 뿌리거나 기존의 성장한 식물을 옮겨 심을 수 있다. 경사가 1V:1H 이상일 때는 장작단, 나뭇가지 등과 같은 지지 구조와 함께 잔디를 입히는 것이 필요하다(Logan et al. 1979) 언덕 지대는 둑 지대의 초목보다 홍수에 강하지 않는 토종 잔디, 초본, 관목, 나무 등을 포함할 수 있고, 나무 종은 크고 육중한 것을 사용할 수 있다. 하천과 강의 둑 안정화에 있어서 나무의 가치는 중요하다. 거대한 나무 뿌리가 범람원 충적토를 감싸고 있는 강둑은 100년에서 200년 동안 침식되지 않았다. 나무, 관목, 잔디 조합은 이 지대에서 통합적인 식물 군집으로 침식억제 역할을 할뿐만 아니라, 야생생물 서식지 다양성 및 경관의 아름다움 등을 개선할 것이다.

나. 접수구역외 수변지역 식재

수변녹지 중 접수구역외 수변지대는 앞에서 구분한대로 세 구역으로 구분하는데, 물에 가장 가까운 것을 지대1, 중간을 지대2, 물에서 가장 먼 곳을 지대3으로 구분하여 각 지대의 기능에 적합하게 식재하는 것이 수질과 생태계 측면에서 바람직하다. 또한 나무는 수종이나 수령에 따라 생육 특성이 다르기 때문에, 나무심기 효과가 충분히 발휘될 수 있도록 해당 하천

에 적합한 수종을 선정하고, 나무의 성장에 따라 하천관리상 지장이 발생하지 않도록 나무를 관리해야 한다. 지대1과 지대2는 관목과 함께 나무가 있을 수 있고, 물가로부터 가장 먼 지대3은 다른 토지이용(예를 들면 농지, 목초지, 집)에 이웃한 지대로서 토착 잔디와 광엽 초본(forb : 넓은 잎의 초본식물과 야생화)이 바람직하다. 식재할 때, 빨리 자라는 나무와 천천히 자라는 나무, 관목, 잔디, 광엽 초본을 조합하는 것은 수로를 보호하는데 도움이 되고, 야생동물에게 다양한 서식처를 제공한다. 나무와 관목은 토양이 유실되지 않게 하고 영양소를 흡착하여, 나무의 생물량으로 오래 보전하는 시스템을 제공한다. 광엽 초본과 잔디는 표면 유출수를 천천히 흐르게 하고, 퇴적물을 막으며, 영양소를 흡착하는 줄기의 밀도가 높다. 각 지대별 구체적인 식재방안은 다음과 같다.

1) 지대별 식재방안

① 지대1

본 지대의 나무는 토양의 안정성을 증가시킬 수 있도록, 빠르게 깊이 뿌리 내리는 종이 바람직하다. 수변에 존재하는 토착 나무종이 바람직한데, 이는 하천의 서식동물과 같이 진화했기 때문이다. 수변의 낮은 지대는 단풍나무, 버드나무, 미루나무, 물푸레나무, 플라터너스 등이 대부분 지역에서 적합하다. 이런 종들은 습한 조건을 견디고, 빨리 자라며, 주된 줄기가 유연하여, 폭우의 충격에 나무가 휩쓸리고 둑이 침식되는 대신에, 가지만 떨어져 나가고 주 줄기는 잘 보존된다. 지대1 중 좀 높은 지대에는 호두나무, 떡갈나무, 물푸레나무와 같은 활엽수 등도 식재할 수 있다. 나무가 성장하는 계절에 적어도 지하수면이 지하 1m 정도이면 배수가 잘 되는 곳에서 잘 성장하는 활엽수 종을 심고, 배수가 좋지 않다면 습한 조건에서 잘 견디는 활엽수 종으로 자작나무, 물푸레나무, 팽나무(hackberry) 등이 좋다.

햇볕을 잘 받는 남서향 둑에는 양수(陽樹)-음지에서 못 견디는 나무-종들이 무성해질 것이다. 반면에 그늘진 조건의 북향 하천둑은 식물 선택이 더 제한된다. 대표적으로 진달래, 단풍나무 등이 그늘진 조건에 알맞은 종이다. 지대1은 재목 벌채가 권고되지 않는 지역이고 교란이 안된 지역으로, 가축은 이 지대에서 제외되어야 한다. 둑 안정화 작업은 수질에 부정적인 영향을 최소화하기 위해서 신중하게 계획되어야 한다.

② 지대2

본 지대는 물이 흠속으로 침투하거나 여과되어, 물속의 영양물질과 오염물질이 식생이나 다른 자연 생태학적 시스템을 통과함으로써 흡착되거나 제거된다. 또한 나무와 관목의 생물량 내에 영양소를 장기간 저장할 수 있다. 큰 나무들이 지대2를 우점하고, 하단부에는 작은 나무와 관목이 있다. 본 지대는 약간의 교란을 견딜 수 있으며, 지역 조건이 충족되는 곳에서는 장래 가능한 재목 벌채를 위해서 상업적으로 생존 가능한 종들을 식재할 수 있다. 음지에서 잘 자라는 야생화 등도 이 지역에서 생산할 수 있다. 종의 선택에 있어서, 특정 지역과 토양 조건에 적합한 종들을 선택하고, 현장에서 자라는 토착종을 우선해서 선정하는 것이 바람직하다. 다양한 나무와 관목을 식재하는 것은 다양성을 높이고 야생동물 서식지를 향상시킨

다. 또, 만약 한 종이 번성하지 못하거나 자라지 못할 경우의 손실을 줄이기 위해서, 다양한 종들을 섞어서 식재하는 것이 바람직하다.

③ 지대3

지대3은 지대1과 지대2의 산림수변지역 바깥쪽과 일반지역사이에 있는 지대로서, 본 지대는 퇴적물을 거르고, 영양소를 흡착하여 생물량으로 변환하는 역할을 하여야 한다. 또한 이 지역은 지대1과 지대2가 제 기능을 수행할 수 있게, 집중된 표면수 흐름이 고르게 퍼지도록 설계하여야 한다. 따라서 이 지역을 나무가 없는 조밀한 풀숲으로 구성하여, 유출수를 천천히 흐르게 하고 여과하는데 알맞도록 하여야 한다. 이 지역은 잔디와 같은 종류가 선호되는데, 이는 뻣뻣하고 딱딱한 줄기가 계절 내내 곳곳에 남아있기 때문이다. 이것은 물이 완충지대를 침투하도록 하여 물의 육상 흐름을 감소시키고, 또한 물에 의해 운반되는 퇴적물이 완충지대에 쌓이게 한다. 초본은 토양의 유기물 함량을 증가시키고, 토양 내 유기물질은 침투율과 미생물 활동을 증가시킴으로써 토양 비옥도를 향상시킨다.

2) 식재 전후의 현장준비

수변지역은 가지가 많거나 저급의 나무들이 뒤섞여 있는 경우 등 상태가 다양하다. 이와 같은 수변구역은 식재하기 전에 현장 정비가 필요한데, 현장정비는 식재하기 전 가을에 시작해야 한다. 어떤 경우에는 현장준비에 식재 전 초목 정리로 1년까지 걸릴 수 있다. 수변지역의 초지조성에 시간이 소요될 경우 호밀과 같은 식물과 잔디를 식재하는 등 침식을 방지할 수 있는 방안을 강구하여야 한다. 이들은 나무 식재 후 나무가 자라면서 빛을 차단하게 되어 자연히 제거될 것이다. 수변지역을 관리하지 않고 장기간 방치한 경우에는 이미 묘목, 관목, 덩굴이 번성할 것이다. 이런 경우에는 경쟁 종으로부터 묘목을 보호하는데 초점을 맞추어야 한다. 이를 위한 방법은 바람직한 목표 종을 선정하고, 이 목표 종이 잘 성장할 수 있도록 경쟁 종을 인위적으로 제거하는 것이다.

수변지역에서는 나무의 생존과 빠른 성장을 위해서 보통 식재 후 2~3년 동안 잡초 관리가 필요하다. 잡초 제거 방법은 뿌리덮개, 잡초 제거 직물, 제초제, 풀베기 등이 있으나, 비화학적 잡초 제거 기술이 바람직한데, 이는 화학물질이 수계 시스템으로 들어갈 수 있기 때문이다. 수변녹지는 최상의 수질과 야생생물 서식지를 유지하기 위해서 지속적으로 모니터링되고 관리되어야 한다. 적어도 1년에 한 번, 그리고 폭풍우가 있을 후 수일이내에, 퇴적물, 침식 또는 집중된 흐름에 의해 형성된 수로 등을 가능한 한 빨리 복구하여야 한다. 빨리 자라는 나무 종을 식재한 후 주기적으로 나무를 제거할 경우, 영양소 및 기타 오염물질을 효과적으로 제거할 수 있다. 그러나 수변지역에 주요 야생동물이 새끼를 낳아 기르는 시기에는 수변지역에서 작업하는 것을 가능한 피하는 것이 바람직하다.

3) 나무선정시 고려사항

① 기후

식물은 일반적으로 한정된 기후조건(온도, 일조량, 강우량)에서 성장한다. 따라서 나무 선정시 당해 지역의 기후에 적합한 종을 선정한다.

② 지하수

하천고수부지는 지하수위가 높은 곳이 많기 때문에, 뿌리가 수직으로 잘 성장하지 못한다. 그러나 하천에 광범위하게 분포하는 대부분의 나무는 지하수위 변화에 적응하여 뿌리 형태가 바뀌며 성장한다. 단, 극히 일부 수종은 지하수에 대한 적응력이 적어 지하수위가 높은 경우에는 쓰러지기 쉬운 뿌리 형태로 발달한다.

③ 토양

하천구역 내의 나무는 비교적 제한된 토양조건에서 성장 가능한 수종과 토양조건에 지배 받지 않는 수종이 있다. 나무의 조사결과와 문헌에 기록되어 있는 토양의 적합성을 종합해서, 수종별로 적당하다고 생각되는 토양조건을 고려하여야 한다.

④ 음양성

나무 중에는 일조량이 많은 장소를 좋아하는 양수와 응달을 좋아하는 음수가 있다. 직사광선을 많이 받는 경우에는 양수가 적합하고, 음수는 양수와 조합하여 균락으로 심을 경우에 적합하다.

⑤ 재생력

벌채를 해도 다시 발아하여 재생하는 정도를 말한다. 재생력이 강한 수종은 벌채 후 재생방지를 위해 뿌리를 충분히 처리해야 한다.

⑥ 성장력

나무균락을 간벌하여 독립된 형태로 남겨 놓으면, 일사조건이 변하여 활력이 약해지거나 고사하는 나무도 있다. 또한 유지관리를 위해 가지치기를 하면 가지치기 정도나 계절적 기상조건에 따라서 성장력이 약한 수종은 고사하기도 한다.

다. 나무관리

나무는 성장함에 따라 수형이 변화하고, 수종에 따라서는 계절적으로 성장형태가 크게 달라진다. 수형의 변화는 홍수에 영향을 미치기도 하고 뿌리의 성장에 따라 하천 부속물 등에 지장을 줄 수도 있다. 따라서 하천 구역 내 나무는 번성 범위나 형태, 홍수 상황을 계속적으

로 관측·조사해서 파악해야 한다. 또한 나무는 수종이나 수령에 따라 생육 특성이 다르기 때문에, 나무심기 효과가 충분히 발휘될 수 있도록 해당 하천에 적합한 수종을 선정하고, 나무의 성장에 따라 하천관리상 지장이 발생하지 않도록 나무를 관리해야 한다.

수종의 선정에 있어 하천구역 내에서 자생하고 있는 나무는 지역의 기후(강수량, 기온, 일조 등)와 하천이라고 하는 특수한 성장환경(지하수위, 사질양토, 홍수에 의한 외력 등)에 적합한 수종으로 볼 수 있다. <표 4-10>는 우리나라 하천구역내 서식하는 수종과 각 수종별 성장, 내습성, 하천 내 적정 위치 등을 제시한 것이다.

1) 나무뿌리가 뻗는 범위에 대한 특성과악

나무뿌리가 조밀하게 발달한 범위를 근계권(根系圈)이라 부른다. 이 근계권은 일반적으로 수관 폭의 약 2배 정도이다. 뿌리가 성기게 분포하는 버드나무 종류의 수종에서는 근계권을 엄밀히 정하기가 어렵지만, 수평방향으로 뻗은 뿌리의 경우 평균적인 범위는 수관 폭의

<표 4-10> 우리나라 하천구역에 서식하는 식물종 특성

자생	성상	내습성	호습성	식재 권장 수종		하천내 적정위치	
				우선수종	보조수종		
자생수종	교목	강함	매우강함				
			강함	버드나무, 왕버들, 능수버들, 개수양버들		고수부지 및 측단	
		보통		느릅나무, 팽나무	신나무, 귀룽나무, 곶솔, 모감주나무, 꾀나무	고수부지 및 측단	
		약함		느티나무, 뽕나무	자귀나무, 밤나무, 소나무, 상수리나무, 참오동나무	측단	
	관목	강함	매우강함	갯버들, 눈갯버들		저수로 비탈 및 고수부지	
			강함				
		보통			조팝나무, 붉나무, 송악, 개나리, 쫄레	뒷터 및 측단	
	약함			싸리, 칩	뒷터 및 측단		
	도입수종	교목	강함	매우강함		메타세콰이어, 낙우송	고수부지 및 측단
				강함			
보통			이태리포플러, 용버들, 은사시나무, 양버들, 편백		고수부지 및 측단		
약함		은행나무, 양버즘나무, 아까시 나무, 가죽나무	개잎갈나무	측단			
관목		강함	매우강함				
			강함				
		보통			죽제비싸리, 앵도, 무궁화, 뽕나무, 복사	뒷터 및 측단	
약함							

자료: 건설교통부, 1998

약 2배 정도라고 알려져 있다. 제방 등의 시설에 영향을 미치는 비교적 굵은 뿌리는 대부분이 범위 안에 있다.

제방을 따라 서식하는 나무 중에서는 뿌리가 제방의 경사면을 따라 성장하기도 한다. 버드나무 종류가 대표적이며 지하수위가 높은 곳이나 햇볕이 잘 드는 제방 경사면 등에 많다. 뿌리의 성장 방향과 굵기에 따라서는 호안을 손상시킬 수 있으므로 주의해야 한다. 나무의 뿌리가 성장함에 따라 저수호안이 밀려나 변형될 수 있다. 돌붙임 호안이나 블록 등의 틈에서 성장하는 경우 뿌리의 비대성장에 의해서 호안재료가 떨어져 나가는 사례도 있다.

2) 나무의 전도

홍수시 나무가 뽑혀서 하류로 떠내려가게 되면 하류 시설물에 악영향을 줄 수 있고, 나무뿌리가 뽑힌 웅덩이가 세굴되어 근처의 시설물에 좋지 않은 영향이 미칠 수 있다. 따라서 하천 구역 내에 나무를 심을 경우 나무가 쓰러지고 떠내려가지 않도록 외력이 작은 장소에 한정하든가 또는 내력이 큰 나무를 선정해야 한다.

3) 식재 제외 구역

하천구역 내 나무심기는 하천경관 향상, 고수부지 이용증진 및 생태계 보전 등 지역사회의 공익 목적을 달성하도록 하여야 하며, 어떠한 경우에도 치수상 지장이 없어야 한다. 나무심기 대상 구역 중 치수 안전성에 영향을 미친다고 생각되는 다음과 같은 구역에서는 나무심기를 하지 말아야 한다.

- 나무를 심음으로써 수위가 상승하거나 유속이 변하여 제방의 안전성을 해칠 우려가 있는 구역
- 나무뿌리가 제방에 침입해 호안 등의 시설을 손상할 우려가 있는 구역 등 하천 부속물 등에 영향을 줄 우려가 있는 구역
- 뿌리가 활착한 나무라도 홍수에 의해 쓰러지거나 세굴될 우려가 있는 구역
- 나무가 부러지거나 쓰러져 떠내려가 하류의 하도가 폐색될 우려가 있는 구역

4.2 구역별 수변녹지대 조성방안

수변녹지대 설치하는 대상지역의 특성과 주변의 토지이용 상태에 따라서 영향을 받기 때문에, 조성방안도 하천의 상류, 중류, 하류지역으로 나누어 고려하여야 한다. 특히 수변녹지대는 오염물의 토양침투, 식물 섭취, 식생대 포착 등 다양한 기능이 지역의 특성에 따라 좌우되므로 지역특성을 고려하지 않은 설치는 있을 수 없다. 다음은 수변녹지 조성을 상류, 중류, 하류 등 지역 특성별로 구분하여 조성방안을 제시하고자 한다.

1. 상류지역

상류지역은 주로 산간 계곡으로 이루어져 있고, 하폭이 적으며, 비교적 급경사 지역이 많은 것으로 고려하였다. 지반 조건은 토심이 얇은 경우와 토심이 깊고 경사가 급한 경우의 두 가지로 고려하였다.

가 토심이 얇은 경우

상류의 약간 평평한 지역에 형성된 소하천은 일반적으로 경사가 급하지 않고 기반암이 1m~2m지하에 존재하는 지역이다. 이 지역에서는 심층으로 침투하는 지하수가 없기 때문에, 식생대의 뿌리가 깊은 경우 중간 이상 정도의 영양물질 제거 기능이 있으며, 평탄지역의 경우 식생지대에 의한 침식물 제거효과도 크다. 용존 인의 제거기능이 중간 이하이므로, 인의 조절이 필요할 경우는 인 부하량이 존재하는 지역의 식생복구나 침투증가를 통해 용존 인을 제거할 수 있다.

<표 4-11> 토심이 얇은 상류지역

기능	기대수준	제약조건	식생대 복구 또는 조성 방안
· NO ₃ -N 제거	중간 / 높음	- 침투 및 범람의 존재 - 골짜기 존재	- 성장초기에 영양물 섭취를 많이 하는 식생의 선정 - 깊이 뿌리내릴 것
· 침전물 제거	높음 / 중간	- 골짜기로부터 침전물 부하 - 비범람원의 경사	- 하천침식이 있는 모든 지역내 복구 - 지대3이 침전물을 조절할 수 있도록 강화
· 용존 P 제거	중간 / 낮음	- 지표 강우유출수 내 용존인의 조절	- 지표 강우유출수에 인부하량이 상당량 존재하는 지역 복구 - 침투증가

나. 토심이 깊고 경사가 급한 경우

이 경우는 식생대가 정착되지 않을 때는 침전물 제거기능이 미약하나, 식생대가 안정상태에 있을 때에는 침전물 제거효과도 중간 이상을 유지할 수 있다. 질산성 질소의 제거효율을 높이기 위해서 깊이 뿌리내리는 식생의 선택이 필요하며, 지대1이 중요한 역할을 한다. 앞서와 마찬가지로 용존인의 제거효율은 낮으므로 용존인을 발생시키는 지역의 복구나 침투증가를 통해 감소하는 방안이 필요하다.

<표 4-12> 토심이 깊고 경사가 급한 경우

기 능	기대수준	제 약 조 건	식생대 복구 또는 조성 방안
· NO ₃ -N 제거	중간 / 높음	- 물의 체류시간 - 침투 및 범람의 존재	- 포축을 위한 깊이 뿌리내리는 식생선정 - 비점오염원 조절에 있어서 지대 1이 중요
· 침전물 제거	중간	- 골짜기로부터 침전물 부하 - 비범람원의 경사	- 하천침식이 있는 모든 지역 내 재건 - 지대3이 침전물을 조절할 수 있도록 강화
· 용존 P 제거	중간 / 낮음	- 지표 강우유출수내 용존인의 조절	- 대량의 지표 강우유출수 인부하량이 있는 지역복구 - 침투증가

2. 중류지역

하천 중류지역은 대부분 기반암이 있는 지역으로 가정하였다. 지역구분은 기반암이 불투수암이고 토심이 얇은 지역, 토심은 깊고 기반암이 불투수인 편암(Schist)이나 편마암(Gneiss)인 지역, 토심은 비교적 깊으나 기반암이 투수성인 석회암 지역인 경우의 3가지로 구분해 보았다. 각각에 대한 모식도 식생대 복구방안은 다음과 같다.

가. 기반암이 불투수암이고 토심이 얇은 지역

질산성 질소의 경우 지하수의 심층침투가 없기 때문에 식생대에 의한 제거효과가 크나, 용존 인의 경우는 다른 식생대와 마찬가지로 제거효과는 중간 이하이다.

<표 4-13> 기반암이 불투수암이고 토심이 얇은 지역

기 능	기대수준	제 약 조 건	식생대 복구 또는 조성 방안
· NO ₃ -N 제거	높음	- 하류지역보다 부하가 적음 - 골짜기형상이 지역유로를 조절	- 깊이 뿌리내린 식생선정 - 하천 및 침투지역 복구
· 침전물 제거	높음 / 중간	- 비범람원지역의 경사 - 지표 강우유출수량	- 지역 내 복구 - 처음 몇 년 동안에는 지대3에서 기능이 결정 - 지대3을 강화
· 용존 P 제거	중간 / 낮음	- 지표 강우유출수내 용존인의 조절	- 대량의 지표 강우유출수 인부하량이 있는 지역 복구 - 침투량 증가

나. 토심은 깊고 기반암이 불투수인 경우

토심이 깊은 경우에는 우수가 심층침투 후 침출되므로 질산성질소의 제거효율은 중간정도이나, 표면 유출수를 감소시키면 침식물 제거효과는 비교적 높게 된다.

<표 4-14> 토심은 깊고 기반암이 불투수인 경우

기능	기대수준	조건	식생대 복구 또는 조성 방안
· NO ₃ ⁻ N제거	중간	- 지역 대수층으로 보다 많은 물이 흐르고 연안지역을 우회	- 깊이 뿌리내린 식생선정 - 하천 및 침출지역 복구
· 침전물 제거	높음 /중간	- 비범람원지역의 경사 - 골짜기 측면으로부터 침전물 부하	- 하천에 영향을 미치는 침식지역복구 - 지대3의 기존 산림 강화
· 용존 P제거	중간 /낮음	- 지표 강우유출수내 용존인의 조절	- 대량의 지표강우유출수 인부하량이 있는 지역에 복구 - 침투증가

다. 토심이 비교적 깊으나 기반암이 투수성인 지역인 경우

토심이 비교적 깊으나 기반암이 투수성으로, 강우시 지표 깊숙이 침투하여 바로 하천으로 용출되기 때문에 식물에 의한 질산성 질소의 제거효율은 비교적 낮은 수준이다. 그러나 침투성이 높기 때문에 지표 유출수는 감소하여 침전물의 제거 기능은 높다.

<표 4-15> 토심이 비교적 깊으나 기반암이 투수성인 지역인 경우

기능	기대수준	조건	식생대 복구 또는 조성 방안
· NO ₃ ⁻ N제거	낮음	- 대부분의 흐름이 지역 대수층과 대규모 하천으로 흐름	- 탈질산화에 초점 - 깊이 뿌리내린 식생선정 - 침출지역 복구
· 침전물 제거	높음 /중간	- 비범람원지역의 경사 - 골짜기 측면으로부터 하천수에 의한 침식	- 하천에 영향을 미치는 침식지역복구 - 지대3의 기존의 산림 강화
· 용존 P제거	중간 /낮음	- 지표 강우유출수내 용존인의 조절	- 대량의 지표강우유출수 인부하량이 있는 지역 복구 - 침투와 미세침전물 여과 증가

3. 하류지역

하류지역은 비교적 평탄한 지역으로 이루어져 있고, 기반암보다는 퇴적층으로 인한 난투수층으로 이루어져 있다고 가정하였다. 본 장에서는 퇴적층이 비교적 적은 지역과 많은 지역의 두 가지로 나누어 검토하여 보았다.

가. 퇴적층이 적은 지역

하류지역 중 퇴적층이 적고 난투수층인 경우 대부분의 물이 뿌리영역 내로 이동하므로 질산성 질소의 제거효율이 크며, 흐름이 과도하게 집중하여 흐르지 않는 경우, 침전물의 제거율도 비교적 높다.

<표 4-16> 퇴적층이 적은 지역

기 능	기대수준	제 약 조 건	복구 또는 조성 방안
· NO ₃ -N제거	높음	- 인공적인 지하배수로에 의한 통과 - 지대2 지역 내에 함유된 유기물	- 모든 하천에서 중요 - 탈질기능의 빠른 회복 - 지대3 지역의 식생복구
· 침전물제거	높음 /중간	- 집중된 유출수를 표면유출수로 전환	- 모든 지역에서 복구 - 지대3 내 기존 산림을 보호
· 용존 P제거	중간 /낮음	- 지표 강우유출수와 지하수 내 용존 인의 조절에 제한	- 지표면 강우유출수내 주요 인부하지역에 복구 - 지대3 내 기존의 산림을 보호

나. 퇴적층이 많아 배수가 잘되는 지역

퇴적층이 비교적 많아 배수가 잘되는 지역으로서, 투수가 잘되기 때문에 질산성 질소의 제거는 낮으나 침전물의 제거는 중간이상이다.

<표 4-17> 퇴적층이 많아 배수가 잘되는 지역

기 능	기대수준	제 약 조 건	복구 또는 조성 방안
· NO ₃ -N제거	낮음	- 깊은 대수층으로 인한 통과 - 하천수로내 유로가 길다.	- 수원지역에 집중 - 지대1은 질산염 제거에 중요
· 침전물 제거	높음 /중간	- 집중된 흐름을 표면흐름으로 전환	- 큰 하천에서는 침식성 침전물의 여과에 초점 - 지대2와 지대3의 기능강화
· 용존 P제거	중간 /낮음	- 용존인조절은 제한. - 지표강우유출수내 인부하에 초점	- 식생에 의한 포획증가 - 기존의 산림과 초지대의 기능강화

4.3 수변녹지 관리방안

수변구역 내 조성되는 수변녹지는 오염원 이동억제와 오염물질 저감의 기능을 유지하기 위한 관리방안 뿐만 아니라 생태적 기능과 여가공간 및 심미적 기능 등의 완충기능을 효과적으로 유지하기 위한 관리방안도 필요하다. 특히 자연정화기능을 살리고 자연과 더불어 사람

이 살 수 있는 주변 환경을 조성하기 위해서는 생태적 기능을 더욱더 강조할 필요가 있다. 다음은 수변녹지의 관리방안을 수질측면, 홍수측면, 수자원 확보차원 등으로 나누어 제시하였다.

1. 수질측면에서의 관리

수변녹지가 오염을 예방하고 저감하는 기능을 수행하려면 몇 가지 요소들이 충족되어야 한다. 그 요소들에는 수변녹지의 폭, 유출수가 녹지로 흘러가는 경로, 수변녹지 내의 경사와 토양의 구성 등이 있다. 특히, 오염물 감소에서 중요한 것은 유출수가 수변녹지에 유입되었을 때부터 인접한 시내로 흘러갈 때까지 수변지역에 머무는 시간을 길게 하는데 있으며, 일반적으로 체류시간이 길수록, 많은 양의 오염물질이 감소된다.

가. 잔디밭

자연적인 식생이 존재하는 수변지역을 잔디밭이나 골프 코스같이 손질이 잘 된 상태로 만드는 것은 야생 동물에게 최소한 세 가지 악영향을 미친다. 첫째, 손질이 잘 된 채로 관리하려면 보통 정기적으로 많은 양의 농약, 제초제, 살균제, 비료 및 다른 화학물질을 사용해야 한다. 많은 화학물질을 사용하게 되면, 야생동물이 소화 또는 먹이 사슬에 의해서 화학물질이 체내에 생체 축적되는 직접적인 피해를 입게 되고, 인접한 수계의 서식지까지 오염시키는 결과를 낳기도 한다. 둘째, 야생 생태계에서 보다 잘 정돈된 지역의 식생에는 생물 종이 다양하지 못하다. 따라서 이런 지역 때문에 야생 생태계의 다양성은 줄어들고 전체적으로 수가 줄어들게 된다. 셋째, 이런 지역을 계속해서 깨끗하고 깔끔하게 유지하기 위해서 종종 죽은 나무들이나 낙엽, 가지 등을 치우는데, 이런 것들은 수변지역의 야생 동물들에게 중요한 먹이나 은신처를 제공해 주는 것들이다. 이런 지역을 손질하는 과정에서 잔디깎기 기계, 전기톱 등의 기계를 사용하는 것도 야생 동물들에게 위협을 줄 수 있다. 따라서 수변녹지는 인위적으로 가꾸는 잔디밭보다는 자연적으로 형성되는 잔디밭이 되도록 관리하여야 수질보호 뿐만 아니라 생태측면에서도 바람직하다.

나. 도로와 차도

수변 지역 내에 새로 생긴 도로와 차도는 수질과 야생 동물 서식지에 심각한 피해를 줄 수 있다. 일반적으로 도로가 확장될수록, 강과 가까워질수록, 도로를 이용하는 차량의 속도와 수가 증가할수록, 악영향이 증가하게 된다. 첫 번째 악영향은 나무와 그 밖의 식물들이 없어지고 도로 용지로 뒀에 따라, 그 지역 내에 존재하던 식생이 제거되어 오염원의 완충기능이 파괴된다는 것이다. 자동차 연료, 제빙용 화학물질, 그리고 도로에서 흘러내리는 다른 독성 물질들이 하천으로 유입될 수 있다. 따라서 수변지역내의 도로 건설은 피하는 것이 원칙이며, 불가피하게 건설될 경우에는 앞에서 제시한 최소한의 수변녹지를 조성하여 완충기능을 갖도록 하여야 한다.

다. 인공구조물

제방, 둑과 같은 홍수 조절 구조물은 수변지역 내의 야생동물 서식지와 수질에 해로운 영향을 주며, 강을 범람원으로부터 단절되도록 한다. 최근 연구에 의하면 홍수가 생태적으로 중요한 역할을 하며, 생태계의 건강성을 유지시키는 주요한 기능을 한다고 밝혀졌다. 따라서 홍수 위험지에서도 수변녹지를 하천과 차단하는 시설물을 설치하지 않고 관리하는 것이 바람직하다.

2. 홍수 조절측면에서의 관리

수변지역을 변형하는 것(홍수 조절을 위해 구조적인 변형을 가하는 방법 등)은 강과 수변녹지 사이의 미묘한 평형 상태를 깨뜨리게 되어 수질과 생태계에 피해를 가져다 주기도 한다. 이와 같은 피해를 줄이는 것이 수변지역의 홍수 조절 기능을 보호하는 것이며, 이를 위한 가장 효과적인 방법은 수변지역을 자연적으로 식물이 자라있는 지역으로 보존하거나 복원시키고, 건물이나 불투수성 포장을 피하거나 또는 최소화시키는 것이다. 특히 주의해야 할 것은, 경사가 가파른 지역의 삼림이 제거되었을 때 물을 함유하고 흡수할 수 있는 능력이 줄어들어 홍수가 일어나거나 악화될 조건이 큰 지역일수록, 최대한 삼림으로 덮이게 해야 한다는 것이다.

우리나라에서도 산림댐이라는 용어도 등장했지만 ‘산지저장’이란 개념이 있는데, 이는 상류의 범람원을 천연적인 식생이 보존된 상태로 보호하는 것이다. 이 방법은 하류의 홍수를 조절하는 우수한 방법이다. 댐 건설을 목적으로 하는 미 육군의 공병대조차도 ‘산림댐’(Charles 강 상류)의 효과를 인정하고 산지저장 계획을 추천했으며 실행에 옮겼다. 1972년의 미 공병대 연구 결과를 인용하면 다음과 같다. “자연은 수변의 습지라는 형태로 극도로 많거나 적은 유량을 적당하게 유지할 수 있는 미래의 홍수에 대한 가장 저렴한 해결책을 이미 가지고 있다. 이런 자연적인 보호 기능을 향상시키려고 시도하는 것보다는 수 백년 이상 방해받지 않고 형성된 수계를 그대로 놔두는 것이 현명할 뿐만 아니라 경제적인 것이다.” 이와 같이 홍수 관리측면에서도 수변지역을 식생이 형성된 지역으로 유지시키는 것이 바람직하다.

3. 생태계 유지 측면에서의 관리

생태측면에서 볼 때 수변지역에 대한 가장 해로운 행위는 식생이 있는 지역을 불투수성지대로 만들어 동·식물 서식지로서의 기능을 파괴하는 경우와 수변지역을 따라 존재하는 야생 동물의 통로를 막아 서식지 연결기능을 단절시키는 경우이다. 수변구역을 개발함에 따라 많은 지역에서 강과 시내의 주변 지역이 잠식되었고, 이로 인해 야생 서식지가 단절되었으며, 서식지의 양과 질 측면에서 심각하게 저하되었다. 따라서 가능하다면 이전에 식생이 제거되었던 지역은 다시 식물들을 심고, 현재 개발되지 않은 채 연결되어 있는 곳은 계속해서 보호하는 것이 중요하다.

수변지역 내에서 야생 동물의 서식지 기능을 보호하는 가장 좋은 방법은 수변지역의 많은 부분을 개발되지 않은, 천연적인 식생이 존재하는 상태로 관리하는 것이다. 생물 다양성과 생산성을 위해서 경작지나 매우 잘 관리된 잔디보다는 천연의 식생이 훨씬 뛰어난 기능을 한다는 것을 많은 연구가 보여주었다. 또한 폭이 넓은 수변지역의 수변녹지는 수질 개선보다는 야생 서식지 보호를 위해 필요한 것이라는 것도 알려졌다. 예를 들어, 수변지역 내에 이동하는 철새들의 동지를 제공하기 위해서는 최소한 100m정도의 폭을 가진 삼림이 필요하다고 한다. 이전에 개발되어 현재 상태가 좋지 않은 수변지역이야말로 야생 동물의 서식지 기능의 회복할 수 있는 기회를 제공한다. 예를 들어, 수변에 있는 포장도로와 잔디밭을 제거하고 나무들과 관목들로 이루어진 수변녹지를 설치한다면, 수변지역의 다른 기능은 물론 어류와 야생 동물들에게도 이익을 가져다주게 될 것이다.

4. 어업 보호측면에서의 관리

수변지역 내에서 자연적인 식생을 줄이는 행위, 특히 수변의 삼림을 줄이는 행위, 과도한 영양분과 퇴적물들 발생시켜 인접한 수계로 흘러가게 하는 행위, 농약 등 각종 독성 물질들을 사용하거나 방출하는 행위 등과 같은 변화가 생기면 어업 보호기능이 약화된다. 따라서 수변지역의 관리정도는 어업에도 큰 영향을 미치며 영향을 미치는 구체적인 사항은 다음과 같다.

가. 영양분

정화조, 비료를 준 경작지, 목초지, 잔디밭, 골프장 등에서 나오는 유출수에 함유된 인산염과 질산염은 하천의 과도한 영양분의 원인이 되며, 수체에 악영향을 초래한다. 과도한 영양분은 조류와 수생 잡초의 번식을 유발하여 물 속의 용존산소량을 급격히 줄임으로써, 어류 및 수생 곤충들을 감소시키고, 물 속의 화학적 균형도 파괴시킨다.

나. 퇴적물

겨울철 도로에 모래를 뿌리는 작업에서 씻겨 내려오거나, 경작지 및 다른 노출된 토양으로부터 강으로 유입된 퇴적물들은 여러 모로 어류에게 해를 입힌다. 과도한 퇴적물은 물의 탁도를 증가시켜서 빛의 통과를 어렵게 하고 결국 식물의 광합성을 방해하게 된다. 식물의 뿌리는 잉어와 같이 강바닥에서 먹이를 구하는 어류의 움직임이나 빠른 물살에 맞서기 위해 강바닥에 고정되어 있고, 수면 위에 떠다니거나 수면 위로 나와 있는 식물들의 줄기와 잎들은 물살의 에너지를 흡수하는 역할을 한다. 과도한 퇴적으로 인해 수생 식물이 제거되면, 탁도 문제는 훨씬 심각해진다. 수생 식물이 줄어든다는 것은 달팽이 같은 수생 동물이 줄어든다는 것을 의미하고, 이는 곧 물고기의 먹이가 줄어든다는 것을 뜻한다. 과도한 퇴적물은 강

바닥의 조약돌 사이 공간들을 메우게 되어, 물고기들의 산란 장소를 덮어버리고, 저서 무척추 동물들의 서식지를 파괴한다. 따라서 수변지역에 초지가 유지되어 퇴적물의 발생억제와 더불어 외부에서 발생한 침식물도 제어가 되도록 관리되어야 하고, 이를 위한 수변녹지 조성시 앞에서 제시한 제3지대로 조성하면 더욱더 효율적인 결과를 얻을 수 있다.

다. 수온

수변 삼림을 제거함으로써 생기는 직접적인 악영향 중에 하나는 그들이 없어짐으로 인한 수온의 증가이다. 수온이 증가하면, 용존 산소를 함유할 수 있는 용량이 줄어든다. 산소는 분해 작용에서 사용되기 때문에, 수온이 올라가면 강의 유기물질 흡수 능력이 떨어지고, 과도한 영양분과 다른 오염물질들을 흡수할 수 없게 된다. 따라서 용존 산소 농도가 떨어지면 물고기들이 죽게 되고 생태계 개체수의 변화가 생기게 된다. 차가운 물에서 사는 송어같이 고급 어종이 사라지고 따뜻한 수온과 낮은 용존 산소량을 견디는 물고기들이 나타날 것이다.

수계로 유입되는 해로운 영향을 줄 수 있는 영양분의 대부분은 퇴적물 입자에 부착되어 있다. 낮은 온도에서는 과도하게 비료를 사용한 농작지나 골프장 등에서 흘러나온 영양분이 용해되지 않은 채, 입자에 붙어 내려오게 된다. 그러나 수온이 조금만 올라가도 물 속에 녹아 배출되는 성분의 양은 엄청나게 증가하여, 수질이 심각하게 나빠질 수 있다. 그 동안 이런 퇴적물들은 자체적으로 수온을 상승시킬 것이다.(탁한 물은 열을 더 잘 흡수하여 깨끗한 물보다 수온이 높다) 그 결과 차가운 물에서 사는 물고기들의 서식지는 악화된다.

라. 불투수성 지표

불투수층에서 나오는 유출수는 강둑의 침식과 서식지의 파괴로 이어진다. 불투수성 지표에는 대기로부터 침적되거나, 자동차로부터 새어 나오는 다른 오염원으로부터 유발된 오염물질도 쌓이게 된다. 불투수 지면에 축적된 오염물질은 강우시 빠르게 씻겨나가서 강으로 흘러가게 된다. 많은 연구들은 유역의 불투수층이 10%~15%를 초과할 때, 저서무척추동물들(물고기의 중요한 먹이이며, 하천의 생태학적 건강도를 나타내는 총체적인 지표)이 적어진다는 결과를 보여주고 있다. 같은 도시화 정도를 가진 하천의 경우에도 자연적인 수변 삼림이 존재할 때에는 그렇지 않은 하천보다 훨씬 많은 저생 무척추동물들이 살고 있다는 것을 보여주었다.

마. 기타 오염물질

도로, 주차장, 공업 지역에서 흘러나오는 중금속 등의 오염물질들은 어류의 체내에서 축적되어 어류의 건강을 위협할 뿐만 아니라, 인간을 포함한 그 어류를 먹는 다른 동물들의 건강까지도 위협하고 있다. 중금속은 또한 수생 생물들의 번식률과 수명에도 영향을 주고, 어류가 의존하고 있는 식물의 광합성도 방해할 수 있다. 인접한 농가, 축사, 골프장, 도로, 잔디밭 등

에서 흘러나오는 농약과 제초제도 강으로 유입될 수 있다. 독성이 강한 이런 물질들은 어류는 물론 다른 수생, 혹은 육지 생물에게까지 해를 미칠 수 있다. 마지막으로, 도시 우수유출수, 하수 시설의 부실, 수변지역 내의 정화조 등으로부터 강과 하천으로 유입되는 박테리아와 바이러스 같은 병원균도 병을 유발할 수 있는 미생물을 배출할 수 있다. 수변삼림이 개발로 인해 제거된다면 수온이 증가하여 병원균의 활동은 활발하게 되고 병원균의 악영향은 더욱 커질 것이다.

5. 지하수 보호측면에서의 관리

강수를 최대한 토양으로 흡수시켜 지하수원에 유입시키기 위해서는 수변지역을 천연 식생이 존재하도록 유지하거나 복구하는 것이 가장 좋은 방법이다. 수변지역으로 우수를 가장 잘 침투시키는 방법은 수변지역의 외곽에 유입지점에서 유출수를 얇은 흐름으로 가능한 많이 분산시키는 것이다. 수변지역을 자연적인 식생이 존재하도록 유지한다면, 수변지역에서 오염물질이 지하수에 도달하기 전에 여과하는 작용을 한다. 그러나 오염물질의 양이 수변녹지가 처리할 수 있는 양을 훨씬 초과하여 수변지역 자체적으로 처리할 수 없는 경우, 오염물질이 수변 지역의 토양에 도달하기 전에 여과 장치를 통과하는 등 전 처리 과정을 거치는 것이 바람직하다.

제5장 결론

우리나라의 수변녹지는 1970년대 이후 급격한 산업화와 도시화로 개발이용의 대상이 되어 왔다. 이와 같은 개발위주의 사고에서는 수질개선을 위해 현존하는 수변녹지를 유지하는 것도 쉽게 달성되는 목표가 아닐 뿐만 아니라, 수변녹지를 회복하는 것은 더욱 어려운 일일 것이다. 그러나 보다 근본적으로 수환경을 보호하고 깨끗한 물을 확보하기 위해서 건강한 생태적 기능을 제공하는 수변녹지의 가치를 제대로 인식하고 평가해야 할 시점에 와 있다.

수변녹지의 가장 중요한 기능은 하천으로 유입되는 오염원을 차단하고, 하천수온을 조절하며, 서식지 및 종의 다양성을 유지하는 것 등이다. 우리나라 수변구역 내 조성되는 수변녹지의 주된 목적도 이와 같은 기능을 수행하도록 하는데 있다. 이러한 수변녹지의 환경기능이 제대로 발휘되기 위해서는 조성시부터 이 목적이 달성되도록 고려하여야 한다. 따라서 수변녹지 조성시 구역을 구분하여 각 구역이 특별한 목적을 가질 수 있도록 기능을 부여하고, 인접한 구역과의 상호작용을 통하여 전체 수변녹지의 기능이 활성화되도록 하여야 한다. 또한 수변녹지를 관리하는데 있어서도 수변녹지가 가진 수질개선, 오염저감, 야생생물 서식지 보호 등 다양한 기능이 유지되도록 해야 한다.

한편, 정부에서는 수질개선을 위한 유역관리 정책 및 수질오염 예방정책 기능을 강화하기 위한 제도적 기반을 구축하였고, 상·하류 주민들도 정부의 이러한 정책에 호응하여 수변구역의 지정과 물이용부담금의 징수에 동의하여 수변구역 내 수변녹지의 조성과 관리기틀이 마련된 것은 다행이라 하겠다.

앞으로 정부에서는 4대강 수질개선계획에서 도입된 수질오염 예방기능을 더욱 확대시키고, 특히 수변구역 및 수변녹지의 지정을 지천에까지 확대하여야 할 것이다. 이와 같은 정책에 발맞추어 지역주민의 이해와 자발적인 참여를 이끌어 낼 수 있는 정책개발과 동시에 수변녹지 조성을 위한 기술적 지원, 재정적 지원 프로그램이 활성화되어야 한다. 특히 수변녹지의 조성 및 관리시 본 연구에서 제시한 조성 및 관리원칙을 반영하여 수변녹지가 수질개선 목적뿐만 아니라 생태계 균형에도 이바지되도록 하여야 한다.

마지막으로 본 연구는 우리나라의 수변녹지에 관한 초기연구로서 주로 수변녹지의 일반적인 기능연구와 조성 및 관리원칙에 관한 사항을 주로 다루었다. 앞으로는 유역특성(도시지역, 농업지, 산림지)을 고려한 수변녹지 조성방안과 수변구역 내 농지를 매입할 경우 농지와 녹지의 혼재시의 조성방안 등 수변녹지에 대한 보다 세부적인 조성 및 관리방안에 대한 연구와 이미 조성된 수변녹지에 대한 수질개선 효과 검증 등 수변구역에 대한 지속적인 연구와 모니터링이 필요하다.

< 참고 문 헌 >

- 건설교통부, 하천구역내 나무심기 및 관리에 관한 기준 수립, 1998
- 환경부, 팔당호등 한강수계 상수원 수질관리 특별종합대책, 1998
- 환경부, 한강수계상수원수질개선 및 주민지원등에 관한 법률총서, 1999
- 정부합동, 낙동강 수계 물관리종합대책, 1999
- 이도원, “이도원 교수의 새로 짜는 생태학” 중 녹색 띠의 생태학적 의미,
http://megalam.chollian.net/mag_9910/frame/fr_school_main.htm, 2000
- 鎌田磨人・岡部建士・小寺郁子. 1997. 吉野川河道内における樹木および土地利用型の分布の變化とそれに及ぼす流域の諸環境. 環境システム研究 25:287-294.
- 鈴木和次郎・大住克博・正木 隆・高橋和規・大丸裕武・星崎和彦. 1997. カヌマ澤溪畔林試験地における溪畔林および隣接ブナ林の群集構造. 科學研究費補助金研究成果報告書. 山本進一編大面積長期プロットによる森林動態研究. 名古屋大學. 89-114pp.
- 新山 聲. 1989. 札内川に沿ったケショウヤナギの分布と生育地の土性. 日本生態學會誌 39:173-182.
- 崎尾 均・中村太士・大島康行. 1995. 河畔林・溪畔林研究の現状と課題. 日本生態學會誌 45:291-294.
- 柳井清治・寺澤和彦. 1995. 北海道南部沿岸山地流域における森林が河川および海域に及ぼす影響(Ⅱ), 山地溪流における廣葉樹 9種落葉の分解過程. 日本林學會誌 77(6):563-572.
- 伊藤 哲・中村太士. 1994. 地表變動に伴う森林群集の攪亂様式と更新機構. 森林立地 36(2):31-40.
- Ambus, P., Control of denitrification enzyme activity in a streamside soil. FEMS Microbial Ecol., 102, 225-234, 1993
- Belt, G.H., O'Laughlin, J., Merrill, T., "Design of Forest Riparian Buffer Strips for the Protection of Water Quality: Analysis of Scientific Literature", Idaho Forest, Wildlife and Range Policy Analysis Group Report No. 8, 1992, <http://www.uidaho.edu/cfwr/pag/pagr8.html>
- Brady, N.C. 1984. The nature and properties of soils. 9th ed. Macmillan, NY
- Correll, D.L. et al., Failure of agricultural riparian buffers to protect surface waters from groundwater contamination. In: Gibert, J.(Ed.) Groundwater-Surface Water Ecotones. Cambridge Univ. PRes, London, in press, 1996
- Correll, D.L., Buffer zones and water quality protection: general principles, Buffer Zones: Their Processes and Potential in Water Protection, The Proceedings of the International Conference on Buffer Zones, p.7-20, 1996
- Dillaha, T.A. and Inamdar, S.P., Buffer Zones as Sediment Traps or Sources, Buffer Zones: Their Processes and Potential in Water Protection, The Proceedings of the International Conference on Buffer Zones, p.33-42, 1996

- Downes, M.T. et al., Long and short roads to riparian zone restoration: nitrate removal efficiency, *Buffer Zones: Their Processes and Potential in Water Protection*, The Proceedings of the International Conference on Buffer Zones, p.244-254, 1996
- Environmental Laboratory US Army Engineer, Waterways Experiment Station, Natural Resources Division (CEWES-EN-s), "Riparian Zone Ecology, Restoration, and Management", <http://oriris.cso.uiuc.edu/denix/...on/Legacy/Riparian/riparian1.html>
- Fail et al., Above and below ground biomass, production, and element accumulation in riparian forests of an agricultural watershed. In: Correll, D.L.(Ed.), *Watershed Research Perspectives*, Smithsonian Press, Wash. DC, p.193-224, 1986
- Franklin et al., Management of forested filter zones for dispersion and treatment of agricultural runoff, Univ. N. Carolina Water Resour. Res. Inst., Raleigh, NC, 1996
- Groffman et al., Denitrification on grass and forest vegetated filter strips, *J. Environ. Qual.*, 20, 671-674, 1991
- Hanson et al., Denitrification in riparian wetlands receiving high and low groundwater nitrate inputs. *J. Environ. Qual.*, 23, 917-922, 1994
- Haycock, N.E. and Burt, T.P., Role of floodplain sediments in reducing the nitrate concentration of subsurface runoff: a case study in the Cotswolds, UK, *Hydrol. Processes.*, 7, 287-295, 1993
- Haycock, N.E. and Pinay, G., Groundwater nitrate dynamics in grass and poplar vegetated riparian buffer strips during the winter, *J. Environ. Qual.*, 22, 273-278, 1993
- Jordan et al., Nutrient interception by a riparian forest receiving inputs from adjacent cropland, *J. Environ. Qual.*, 22, 467-473, 1993
- Lowrance et al., Water quality functions of riparian forest buffer systems in the Chesapeake Bay Watershed, Report No. EPA 903-R-95-004. U.S. EPA, Washington, D.C., 1995
- Lowrance et al., Waterborne nutrient budgets for the riparian zone of an agricultural watershed, *Agricult. Ecosyst. Environ.*, 10, 371-384, 1983
- Lowrance, R.L., The Potential Role of Riparian Forests as Buffers Zones, *Buffer Zones: Their Processes and Potential in Water Protection*, The Proceedings of the International Conference on Buffer Zones, p.128-133, 1996
- Shirakami-sanchi World Heritage Area Management Plan, <http://www.eic.or.jp/eanet/en/soe/shirakami/index.html>
- Tjaden, R.L. and Weber, G.M., Riparian Buffer Management, Riparian Forest Buffer Design, Establishment, and Maintenance, <http://www.agnr.umd.edu/ces/pubs/html/fs725/fs725.html>
- USDA, Forest Service Northeastern Area State & Private Forestry, Natural Resources Conservation Service, Cooperative State Research, Education and Extension Service, "Chesapeake Bay Riparian Handbook: A Guide for Establishing and Maintaining Riparian Forest Buffers", NA-TP-02-97, 1998

부록 : 우리나라 하천에 서식하는 나무의 특성

[1] 자생 교목 (우선수종)

수종	수형 (m)		뿌리 (m)		분포지	자생여부	내풍성	내습성	호습성	내공해성	내염성	내한성	음양성	양분도	토성	생장속도	이식성	맹아력	전정내성	활착성	적응성	번식방법
	수고	수관폭	깊이	폭																		
버드나무	20	10	3	7	전국	자생	중	강	강	중	중	강	양수	척박지	사양	속	중	강	약	중	강	삼목
왕버들	20	15	3	10	중남부	자생	중	강	강	강	중	강	양수	보통지	사양	속	용이	강	중	양호	강	삼목
능수버들	20	10	3	7	전국	자생	중	강	강	강	강	강	양수	보통지	식양	속	용이	중간	약	양호	강	삼목
개수버들	20	10	3	7	중남부	자생	중	강	강	강	강	중	양수	보통지	식양	속	용이	중간	약	양호	강	삼목
느티나무	25	25	2	12	전국	자생	강	약	중	중	약	강	양수	비옥지	식양	속	보통	용이	중	중간	중간	실생
느릅나무	20	15	2	8	전국	자생	강	중	중	중	강	강	중	비옥지	식양	속	용이	강	중	중간	중간	실생
팽나무	20	20	2	12	전국	자생	강	중	중	강	강	강	중	보통지	식양	중	중	강	중	양호	적절	실생
벚나무	20	15	3	8	전국	자생	중	약	약	강	약	강	양수	비옥지	식양	속	중간	약	약	중	강	접목

주) 별표에 표시된 수목의 수고와 수관폭 및 뿌리의 깊이와 뿌리폭에 대한 자료는 수목의 나이가 100년 생 정도 되었을 때 볼 수 있는 소목의 평균적인 추정치이다. 실제로 이값은 수목의 생육환경 뿐만 아니라 개체적 특성에 따라서도 그 차이가 나타날 수있음에 주의할 필요가 있다. 하천에 심을 경우는 하류의 시설물을 감안하여 수고와 수관폭을 제한 할 수 있는 관리방안을 강구한 후 나무를 심어야 한다.

[2] 자생 교목 (보조수종)

수종	수형(m)		뿌리(m)		분포지	자생여부	내풍성	내습성	호습성	내공해성	내염성	내한성	음양성	양분도	토성	생장속도	이식성	맹아력	진정내성	활착성	적응성	번식방법
	수고	수관폭	깊이	폭																		
상수나무	25	10	3	7	전국	자생	강	약	중	중	중	강	중용	보통지	식양	속	중	강	강	중	강	실생
밤나무	20	20	3	12	중남부	자생	중	약	중	중	강	중	양수	비옥지	사양	중	중	약	중	중	강	접목
자귀나무	10	8	2	6	중남부	자생	중	약	약	약	강	중	양수	척박지	식양	속	곤란	약	강	중간	중간	실생
참오동	15	10	2	9	중남부	자생	중	약	약	중	중	중	중용	비옥지	사양	속	중	중	중	강	강	삼목
신나무	8	8	2	5	전국	자생	중	중	중	강	약	강	중용	비옥지	식양	속	용이	강	강	강	강	실생
귀룽나무	15	12	2	10	전국	자생	중	중	중	강	강	강	음수	비옥지	사양	속	용이	강	강	강	강	실생
모감나무	10	8	2	8	중남부	자생	중	중	중	강	강	강	양수	척박지	양식양	급속	중	중	강	중	중	실생
피나무	25	20	2	10	전국	자생	강	중	중	중	강	강	중용	비옥지	양	중	중	중	중	약	중	실생
소나무	30	20	4	15	전국	자생	강	약	약	중	중	강	양수	척박지	사양점		곤란	약	중	곤란	중간	접목
곰솔	30	20	4	15	해변	자생	강	중	중	중	강	중	양수	척박지	시양점	속	중	강	중	양호	적절	실생

[3] 자생관목(우선수종)

수종	수형(m)		뿌리(m)		분포지	자생여부	내풍성	내습성	호습성	내공해성	내염성	내한성	음양성	양분도	토성	생장속도	이식성	맹아력	전정내성	활착성	적응성	번식방법
	수고	수관폭	깊이	폭																		
갯버들	3	3	1	3	전국	자생	강	강	강	중	강	강	음수	척박지	사양	보통	용이	강	중	강	강	삼목
눈갯버들	1	2	1	3	전국	자생	강	강	강	중	강	강	양수	척박지	사양	보통	용이	강	중	강	강	삼목

[4] 자생관목(보조수종)

수종	수형(m)		뿌리(m)		분포지	자생여부	내풍성	내습성	호습성	내공해성	내염성	내한성	음양성	양분도	토성	생장속도	이식성	맹아력	전정내성	활착성	적응성	번식방법
	수고	수관폭	깊이	폭																		
조팝나무	2	2	1	2	전국	자생	강	중	중	약	강	강	양수	척박지	양토	급속	용이	강	중	강	강	분주
싸리	3	2	1	2	전국	자생	강	약	약	강	강	강	양수	척박지	식양	급속	중	강	강	강	강	분주
췌	덩굴	덩굴	4	덩굴	전국	자생	강	약	약	강	강	강	중용	보통지	사양	급속	용이	강	강	강	강	삼목
불나무	7	5	1	3	전국	자생	약	중	중	중	중	강	중용	척박지	양토	속	중	중	중	중	강	실생
개나리	3	3	1	2	전국	자생	강	중	중	강	강	강	양수	보통지	사양	속	용이	강	강	강	중간	분주
췌레	덩굴	덩굴	2	2	전국	자생	중	중	중	강	강	강	양수	척박지	양토	급속	용이	강	강	강	강	삼목
송악	덩굴	덩굴	0.5	덩굴	중남부	자생	약	중	강	중	강	중	음수	보통지	사양식	중	용이	중	중	강	강	삼목

[5] 도입 교목(우선수종)

수종	수형 (m)		뿌리 (m)		분포지	자생여부	내풍성	내습성	호습성	내공해성	내염성	내한성	음양성	양분도	토성	생장속도	이식성	맹아력	전정내성	활착성	적응성	번식방법
	수고	수관폭	깊이	폭																		
은행나무	30	25	4	20	전국	도입	강	약	중	강	중	강	양수	비옥지	사양	속	용이	중	중	중간	중간	삼목
편백	25	10	2	7	남부	도입	약	중	중	중	약	약	양수	비옥지	양토	속	중	강	중	중	중	삼목
왕대	15	5	1	지하경	남부	도입	강	약	중	중	약	약	중용	비옥지	양토	급속	용이	강	약	강	중	분주
용버들	15	8	2	6	전국	도입	중	중	강	중	약	중	양수	보통지	사양	속	용이	강	약	중	강	삼목
이태리포플러	30	20	2	10	전국	도입	약	중	강	중	중	강	양수	보통지	양토	급속	용이	약	중	강	강	삼목
은사시나무	20	10	2	8	전국	도입	약	중	강	강	중	강	양수	보통지	양토	급속	보통	강	중	강	강	삼목
양버들	25	8	2	5	전국	도입	약	중	강	강	중	강	양수	척박지	양토	중	용이	중	중	중	중	삼목
플라타너스	20	20	3	15	전국	도입	중	약	중	강	강	강	양수	보통지	양토	급속	용이	강	강	양호	적절	삼목
아카시나무	30	15	3	15	전국	도입	강	약	약	강	강	강	양수	척박지	사양	급속	보통	강	강	강	강	삼목
가죽나무	30	15	2	12	전국	도입	중	약	약	강	강	강	양수	척박지	사양	급속	보통	강	중	강	중	분주

[6] 도입 교목(보조수종)

수종	수형 (m)		뿌리 (m)		분포지	자생여부	내풍성	내습성	호습성	내공해성	내염성	내한성	음양성	양분도	토성	생장속도	이식성	맹아력	전정내성	활착성	적응성	번식방법
	수고	수관폭	깊이	폭																		
개잎갈나무	25	25	2	7	남부	도입	약	약	중	강	중	중	양수중	보통지	사양	속	용이	강	약	중	약	삼목
낙우송	30	15	3	12	중남부	도입	강	강	강	중	중	중	중용	척박지	식양	속	중	약	강	약	중	삼목
메타세콰이어	30	15	3	12	전국	도입	강	강	강	중	중	강	양수	비옥지	사양)	속	보통	약	강	중	중	삼목

[7] 도입관목 (보조수종)

수종	수형 (m)		뿌리 (m)		분포지	자생여부	내풍성	내습성	호습성	내공해성	내염성	내한성	음양성	양분도	토성	생장속도	이식성	맹아력	진정내성	활착성	적응성	번식방법	
	수고	수관폭	깊이	폭																			
뽕나무	7	5	2	3	전국	도입	강	중	중	강	중	강	중용	보통지	양토	급속	용이	강	강	강	강	강	삼목
죽제비싸리	3	3	2	2	전국	도입	강	중	중	강	강	강	중용	척박지	사양	급속	용이	강	강	강	강	강	삼목
무궁화	4	3	2	2	전국	도입	약	중	약	강	강	강	양수	비옥지	양토	속	용이	강	강	강	강	강	삼목
복사나무	4	3	2	2	전국	도입	약	중	중	중	강	강	양수	보통지	사양	속	용이	강	중	강	약	접목	
앵도	3	2	2	2	전국	도입	강	중	중	중	강	강	중용	보통지	사양	지	용이	중	중	강	강	분주	