



지속가능한 습지의 보전

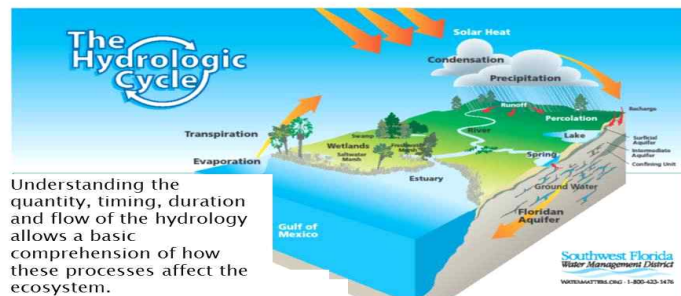
2차시

습지를 판별하는 구성요소는 습지수문(hydrology), 습지토양(hydric soils) 그리고 생물상(biota) 세 가지 구성 요소이다. 이 세가지 구성요소는 서로 영향을 주고받으면 밀접하게 연결되어 있다. 이번 장에서는 습지를 판별하는 주요 구성요소에 대해 알아보고 사례를 고찰해 본다.

1. 습지 수문(Wetlands hydrology)¹⁾

1.1. 수문학(hydrology)이란?

- 수문학은 간단히 말해서 '물의 과학'이라 할 수 있다. Federal Council of Science and Technology for Scientific Hydrology(1962)의 정의에 따르면 “수문학은 지구상의 물의 분포와 순환 그리고 물리 화학적인 특성, 환경과 살아 있는 생명체와의 관계를 포함하는 과학”으로 지구상 물의 일대기를 다루는 학문이다. 물은 생태계의 중요한 구성요소이며 지구상의 담수의 0.3%만이 순환하고 있다. 다양한 형태로의 연속적인 물의 순환은 수문 순환(hydrological cycle)²⁾의 근간을 이루고 있다.



Any activity that alters one hydrologic facet of a system (e.g. paving a road with curb and gutter drainage in location "a") will have corresponding affects on the hydrology of other components of the system (e.g. increased quantities of water laden with oils and greases entering the downstream estuary).

1) 김재근, 홍문기, 김흥태, 남종민(2014) 우리나라 습지현황 및 습지연구방법. 수생태복원사업단

2) 이미지 출처 : <http://www.sarasota.wateratlas.usf.edu/wiki/images/9/9a/Hydrology1.JPG>

1.2. 습지의 수문특성과 수원

□ 습지의 수문특성

- 습지 수문은 습지의 유형을 결정하고 습지를 유지하는 데에 있어서 가장 중요한 요소이다. 습지 수문(wetland hydrology) 일종의 구동력(diving force) 지표로 작용하며, 습지의 수문학적 특성이 식생의 구성이나 식생 군집의 구조에 영향을 끼친다. 습지 수문은 물이 표층까지 범람하거나 침수된 토양에서 나타나는 수문학적 특성을 의미하며, 강우량, 수량, 수원 등을 다루는데, 이는 한 지역을 대상으로 하는 공간적인 개념이 강하다. 습지 수문은 침수지역이나 때때로 침수되는 지역 또는 식물이 자라는 계절에 표면이 포화상태로 흠뻑 젖어있는 지역과 동일한 수리학적 특징을 지닌다.
- 습지의 물은 강수, 지표수, 지하수 등을 수원으로 하며, 이들이 개별적으로 때로는 혼합 형태로 습지내로 유입되어 습지 수문의 특성을 나타내게 된다. 이렇게 유입된 물은 증발산, 표면 유수, 지하 유출, 지하수 침투, 주기적 변동 등의 이유로 소멸되며 이러한 입출수 과정을 이해하는 것이 습지 수문학의 기본이다³⁾.

◆ 습지판별을 위한 수문지표 예⁴⁾

- 침수흔적
- 수피나 다른 고정물체에서의 물에 침수된 흔적(Watermark)
- 물에 의해 운반된 지상 식생의 잔해 침전물
- 물에 의해 운반된 수목이나 수직 요소의 잔해 침전물
- 습지 내 수원 및 배수 패턴
- 잎에 생긴 검은색이나 회색 물때
- 기타 침수 및 포화된 조건이나 습윤한 토양에 대한 형태학상으로 적응된 흔적
- 식물 성장기 동안 일주일 이상의 중요한 시기에 대한 토양 침수 및 기록 등

3) 김귀곤. 2003. 습지와 환경: 자연과 인간이 만드는 습지. 아카데미서적, 서울.

4) 구분학(1987) 습지생태학. 도서출판 조정

□ 습지의 수문 특성(구분학,1987)

구분	지 표	기 준
빈도	빈번히 발생 Frequent	100년에 50회 이상 침수
	자주 발생 Occasional	100년에 5-50회 침수
	드물게 발생 Rare	100년에 1-5회 침수
	없음 None	
침수 기간	매우 오랜 기간 침수 Very long	1개월 이상 침수
	오랜 기간 침수 Long	1주에서 1개월 침수
	보통 Brief	2-7일
	짧음 Very brief	4-48시간
	매우 짧음 Extremely brief	4시간 이내
토양 침수	심층 침수	표층 2m 침수
	표층 침수	지하수위가 높게 유지, 표층으로부터 침수
	인위적 조절	인간에 의해 조절되어 농업용으로 이용

※ 출처: 구분학(1987) 습지생태학. 도서출판 조경

□ 습지의 수원

■ 습지의 수원에 따라서 습지의 특성이 달라질 수 있으며, 다양한 수원에 의해 습지가 이뤄진다. 수문조건은 습지의 유형을 결정하며 습지 발달과정에서 가장 중요한 결정요소이다. 습지의 물은 강수, 지표수, 지하수 등을 수원으로 하며(그림 1-1), 이들이 개별적으로 혹은 혼합되어 습지로 유입되어 습지의 수문특성을 나타내게 된다. 이렇게 유입된 물은 증발산, 표면 유수, 지하유출, 지하수 침투, 주기적 변동의 이유로 조절된다.

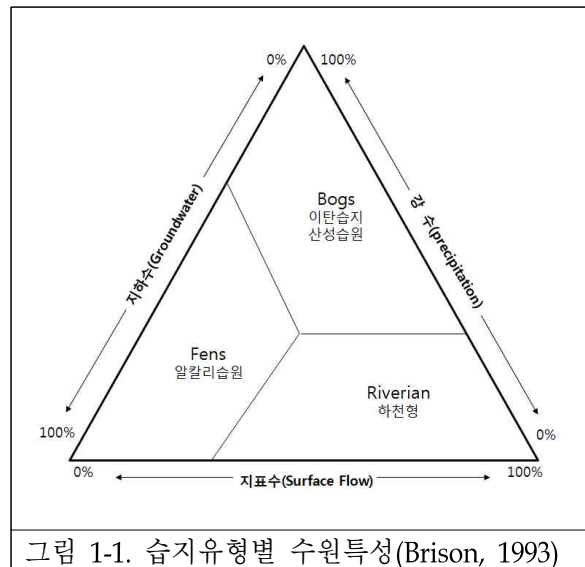


그림 1-1. 습지유형별 수원특성(Brison, 1993)

- 강수(precipitation) : 비, 눈, 우박, 기타 물의

변형형태로 하늘에서 떨어지는 모든 것으로 강우량과 증발산(Evapotranspiration)에 의해 조절된다. 증발산량은 식생종, 식생밀도 등에 의해 차이가 있다.

- 지하수(groundwater) : 지표면 밑을 흐르는 물을 이르는 말로 대부분의 지하수는 흙 속으로 스며든 비와 눈 녹은 물이 모여서 형성이 된다. 강수 침투나 지표수의 침투에 의해 조절된다.
- 지표수(Surface Flow) : 지표면에 남아 있거나 그 곳을 흐르는 물로 하천, 홍수범람, 활력도 등에 의해 조절된다.

■ 습지의 생태적 가치가 유지되고 기능이 유지되기 위해서는 생물의 성장기 동안 영구적으로 혹은 주기적으로 지표면이 침수되거나 포화상태가 되어야 한다. 이 상태는 호기성 환경이되며 식물과 토양에 영향을 준다.

1.3. 습지의 수문학적 기능과 영향

□ 습지의 수문학적 기능

■ 수문학적 관점에서 습지의 기능은 수문순환 과정의 급격한 변화로 인한 홍수나 오랫동안 지속되는 가뭄 같은 자연재해로부터 인간의 생활환경을 보존해 주는 중요한 역할을 한다. 유역이나 하천 주변에 존재하는 습지는 단시간에 많은 양의 비가 지상에 내려 유역이나 하천을 통해 흐를 때 물을 저류시킴으로써 홍수 조절 효과를 가져온다. 습지에 저류된 물은 지하수의 원천이 되기도 하고, 하천의 수질을 정화하는 역할을 하며, 또한 하천 토사의 침식을 조절하기도 한다. 가뭄 시에는 지하수와 습지에 저류된 물을 공급함으로써 저수지의 기능을 갖기도 한다. 수문 기상학적 측면에서는 물의 증발산에 영향을 미침으로써 물의 대규모 기상학적 손실을 막기도 한다.

□ 습지에서 수문의 영향

- 습지 수문은 습지 토양의 물리화학적 특성을 결정한다. 이러한 물리화학적 특성은 습지 생태계의 생물상에 영향을 준다. 습지의 생물상으로 인해 축적된 유기물은 습지의 수문에 다시 영향을 준다. 습지의 생물상은 사체를 쌓아두거나, 침전물을 가두거나, 증발산 작용 그리고 비버나 가재, 악어 등의 동물 등의 활동을 통해 습지수문에 영향을 줄 수 있다. 습지 수문은 영양물질의 순환과 습지내의 유기물질의 축적 및 유출에 영향을 주어 식물의 일차 생산량에도 영향을 줄 수 있다. 이는 습지내의 종 구성과 풍부도에 영향을 끼친다.

□ 습지의 물 순환

- 지구상에 존재하는 물은 한 가지 형태로 정체되어 있는 것이 아니라 여러 가지 형태로 끊임없이 변화한다. 수문학적 순환을 일으키는 근본적인 에너지는 태양복사에너지이다. 지구상의 물의 대부분이 바다에 의한 것이며 가장 큰 저수지인 바다에 직접적으로 태양열이 가해짐으로 시작된다. 습지의 물 순환은 지구 수문학적 순환의 일부이다. 즉 공기 중에 존재하는 수분은 기체 상태로 존재하다가 상승하게 되면 구름이 형성되고 강수가 형성되어 직접 습지로 가거나 또는 지표면을 통하여 습지로 가게 된다. 강우는 식생에 의해 차단되며 도중에 하단된 물은 증발과정을 통하여 대기 중으로 환원된다.

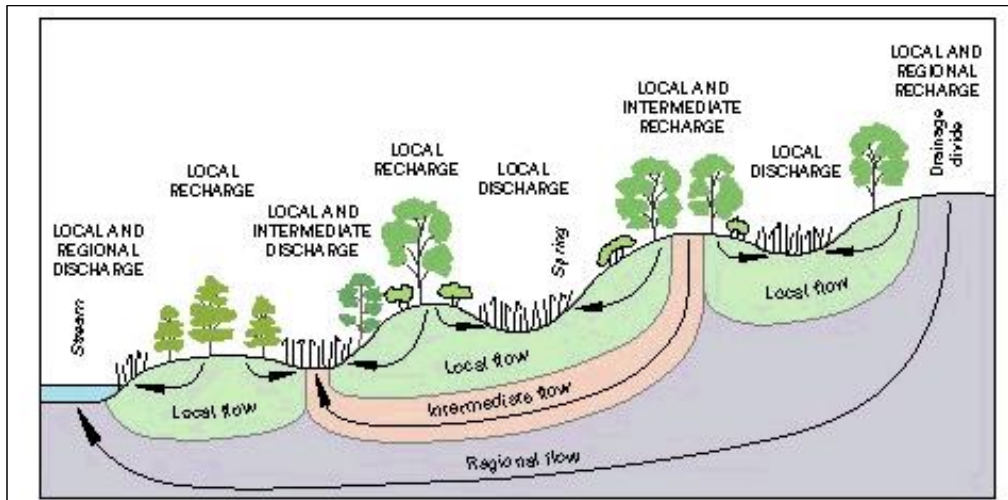


그림 1-2. 지하수 흐름 모식도(출처: USGS, <https://water.usgs.gov>)

- 지표면에 도달한 강우는 지표유출이 되거나 또는 땅속으로 침투된다. 흙 속의 물은 불포화 층을 통해 침투되어 지하수위에 도달하거나 또는 식생에 의해 흡수되어 다시 대기 중으로 증산된다. 지표 유출과 지하수 유출은 습지에 일시적으로 저장되는 것이다. 또한 지표수나 지하수의 일부는 증발이나 식물의 증산을 통해 다시 대기로 환원하게 된다. 이와 같이 습지의 수문특성을 이해하기 위해서는 습지의 유량에 영향을 미치는 강수, 증발산, 침투, 유출, 조류 등 수문순환의 제반요소 및 이들 자료의 분석방법 등을 이해할 필요가 있다.

2. 습지 토양(Wetlands hydric soils)

2.1. 토양학이란?⁵⁾

■ 토양이란 지각의 가장 윗부분을 덮고 있는 부드러운 물질로서 암석의 풍화산물인 작은 무기성 입자와 동·식물에서 유래된 유기물 및 이들 고체입자들 사이에 채워진 공기 또는 수분으로 이루어져 있다. 또한 토양은 식물을 기계적으로 지지하고 수분과 양분을 저장·공급하여 주는 자연체이다. 이러한 토양을 연구하는 학문분야를 토양학(土壤學)이라 한다. 토양학은 토양을 지표면에 존재하는 자연체로 보고 토양의 생성과정, 분류와 분포, 물리적·화학적·생물학적 성질과 토양에서 일어나는 각종 현상의 원리를 연구하는 학문분야이다.

□ 토양의 기능

- 작물이 뿌리를 내리고 성장할 수 있는 기계적 지지작용
- 물과 무기양분을 저장, 공급해주는 기능
- 뿌리가 호흡을 건강하게 할 수 있도록 해주는 공기의 교환기능

□ 토양의 구성

토양은 고상·액상·기상의 3상으로 구성되며, 3상의 비율은 토양의 종류와 환경조건에 따라 상대적으로 달라진다. 토양을 이루는 기본적인 3가지 물질을 3상이라고 한다.

- 고상(토양) : 암석의 풍화산물인 무기물과 동식물로부터 공급되어진 유기물과 자갈·모래·미사 및 점토와 같은 무기물로

5) Alan Wild(1993) Soils and the Environment, Cambridge University Press

구성되어 있다.

- 액상(수분) : 토양수분으로 각종 유기 및 무기물질과 이온을 함유하며 O₂ 나 CO₂도 녹아 있는 상태이다.
- 기상(공기) : 토양공기로서 대기에 비해 O₂ 농도는 낮고 CO₂ 농도는 높다.

(ex.) 식물생육에 유리한 3상의 비율은 그림 2-1과 같다.

고상(무기물 45% + 유기물 5%) + 액상(25%) + 기상(25%) → 미사질 양토

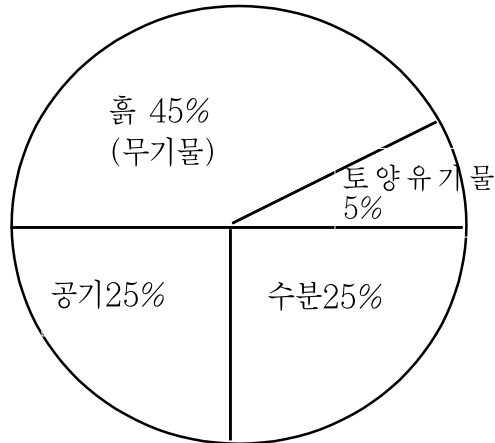


그림 2-1. 토양의 삼상

2.2. 토양의 분류⁶⁾

- 토양을 분류하는 방법은 여러 가지가 있으나 그중 가장 많이 상요되고 있는 방법은 토양의 주요 구성 성분에 따른 분류 및 구성 입자 크기에 따른 분류이다.

□ 유기토양과 무기토양

- 토양은 주요 구성성분에 따라 유기토양(organic soil) 및 무기토양(mineral soil)으로 분류 할 수 있다. 이들 두 토양은 기본이 되는 물질에 차이가 있다. 유기토양의 경우 대부분이 뿌리나, 낙엽과 같은 죽은 식물의 분해에 의해 생성되어 짙은 검은색을 띠는 반면 무기토양은 토암이 물이나 바람에 의해 풍화되는 과정을 통해 생성되며

6) (사)한국습지학회(2016) 습지학. 라이프사이언스

주로 모래(sand), 실트(silt), 점토(clay)로 구성되어 있다. 유기토양과 무기토양의 구분은 유기탄소 함유량으로 결정되므로 구분이 쉽지 않다. 미국 농무부에 따르면 2010년 보고서에서 유기토양과 무기토양의 구분은 토양의 점토의 비와 유기탄소의 비에 의해 결정할 수 있다.

- 무기토양을 구성하는 모래, 실트, 점토는 입자 크기에 따라 12개의 범주(그림 2-2)로 나눌 수 있다.

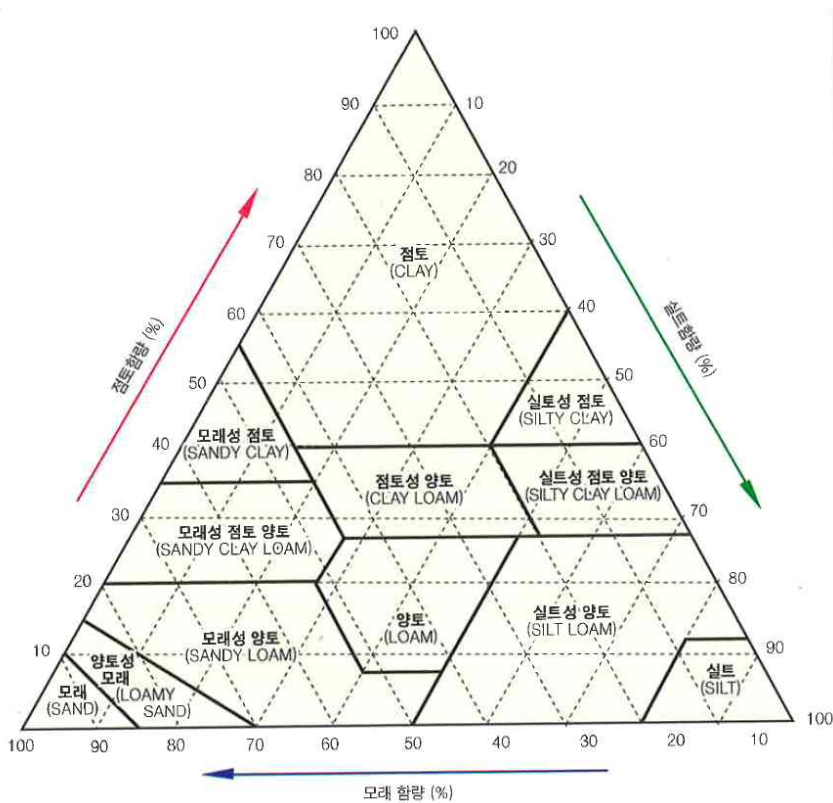


그림 2-2. 토양삼각도

□ 깊이에 따른 토양분류

- 토양층은 깊이 및 구성서분에 따라 크게 O층, A층, E층, B층, C층의 다섯 층으로 나눌 수 있다. 또한, 제일 깊이 위치한 모암의 경우 R층으로 분류 된다. O층은 유기물로 구성되어 있는 층으로 무기토양 위에 존재하며, 주고 죽은 식물이나 동물의

사체가 분해되어 생성된다. 이러한 O층은 특히 산림 토양에 잘 발달되어 있으며, 유기물의 분해 정도에 따라 다시 Oi층, Oe층, Oa층의 세층으로 나눌수 있다. A층은 무기물 층의 가장 윗부분에 존재하는 층으로 완전히 분해된 유기물질들로 구성되어 있어 아래층에 비해 검은 색에 가까운 짙은 색을 띤다. A층은 다른 층에 비해 상대적으로 성기다. E층은 A층과 B층 사이에서 토양입자나 철, 산화알루미늄과 같은 유기물의 침출(leaching)과 용탈(eluviation)이 최대로 나타나는 지역이다. 이 지역은 물질들의 용탈로 인해 상대적으로 다른 층에 비해 옅은색을 가지고 있는 것이 특징이다. E층 아래에는 B층이 발달되어 있다. B층의 경우 대부분의 구성성분은 원래 모양을 추정할 수 없을 정도로 분해되어 있다. B층의 위층에서는 침출이나 용탈의 과정이 대부분이었던 반면, B층에서는 집적(illuviation) 작용이 대부분을 차지한다. 위층에서 용탈된 철이나 산화알루미늄과 같은 물질들이 이층에서 축적되는 것이다. 마지막으로 제일 아래 존재하는 C층은 A, B층과 같은 토양체 아래에 존재하기는 하지만 모암과 달리 풍화된 층이다. 이층의 경우 화학적, 생물학적 활동이 적은 층이기 때문에 상대적으로 모암에서의 변화가 적은 층이다.

표토	
▶유기물층	<u>O horizon</u> - humus on the ground surface.
▶용탈층	<u>A horizon</u> - Top soil. - Rich in organic matter. Typically dark color. - Also called zone of leaching .
▶집적층	<u>B horizon</u> - Subsoil. - Also called zone of accumulation. - May contain soluble minerals such as calcite in arid climates (caliche).
▶모재층	<u>C horizon</u> - Weathered bedrock (rotten rock). - Bedrock lies below the soil profile.

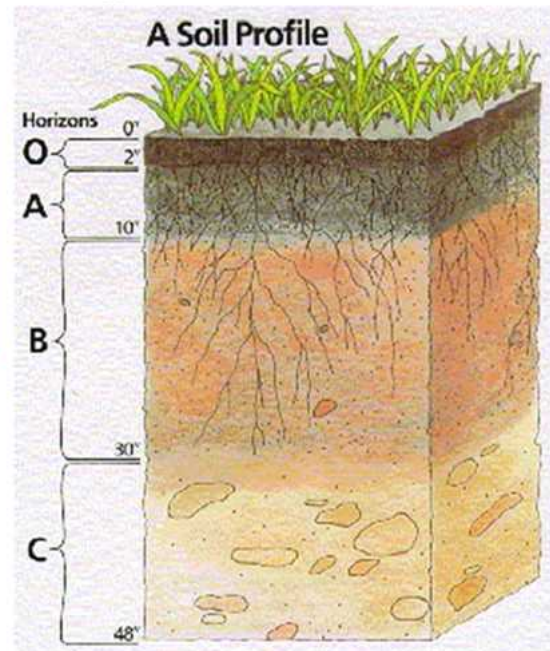


그림 2-3. 토양 단면도(soil profile)

2.3. 습지 토양의 특징

□ 습지 토양의 특징

- 습지 토양(wetlands soils)은 수화토(hydric soil)로도 불리는데, 일반적인 육지토양과는 달리 배수가 불량한 곳이나 범람이 자주 일어나는 환경에서 형성된 토양으로 오랫동안 침수되어 혐기성 환경을 유지한다. 습지 토양은 FAO 또는 미국의 분류법 상 히스토졸(histosols)에 가까운 유기물 토양이다. 그러나, 물을 포함하고 있는 토양이라고 해서 습지 토양은 아니며, 습지에 식생이 자라고, 습지의 특성을 지닌 물이 있는 곳만이 습지의 토양이라 할 수 있다.
- 이러한 토양의 조건으로 화학적, 물리적 변화가 일어난다는 점을 들 수 있다. 대표적이고 가장 먼저 발생하는 변화로 산소의 급속한 감소를 들 수 있다. 토양 공극에 채워져 있는 공기가 식생이나 토양미생물에 의해 소모되면 침수조건이기 때문에 수분으로 대신 그 공간이 채워지며 그 결과 점차 산소가 부족한 혐기성 환경이 된다. 이러한 환경에서 생물의 사체 등에 대한 분해 작용이 거의 이루어지지 않고, 오랜 세월 동안 축적되며 그 결과, 이탄층과 거름기 있는 유기질 토양이 형성되어 유기물의 농도가 높아진다. 또한, 식생이나 미생물에게 중요한 질소, 철분, 망간, 황 등의 무기염류가 불용성으로 전환되며, 토양으로부터 이동되거나 유리되어 심한 경우 생명을 위협하는 수준에까지 이르게 된다.
- 일반적으로 습지토양은 약산성이나 중성을 떠나 산성이탄습지와 같은 경우에는 강산성을 띤다. 토양의 화학적 변화는 물리적 변화를 초래하며, 그 대표적인 예가 토양 색채의 변화이다. 습지 토양은 밝은 적색이나 갈색, 노랑색 등으로 나타나는 내륙 토양과는 달리 무기염류로 인해 짙은 회색이나 검은색으로 나타난다. 때로는 망간이온, 철이온 등이 집적되고 산화되어, 밝은 색 위에 짙은 색의 반점이 나타나기도 한다. 일반적으로는 포화 상태에서 산화/환원층이 뚜렷하게 구별되며, 지하수위가 낮아지면 산화층이 발달하여 이탄층의 분해가 촉진된다. 이러한 습지 토양이 조성되기까지는 시간이 걸리며, 규칙적이고 지속적인 침수와 범람이 필요하다(김귀곤 2003).

7) 김재근, 홍문기, 김흥태, 남종민(2014) 우리나라 습지현황 및 습지연구방법. 수생태복원사업단

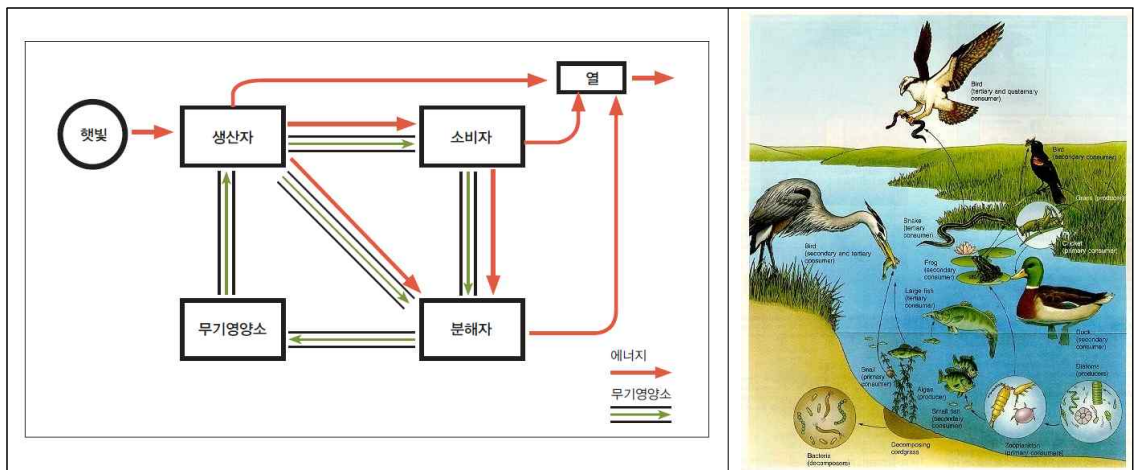
□ 습지토양으로의 화학물질의 유입

- 습지 토양은 이용 가능한 화학물질을 저장하는 장소로서의 기능도 갖고 있다. 산성이탄습지(bog)와 이탄습원(fen)의 경우 강우(precipitation)를 통해 각종 화합물이 습지내로 유입이 된다. Na^+ , Mg^{2+} 는 바닷물을 통해서, Ca^{2+} 은 주로 담수를 통해서, 그리고 SO_4^{2-} , NO_3^- 는 화석연료의 연소를 통해 습지내로 유입이 된다. 강과 시내 등의 지표수와 지하수를 통해서도 습지내로 화학물질이 유입된다. 습지 내에서 이러한 화학물질의 농도에 영향을 주는 요인으로는 기후와 집수원의 넓이, 경사, 토성 지형 등의 지리적인 요소가 있다.
- 지하수를 통한 화학물질의 유입은 바위성분과 물의 성분, pH의 영향을 받는다. 또한 비온 직후에는 시간의 경과에 따라 화학물질의 농도가 달라지며, 우기와 건기에도 농도 차이가 존재한다. 오폐수와 도시화 그리고 주변 농장의 영향 등 인간에 의해 영향을 받기도 한다. 강하구는 민물과 바닷물이 만나는 곳으로 민물로부터 유기물과 질소와 인을 공급받고 바닷물로부터는 무기염류를 공급받아 양분이 많고 염분도도 적당하기 때문에 다양성이 높은 곳이다.

3. 습지 생물상(Wetlands biota)

3.1. 습지생태계의 기능⁸⁾

- 물은 물 자체(수분공급)로서의 역할과 비열이 높고, 열 때 겉에서부터 어는 것 등이 중요한 특징이다. 이에 못지않게 물의 중요한 특징은 물속에는 식물이나 동물이 살아가는데 필수적이고, 식물 광합성의 제한요인인 영양염류(nutrient)를 포함한다는 것이다. 습지에는 물이 많고, 쉽게 접할 수 있기 때문에 습지 생태계는 영양염류를 육상생태계보다 쉽게 얻을 수 있다. 그래서 보통, 습지 생태계의 생산성이 육상생태계보다 높다. 습지에서 생산자의 높은 물질생산은 소비자와 분해자들의 먹이와 서식처를 제공하는 역할을 해 수많은 생물들을 먹여 살리는 원동력이 되어 다양한 생물들을 끌어들이는 결과 습지는 생물다양성의 보고가 되고, 어떤 다른 생태계보다도 더 역동적이다(그림 3-1).
- 습지의 높은 생산성은 우리 주변에서 일어나는 농사를 통해서도 알 수 있다. 논(예; 벼)농사
- 는 밭(예; 보리, 밀)농사보다 쉽고, 수확량이 많으며, 이것은 작물을 재배하는 동안 논에 항상 물이 있기 때문이다.



8) 환경부(2013) 습지 이해

그림 3-1. 생물구성요소(생산자, 소비자, 분해자)와 생태계의 기능(에너지 흐름과 무기영양
소 순환) & 습지 생태계 먹이사슬

3.2. 습지 식물의

□ 습지식물 정의

1) 습지식물(wetland plants)

- Cronk and Fennessy(2001)의 견해를 받아들여, 일반적으로 습지에서 서식하고 수생식물을 포함하는 개념으로, 다음의 세 가지 조건 중에 한 가지 이상을 만족하는 관속식물로 정의한다.
 - 식물체 전체가 수중 또는 수면에서 자란다.
 - 침수된 토양에 뿌리를 내린다.
 - 주기적으로 근계에 혐기성 환경을 만들어주기에 충분할 만큼 과습한 토양에 뿌리를 내린다.

2) 수생식물(aquatic plants, hydrophytes)

- Ogden(1974)과 최홍근(1985)의 견해를 받아들여, 다음의 두 가지 조건을 모두 만족하는 초본성 관속식물로 정의한다.
 - 정상적으로는 물에서 생육하며, 물 밖으로 나오게 되는 경우에도 그들의 생활사 중 어느 한 시기를 수중에서 생활한다.
 - 뿌리를 제외한 기관에 통기조직을 갖는다.

9) 김재근, 홍문기, 김흥태, 남종민(2014) 우리나라의 습지식물. 수생태복원사업단

□ 습지식물 분류

1) 생활형에 따른 분류

- 수생식물은 일반적으로 생활 형태에 따라 분류할 수 있다. 이 분류는 계통적 관계와는 무관하며, 토양 및 물과의 물리적 관계에 따른 것이다. 식물 형태와 성장 및 생식 형태, 혐기성 환경에서의 적응에 따라 많은 분류체계가 세워졌다(Cook 1996). 그 중 가장 간단하면서도 일반적인 Sculthorpe(1967)의 분류 체계는 다음과 같다.

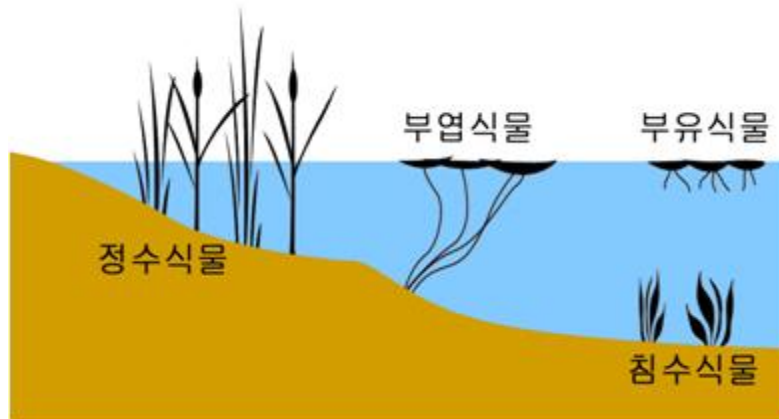


그림 3-2. 생활형에 따른 Sculthorpe(1967)의 수생식물 분류

○ 정수식물(emergent hydrophyte) : 식물체의 기반이 되는 부분은 수면 아래에 두어 토양에 뿌리를 내리지만, 광합성을 하는 잎과 줄기, 생식기관은 대기 중에서 자라는 식물을 말하며, 추수식물이라고 하기도 한다. 정수식물에 속한 대부분의 식물들은 초본성이지만 일부 목본식물도 포함하며, 다른 생활형의 수생식물에 비하여 육상식물에 가장 근접하다.

예) 갈대, 택사, 애기부들, 흑삼릉 등

○ 침수식물(submerged hydrophyte) : 토양에 뿌리를 내리고, 생식기관을

제외하면 생활사 전체를 수면 아래에서 보내게 되는 식물을 말한다. 침수식물의 모든 영양기관은 물속에 위치하며, 줄기와 잎은 리그닌이 적은 부드러운 상태로, 리본 형태이거나 심하게 갈라져 물의 이동에 피해를 입지 않는다. 일반적으로 침수식물의 끝 부분은 수면 아래에 위치하며, 수위보다 키가 큰 경우에는 수면 바로 아랫부분에 늡는다.

예) 말즘, 검정말, 나사말, 붕어마름

○ 부엽식물(floating leaved hydrophyte) : 토양에 뿌리를 고정시키고 잎을 수면에 띄우는 식물을 말하며, 잎자루 혹은 줄기를 통해서 바닥의 뿌리와 잎이 연결되어 있다. 대부분의 부엽식물은 원형, 타원형, 심장형의 톱니가 없는 잎을 가지며, 강하고 질긴 조직을 통해 초식동물과 물에 젖음으로부터 방어한다.

예) 수련, 가시연꽃, 마름, 자라풀

○ 부유식물(free-floating hydrophyte) : 토양에 고정된 뿌리 없이 식물 전체가 수면 혹은 수중에서 물의 흐름에 따라 떠다니는 식물을 말한다. 잘 알려진 부유식물인 개구리밥과(Lemnaceae) 식물은 가장 작은 속씨식물로, 물의 표면장력에 의해서 뜨게 된다.

예) 개구리밥, 부레옥잠, 생이가래

2) 출현빈도에 따른 분류

- 미국야생동물보호청(The U.S. Fish and Wildlife Service)에서는 습지에서의 출현 빈도에 따라 식물을“OBL, FACW, FAC, FACU, UPL”의 다섯 가지로 분류(Tiner, 1988) 하였다(표 3-1). 김귀곤(2003)에 의하면 그 중에서 OBL, FACW, FAC이 습지식물에 해당한다. 국외에서는 이 기준에 따른 식물 목록이 여러 차례 정리되었고, 국내에서도 우리나라 습지생태계의 관속식물을 조사하여 이를 기준으로 분류한 바

있다.

표 3-1. 습지에서의 출현 빈도에 따른 식물의 분류(구본학, 2009)

분류	습지에서의 발견 빈도	비고
Obligate wetland (OBL) 절대습지식생	- 특정 습지환경에서만 생존하는 식생 - 자연상태의 습지조건에서 항상(99% 이상) 발생	수생식물
Facultative wetland (FACW) 상대적 습지식생	- 습지환경과 내륙환경 모두에서 생장이 가능한 식생 - 주로 습지환경에서 발생하며(67-99%), 습지가 아닌 지역에서도 때때로 발견	습생식물
Facultative (FAC) 중성식생	- 습지조건이나 건조상태에서도 비슷하게 발견됨 - 습지에서 발견 빈도 34-66%	습생식물
Facultative upland (FACU) 습성내륙식생	- 주로 습지가 아닌 지역에서 발생하며, 때로(1-33%) 습지에서도 발견	육상식물
Upland (UPL) 내륙식생	- 침수조건에 내성이 거의 없으므로 내륙환경에서만 발생하는 식생 - 습지에서 발견 빈도 1% 미만	육상식물

□ 습지식물 적응¹⁰⁾

- 습지식물은 과습한 토양에서 살아남기 위한 능력에서 육상식물과 가장 큰 차이점을 보인다. 침수에 대응하는 기본적인 방법은 공기가 원활하게 공급될 수 있도록 구조를 변화하거나 대사작용을 이용한 생리적 적응을 하는 전략을 선택한다.

1) 해부학적 구조를 이용한 형태적 적응

- 형태학적 적응은 식물의 물리적 구조와 관련된 변화이다. 즉, 물리적 기반을 제공하고 산소와 영양염류의 흡수율을 증가시킨다. 이 경우 형태적 적응들은 주로 산소흡수율을 높이기 위한 구조적 변형을 의미한다.

10) 한국습지학회(2016) 습지학. 라이프사이언스

유형	형태적 적응
통기조직 발달 (Aerenchyma)	식물내부에서 공기가 효율적으로 전달될 수 있도록 빈 공간을 형성하여 다공성 조직을 구성하여 빠른 공기 확산 유도하고 공기저장고의 역할을 함
부정근 (Adventitious roots)	뿌리 이외의 부분, 즉 줄기에서 2차적으로 발생하는 뿌리로 침수 기간 중 재빠르게 자라나 산소가 결핍된 원뿌리를 대신함
호흡근 (Pneumatophore)	지상에 뿌리의 일부를 진흙 밖으로 돌출하여(기립성) 통기 효율을 높이는 뿌리로 맹그로브나 소택지(沼澤地)의 식물에서 관찰됨
천근성 뿌리 (shallow-rooted)	침수 환경에서 대부분의 초본과 목본에서 나타나는 현상으로 뿌리가 지표면 가까이 퍼져 나타나는 현상임
줄기의 빠른성장 및 비대화	침수 시 어린싹 신장률(shoot elongation)를 촉진하고 줄기를 빠르게 신장하거나, 줄기를 비대하게(hypertrophied stem) 성장시켜 빛·산소·이산화탄소 확보를 용이하게 함
비후 피목	대기중의 산소는 피목을 통해 식물 내부 조직으로 들어 갈수 있는데 침수내성 식물의 피목은 비대하며 때로는 설긴 세포들이 모여 코르크 같은 모양으로 주변부보다 돌출된 형태를 이루어 산소 확산이 잘 일어날 수 있는 구조로 나타남

2) 대사 작용을 이용한 생리적 적응

- 침수에 민감한 식물 종이 물에 담기면 뿌리로의 산소 공급량을 빠르게 감소한다. 이럴 경우 뿌리의 호기성 대사 작용은 중지되며, 대사 작용을 기반으로 하는 세포 신장과 세포분열, 양분 흡수와 같은 모든 세포 활성은 급격히 감소한다. 일련의 혐기환경으로 인해 세포는 사멸하게 된다. 침수내성 식물은 대사반응 변화로 생리적 적응을 통해 환경변화를 극복하기도 한다.

유형	생리적 적응
말산축적	건생식물들은 무산소 환경에서 혐기성 호흡을 통해 독성물질인 에탄올을 축적하는데 비하여, 많은 수생식물들은 뿌리에 비독성 대사산물인 말산을 축적함으로써 독성물질이 쌓이는 것을 피함
근권 산화 (rhizosphere oxidation)	어떤 수생식물들은 뿌리로부터 주변 토양의 공극사이로 산소를 이동시키는 능력이 있음. 이 적응은 뿌리의 퇴화를 막고, 혐기성 토양 환경에서 물과 영양분의 흡수율을 유지시킴
가압성 환기 (pressurized ventilation)	잎의 내부와 주위공기 사이의 온도와 수증기압 차이에 의한 가압성 환기(대량흐름)에 의해, 식물 지하부에 더 많은 산소를 전달하여 공기 순환을 높이므로 침수에 대한 내성을 높이는 현상
수중 기체 교환 (non-throughflow convection)	침수된 식물 조직과 주변 물 사이에 일어나는 기체 교환 현상

3) 생활사적 적응

유형	생활사적 적응
침수회피	<p>유묘 정착 시기나 생장기와 같이 생활사적으로 중요한 시기를 침수되지 않는 기간에 맞추는 전략을 의미함</p> <p>ex. 겨울의 산소스트레스를 피하기 위해 지하경 및 괴경으로 겨울나기</p> <p>부유성 종자를 산포하여 어미식물을 떠나 습지의 가장자리에서 발아</p>
생활형의 변화	<p>일부 습지식물의 경우 침수에 의해 줄기 눈의 휴면이 깨지면서 여러개의 줄기를 형성하는 등 기체교환이 가능한 부위를 늘리는 전략을 선택함</p> <p>ex. 유럽오리나무는 배수가 잘되는 땅에서는 일자로 자라고 습지에서는 덩불의 형태로 자람</p>
종자 발아 및 유묘 시기 전략	<p>대부분의 식물 종자는 오랜 기간 침수되면 활력을 잃지만 습지식물의 종자는 오랫동안 휴면이 가능하여 환경 조건이 형성될 때까지 기다릴 수 있으며, 어떤 종들은 수중에서 발아하는 것이 가능함</p> <p>ex. 붉은맹그로브는 어미 나무에 붙어 있는 상태로 발아가 가능함(이삭발아, vivipary)</p>



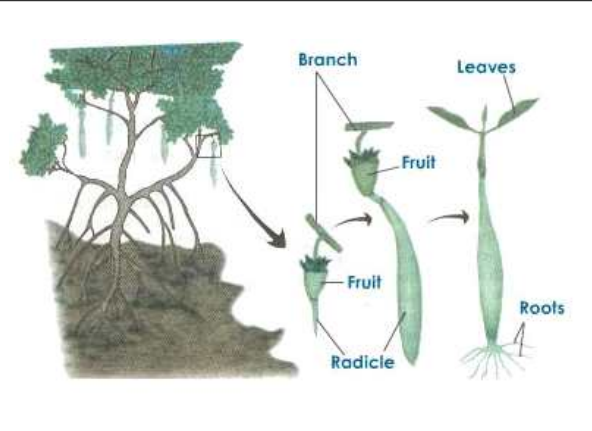
통기조직 발달 (Aerenchyma)



부정근 (Adventitious roots)



호흡근 (Pneumatophore)



이삭발아(Vivipary)

※ 출처: Google 검색 이미지

3.3. 습지 동물¹¹⁾

□ 산소부족 및 결핍에 대한 동물의 적응

1) 육상동물

- 습지에 서식하는 포유류, 새, 무척추동물 등의 대부분 육상 동물은 침수가 되면 높은 곳으로 이동할 수 있기 때문에 침수의 직접적인 영향을 받지 않으므로 침수에 대한 내성을 위한 특별한 적응방식을 가지고 있지 않다. 그러나 일부 정주성 무척추동물은 침수에 대응하기 위한 흥미로운 전략 등을 가지고 있다.
- 조수간만이 있는 습지에 사는 농게와 같은 동물은 만조기 동안 공기가 차있는 구멍으로 들어가 단기간의 침수를 견딜 수 있으며, 일부 종물은 침수가 짧다면 그냥 버티면서 견뎌 낼 수도 있다. 특정한 종류의 개미는 만조기에 물이 들어오지 않도록 집의 입구를 큰머리로 막으며, 어떤 곤충은 식물체에서 공기로 채워진 공간에 숨기도 한다.
- 범람원 습지에 사는 육상동물은 좀 더 오래 지속되는 서식지 침수 환경을 이겨내야만 한다. 범람원에서 사는 많은 육상 무척추동물이 몇 주 또는 몇 달에 이르는 상대적으로 긴 침수기간을 틈새에 공기가 있어 이를 이용할 수 있는 죽은 나무 조각속에서 견뎌 낼 수 있기도 하다. 노래기는 일반적으로 육상생물로 간주되지만 범람원에 사는 어떤 노래기는 물로부터 산소를 직접 이용할 수 있는 모반기층 호흡(plaston reliration)을 이용하여 물 아래에서도 활동할 수 있다. 딱정벌레, 노래기, 지네 등은 침수기 동안 물에 떠다니는 나무 조각을 구멍정처럼 활용하여 이동하기도 한다. 담수 습지에 가는 개미 군체들은 침수가 되면, 수천마리의 개체들이 한데 엉겨 뭉침으로써 자신들의 몸으로 이루어진 구멍정을 만든다. 큰 뭉치를 이룬 개미떼는 물에 떠다니거나 수면위로 솟아 있는 물체에 붙어 있으며, 물과 접촉하는 바깥쪽의 개체들은 생존을 위해 주기적으로 집단의 안쪽으로 이동한다.

11) 한국습지학회(2016) 습지학. 라이프사이언스

2) 수생동물

■ 물에 사는 동물들 또한 공기로 호흡을 하기 때문에 물속의 산소 부족 문제를 타개하기 위한 다양한 구조 및 방법을 가지고 있다.

○ 공기중의 산소를 직접 이용하는 경우

- 복부의 긴 돌기 끝에 위치한 마지막 기문만 열려 있으며 긴 돌기를 물표면으로 보내 공기중의 산소를 직접 흡수 한다.

ex. 파리목 꽃등에속(*Eristalis*) 유충인 쥐꼬리구더기(rat-tailed maggot)는 몸의 길이는 1cm 전후이지만 호흡관은 6cm까지 늘어 날 수 있는 신축성이 있어 물 깊이 변화에 따라 길이를 조절함

○ 가스아가미(gas gill)

- 일부 곤충은 몸의 특정부위에 공기방울을 갖고 잠수한다. 이 공기방울은 물속에서 일종의 아가미 역할을 하기 때문에 가스아가미 혹은 물리적 아가미라 불리며, 원래 공기방울이 담고 있던 양보다 더 많은 양의 산소를 곤충이 쓸 수 있게 만든다.

ex. 딱정벌레목 물땡땡이과, 물방개과, 노린재목 곤충에서 관찰되며 종에 따라 공기방울의 위치는 일정함 - 송장헤엄치게는 몸의 복면, 날개 아래 및 앞날개 위쪽등에 공기방울을 가지고, 물방개도 앞날개 밑에 공기방울이 있음

○ 모반기층(plaston)

- 소수성 털이 두껍게 덮인 복부 표면 적분에 몸표면에 항상 얇은 산소층을 가질 수 있는데 이를 모반기층이라 하며 기문과 연결되어 있다.

ex. 노린재목 물빈대과는 몸표면에 짧은 털에 의해 형성되는 모반기층을 활용하는 대표적인 종임

- 피부호흡과 기관아가미(tracheal gill)
 - 거의 모든 수서 곤충의 표피층은 물에 대한 투과성이 높기 때문에 필요로 하는 산소를 피부호흡을 통해 공급하기도 한다.
 - ex. 몸집이 작은 파리목 유충의 경우 모든 필요 산소량을 피부확산을 통해 충당할 수 있음
 - 피부호흡의 효율을 높이기 위해 얇은 체벽에 기관소지가 많이 분포할 수도 있지만, 비슷한 구조가 돌기로 발달되어 몸의 표면적을 넓히는 방법을 활용하는 곤충들도 있다. 이는 특별히 분화된 피부호흡의 일종으로 기관아가미라 한다.
 - ex. 강도래목, 잠자리목, 하루살이목의 유충과 일부 포식성 딱정벌레목 유충에서 나타남

- 식물을 이용하는 경우
 - 일부 곤충들은 산소를 얻기 위해 수면을 오르내리지 않고 호흡관을 식물 줄기나 뿌리에 집어넣어 식물의 통기조직으로 호흡을 하거나, 수생식물의 근권에서 산소를 얻는다.

- 행동패턴의 변화
 - 산소부족이라는 스트레스를 해결하는 측면에서 식물에 비해 동물은 이동성이라는 장점을 가지고 있다. 산소농도가 지나치게 낮아지면 이를 극복하기 위한 행동의 변화를 보이기도 한다. 산소가 풍부한 식물 근처로 이동하거나 활동을 극도로 낮춤으로써 산소스트레스를 해결한다.

- 생리작용의 변화(혐기성 대사)

- 많은 습지동물은 낮은 산소조건을 견딜 수 있도록 생리적으로 적응되어있다. 산소가 제한적일 때는 혐기성 대사를 이용하는 식물처럼, 많은 습지 동물 또한 같은 방식을 이용한다.
- ex. 잉어, 송사리, 시클리드 등의 일반적인 습지어류, 깔따구 유충과 같은 습지무척추동물, 해양성 고둥 모두 무산소 상태일 경우 혐기성 대사로 전환함

□ 건조에 대한 습지동물의 적응 전략

- 습지동물도 식물처럼 건조를 견디거나 회피함으로써 이에 대처한다. 내성은 생리적 또는 행동기작과 관계된 반면, 회피는 전형적으로 생동적 또는 생활사적 적응과 관련된다.
- 서식지 건조에 대한 수생 동물의 적응 방식은 동물의 분산 능력과 건조내성 또는 건조회피 능력을 바탕으로 4개의 생태적 무리로 나눌 수 있다.

유형	건조내성	
Group 1	-건조에 내성은 있으나 적극적으로 분산을 이루지는 못하는 무리 -한 습지에 연중 내내 머물면서 건조기에는 수분이 많은 퇴적토 속으로 구멍을 파고 들어가거나 건조에 저항성이 있는 생활사 단계에 돌입하여 건조를 피함 -수분이 없는 메마른 환경에서도 수년 동안 견딜 수 있는 가뭄에 대한 저항성이 높음 ex. 연체동물(조개 및 달팽이), 환형동물(지렁이 및 거머리), 갑각류 등의 날개가 없는 무척추동물	
Group 2	-건조에 대한 저항성이 있고 적극적으로 분산을 이룰 수 있는 무리	봄과 겨울에 산란을 하는 무리
Group 3	-대부분 곤충으로 산란기에 습지위의 하늘을 차지하며, 하면을 하는 생활사 단계를 가지고 겨울을 마른 땅에서 알이나 유충으로 보냄 ex. 파리류, 딱정벌레, 하루살이류, 잠자리와 실잠자리 등	수분이 있는 여름에 산란을 하는 무리
Group 4	-건조에 대한 저항성이 없지만 활발한 분산 할 수 있는 능력이 있는 무리 -이 무리의 동물들은 습지가 마르면 습지를 떠나거나 사라지는 동물로, 생활사의 일부 기간을 습지에 서식하는데 이는 먹이가 풍부하고 포식자로부터 자유로운 환경에서 생식을 하기 위해서임 ex. 대부분의 양서류, 수서 노린재, 일부 딱정벌레 등	

■ ※ 출처

- Alan Wild(1993) Soils and the Environment, Cambridge University Press
- Mitsch WJ, Gosselink JG. (2007) Wetlands (4th Ed.). John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, NJ.
- Sculthorpe CD. (1967) The Biology of Aquatic Vascular Plants. Edward Arnold Publishers, London.
- Tiner RW. (1988) Field Guide to Nontidal Wetland Identification. Maryland Department of Natural Resources, Annapolis, U.S. Fish and Wildlife Service, Newton Corner, MA.
- 구분학 (2009) 습지생태학. 도서출판 조경
- 김귀곤 (2003) 습지와 환경: 자연과 인간이 만드는 습지. 아카데미서적, 서울.
- 김재근, 박정호, 최병진, 심재한, 권기진, 이보아, 이양우, 주은정(2004) 생태조사방법론. 보문당
- 김재근, 홍문기, 김흥태, 남종민(2014) 우리나라 습지현황 및 습지연구방법. 수생태복원사업단
- 김재근, 홍문기, 김흥태, 남종민(2014) 우리나라의 습지식물. 수생태복원사업단
- 한국습지학회(2016) 습지학. 라이프사이언스
- 환경부 (2013) 습지 이해