

# 연안생태계의 바람직한 이용방안 (복원의 과정과 절차)

(Guidelines, processes and tools  
for coastal ecosystem restoration)

2016. 7. 26. 14:00~17:00

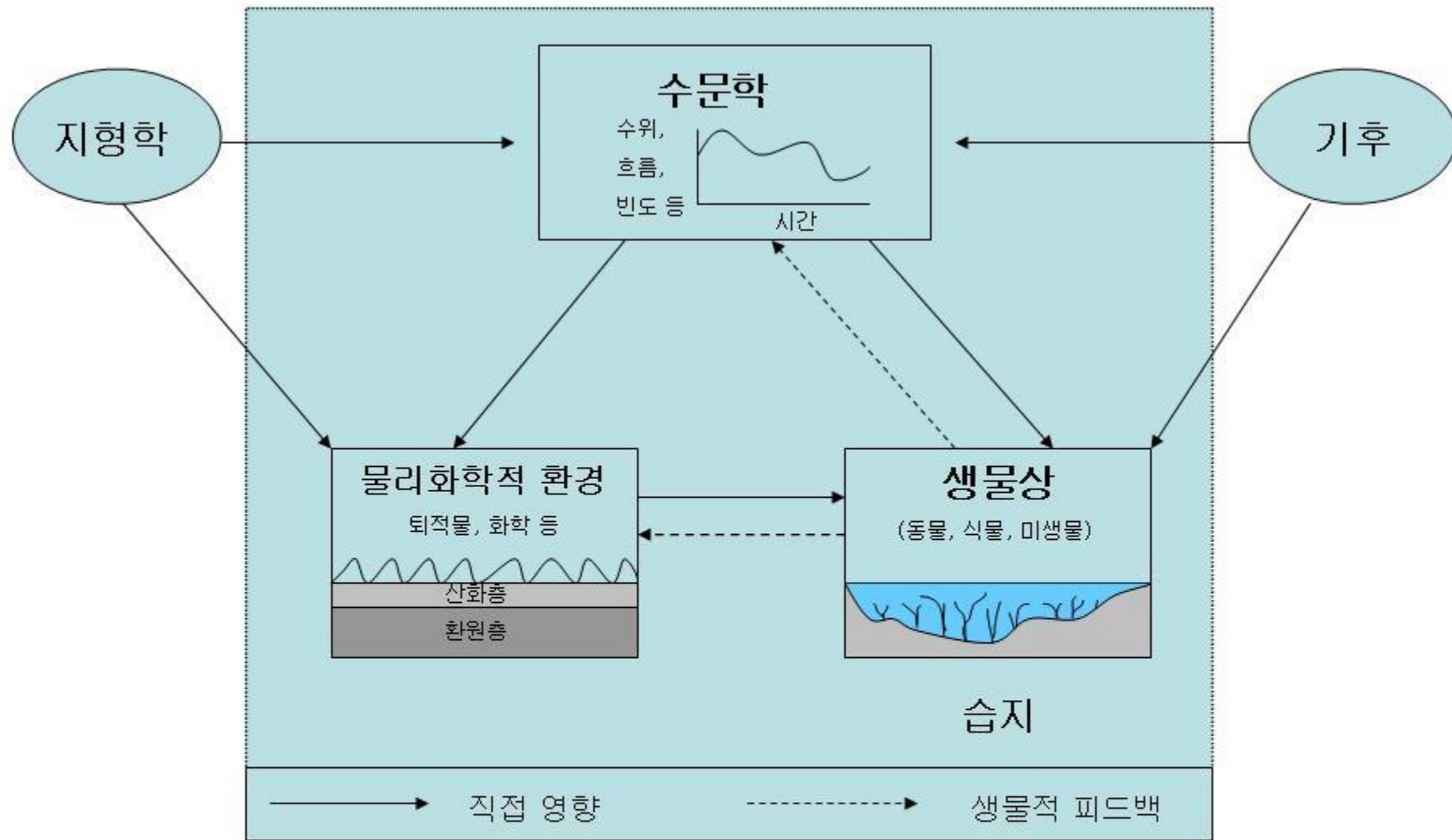
인하대학교 자연과학대학 해양과학과

충남연구원 서해안기후환경연구소

교수 홍 재 상

# Why Restore, Create, or Enhance Wetlands ?

- What are Wetlands? (습지생태계의 정의와 분류)
  - Wetlands Characteristics
  - Wetlands Systems and their Classification  
(US Fish & Wildlife Service, 1974; Cowardin et al., 1979; RAMSAR etc..)
- The Importance of Wetlands (습지생태계의 기능)
  - Healthy Fisheries
  - Support for Birds and other wildlife
  - High biological productivity
  - Biodiversity protection
  - Erosion control
  - Flood damage reduction
  - Good water quality
  - Aesthetics and recreation

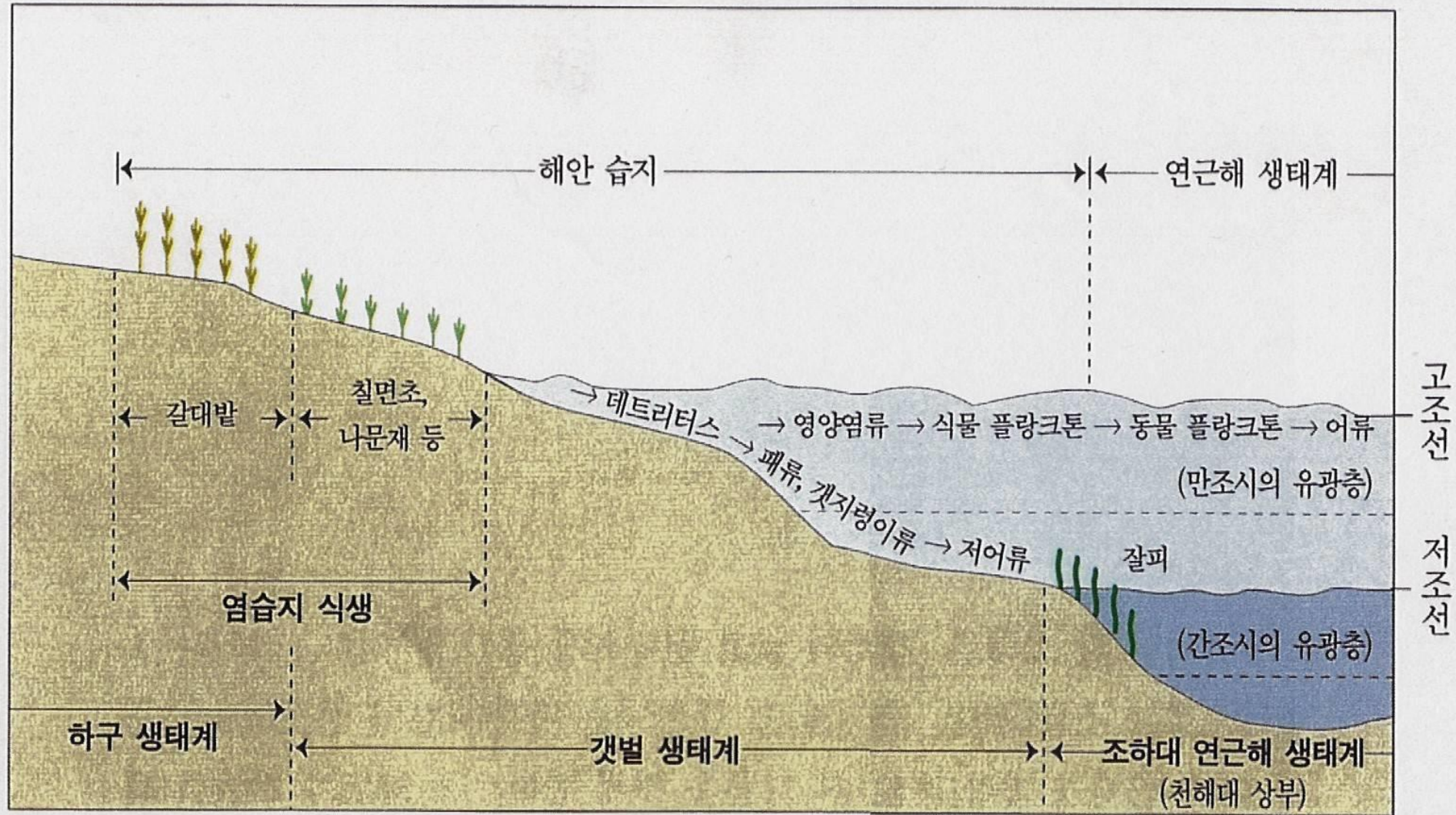


### 습지의 3 요소: 수문학, 물리화학적 환경, 그리고 생물상

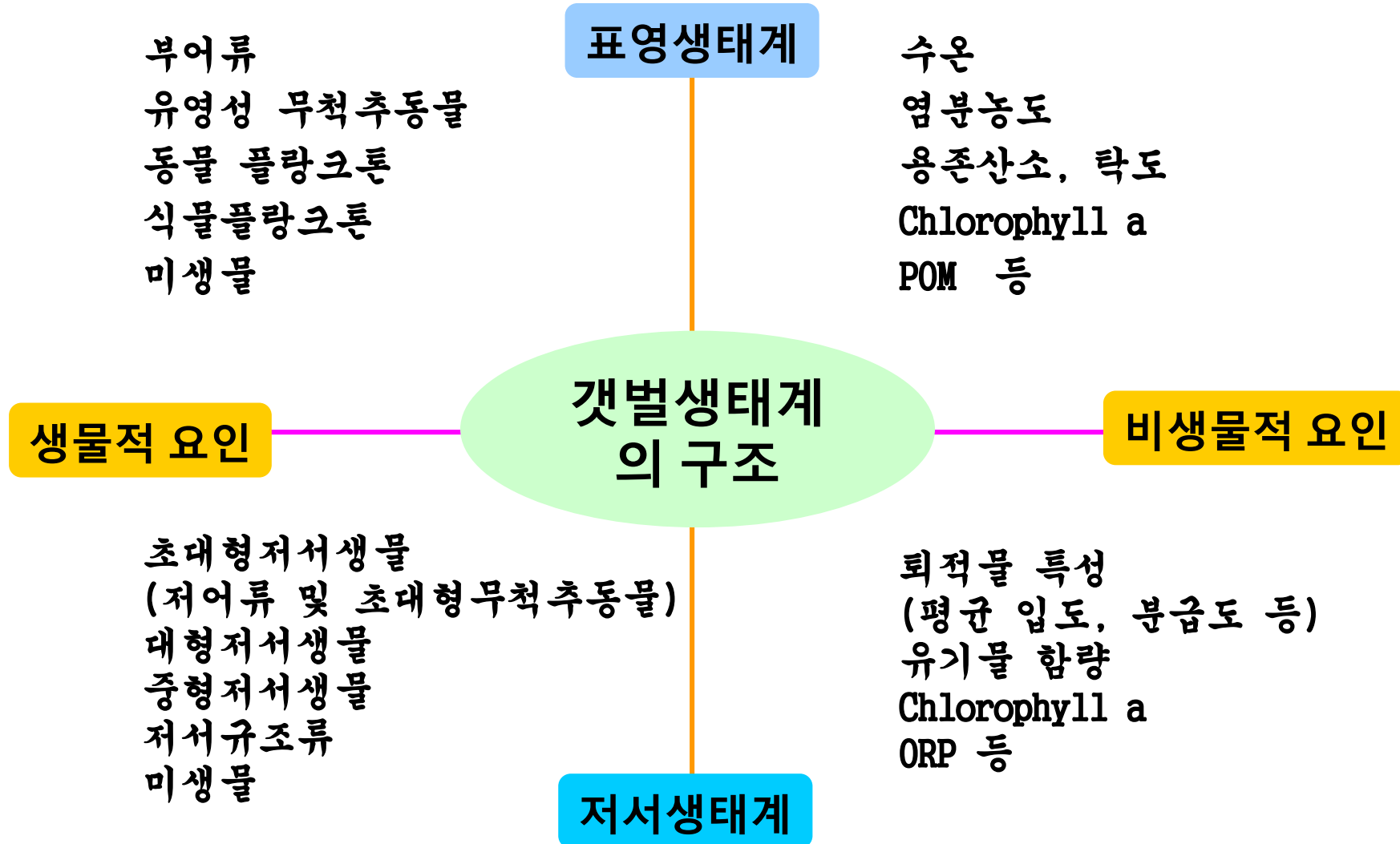
이들 3요소는 서로 영향을 주고 받으며, 특히 생물상으로부터의 피드백이 매우 중요하다.

(Mitsch and Gosselink, 2000)

# 갯벌 주변 생태계의 모식도



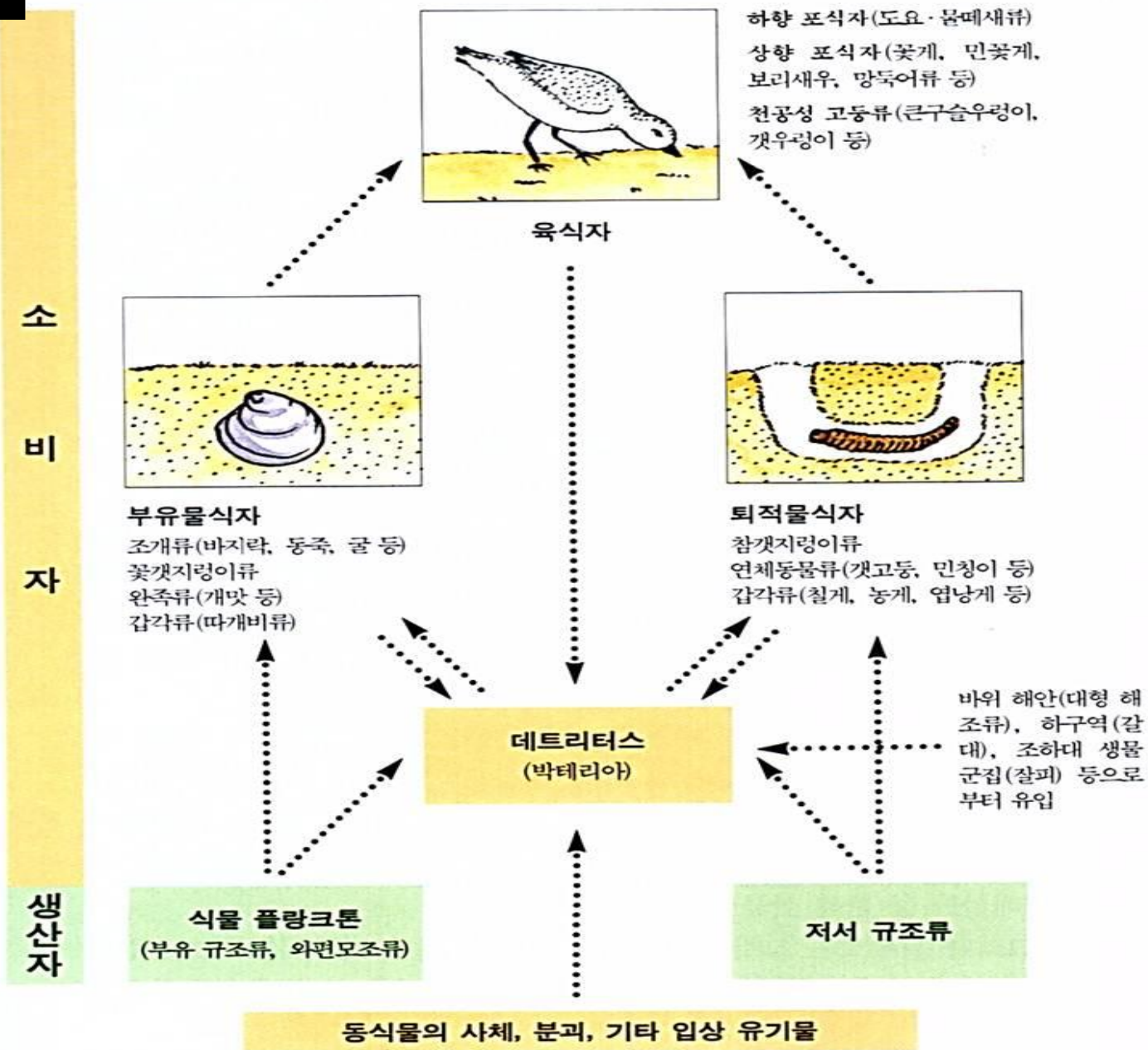
# 갯벌 생태계의 구조





# 갯벌 생태계의 먹이사슬

갯벌 먹이 사슬의 개념도



## 갯벌의 가치 - 갯벌생태계의 기능적 역할을 중심으로 -

### 1) 수산물 생산 (Healthy Fisheries)

건강한 수산자원의 유지 / 양식의 장, 가축의 먹이 등

☞ 현재 전 세계 수산물 생산량의 75%가 하구와 습지생태계에 의존하는 생물종으로 구성되어 있다 (Chambers, 1991)

### 2) 연안생태계의 유지 (High Biological Productivity and Support for Birds and Other Wildlife)

- 다양한 생물을 부양하는 서식처로서의 기능: 철새, 야생동물, 고유생물 등 다양한 해양생물의 서식처 제공으로 독특한 생물 다양성의 유지
- 각종 해양생물의 보육장 / 산란장
- 영양염류의 순환 (공급 / 이용)
- 해일 및 침식으로부터 해안 보호 (바다와 육지의 완충 역할): 홍수조절, 미세 기후조절 등

### 3) 자연정화조로서의 기능 (Good Water Quality)

- 하구 및 해양으로부터 오는 부유퇴적물질의 포집, 퇴적 및 저장 기능
- 오염정화 기능: 적조, 부영양화, 유기물오염의 방지
  - ☞ 부유물식자에 의한 수질정화 및 퇴적물식자에 의한 저질의 오염물질 정화

### 4) 심미적, 문화적 가치 및 레크리에이션 (Aesthetics and Recreation)

- 교육 및 연구의 장 : 자연관찰과 연구의 학습장
- 레크리에이션: 휴식, 낚시, 조개잡이, 관광 등
- 문학, 예술: Sublime and Beauty의 대상

In planning a coastal restoration project,  
1) sound ecological science and  
2) engineering and  
3) rigorous planning procedures  
are equally important!

- Five sequential and iterative components: planning, implementation, performance assessment, adaptive management, and dissemination of results.
- These features are evident in the guidelines of the Society for Ecological Restoration International (Clewett et al. 2000) and national coastal restoration strategies (RAE & NOAA 2002) and techniques (Sea Grant Oregon 2002) in the U.S.A., and in major coastal restoration efforts across the U.S.A.

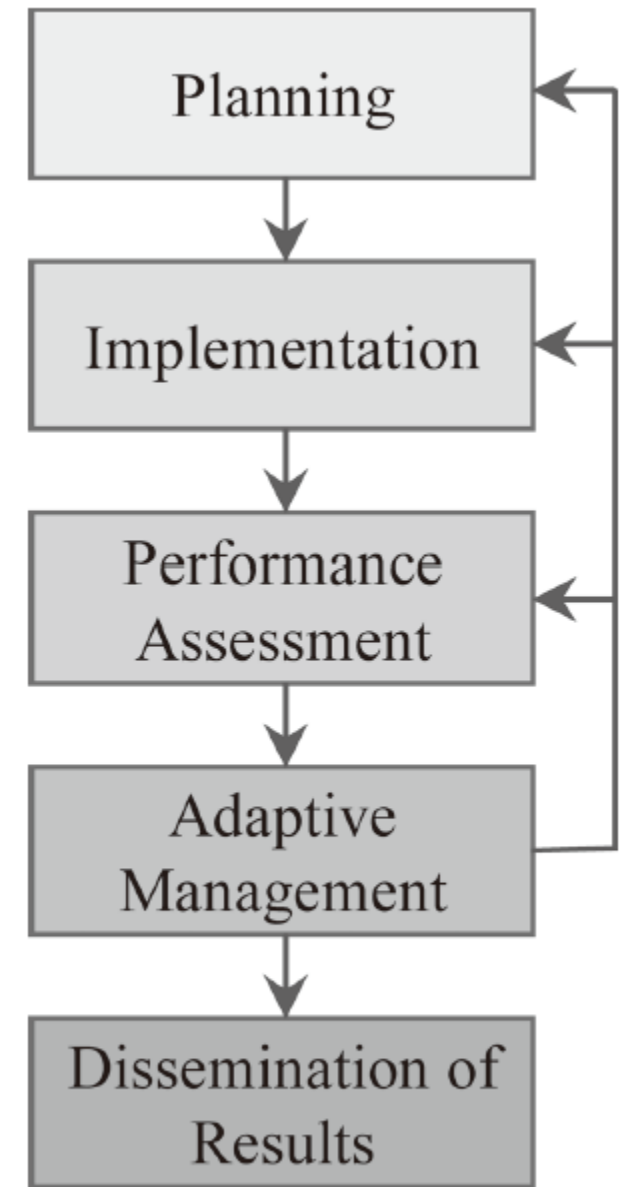
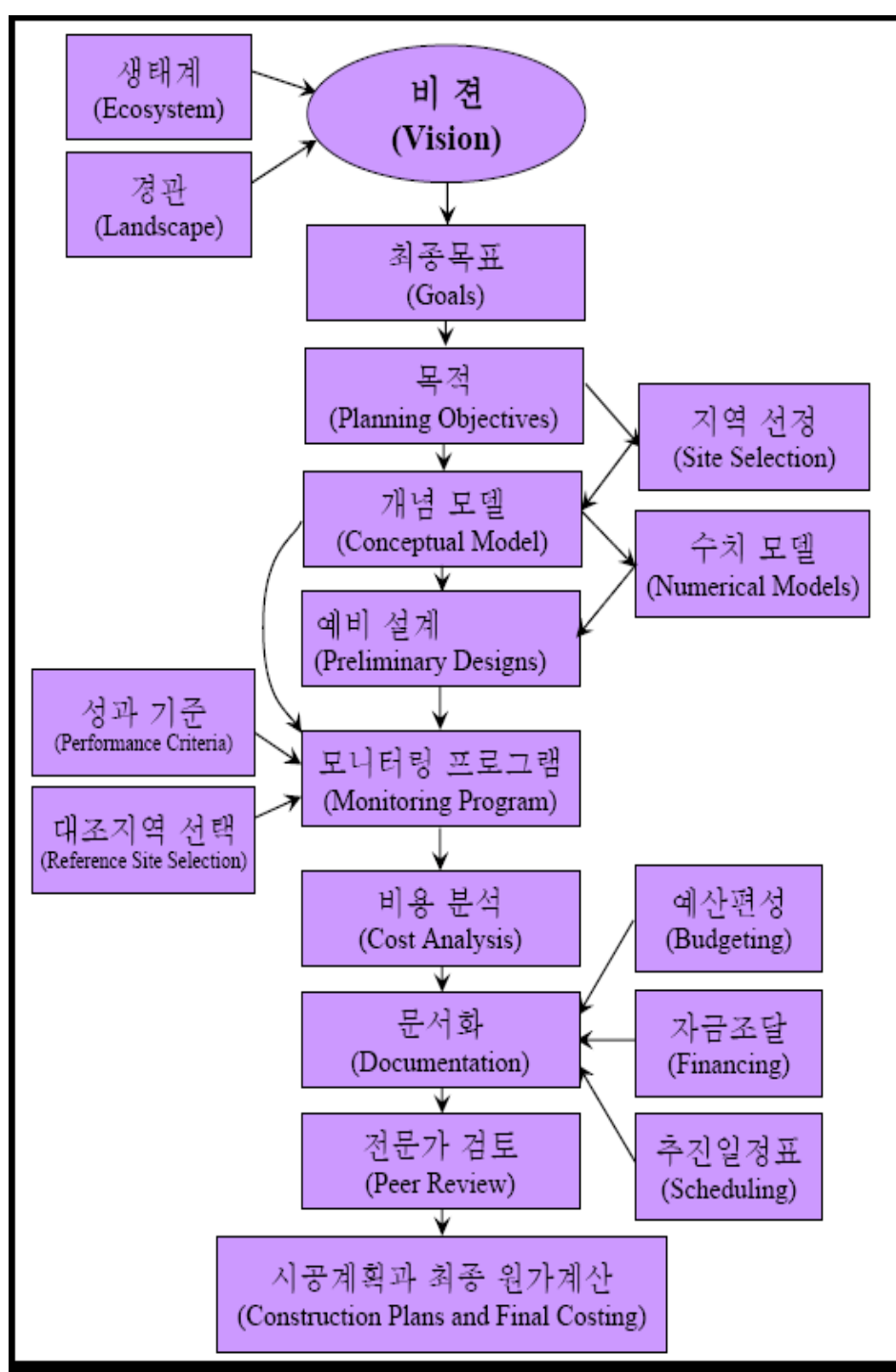


Fig. 1. Five components of a coastal restoration project.



# Systematic Approach to Restoration Planning

The Vision  
Ecosystem  
Landscape  
Goals  
Planning Objectives  
Site Selection  
Conceptual Models  
Preliminary Designs  
Monitoring Program  
Performance Criteria  
Reference Site Selection  
Cost Analysis  
Budgeting, Financing  
Scheduling  
Documentation  
Peer Review  
Construction Plans and Final Costing



# Steps in the Planning Process

1. Local watershed에 대한 과거와 현재의 정보를 수집하라
2. 대상지역(project site)을 선정하라
3. 대상지역의 현재와 과거의 정보를 수집하라
4. 대조지역(reference sites)의 정보를 수집하라
5. 유역, 복원 대상지역, 그리고 대조 지역의 정보를 기반으로 하여 복원 사업의 목적과 목표하는 기준을 설정하라
6. 적절한 규제 장치를 (정부) 기관 및 주위의 토지 소유자에게 알리고 사업에 영향을 미칠 수 있는 주요 사회적/경제적 요인들을 확인하시오.
7. 사업의 목적과 목표를 재확인하라
8. 계획하는 사업의 목적과 목표에 맞도록 피해 복구를 위해 디자인된 변화들을 이행할 수 있는 방법을 결정하라
9. 이행을 감독하기 위하여 포토토콜이나 건설공사의 서류와 같은 디자인을 준비하라
10. 사업을 공표하라

## 1. Good Planning is a critical stage!

- Planning requires collecting information about the local area, potential restoration site, historical trends etc...
  - Planning will help you choose the best site to achieve your goals
  - Planning will help you establish clear and feasible objectives given the factors that may constrain the project
  - Planning identifies the materials, labor, and activities that will be needed to achieve the project's goals
  - Objectives and target criteria established during planning direct the type of monitoring that will be needed.
- ➡ Clear goals and objectives will help you explain to other people, including potential funders, partners, and the local community, what you are trying to accomplish.

- **Know your Landscape :**
  - Aerial photography and local topography (soil maps) to get essential information on the watershed – floodplains, rivers, streams, lakes, bays, and the oceans
  - collect information on the history of watershed and identify human influence and constructed features (land uses: roads, parking lots, ditches, dams, etc...)
- **Choose the Project Site and know your project site!**
  - hydrology, topography and geology, soils, biotas, land ownership, etc.
  - the former and current conditions of the site : site-specific and quantitative data are often necessary.
- **Setting goals and objectives:**
  - restore the natural tidal regime
  - Ensure the mudflat is returned to a level appropriate for vegetation.
  - Re-establish dominance of the previous native biotas.
- **Target criteria will be different according to your goals.**

**2. Implementation** is the physical process of actually doing the restoration, creation, or enhancement project according to the design developed in the planning stage.

(1) Site preparation: 외래종의 제거, 오염되지 않은 적절한 기질의 토양 확보 및 살포 등

(2) Target specie preparation: 자생동식물의 이용 (종자 파종/이식 등)

(3) Installation/Construction: 토양의 대규모 수송, 물을 조절하는 구조물의 건설, habitat islands 건설, 원하는 토양 입도로의 조절, 식물 식재, 관개시설, 미서식처 조성 등

(4) Maintenance: 좋은 생태학적 조건의 유지 (외래종의 제거 관리, 초식자의 관리, 구조물의 보수, 자연상태로 되돌리는 활동들 (잡초제거 등), 사람들의 출입 통제, 주변으로부터의 오염물질 유입의 통제 등

(5) Continuous adaptive management (지속적 적응관리):  
문제점 발생시 지속적 보완책 강구

(1) Working with volunteers (자원봉사자들과의 협력체계 구축)



### 3. Monitoring

당초의 생태학적 목표에 도달했는지의 변화에 대한 정보를 제공하는 주기적인 정보 수집으로 필수적이다.

-무엇을 어떻게 모니터링하느냐?

(1) Hydrology, (2) Physicochemical Environment, (3) Biota 등 관련 습지의 3요소를 중심으로 모니터링

- 얼마나 자주 (조사 항목에 따라 1회-4회, 적어도 매년 조사한다),
- 얼마나 오랫동안 (조성 후 최소한 10-20년 동안)

-모니터링 자료로부터 무엇을 해야 하는가?

- (1) Project goals이 달성되었는가 확인하는 데 이용
- (2) Target criteria가 프로젝트 목적을 위해 좋은 요소인가 확인하는 데 이용
- (3) 다른 유사한 사례와 비교, 적용하는 데 이용

## 4. Long-Term Management – Adaptive Management

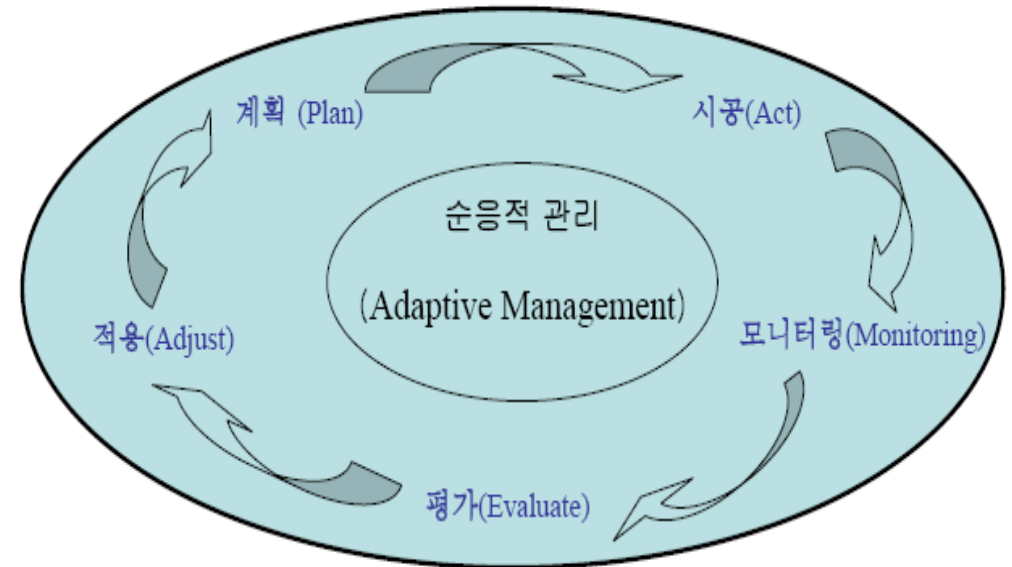
- 생태계는 주변 환경의 변화에 반응하면서 변화한다. 따라서 사업이 끝났다고 하여 모든 일이 끝나는 것은 결코 아니다!
- 따라서 당초 디자인한대로 생태계가 기능하는지 또한 인간의 간섭이 최소화되도록 지속적인 long-term management가 요구된다.

-독이나 수분조절 구조물 등의 유지

- 특정 생물군집이나 환경 요인의 관리 및 유지

- 외래종의 이입이나 과도한 퇴적 현상의 관찰

- structure failure와 같은 예기치 않은 사고 등



## 5. 결과의 보급과 홍보 (dissemination of the Results)

취지:

과학자, 공학자, 기타 관련자들은 정보 공유 통해 교훈을 얻고, 이를 바탕으로 연안 복원 방식을 향상시키나 간다. 연안 복원사업은 그 결과를 이해해야 하는 여러 이해 관계자들의 이익에 영향을 미친다. 복원 자체의 장기적 순응 관리를 위해서도 제대로 된 보고서 작성과 보급은 매우 중요하다.

NRC(1990): 복원 사업의 결과에 대한 대중의 관심 인식 중요성 지적. 방문객 센터를 설치하고 해안을 방문 하는 사람들, 새를 관찰하는 사람, 아마추어 박물학자, 어부, 운동선수들, 행락객, 개발업자, 산업 관계자, 기술자, 정부당국의 환경 관리자, 정치인, 과학자 등에 홍보. 그러므로, 복원 모니터링 프로그램은 많은 사람들의 욕구와 부합해야 한다.

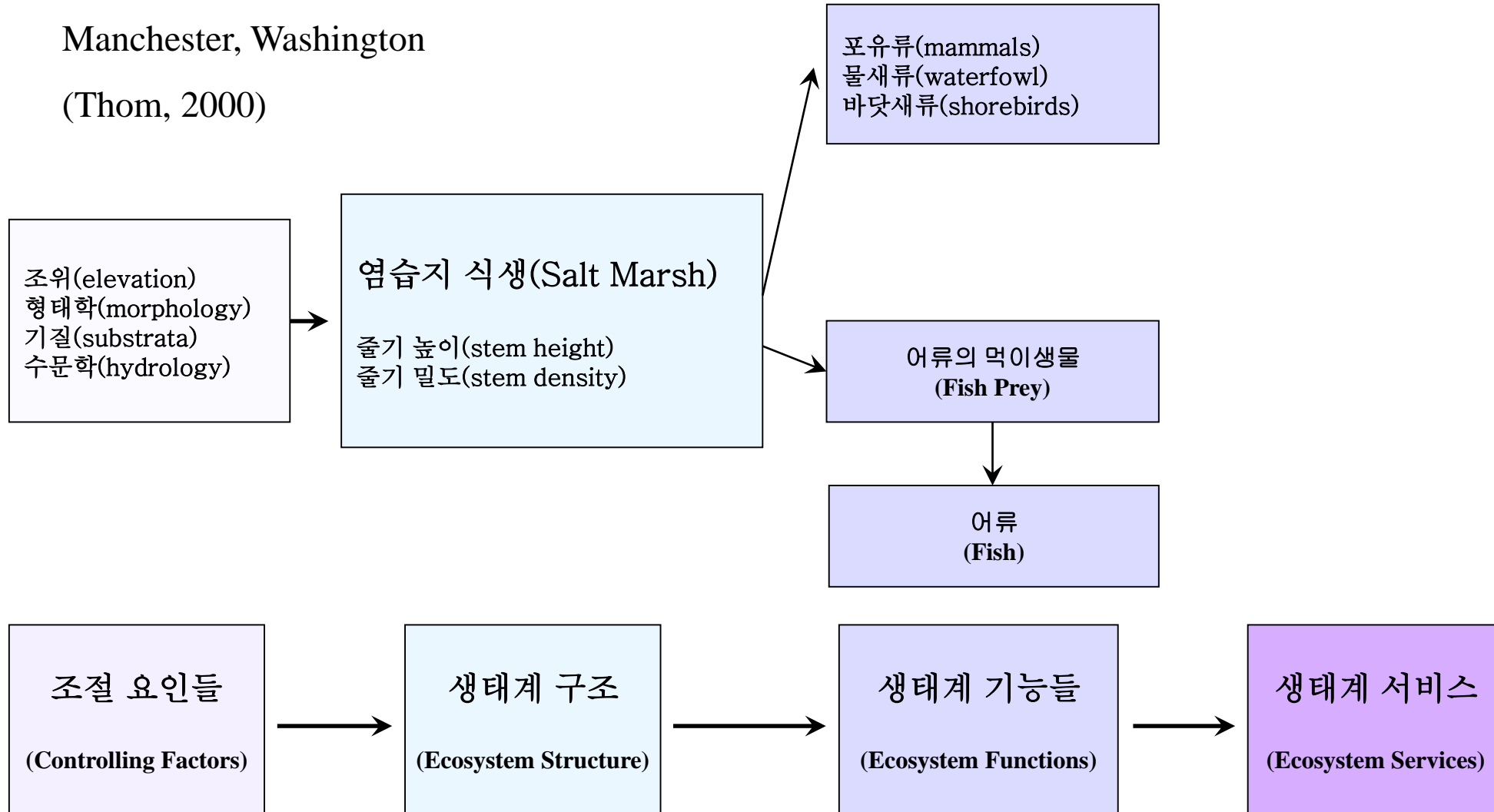
- 연안 복원사업 결과의 적극적 보급은 사업에 관여했던 모든 사람들뿐만 아니라 국가 복원 정책에 있어서도 시행착오를 줄이는 교훈적 의미가 매우 크다.
- 특히 초기 단계에서 더욱 중요한 것은 성공 사례의 홍보가 일반인의 복원에 대한 인식 증진에 크게 도움이 되고, 이것은 community-based restoration program의 원동력이 됨.
- 다양한 매체와 인터넷, 기타 관계자들의 목록을 작성하여 보고서를 우편물로 발송하는 방법을 동원.

# 생태계 복원의 개념적 모델 (Conceptual Model): 염습지 식생

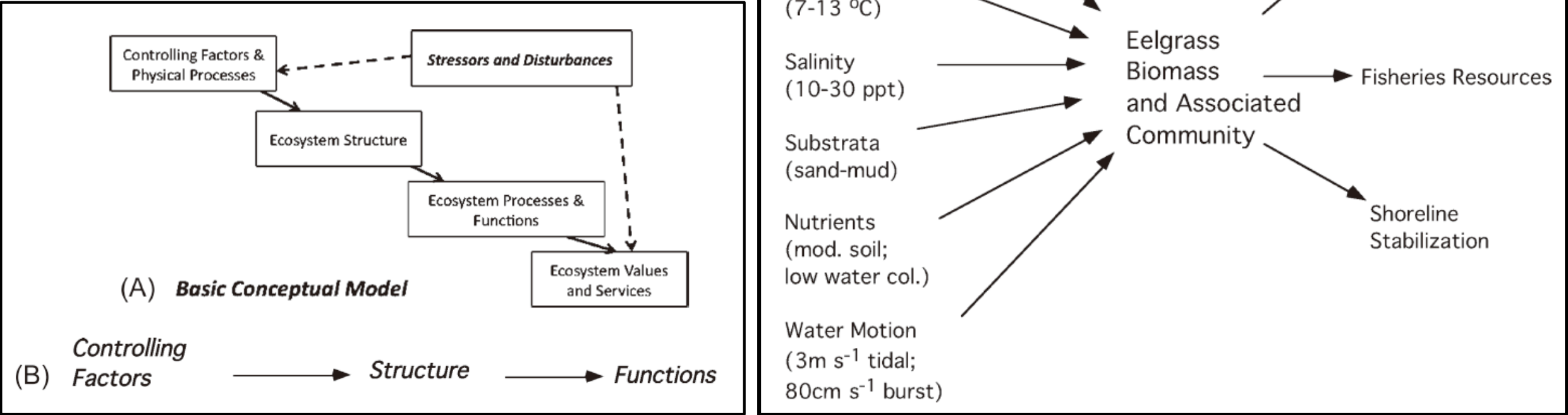
Ex: Salt Marsh Restoration Design

Manchester, Washington

(Thom, 2000)



# 사례: 잘피군락의 복원



**Fig. 3.** (A) Structure of a conceptual model for ecosystem restoration. First, the ‘problem’ (i.e., stressors) must be understood, and then solutions can be developed. (B) Conceptual model of an eelgrass system (from Thom et al. (2005b)) used to quantify where stressors are affecting eelgrass survival (e.g., how shade from a dock would reduce light).



# ✓ **Implementation: From the Vision to a Project**

**Preparation for Construction**

**Construction**

**Monitoring Construction**

# ✓ **Performance Assessment: Development of the Monitoring Program**

**Identifying Reference Sites**

**Selection of Monitoring Parameters**

**Monitoring Methods**

**Timing, Frequency, and Duration**

# ✓ **Adaptive Management AM and the Dissemination of Results**

## 습지 복원을 위한 시공 방법의 선택

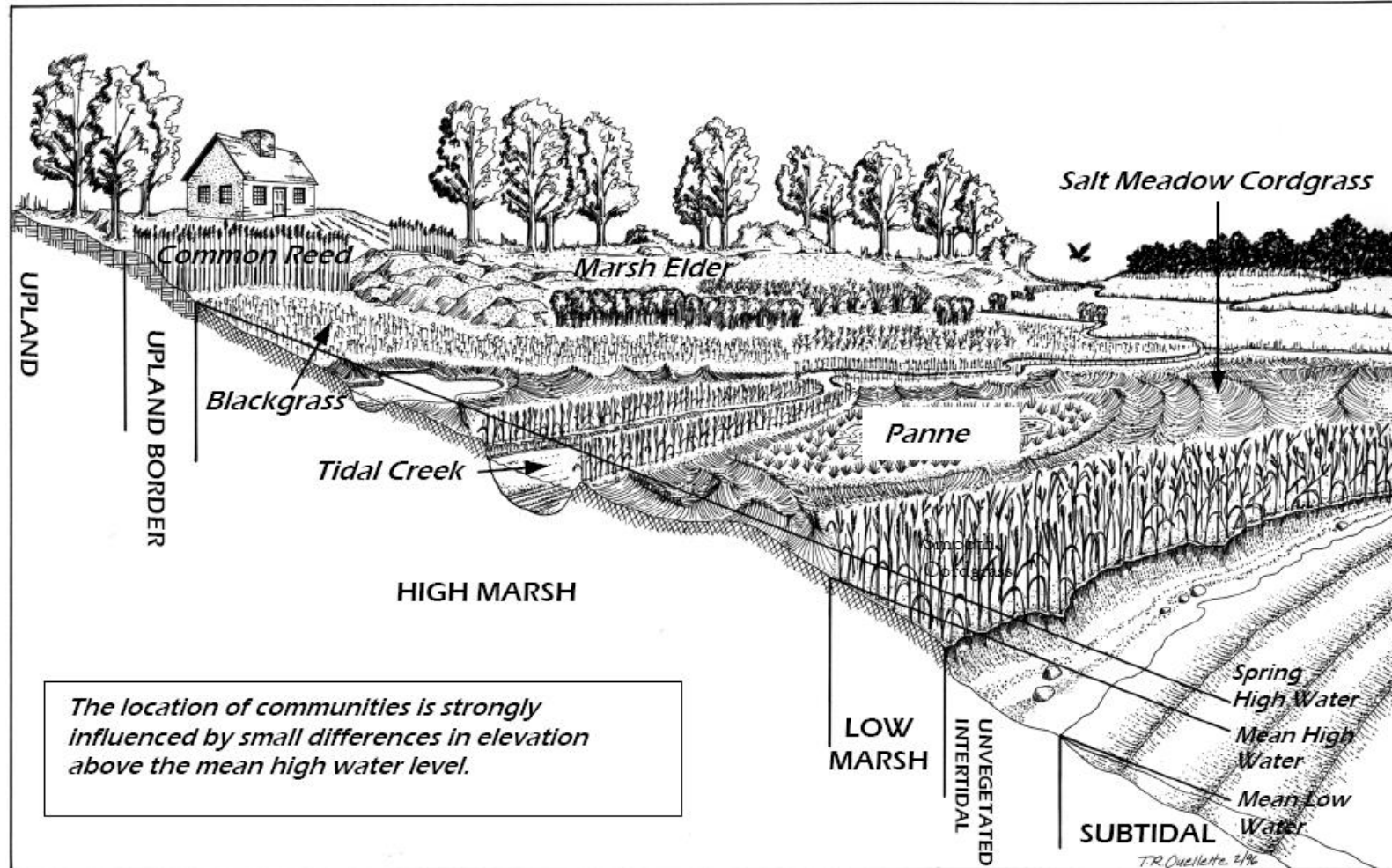
- 복원 사업: 시공 방법들은 매우 다양 하며, 생태학과 수문학, 그리고 토양에 대한 전문가들과 함께 개발되어야 한다.
- 최선의 방법은 가능한 가장 단순한 방법을 이용하는 것이다. 왜냐하면 습지 복원사업이 복잡하면 할수록 그것은 자칫 잘못된 방향으로 갈 수 있는 경우가 더 많기 때문이다. 또한 시공은 환경 파괴가 가장 적고 생태학적으로 건전한 수단과 방법을 통하여 성취되어야 한다. 따라서 수동적 접근 방법이 먼저 고려되어야 하며, 그 이후에 능동적 개입을 생각하는 것이 좋다.
- 만약 자연적 과정들(natural processes)이 수동적 방법들과는 제대로 함께 작동되지 않는다면 시공은 전통적인 hard engineering (경성 공학적) 방법을 넘어 자연 과정에 기초하여 시공을 하는 bioengineering (생물 공학적)이나 soft engineering (연성 공학적) 방법에 초점을 맞추어야 한다. 이러한 접근 방법은 흔히 인간이 설계한 구조물과 함께 생태계 기능을 대체하는 전통적인 hard engineering 방법에 대한 대안이 된다.

# 습지 훼손의 유형별 복원 기법:

Developed by the Interagency Workgroup on Wetland Restoration

(NOAA, EPA, ACE, FWS, NRCS, 2003)

1. 수문학적 요인의 문제, 2. 지형학적 요인의 문제, 3. 생물학적 요인의 문제



## 습지 훼손의 유형별 복원 기법: 1. 수문학적 요인의 문제

수문학 (Hydrology)			
습지 훼손	훼손의 원인	해결 방법	비고
수질악화	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 주변 지역으로부터 흘러들어오는 유출수에 기인하는 과잉의 영양염 및 퇴적물</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 해당 지역의 토지 이용을 바꾼다.</li> <li>● 식물을 이용한 완충지대를 조성하거나 대형 식물체가 우점하는 처리습지 (treatment wetland)의 건설</li> <li>● 퇴적물 트랩 (sediment trap)의 설치</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 퇴적물 트랩을 설치할 경우 주기적인 청소가 필요하다.</li> <li>● 식물을 이용한 완충지대 조성이나 처리습지 건설에는 전문가에 의한 설계가 필요하다.</li> </ul>
수질악화	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 침식이 진행되고 있는 경사지 (eroding slopes)로부터 흘러 들어오는 과잉의 퇴적물</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 식물이나 생분해성 구조물 등을 이용하여 경사지를 안정화시킨다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 많은 대책이 있을 수 있으며 가장 지속 가능하고 효과적인 방법을 찾는다.</li> </ul>
<b>수문학적 요인 변화</b> 1. 배수로의 변경	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 도랑파기</li> <li>● 타일 배수로</li> <li>● 펌프로 물을 빼는 행위</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 도랑이나 배수로를 채우거나 막는다.</li> <li>● 타일을 부순다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 유기 토양(organic soil)은 분해되어 그 지역의 지대가 예전보다 낮아진다.</li> </ul>
<b>수문학적 요인 변화</b> 2. 물 흐름 변화에 의한 압박 (불균형)	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 도로가 너무 크기가 적은 도랑과 만날 때</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 적당한 크기의 도랑이나 또는 교량으로 대체</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 수문학 전문가가 필요</li> </ul>
<b>수문학적 요인 변화</b> 3. 물 흐름의 단절	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 예전의 습지가 수원(水源)으로부터 제방이나 둑으로 막히는 경우</li> </ul>	물길 복원: <ul style="list-style-type: none"> <li>● 제방이나 둑을 제거하거나 부순다.</li> <li>● 수량 조절 구조물을 설치한다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 식물에 대한 지반의 높이 (substrate elevation)는 교정되지 않을지도 모른다.</li> <li>● 토양을 가져다 넣거나 낮은 유지 구조물 (low maintenance structures)로 수위를 조절한다.</li> </ul>

## 습지 훼손의 유형별 복원 기법: 2. 지형학적 요인의 문제

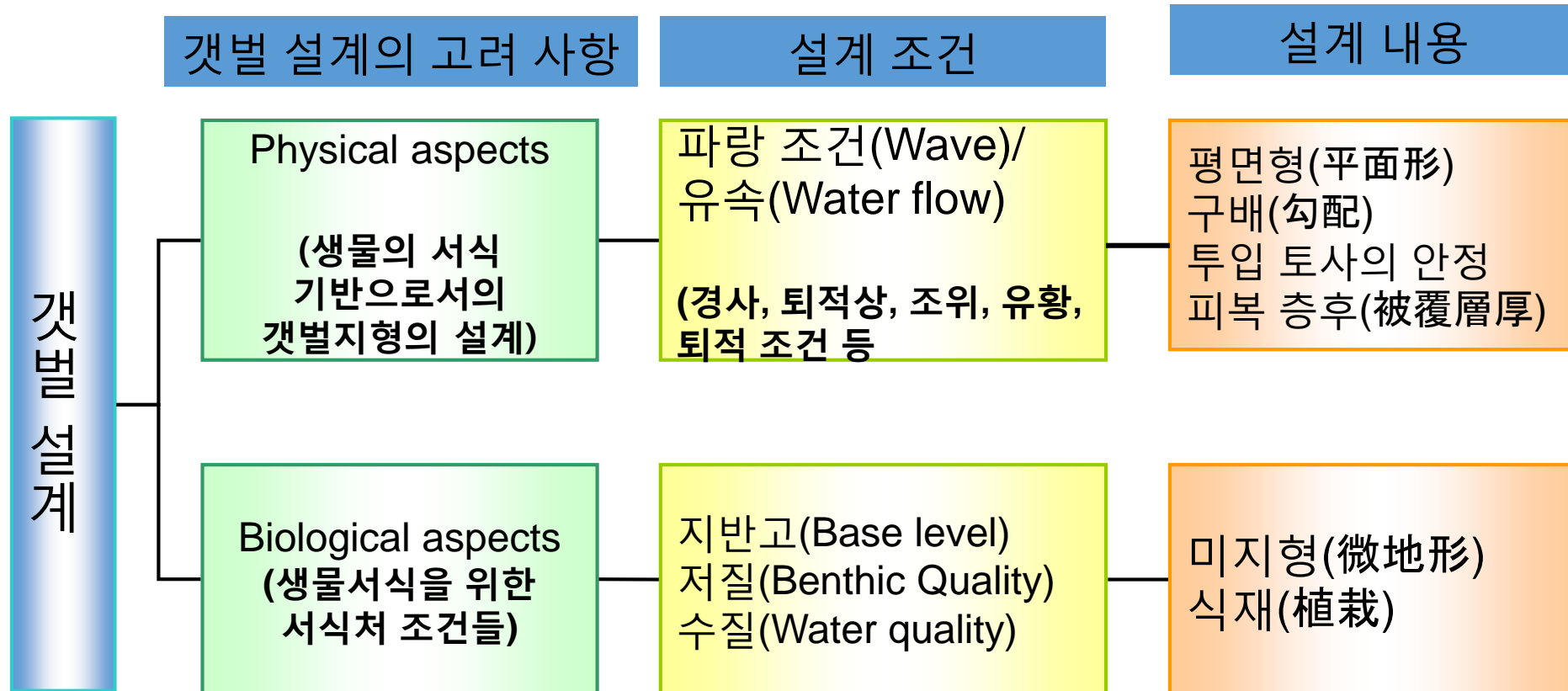
토양 (Soils)			
습지 훼손	훼손의 원인	해결 방법	비고
지반이 높아짐	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 토양을 투기하거나 매립</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 대상 물질을 제거</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 매립은 토양을 압착하여 초기의 지반 높이보다 더 낮아진다.</li> <li>● 침식을 방지하기 위한 조치를 취한다.</li> </ul>
침하	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 토양의 제거</li> <li>● 유기물질의 산화</li> <li>● 지하수의 제거</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 토양을 채워 준다.</li> <li>● 자연 퇴적이 되는대로 그냥 둔다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 토양을 채워 줄 경우 반드시 대상이 되는 습지를 지원해야 한다.</li> <li>● 채우는 물질은 유독성이 없는지 검사해야 한다.</li> </ul>
유독성 토양	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 그 지역 내에서 또는 다른 지역에서 산업 과정에 나오는 부산물</li> <li>● 투기</li> <li>● 자연 화합물의 여과와 농축</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 그 토양이나 오염물질에 적합한 처리 시스템이나 방법을 동원</li> <li>● 대상이 되는 물질을 제거</li> <li>● 적당한 토양으로 덮는다</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 간접적인 훼손을 최소화하기 위하여 처리 방법을 선택하는데 전문가가 필요</li> <li>● 심각한 독성 문제를 피하기 위하여 다른 장소를 선택한다.</li> </ul>



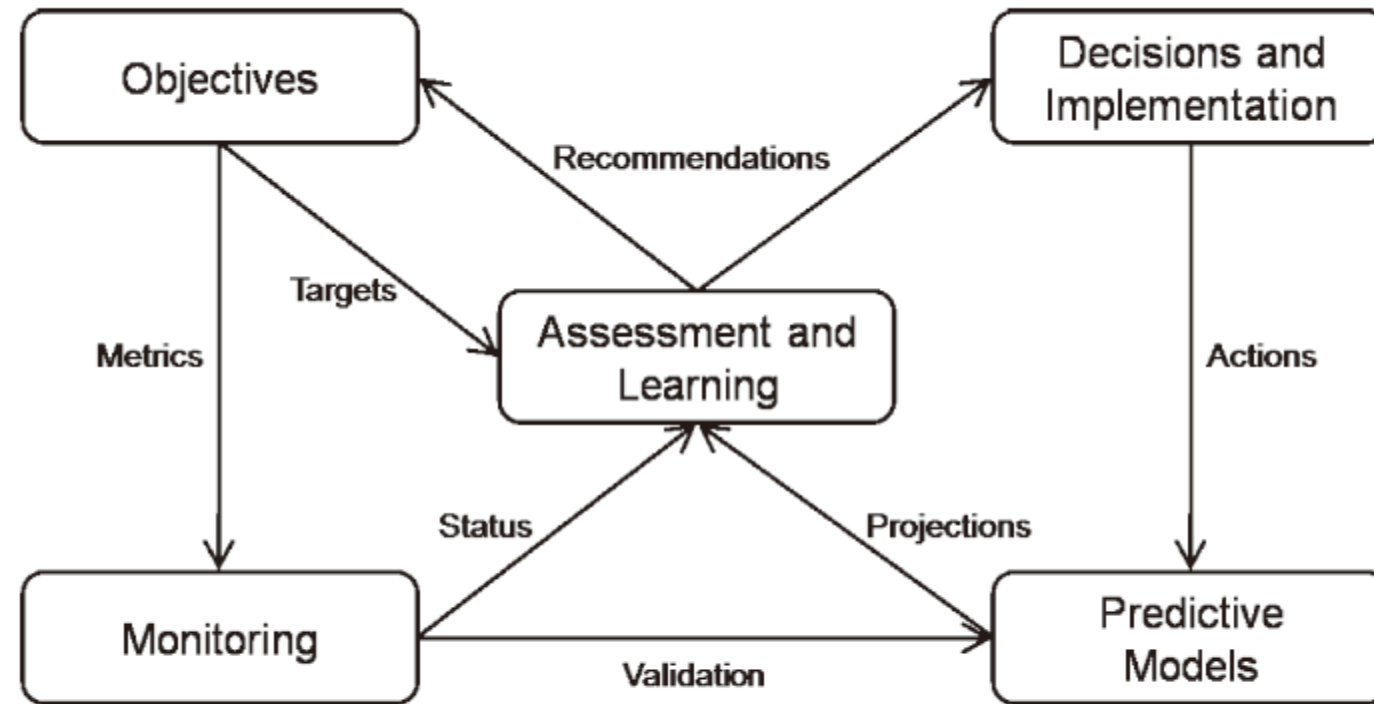
## 습지 훼손의 유형별 복원 기법: 3. 생물학적 요인의 문제

생물상 (Biota)			
습지 훼손	훼손의 원인	해결 방법	비고
생물다양성의 감소	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 원래의 서식처가 변화됨</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 자연 과정 (natural processes) 을 이용한 원래의 토착 동식물 군집으로 복원한다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 생물들이 자연적으로 정착할 수 있도록 한다.</li> <li>● 적절한 종들을 들여온다.</li> </ul>
토착 생물종의 감소	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 침입종/외래종</li> <li>● 수문학의 변화</li> <li>● 토지이용의 변화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 침입종/외래종의 제거 (토착 생물들을 재정착하도록 한다)</li> <li>● 수문학의 변화를 거꾸로 되돌리게 한다.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 영향을 최소화하는 제거 방법을 택한다.</li> <li>● 외래종이 다시 재침입하지 않도록 제거를 반복한다.</li> <li>● 외래종의 착생을 방해하도록 생태학적 조건들을 바꾼다.</li> </ul>

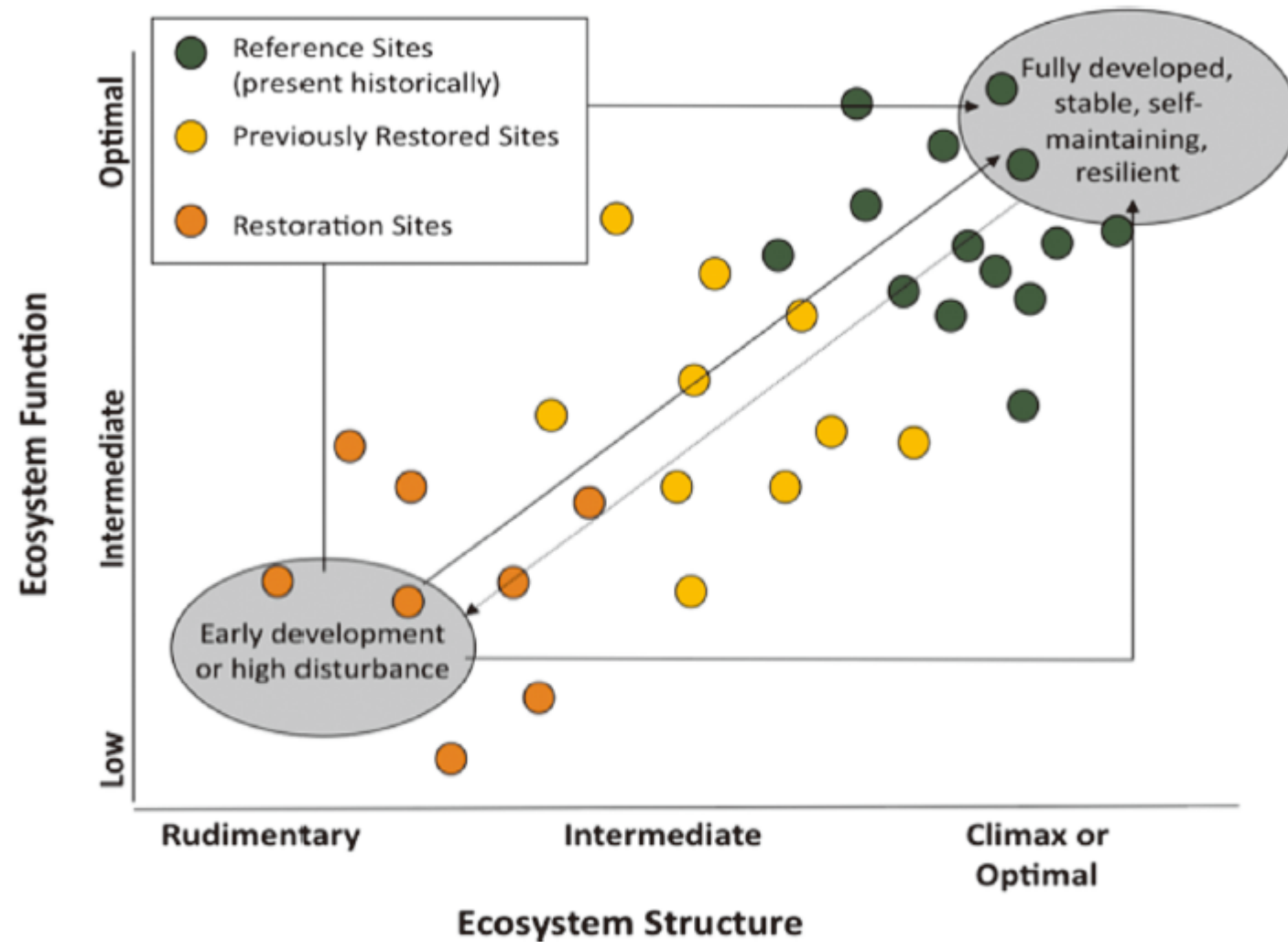
# 갯벌생태계의 설계



설계 항목 : ①지반(地盤)의 설계  
 ② 파랑에 대한 설계  
 ③ 생물의 서식처 조건 고려



**Fig. 4.** The linked components of an applied adaptive management program for ecosystem restoration.



**Fig. 5.** System development matrix. This type of matrix can be useful in tracking the progress of a project toward its goal, as well as determining the basic actions associated with each of the system ‘states’.