creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

공학석사 학위논문

방조제 건설로 훼손된 갯벌 복원을 위한 연구

2009 년 2 월

부 경 대 학 교 대 학 원

생 태 공 학 과

김 종 명

공학석사 학위논문

방조제 건설로 훼손된 갯벌 복원을 위한 연구

지도교수 이 석 모

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2009 년 2 월

부 경 대 학 교 대 학 원

생 태 공 학 과

김 종 명

김종명의 공학석사 학위논문을 인준함.

2009 년 2 월

주 심 공학박사 강 대 석 ㊞

위 원 공학박사 김 동 명 ㊞

위 원 공학박사 이 석 모 ㊞

목 차

Ⅰ. 서론 ····· 1

Ⅱ. 이론적 배경 ····· 4

1. 갯벌 ····· 4

가. 갯벌의 정의 ····· 4

나. 갯벌의 특성 ····· 6

다. 갯벌의 기능 및 가치 ····· 8

라. 갯벌분포 ····· 10

마. 훼손현황 ····· 13

2. 방조제 ····· 17

가. 방조제의 정의 및 현황 ····· 17

나. 방조제 건설의 장·단점 ····· 19

3. 생태공학과 복원 ····· 21

가. 생태공학의 정의 ····· 21

나. 생태학적 복원 ····· 23

다. 복원지침 ····· 25

4. 갯벌복원연구 및 사례 ····· 28

가. 국내 ····· 31

나. 국외 ····· 34

Ⅲ 연구방법 ····· 37

1. 복원대상지 선정 및 현황파악 ····· 37

2. 복원방법도출 ····· 38

3. 대상지별 복원방안제시 ····· 40

Ⅳ. 결과 및 고찰 ····· 42
1. 복원대상지 선정 및 현황 ····· 42
가. 복원대상지 선정 ····· 42
나. 복원대상지 현황 ····· 44
2. 복원방법 ····· 47
가. 수문복원 ····· 48
나. 토양복원(지형, 토성) ····· 95
다. 생물복원 ····· 70
3. 대상지별 복원방안 ····· 74
가. 농업용지 ····· 76
나. 농업용지 및 담수호 ····· 79
다. 나대지 ····· 87
Ⅴ. 결론 ····· 89
참고문헌 ····· 91

표 목 차

Table 2.1 Ecosystem function and values to human society of tidal flat ·· 8
Table 2.2 Ecosystem services provided by or derived from tidal flat ····· 9
Table 2.3 Tidal flat area by administrative district ·····2· 1
Table 2.4 Number and area of reclamation(1980~2006) ·····4··· 1
Table 2.5 Status of sea dike ·····81
Table 2.6 Examples of ecological engineering approaches for ecosystems according to types of application ·····2
Table 2.7 Restoration guidelines ·····72
Table 4.1 Area of restoration project site ·····64
Table 4.2 Three approaches and consideration in tidal flat restoration 7· 4
Table 4.3 Hydrologic restoration methods ·····25
Table 4.4 Soil restoration methods ·····06
Table 4.5 Characteristics of tidal flat soil ·····26
Table 4.6 Process, equipment and characteristic of top soil removal ···5· 6
Table 4.7 Comparison of mechanical dredge and hydraulic dredge ·····66
Table 4.8 Dredge criteria at impoundment ·····76
Table 4.9 Question for salt marsh design ·····57
Table 4.10 Characteristics of each type ·····58

그 림 목 차

Fig. 2.1 Tidal flats in Korea ····· 5
Fig. 2.2 Features of tidal flat ····· 7
Fig. 2.3 Geographical distribution of tidal flats in Korea ····· 11
Fig. 2.4 Area decrease tendency of tidal flat ····· 15
Fig. 2.5 Tidal flat damaged by sea dike construction ····· 20
Fig. 2.6 The contrasting approaches to the restoration of tidal flat ····· 32
Fig. 2.7 Systematic approaches to coastal ecosystem restoration ····· 33
Fig. 4.1 Seawater intrusion to agricultural land by breaking of sea dike ····· 45
Fig. 4.2 Hydrologic restoration methods ····· 85
Fig. 4.3 Conceptual diagram of tidal flat evolution with time since breacing ····· 86
Fig. 4.4 Soil restoration methods ····· 96
Fig. 4.5 Applicable plants to tidal flat ····· 117
Fig. 4.6 Conceptual diagram of agricultural land ····· 67
Fig. 4.7 Conceptual diagram of agricultural land and impoundment ····· 97
Fig. 4.8 Relationship between sea dike length and benefitted area ····· 28
Fig. 4.9 Classification of sea dike with benefitted area and length ····· 38
Fig. 4.10 Conceptual diagram of unimproved property ····· 88

Restoration of Tidal Flats Damaged by Sea Dike Construction

Jong Myung Kim

Department of Ecological Engineering, The Graduate School,
Pukyoung National University

Abstract

Tidal flats are breeding and nursery grounds for mollusks and fish. They also have function of water purification and characterized by a high productivity that supports important coastal fisheries. However, many tidal flats were reclaimed for agricultural land, industrial sites and urban areas and so forth. Especially the reclamation site where constructed sea dike have damaged not only the tidal flat but also the neighborhood of site. Therefore, this study provides a specific restoration plan. The plan starts to research the status of damaged tidal flats through sea dike construction and hydrologic restoration by dike removal or section breaching. Then soil improvement and organism introduction should be considered.

Ⅰ. 서론

건강한 생태계는 지속가능한 발전과 생물 다양성 보전을 위해 필수적인 요소이다. 생태계가 제공하는 생물자원은 인류 생계에 사용되며 국가 경제의 많은 부분들 역시 생태계의 다양성과 자연환경이 수행하는 기능 및 서비스에 의존한다(IUCN, 2000). 전세계적으로 자연환경의 보전과 복원에 대한 관심이 증대되고 있으며, 1992년 유엔개발회의(UNDEC)에서는 지속가능성의 개념 아래 지구환경보전의 필요성, 환경에 대한 배려의 필요성을 제시하였다.

우리나라는 1960년대 이후로 서해안 개발이라는 명분 아래 많은 연안의 갯벌 생태계가 매립·간척되었다. 우리나라 갯벌의 면적은 1964년에 조사에서 3,905 ㎢로 나타났으나, 2003년 해양수산부의 조사에서 갯벌의 면적은 2,550 ㎢로 나타나 갯벌이 점점 줄어들고 있는 추세이다(해양수산부, 2003a). 이러한 추세를 살펴볼 때, 2020년에는 약 1,700 ㎢ 이하의 갯벌이 남게 됨을 예측할 수 있다(홍, 2001). 현재와 같은 개발위주 성장논리와 정책의 변화가 없다면, 세계 5대 갯벌 중 하나인 우리나라의 갯벌 면적과 기능들이 사라지게 될 것이다.

그 대표적인 예로 대규모 매립·간척 사업인 시화호, 새만금 개발 사업 등은 갯벌의 훼손과 더불어 여러 문제점을 야기하였다. 이는 전문가뿐만 아니라 국민들도 갯벌의 가치에 대해 다시 생각하는 계기가 되었고, 갯벌에 대한 인식의 전환을 가져오게 하였다. 특히 우리나라는 방조제 공화국

이라 불릴 만큼 많은 방조제를 건설하여 갯벌을 파괴하였다. 방조제 건설로 조성된 담수호는 정체된 수역에 의해 오염 문제를 발생시키며, 방조제와 같은 해양구조물은 연안의 해수유동을 변화시켜 해안 지형의 변화와 인근 갯벌의 소실이나 변형을 야기하고 수산물 생산의 감소를 유발함이 밝혀지고 있다(한국환경정책·평가연구원, 2007). 이러한 상황에서 갯벌 파괴를 통한 무분별한 개발과 성장은 더 이상 국민의 지지를 얻기 힘들 것이며, 갯벌복원을 통한 연안의 현명한 이용이 필요한 시점이다.

해양수산부에서는 세계적 흐름에 맞추어 갯벌 생태계의 중요성을 인식하고 람사협약 가입과 그에 따른 이행사항으로 연안습지인 갯벌에 대한 조사와 연구를 수행하였다. 또한 습지보전법, 해양생태계의 보전 및 관리에 관한 법률, 연안관리법, 자연환경보전법 등이 제정되어 그동안 개발의 대상이었던 연안습지인 갯벌을 보전하고자 하는 노력이 진행되고 있다. 이러한 노력에도 불구하고 다른 한편에서는 여전히 많은 갯벌이 개발의 적지로 고려되는 상황이다.

방조제와 간척지에 대한 문제점이 제기되고 있고, 대규모 간척지에 대한 부정적인 사회적 여론이 형성되고 있지만 근본적인 대책이라 할 수 있는 갯벌복원에 관한 사례나 방법은 없는 실정이다. 따라서 본 연구는 방조제 건설로 인해 훼손된 갯벌 복원 시에 필요한 방법들을 제시하고자 하였다. 갯벌은 물리적 조건이 만족되는 곳에서 오랜 시간에 걸쳐서 이루어진 자연환경이며, 이를 복원하기 위해서는 갯벌 생태계 자체에 대한 이해뿐만 아니라 인간 활동에 의한 훼손원인 파악 등 종합적인 접근과 여러 상황에 대한 고려가 필요하다. 그 중 갯벌의 세 가지 특성인 수문, 토양, 생물은 서로 밀접한 관계를 가지고 있으며, 갯벌 형성에 가장 중요한 부분을 차지하고, 갯벌의 생태학적 특성을 설명하기 때문에 복원에 있어서 중요한 인자

로 사용될 수 있다. 본 연구에서는 방조제 건설로 훼손된 갯벌들의 이용 형태에 따라 복원대상지를 선정하고, 국내에서 기존에 연구되고 있던 연안 서식지 조성 방법과는 다른, 방조제 건설로 훼손된 갯벌에서의 수문, 토양, 생물 복원방법들을 국내·외 문헌과 사례조사를 통해 도출하고자 하였다. 그리고 선정된 복원대상지들에 대한 갯벌 특성별 생태공학적 복원방안을 제시하고자 하였다. 이와 같은 기초연구로 앞으로 수행될 국내 갯벌의 복원사업에 기여하고자 한다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

Ⅱ. 이론적 배경

1. 갯벌(Tidal flat)

가. 갯벌의 정의

갯벌이란 '조수가 드나드는 바닷가나 강가의 넓고 평평하게 생긴 땅'(www.encyber.com), '밀물 시에는 바닷물로 덮여 있으나 썰물 시에는 육지로 드러나는 연안가로서 바닥이 모래와 뻘로 이루어진 평평한 지형'과 같이 정의되어 진다(고, 2001). 또한 습지보전법에서 습지는 담수·기수 또는 염수가 영구적 또는 일시적으로 그 표면을 덮고 있는 지역으로서 내륙습지 및 연안습지로 나누고 있고 그 중 연안습지는 만조시에 수위선과 지면이 접하는 경계선으로부터 간조시에 수위선과 지면이 접하는 경계선까지의 지역을 말하고 있다(Fig 2.1).

우리나라 습지보전법의 정의에서는 연안습지를 조간대와 동일하게 생각하고 있으나, 조간대에는 갯벌뿐 아니라 바위해안, 모래해안 등이 존재하므로 갯벌은 연안습지에 포함되는 개념이다(해양수산부, 2003b). 또한 갯벌지역은 염습지, 갯벌, 해조장으로 연결되는 대표적인 육상과 해양의 점이지대이며, 갯벌을 염습지 및 해조장과 구분 짓기 보다는 갯벌생태계로 보는 것이 바람직하다.

Fig. 2.1 Tidal flats in Korea.

나. 갯벌의 특성

갯벌을 포함한 염습지, 늪, 맹그로브 등은 습지라는 큰 형태에 포함된다. 이들 각각은 크게 공통된 세 가지 특징을 지니고 있다(Fig. 2.2).

1. 습지는 퇴적물 표면이나 식물의 뿌리 부분에 물이 존재하는 것으로 구분가능하다.
2. 습지 토양은 주위의 육상과는 다른 독특한 토양환경을 가지고 있다.
3. 습지는 습윤 조건에 적응한 식물을 지지하므로, 침수에 견디지 못하는 식생이 없는 것이 습지의 특징이 될 수 있다(Mitsch and Gosselink, 2000).

따라서 습지인 갯벌도 위의 세 가지 특징을 지니고 있으며, 갯벌만의 독특한 특징도 지니고 있다. 정의에서 알 수 있듯이 갯벌은 해안가에 위치하여 조수나 강의 영향을 받고 기질이 모래나 뻘로 된 지역을 말한다. 갯벌의 형성을 위해서는 지형적으로 폐쇄되어 해안을 침식하는 파랑의 작용이 약해야 하고 유입 하천에 의한 토사의 퇴적 작용이 있어야 한다. 또 간조 때 노출되는 평탄한 지형이 넓으려면 조차가 커야하며 모래나 펄이 쌓이기 위한 오랜 시간이 필요하다. 하천은 퇴적되는 토사의 유입 뿐 아니라 갯벌에서 생활하는 생물들의 먹이를 공급하는 역할을 하며, 하구 주변에는 크고 작은 갯벌이 나타난다(홍, 1998 ; 해양수산부, 2005b). 저서동물, 미세 저서조류, 식물플랑크톤, 염생식물 및 물새류 등은 만조와 간조시의 급격한 환경 변화와 염수, 기수 환경에 견딜 수 있는 갯벌 생태계에 적응한 생물이다. 갯벌을 구성하는 무생물 환경은 크게 수문과 토양으로 구분되며, 수

문은 조석활동에 의한 간조와 만조, 하천의 담수 유입 등으로 토양과 생물에 영향을 주며, 토양은 갯벌을 형성하며 생물이 살아가는 기반이다. 이러한 무생물 환경의 변화에 따라 서식하는 생물이 달라지며 생물의 작용으로 수문과 토양환경이 영향을 받을 수 있다.

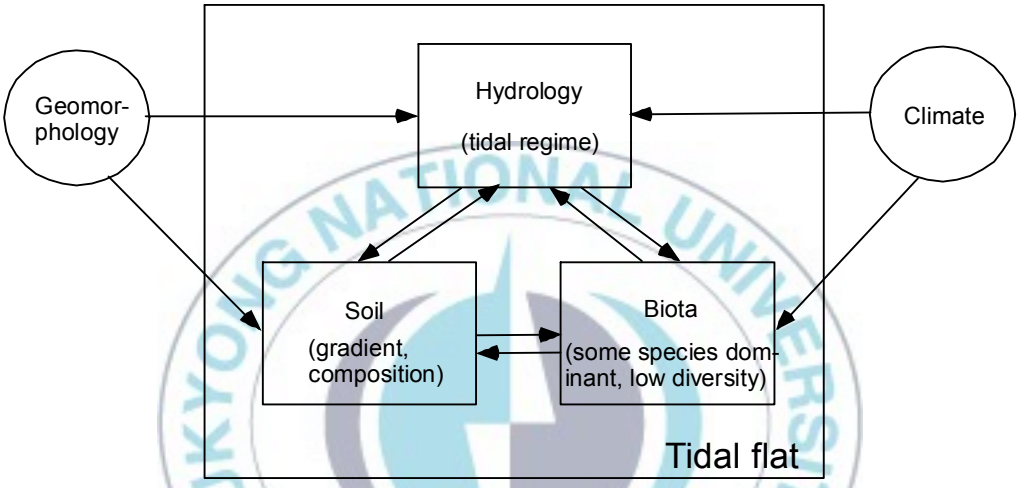

Fig. 2.2 Features of tidal flat.

(Redrawn from Mitsch and Gosselink, 2000)

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

다. 갯벌의 기능 및 가치

그 동안의 무분별한 개발은 갯벌의 기능 및 가치에 대한 과학적인 검증이나 인식의 부족에서 비롯되었다. 갯벌은 수산생물의 산란장, 성육장, 생산장의 기능뿐만 아니라 연안해역의 부영양화를 감소시키는 수질정화기능을 가지고 있다(해양수산부, 1999). Short et al.(2000)의 연구에서는 갯벌의 기능과 가치에 대해서 Table 2.1과 같이 설명하였으며, Millenium Ecosystem Assessment(2005)는 갯벌 생태계가 제공하는 서비스를 Table 2.2와 같이 설명하고 있다. 이러한 기능들은 갯벌의 세 가지 특성이 건전하게 유지되고 있을 때 수행되며, 우리는 갯벌에서 여러 가지 편익들을 얻을 수 있다.

Table 2.1 Ecosystem function and values to human society of tidal flat

Fuctions	Values
Epibenthic and benthic production	Foraging for fish, crabs, and birds, and support of food web, fisheries, and wildlife
Primary production via benthic algae	Food for herbivores, support of fisheries and wildlife
Nutrient regeneration and recycling	Support of primary production and fisheries
Sediment filtration and trapping	Improve water quality and counter sea level rise

(Short et al., 2000)

Table 2.2 Ecosystem services provided by or derived from tidal flat

Services	Comments and Examples
Provisioning	
Food	production of fish, algae, and inverterbrates
Regulating	
Climate regulation	regulation of greenhouse gases, temperature, precipitation, and other climatic processes; chemical composition of the atmosphere
Biological regulation	resistance of species invasions; regulation interactions between different trophic levels; preserving fuctional diversity and interactions
Natural hazards	flood control; storm protection
Cultural	
Spiritual and inspirational	personal feelings and well-being
Recreational	opportunities for tourism and recreational activities
Aesthetic	appreciation of natural features
Educational	opportunities for formal and informal education and training
Supporting	
Biodiversity	habitats for resident or transient species
Soil formation	sediment retention and accumulation of organic matter
Nutrient cycling	storage, recycling, processing, and acquisition of nutrients

(Millennium ecosystem assessment, 2005)

라. 갯벌분포

해양수산부(2003a)의 자료에 의하면 2003년 우리나라 갯벌의 전체 면적은 2,550 ㎢이고, 이는 국토 면적의 2.5 %에 해당한다. 한국의 서·남해안의 해안선은 복잡할 뿐 아니라 크고 작은 만들이 다수 존재하며, 한강, 금강, 만경강, 동진강, 영산강, 섬진강, 낙동강 등 큰 강들의 하구가 존재한다. 그리고 해안은 경사가 완만하며 조차가 매우 크다. 이러한 우리나라의 환경은 갯벌이 형성되기에 적합하며, 이중 서해안에 전체 갯벌 면적의 83 %가 분포하고 나머지는 남해안에 산재되어 있다. 행정구역별로는 Fig. 2.3에서와 같이 경기(인천)가 36 %, 충남 14 %, 전북 5 %, 전남 40 %, 경남과 제주가 5 %를 차지하며 시, 군별 세부 면적은 Table 2.3과 같다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

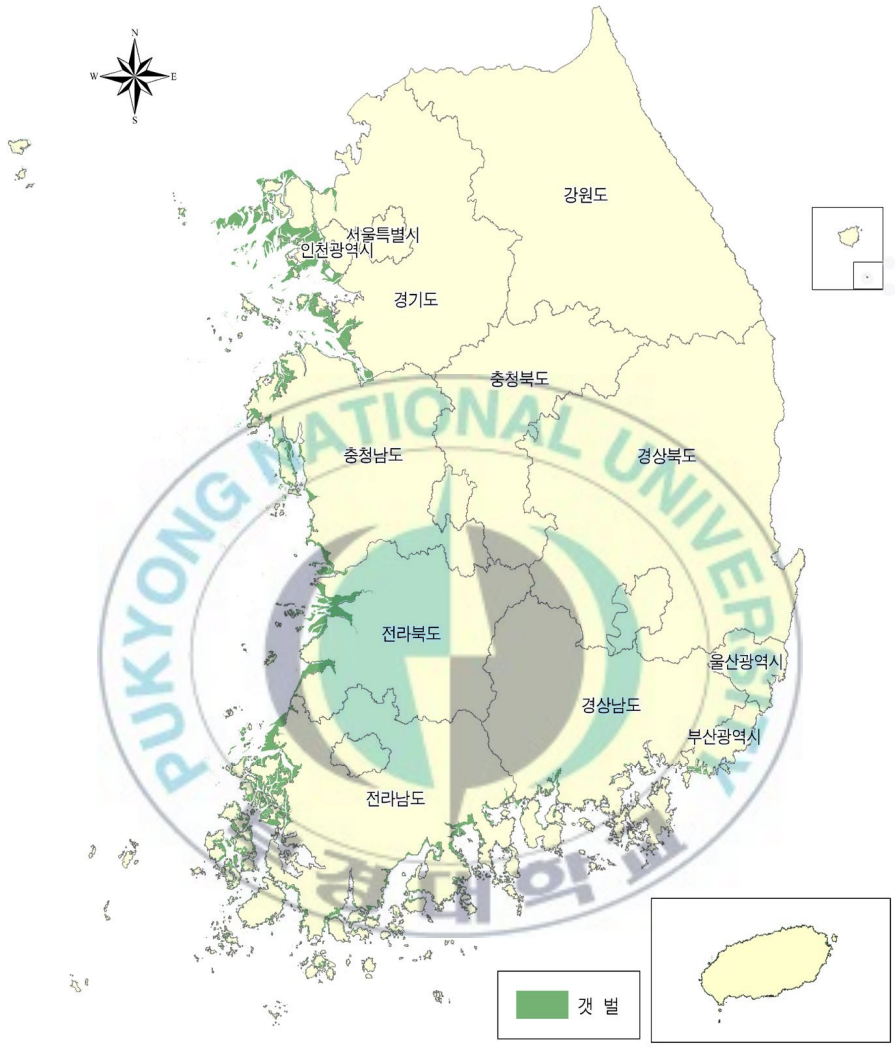

Fig. 2.3 Geographical distribution of tidal flats in Korea. (해양수산부, 2007a)

Table 2.3 Tidal flat area by administrative district

Administrative district		Tidal flat area (㎢)	Administrative district		Tidal flat area (㎢)
Incheon	Jung-gu	202.7	Gyeonggi	Pyeongtaek-si	18.7
	Ganghwa-gun	234.6		Ansan-si	64.6
	Ongjin-gun	299.8		Hwaseong-si	68.7
	Total	737.1		Gimpo-si	25.8
Chungnam	Boryeong-si	44.5		Total	177.8
	Seosan-si	65.3	Jeonbuk	Gunsan-si	30.9
	Seocheon-gun	68.8		Gochang-gun	70.9
	Hongseong-gun	13.3		Buan-gun	30.2
	Taean-gun	143.6		Total	132.0
	Dangjin-gun	31.8	Jeonnam	Mokpo-si	5.7
	Total	367.3		Yeosu-si	40.4
Gyeongnam (Busan)	Masan-si	4.7		Suncheon-si	26.4
	Jinhae-si	1.3		Gwangyang-si	15.7
	Tongyeong-si	8.7		Goheung-gun	81.6
	Sacheon-si	28.3		Boseong-gun	37.3
	Geoje-si	6.6		Jangheung-gun	25.0
	Goseong-gun	9.5		Gangjin-gun	2.9
	Namhae-gun	20.5		Haenam-gun	64.4
	Hadong-gun	11.8		Muan-gun	146.5
	Busan	27.2		Yeonggwang-gun	130.1
	Total	118.6		Wando-gun	64.8
				Jindo-gun	31.8
				Sinan-gun	344.8
				Total	1,017.4

(해양수산부, 2007c)

마. 훼손현황

갯벌의 가장 많은 훼손 유형은 매립·간척이며, 기록에 의하면 고려시대부터 소규모 간척이 이루어지기 시작하였다. 해방이후로 간척사업은 점차 대규모로 이루어졌으며 주로 농지확보와 담수호 확보를 위함이다. 간척은 연안의 간석지 또는 호소에 제방의 축조 등 공사를 시행하고, 간만의 차를 이용해서 내부의 물을 배제한 후 토지를 새롭게 창출하여 필요한 용도로 사용하기 위한 것이다. 즉 농경지 또는 염전 등의 목적으로 사용할 계획으로 방조제공사를 시행하여 일정 수역을 설정하고 방조제 내부의 물을 배제시켜 토지로 조성하여 사용하는 행위 등을 말한다. 이에 반해 매립은 다른 곳에서 토사 등의 물질을 인위적으로 운반해 해안에 투여하여 해면의 최고수위 이상으로 지반을 높이는 것으로서 항만, 공업단지 및 도시용지 등의 토지를 생성시켜 확보하기 위한 것이다. 간척과 매립은 엄격히 따지면 구분되지만 보통 매립은 간척의 한 부분으로 보고 있으며, 공유수면 매립법에서는 매립으로 정의하고 있다(농어촌진흥공사, 1995).

매립·간척에 의한 갯벌 훼손 면적은 정확히 산정할 수 없다. 1980년에서 2006년까지의 공유수면매립 면허수와 면적을 보면, Table 2.4와 같이 전체 면허 면적 1,414.242 ㎢ 중 약 10 %인 139.358 ㎢만이 준공되었고, 이는 면허 350건 중 193건에 해당한다. 나머지 지역은 공사 추진 중에 있으며 준공 면적 비율을 보았을 때 각 시행자들이 공유수면매립 면허를 선점하기 위해 계획에 참여했다고 생각된다. 또한 이를 용도별로 분류해 보면 농업용지의 면적이 60 %이상을 차지하며 공업용지, 도시용지 순으로 나타났으며 주로 간척농지 조성을 위한 매립·간척계획임을 알 수 있다. 2001년에서 2011년까지의 제 2차 공유수면매립계획은 400.786 ㎢ 중 8.6 %인

34.428 ㎢ 만이 반영지구로 평가되고 있다(해양수산부, 2001c).

Table 2.4 Number and area of reclamation(1980~2006)

Classification	License		Completion	
	Number	Area(㎢)	Number	Area(㎢)
Total	350	1,414.242	193	139.358
Industrial Area	19	309.827	71	40.533
Urban Area	160	106.682	100	11.334
Agriculture Area	26	970.737	7	84.639
Power plant Area	18	15.669	9	2.062
Waste treatment Area	7	8.924	2	0.523
Others	20	2.403	4	0.267

(해양수산부, 2006)

우리나라의 갯벌 면적은 매립·간척에 의해 점차 감소되어왔으며, Fig. 2.4는 우리나라 갯벌의 감소추세를 나타내는 그래프이다. 연도별 측정된 면적은 1964년 3,905 ㎢, 1979년 3,102 ㎢, 1987년 2,815.4 ㎢이며, 가장 최근의 2003년 조사에서는 2,550.2 ㎢로 조사되었다. 이러한 추세라면 2020년에는 약 1,700 ㎢의 갯벌만이 존재할 것으로 예측되며, 이는 우리나라 갯벌이 심각하게 훼손되고 있음을 나타낸다(홍, 2001).

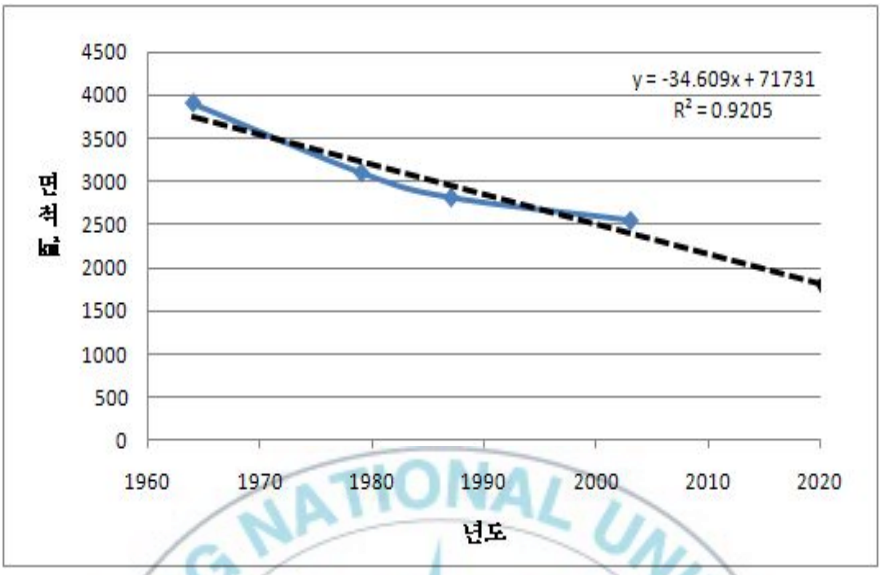

Fig. 2.4 Area decrease tendency of tidal flat.
(홍, 2001)

또한 최근 조사에 따르면 매립·간척뿐만 아니라 다양한 문제점들이 제시되고 있으며, 보호구역지정·관리, 매립·간척, 양식장 관리, 관광, 수질·온배수관리 관련 쟁점으로 분류해 볼 수 있다. 보호구역 지정·관리관련 쟁점은 생태적으로 가치가 있고, 경관적으로 우수한 갯벌에 대해 습지보호지역 등 각종 보호구역으로 지정하려는 중앙·지방정부와 보호지역 지정에 따른 행위제한 및 재산권 제약 등의 이유로 반대하는 지역주민간의 갈등이 주를 이루고 있었다. 매립·간척 관련 쟁점사항으로는 1990년대 중반 이후 제기된 대표적 갈등사례인 새만금 간척사업 뿐만 아니라 각 갯벌 지역마다 수립된 중·소규모 매립계획과 개발 계획과 관련된 이해당사자간의 이해상충의 문제가 제기되고 있다. 그 외 새우양식장, 육상수조 양식장에서 배출되는 오염물질로 인한 갯벌생태계 파괴 등의 문제, 기타 펜션단

지 조성, 관광객 급증에 따른 갯벌환경 훼손 등이 주요한 갯벌 쟁점으로 파악된다(해양수산부, 2005a). 이러한 문제점들은 단순한 매립·간척의 문제를 벗어나서 갯벌을 보전하고 관리하는데 나타난 문제점들로서 사회 인식변화로 이제는 갯벌보전과 관리를 통한 지속가능한 이용에도 많은 관심이 집중되고 있음을 알 수 있다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

2. 방조제

가. 방조제의 정의 및 현황

방조제의 사전적 정의는 '높이 밀려드는 조수의 피해를 막기 위하여 바닷가에 쌓은 둑'이며, 매립·간척을 위해 바닷물의 유입을 막기 위한 목적으로 만들어졌다(농어촌진흥공사, 1995). 방조제관리법과 농어촌정비법 제 2조의 정의에서 방조제는 농업을 목적으로 해안에 설치된 제방과 농지 보전이나 농업 생산에 이용되는 농업생산기반시설로 보고 있다.

방조제의 현황자료는 해양수산부(www.coast.kr/portal)와 농림부(2007)에서 확인할 수 있으며, 해양수산부의 연안통계 중 재해를 방지하는 목적에서 방조제 현황을 제시하고 있으며, 농림부에서는 농업 생산에 이용되는 생산기반시설로 보고 있다. 이러한 두 부서간의 입장 차이는 사회적으로 많은 이슈를 낳고 있는 갯벌에 대해서 우리나라의 정책이 획일화 되지 않았음을 알 수 있는 부분이다. 농업생산기반시설로 관리되는 방조제는 국가 관리 지구가 159개소, 지방자치 단체 1,425개소로 등 총 1,594개 지구에 방조제가 설치되어 있으며 총 1,956조, 1,130.9 km에 이르며, 방조제 건설로 형성된 농지면적이 1,531 ㎢ 에 이른다(Table 2.5).

Table 2.5 Status of sea dike

Administrative district	No. of project unit	Area (㎢)	Sea dike		Tidal sluice	
			Line	Length (km)	Place	Each gate
Total	1,594	1,531	1,956	1,130.9	2,189	4,246
Busan	2	1	4	5.4	5	6
Incheon	108	54	158	140.9	166	318
Ulsan	1	–	1	0.2	2	5
Gyeonggi-do	48	20	117	84.8	111	227
Chungcheongnam-do	280	462	311	168.7	368	613
Jeollabuk-do	57	167	65	117.7	121	232
Jeollanam-do	960	801	1,132	554.4	1,258	2,518
Gyeongsangnam-do	137	26	168	58.6	157	327
Jeju-do	1	–	–	0.2	1	–

(농림부, 2007)

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

나. 방조제 건설의 장·단점

간척사업은 개발목적에 따라 해면간척, 호소간척, 하구간척, 매립간척으로 구분된다. 이 중 우리나라에서 실행되는 대부분의 방법은 해면간척으로 간석지를 방조제로 둘러싸서 해수유입을 차단하고, 내부의 물을 배수갑문이나 배수펌프로 배제시켜 내부 토지를 이용하는 것이다(농어촌진흥공사, 1995). 이처럼 간척을 위해서는 방조제 건설이 선행되어야 하며, 이로 인해 내부 갯벌이 파괴된다. 우리나라에서는 1960년대 이후로 도시용지, 농업용지, 산업용지 등을 확보하기 위해 서해안을 중심으로 대규모 매립·간척사업이 이루어졌고, 이를 통해 우리나라 방조제 건설 기술은 상당한 수준에 이르렀다. 세계 최장 33 km 새만금방조제와 조석량 9억 ㎥의 시화호 방조제 건설이 그 기술을 입증한다(www.reclaim.hari.go.kr).

방조제는 간척을 통한 농지조성과 용수의 확보뿐만 아니라 교통로의 기능과 홍수조절, 염해방지 등의 간접적인 기능이 있다(경기개발연구원, 2007). 농어촌진흥공사(1995)의 연구에서 우리나라의 간척자원의 입지적 여건은 조석간만의 차가 크고, 바다수심이 얕으며, 만이나 섬 등의 자연 구조물로 인해 파도나 바람을 막아주는 등의 장점이 있음을 알 수 있다. 하지만 이러한 조건들은 갯벌이 형성되기 위해 필요한 조건과 유사하며, 방조제 건설에 의한 개발은 갯벌의 축소뿐만 아니라 생태계의 파괴, 서식지 소멸, 수질악화 등의 문제점이 야기한다(Fig. 2.5). 방조제 건설을 통해 담수호를 조성하게 되면 유역의 하천으로부터의 영양물질 등이 담수호에 축적되어 부영양화와 오염을 일으키며, 이 담수를 방조제 밖으로 배출할 경우에는 해양오염을 일으키게 된다. 또한 매립·간척을 위한 해양구조물은 해수유동을 변화시키며 이로 인해 해안 지형의 변화와 인근 갯벌의 소실이나

변형을 야기하며, 결국 방조제 건설로 인한 매립·간척은 갯벌이 가지고 있는 여러 기능들을 사라지게 한다(홍, 1998, 2001 ; 한국환경정책·평가연구원, 2005, 2006, 2007 ; 해양수산부, 2005a). 갯벌의 감소는 해양생물의 산란장과 서식지의 상실이며, 주변 생태계와의 단절로 인한 생물다양성의 감소와 수산물 감소로 어민들의 생계수단이 사라지게 된다. 대표적인 예로 시화호 간척사업이 있으며, 이러한 사업은 갯벌의 훼손과 함께 다른 생태계에도 악영향을 일으키기 때문에 사회적인 관심이 큰 상태이다. 오염문제를 해결하기 위한 방법으로 유역에 인공습지를 조성하거나 추가적인 하수처리장의 건설 등의 방법이 제시되었으나, 결국은 해수소통을 통해 담수호를 포기하였으며, 방조제를 활용한 조력발전을 준비를 하고 있다(시화호 관리위원회, 2008).

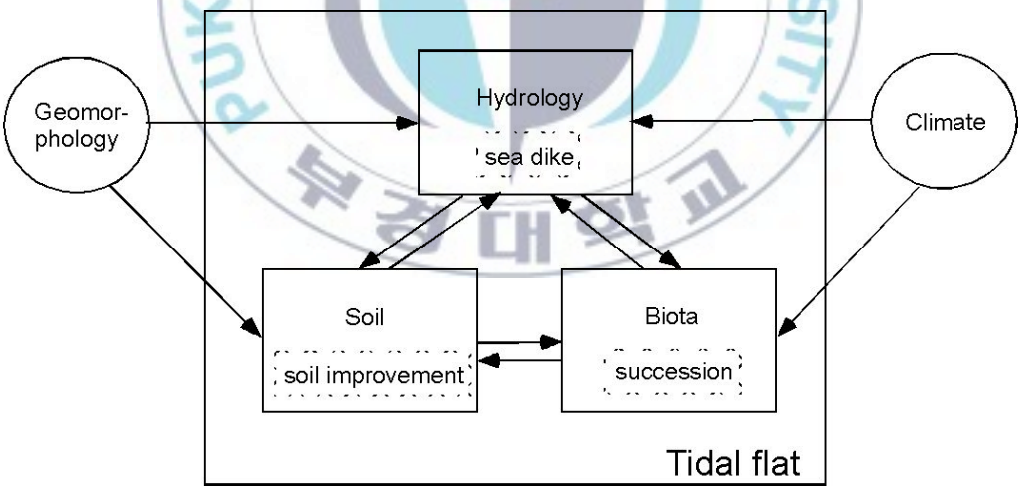

Fig. 2.5 Tidal flat damaged by sea dike construction.
(Redrawn from Mitsch and Gosselink, 2000)

3. 생태공학과 복원

가. 생태공학의 정의

대부분의 학문은 과학에서 시작하여 그것을 응용하는 공학으로 발전한다. 생태공학은 생태학과 공학의 학문을 통합하여 환경문제를 해결하고자 하는 학문이다. 생태학이란 생물과 그를 둘러싼 환경과의 상호관계를 연구하는 학문이고 공학이란 인간의 삶에 유익하게 변환 또는 개발시키는 모든 수단 및 이와 관련된 지식을 말하며, 경험에서 나오는 이론들을 도구로 이용하여 유용한 것을 만드는 절차를 말한다(Kangas, 2003).

생태공학은 인간사회와 자연환경이 통합된 생태계를 둘 모두의 이익을 위해 지속가능하도록 설계하는 것이며, 이는 인간과 자연 모두에게 유익한 지속가능한 생태계를 창조하고 복원하는 것을 포함하고 있다. 생태공학의 목표는 환경오염, 토양교란 등과 같은 인간의 활동에 의해 교란된 생태계의 복원 및 인간을 포함하는 생태학적인 가치를 지니는 새로운 지속가능한 생태계의 개발이다. 이를 생태학적 복원이라고도 한다. 생태공학은 다음의 다섯 가지 개념을 가지고 있다.

1. 생태계의 self-design 능력에 기반을 두고 있다.
2. 생태학적인 이론을 검증할 수 있다.
3. 시스템적인 접근을 한다(전체적인 접근법).
4. 재생불가능한 에너지 자원을 보존한다.
5. 생태계의 보전을 돕는다(Mitsch and Jorgensen, 2004).

나. 생태학적 복원

National Research Council(1992)에서는 생태학적인 복원의 정의에 대해 훼손이 일어나기 이전의 상태와 유사한 상태로 생태계를 되돌리는 것이라고 하였고, Society for Ecological Restoration International(2004)에서는 훼손되거나 파괴된 생태계의 회복을 돕는 과정이라 정의하였다. Fig. 2.6은 생태계를 기능과 구조로 나누어 그에 따른 생태계 복원 과정을 나타낸 그림이다. 훼손된 생태계는 자연적 천이에 의해서 원래의 생태계로 돌아가게 된다. 하지만 이러한 과정이 오랜 시간 걸리기 때문에 인간의 도움으로 훼손된 생태계를 원래의 상태로 되돌리는 것에 도움을 주고자 하는 것이 생태학적 복원이라 할 수 있다. 이 그림을 갯벌 생태계에 비추어 나타내보면, 갯벌의 구조라고 할 수 있는 토양과 수문 등의 무생물 환경과 수산생물의 산란장, 성육장, 생산장, 수질정화 기능 등 생물환경의 축으로 표현할 수 있다. 이 역시 앞서 설명한 갯벌의 특성과 관련된 복원 노력과 동일하게 구조와 기능을 파악하여 복원 방안을 마련할 필요가 있다.

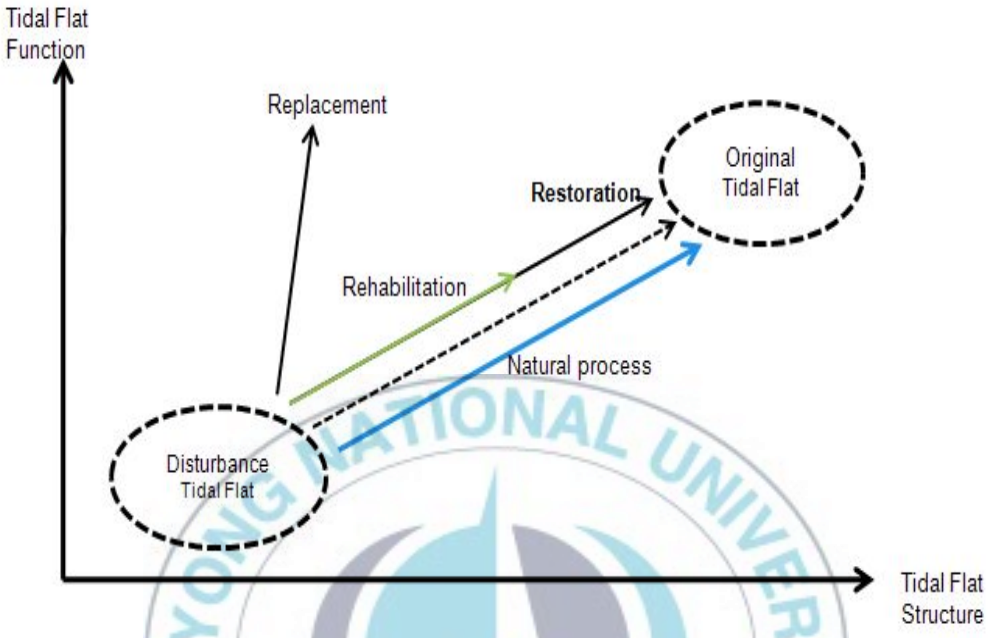

Fig. 2.6 The contrasting approaches to the restoration of tidal flat. (Redrawn from Bradshaw, 1997)

Table 2.6에는 생태공학적인 접근법과 그에 따른 사례가 제시되어 있다. 생태계를 이용한 다양한 방법을 통해 오염을 저감하거나, 자원문제를 해결할 수 있으며, 이러한 방법들을 활용하여 복원 방안 연구에 이용할 수 있다(Mitsch and Jorgensen, 2004).

Table 2.6 Examples of ecological engineering approaches for ecosystems according to types of application

Ecological Engineering approaches	Examples
1. Ecosystems are used to solve a pollution problem.	Phytoremediation Wastewater wetland
2. Ecosystems are imitated or copied to reduce or solve a resource problem.	Forest restoration, Repacement wetlands
3. The recovery of an ecosystem is supported after disturbance.	Mine land restoration Lake restoration
4. Existing ecosystems are modified in an ecologically sound way.	Selective timber harvest Biomanipulation
5. Ecosystems are used for benefit without destroying ecological balance.	Multi species aquaculture

(Mitsch and Jorgensen, 2004)

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

다. 복원지침

복원을 수행하는데 도움이 되는 자료로 국제생태복원학회, SER(2004, 2005)에서 제시하는 생태학적 복원의 입문서, 일반적인 생태계 복원지침, 미국 해양대기 관리처, NOAA(2003)의 체계적인 연안 생태계 복원 방안의 원칙들에 대해서 조사하였다. SER의 생태계 복원입문서와 지침, NOAA의 연안 서식지 복원을 위한 방안들에서 공통적으로 나타나는 부분과 우리나라 실정에 맞는 부분을 활용하여 갯벌 복원을 수행하는데 참고가 되고 복원의 질과 효율성을 높이는데 도움을 줄 수 있는 자료로 판단되었다.

(1) SER의 생태계 복원지침

육상, 수생생태계 등 세계 어느 지역의 복원에도 적용할 수 있는 총 51가지 지침들은 크게 개념적 계획 단계, 사전 작업, 실행 계획, 복원 실시, 사후 작업, 평가 및 공개의 과정으로 나눌 수 있다. 첫 번째 단계인 개념적 계획 단계는 복원 지역과 경계, 지역의 소유주, 노동력, 복원자금, 공사기간, 관련법규, 구체적인 복원 목적 등 계획이 시작되기 전에 조사해야 할 사항들을 포함하고 복원 지역에 대한 특징을 나타낸다. 두 번째는 사전 작업으로서 복원 디자인을 잘 설명하기 위한 기구 형성을 비롯한 복원 사업에 필요한 기반을 구축하는 단계이며 목적의 수정 등이 일어날 수 있다. 세 번째는 복원계획단계로 복원 목표를 인식하여 수행하여야 할 일에 대한 설명과 전체적인 복원의 디자인에 대해 설명한다. 어떻게 하면 쉽게 작업이 시행되는지를 반영하고 고려하는 단계이다. 네 번째는 실행 계획에 의한 복원을 실시하는 단계이다. 계획이 빈틈없고 검사를 충분히 하였다면, 예산 내에서 무리 없이 실행될 수 있다. 다섯 번째는 사후 작업으로 복원

실시를 관리하고 목표에 적합한지 확인하는 단계이다. 마지막은 복원의 목적과 목표가 충족되었는지를 확인하기 위해 수행되는 평가 단계이다(Table 2.7).

SER(2004)에서는 복원계획에서 반드시 포함되어야하는 사항으로 다음의 사항을 제시하였다.

1. 왜 복원이 필요한지에 대한 근거
2. 복원 지역의 생태학적 특성
3. 복원 프로젝트의 목적과 목표에 대한 설명
4. 참조지역(reference site)의 지정과 설명
5. 복원지역의 유기물과 물질을 통합하는 복원에 대한 설명
6. 대상지에 대한 준비, 설치, 설치 후의 행동, 사업 중간의 즉각적인 수정을 위한 정확한 계획, 일정과 예산
7. 복원을 평가할 수 있는 명확한 성과 지표와 모니터링 계획
8. 복원된 생태계의 장기적인 보전, 유지 전략

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

Table 2.7 Restoration guidelines

Conceptual Planning	Identify the project site location and its boundaries Identify ownership Identify the need for ecological restoration Identify the kind of ecosystem to be restored Identify restoration goals Identify physical site conditions in need of repair Identify stressors in need of regulation or re-initiation Identify and list the kinds of biotic interventions that are needed Identify landscape restrictions Identify project-funding sources Identify labor sources and equipment needs Identify biotic resource needs and sources Identify the need for securing permits required by government agencies Identify permit specifications, deed restrictions, and other legal constraints Identify project duration Identify strategies for long-term protection and management
Preliminary Tasks	Appoint a restoration practitioner who is in charge of all technical aspects of restoration Appoint the restoration team Prepare a budget to accommodate the completion of preliminary tasks Document existing project site conditions and describe the biota Document the project site history that led to the need for restoration Conduct pre-project monitoring as needed Establish the reference ecosystem or "reference" Gather pertinent autecological information for key species Conduct investigations as needed to assess the effectiveness of restoration methods and strategies Decide whether ecosystem goals are realistic or whether they need modification Prepare a list of objectives designed to achieve restoration goals Secure permits required by regulatory and zoning authorities Establish liaison with interested public agencies Establish liaison with the public and publicize the project Arrange for public participation in project planning and implementation to fulfill cultural goals Install roads and other infrastructure needed to facilitate project implementation Engage and train personnel who will supervise and conduct project implementation tasks

Table 2.7 Restoration guidelines(contd.)

Implementation Planning	Describe the interventions that will be implemented to attain each objective Acknowledge the role of passive restoration Prepare performance standards and monitoring protocols to measure the attainment of each objective Schedule the tasks needed to fulfill each objective Obtain equipment, supplies, and biotic resources Prepare a budget for implementation tasks, maintenance events, and contingencies
Implementation Tasks	Mark boundaries and work areas Install permanent monitoring fixtures Implement restoration tasks
Post-implementation Tasks	Protect the project site against vandals and herbivory Perform post-implementation maintenance Reconnoiter the project site regularly to identify needs for mid-course corrections Perform monitoring as required to document the attainment of performance standards Implement adaptive management procedures as needed
Evaluation and Publicity	Assess monitoring data to determine whether performance standards are met and project objectives are attained Conduct an ecological evaluation of the newly completed project Determine whether cultural project goals were met Publicize and prepare written accounts of the completed restoration project

(SER, 2005)

(2) NOAA의 연안서식지 복원방안

복원을 수행하기 위한 방안을 다섯 가지 요소로 구분하였으며, 각각은 계획단계, 실행단계, 평가단계, 적응관리, 결과공개로 나누어진다.

계획단계는 사업의 목표 및 세부목적, 사업에 대한 성과지표의 수립이 포함된다. 목표와 성과지표의 설정에서 고려해야 할 요인으로는 시공간, 구조 및 기능 조건, 교란된 생태계의 잠재적 복원력 등이 있다. 이 단계에서 복원되는 시스템의 유형과 장소가 결정된다. 장소선택은 역사적 조건, 현재 변화의 정도, 현재의 생태적 조건, 기타 요인 등이 고려된다. 공학적 설계, 원가 계산, 일정, 긴급사태 대책의 수립이 계획수립에 포함된다. 실행단계는 현장 오염의 평가와 같이 요구되는 평가로 시작된다. 실행과정에서의 일반적인 실수를 피하기 위해 공사는 사업의 목적을 잘 인지하고 있는 누군가에 의해 관리되어야 하며, 사업의 성공을 위한 파트너로서 엔지니어와 계약자는 건설과정에서의 의사결정이 시스템의 개선에 기여할 수 있도록 중요한 역할을 수행한다. 평가단계에서는 지표를 활용하여 복원 수행의 성공을 확인할 수 있고, 성공 기준을 활용하여 필요한 부분에 대한 계속적인 노력이 가능하다. 적응관리는 수행된 복원에 대하여 관리를 하는 단계이며, 아무행동도 안하거나 시스템을 지속시키거나 필요시에는 목표를 바꾸어서 복원을 성공시키게 된다. 정보공개는 사업에 대한 완결된 정보를 가능한 한 광범위하게 보급하는 것이다. 사업의 모든 측면이 문서화되어야 하며, 미래계획에 대한 설계는 비용을 최소화시키고 성공가능성을 최대화시키기 위한 정보를 제공할 수 있다(Fig. 2.7).

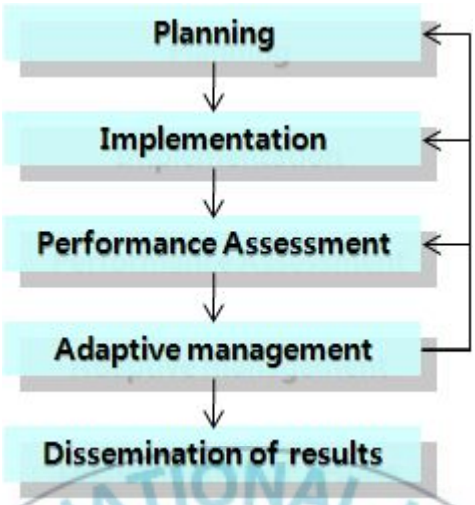

Fig. 2.7 Systematic approaches to coastal ecosystem restoration. (NOAA, 2003)

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

4. 갯벌복원연구 및 사례

가. 국내

갯벌의 훼손과 보전 사이의 대립은 해결되지 않는 문제이다. 과거 갯벌은 정부에 의해 국토확장과 농업용지 창출 등의 목적으로 이용되었으며, 갯벌에 대한 가치를 인식하지 못하여 무분별한 훼손이 진행되었다. 갯벌에 대한 국민의 인식은 람사협약 가입(1994년)과 시화호 오염 사건(1996년) 등을 통해 변화하였다. 갯벌의 중요성에 대한 인식변화로 자연환경보전법(1991년), 습지보전법(1999년), 연안관리법(1999년), 해양생태계의 보전 및 관리에 관한 법률(2006년) 등이 제정되었고, 이러한 법률의 제정은 기존의 개발 논리가 중요하던 시대에서 보전과 복원을 통한 지속가능한 개발로 변화되고 있음을 보여준다.

갯벌에 관한 연구로 고(1998)는 갯벌 관리와 앞으로 우리나라의 정책방향을 제시하고 있으며, 유와 김(1999), 김과 유(2000), 안과 백(2003)은 갯벌을 통한 오염물질 정화량 추정 실험을 통해 갯벌이 가지는 기능인 정화기능을 국내 갯벌을 대상으로 연구하였다. 이(1997), Kang(2001)은 갯벌의 가치 평가에 대한 연구를 통해 당시 논란이 되었던 간척논과 갯벌에 대한 경제학적 가치와 생태경제학적인 가치에 대한 연구를 수행하였다. 한국환경정책·평가연구원(2005), 맹과 홍(2008)은 훼손되는 갯벌의 피해영향을 최소화하는 방안에 대한 연구 등이 이루어져 갯벌 보전과 관련하여 정책 방향을 제시하려는 노력을 하고 있다. 이 외에도 갯벌의 조성과 관련된 연구(이와 서, 2000 ; 이와 이, 2000 ; 이 등, 2005 ; 이 등, 2007)는 자연갯벌의

조사와 인공갯벌과의 관계를 통해 조성 시에 필요한 기초적인 정보와 방법을 제공하고 있다.

습지보전법 상에서 갯벌의 보전과 복원의 의무를 지닌 해양수산부는 갯벌과 관련된 많은 연구를 수행하였다. 1999년부터 2005년까지 수행된 '갯벌 생태계조사 및 지속 가능한 이용방안 연구'는 우리나라 갯벌의 전반적인 현황과 도출되는 문제점들, 갯벌을 관리하고 보호구역의 지정과 생태지도의 작성 등 실질적인 갯벌의 관리에 필요한 사항을 분석을 통해 제시하여 일반적인 갯벌에 대한 이해와 정책 반영을 위한 정보를 제공하고 있으며, 2003, 2004년 수행된 '대체습지조성 중장기 계획'은 갯벌 조성을 위한 문헌조사와 현장실험 등을 수행하여 국내에 적합한 법률과 공학적인 조성지침을 마련하는 연구를 수행하였다. 2007년의 '연안 생태환경공간 복원/조성 기술'은 낙동강 하구를 대상지로 하여 주변의 물리적 환경에 대한 분석을 실시하였으며, 특징적으로 준설토를 재활용하여 갯벌의 지반을 구성하고 식재를 통해 생물량을 조사하였다. 2007년의 '완도·도암만 환경보전해역 생태계 관리복원 사업 연구'에서는 생태계 복원을 위한 방법으로 장치형 기구와 생물을 이용한 환경정화, 인공갯벌과 대체 서식지조성을 통한 복원을 제시하고 있으며, 인공적으로 조성된 댐의 제거를 통한 효과 및 사례를 들고 있다. 2008년의 '연안생태계 식생복원을 통한 연안관리 기술개발'은 연안생태계의 유형과 서식처 환경특성에 따라 염생식물의 군집과 분포양상이 다르고, 이러한 자료를 이용해서 적합한 대상지와 종을 선정하여 생물종 복원을 수행하였다. 최근에는 연안습지 조사 지침서(국토해양부, 2008c)가 발간되어 갯벌조사의 매뉴얼을 제시하고 있다. 한국해양연구원(2003)의 연구보고서는 훼손된 갯벌을 대체할 수 있는 연안 퇴적환경을 인공적으로 조성하여, 부유토사의 퇴적을 유도하는 방법과 그 시설개

발에 초점을 맞추어 진행되었으며, 환경부(2007)의 연구는 낙동강 하구를 대상으로 하여 잘피와 염생식물에 의한 영양염 제거와 갯벌에 의한 제거 기작을 확인하여 하구 갯벌의 생태학적 중요성과 기여도에 대해 연구하였다. 이상의 연구들은 갯벌과 관련된 요소들에 대해 과학적으로 접근하여 갯벌의 가치에 대한 인식을 넓히고 생태적인 복원이 가능하도록 도움을 주는 연구들이다. 하지만 위의 연구를 바탕으로 갯벌을 조성하거나 복원한 사례는 없는 실정이며, 자연 갯벌의 유지가 아닌 인공적인 노력으로 갯벌의 퇴적을 촉진하거나 생물 복원에 초점을 맞추고 있다.

국내에서는 매립·간척에 의한 훼손만 있었을 뿐 갯벌이 복원된 사례는 손에 꼽을 수 있을 정도로 드물며, 위의 연구들이 이용되기에 아직 여건마련이 부족하다. 대표적인 복원의 예로 순천만 갯벌이 있으며, 습지보전지역으로 지정되어 보호되고 있고, 람사협약에도 가입된 갯벌이다. 순천만 갯벌도 매립에 의해 농경지로 사용되어오다 1990년대 후반에 농지를 매입하여 갯벌과 갈대군락지역을 복원한 결과, 현재는 관광명소로 거듭났다(순천시, 2007). 해양수산부(2007a)의 '장흥 회진 ~ 신상간 매립지 통수시설' 조성사업은 1965년에 조성된 방조제를 허물고 농지에 바닷물을 소통시켜 복원하려는 계획에 있으며, 이로 인해 회진항의 수질정화와 수산업에 기여할 것으로 예상되며, 고창 지역의 폐염전과 폐축제식양식장은 지역에서 매입하여 갯벌로 복원하려는 계획(국토해양부, 2008a, 2008b)에 있다.

우리나라의 방조제 건설로 훼손된 갯벌은 간척지로 사용되고, 이런 간척지를 개발하거나 이용하기 위한 연구(농어촌진흥공사, 1995, 1996, 1999 ; 농촌진흥청 호남농업시험장, 2002 ; 농림부, 2005)는 활발하게 진행되어 상당한 기술을 보유하고 있는 반면 이 지역들을 다시 갯벌로 돌리는 복원 방법의 연구는 없으며, 이러한 점에서 본 연구가 간척지를 갯벌로 복원하는

사업에 도움을 줄 수 있다고 판단된다. 특히 우리나라의 경우 이미 많은 갯벌이 인간의 이용에 의해 훼손되었으며, 이제는 갯벌을 보호하고 보전하기 위해 적극적인 복원 방법에 관한 연구가 필요하다고 생각한다.

나. 국외

국내 갯벌을 보존하고 관리하는데 참고로 활용 될 수 있는 외국의 연안 서식지 관련 정책과 법률 등은 국내의 많은 연구보고서에서 상세히 설명하고 있다. 특히 미국의 경우 Mitigation제도를 통해 갯벌을 포함한 연안습지의 복원과 조성으로 순손실을 억제하고 있으며, 네덜란드, 독일, 덴마크에 이르는 Wadden Sea의 갯벌은 3국이 협력하여 보호하고 자연적인 과정을 통해 인간의 방해를 받지 않고 건강한 생태계로 만드는 것을 원칙으로 하고 있다(해양수산부, 2001b). 일본은 2002년 자연재생추진법을 제정하여 과거의 잃어버린 생태계나 자연환경에 대하여 보전, 복원, 창출하는 정책을 실시하고 있으며, 갯벌을 포함한 생태계가 이 법률의 대상이 된다(해양수산개발원, 2007).

위의 국가를 포함한 전 세계의 연안습지는 우리나라와 마찬가지로 과거부터 개발에 의해 급속한 감소가 있었으며, 인구증가와 사회기반시설개발, 매립·간척, 준설, 오염, 과잉수확 등 인간 활동에 의한 훼손이 가장 큰 원인이다(Millenium Ecosystem Assessment, 2005). 미국은 염습지, 갯벌, 맹그로브 등 연안 서식지 복원 사업이 활발히 진행되고 있는 나라이지만 갯벌의 경우 실질적인 복원이 이루어지지 못하고 굴, 조개류 등의 생산을 위한 복원이 주로 수행되었다(NOAA, 1998). 갯벌의 손실면적은 연안 서식지 중에서 가장 넓지만 식생이 있는 서식지에 대해 더 많은 관심이 있으며, 또

한 멸종 위기에 처한 야생동물과 철새의 서식지로 적합하므로 식생이 유지되는 염습지에 대한 비중이 크다(Zedler, 2001). 우리나라의 경우는 상대적으로 좁은 국토면적으로 매립·간척이 용이한 염습지는 이미 훼손되었으며(고, 2001) 갯벌이 넓게 발달된 특징을 지니고 있어, 자연환경의 차에 의해 그 비중에 차이가 있는 것으로 판단된다. 갯벌을 연안서식지의 일부로 생각했을 때 연안 서식지복원은 법률적인 보호를 통해 시작되었다. 미국의 경우 다양한 단체와 기구, 전문가들에 의해 복원을 수행되었으며, 이러한 복원사업들에 의해 복원 방법들의 창의적이고 다양한 접근이 가능하였다. 복원 초기에는 식물 식재에 초점이 맞추어졌으며, 물리적인 요소들은 부수적으로 고려되는 경우가 많았다. 그 후 복원방법이 발전하면서, 자연습지를 모방하거나 습지에 대한 조작을 통해 자연의 물리적 상태를 복원하는 것으로 연안습지 복원의 접근법이 바뀌었다. 이제는 소규모 염습지와 같은 대상지의 복원에서 하구 생태계와 같은 전체적인 복원으로 추세가 변환되고 있음을 알 수 있다(Williams and Faber, 2001).

네덜란드, 독일, 덴마크에 걸쳐 있는 Wadden Sea의 갯벌에 대해 세 국가에서는 보호조약을 만들어 보호구역으로 지정·관리하고 있으며, 갯벌 보존으로 인한 관광의 효과를 보고 있다. 특히 네덜란드는 국토면적이 해수면 보다 낮기 때문에 간척에 의해 국토 확장을 이룩한 국가이며, 따라서 실질적으로 복원을 하기가 쉽지 않다. 복원을 위해 방조제를 인위적으로 제거한 경우는 없으나 자연적인 폭풍우에 의해 제방이 훼손된 사례가 있었고, 계속해서 제방을 복구하였지만, 간척지의 경제적 가치가 하락과 복구비가 증가, 자연보전단체의 압박 등에 의해 자연 상태로 두어 계획되지 않은 염습지와 갯벌 복원이 이루어진 사례가 있다(Eertman et al., 2002).

일본은 우리나라보다 갯벌의 면적이 작지만 개발로 인하여 많은 훼손이

있었으며, 국가적으로 갯벌의 가치를 인식하여 갯벌조성을 통해 기능을 대체하려는 노력을 하고 있다. 하지만 퇴적물의 유실과 지반 침하 등의 어려움을 겪고 있으며, 갯벌의 실질적인 복원이라고 하기 보다는 친수공간 등으로 이용되고 있다. 일본의 나까우미 간척지는 사업 중에 시민과 환경단체의 압박에 의해 중도 포기한 경우이며, 방조제가 수행하던 교통로 이용을 위해 교량을 건설하고 방조제를 철거한 특징적인 사례라 할 수 있다(농림부, 1999).

연안의 어느 곳에서나 갯벌이 형성되는 것은 아니며, 없어져 버린 갯벌을 대체하기 위한 인공적인 갯벌조성은 쉽지 않은 문제이다. 일본의 사례에서 이를 확인할 수 있다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

Ⅲ. 연구방법

1. 복원대상지 선정 및 현황파악

복원을 수행하기 위해서는 복원대상지의 선택과 대상지에 대한 현황 확인 작업이 선행되어야 한다(SER, 2005). 국내 갯벌 복원대상지의 선정기준을 확인한 결과, 해양수산개발원(2007)에서 수행된 연구에서 복원대상지 선정기준을 확인 할 수 있었다. 이 연구의 목적은 갯벌복원에 따른 경제적 편익 추정을 위함이며, 복원대상지가 편익 측정기법과 연관되는 사항으로, 환경의 가치와 관련이 있다. 이 연구에서는 대상지 선정기준으로 생태계 회복가능성, 접근가능성, 사회적 인지도, 인근지역의 이용현황을 제시하고 있다. 이에 반해, 본 연구는 방조제 건설로 인해 훼손된 갯벌로서 이미 다른 용도로 변경되어 이용되는 지역들이 복원대상지가 된다. 앞선 이론적 배경에서 방조제가 건설된 지역은 수질오염의 문제와 해수 흐름에 장애를 야기하고 있으므로, 다른 생태계에 오염을 유발하는 지역을 복원대상지 선정기준으로 하였다. 또한 계획된 목적과 다른 용도로 사용되어 사회적 이슈가 되고 있는 인지도 측면을 선정기준으로 하였다. 국가 차원에서 간척지에 대한 복원을 계획하였던 지역이나 복원이 수행되었던 지역의 경우도 본 연구의 간척지 복원대상지 기준 수립과정에 포함될 수 있다. 본 연구의 복원대상지는 한국농촌공사에서 국내 연안에 대해 조사하여 제시하였던 한

국의 간척 자원과 반대의 개념으로 생각할 수 있다.

방조제 건설로 훼손된 갯벌의 복원대상지 선정 및 현황파악을 위해 간척을 시행해온 농촌공사와 갯벌을 관리하는 해양수산부의 자료를 이용하였으며, 문헌조사를 통해 갯벌 복원지역과 관련된 자료를 확인하였다. 선택된 복원대상지를 바탕으로 복원방안 수립에 필요한 훼손유형과 면적 등 일반적인 현황을 조사하였다.

2. 복원방법도출

앞서 설명한 바와 같이 우리나라의 경우, 갯벌 복원사업은 진행된 적이 없으나 갯벌 복원을 위한 방안으로서 인공갯벌 조성방법에 관한 실험실 규모의 연구가 진행된 바 있다. 그 내용은 갯벌의 퇴적물 유도와 생물가입 등 갯벌이 없는 지역에 새로운 갯벌 형성을 촉진시키는 연구였고, 생물가입을 통한 수질정화와 생물 도입에 관한 연구가 대부분이다. 이 연구들은 습지보전법 18조의 인공습지의 조성·관리 권장 (환경부장관·국토해양부장관은 생태계보전·습지환경개선 등을 위하여 관계중앙행정기관의 장 또는 지방자치단체의 장으로 하여금 인공적인 습지를 조성하도록 권장하고, 훼손된 습지의 주변에 해류·사구 등의 변화로 인하여 자연적으로 조성되는 습지를 가능한 한 유지 또는 보전하도록 하여야 한다.) 항목을 근거로 하고 있다. 위 조항의 경우 인공습지의 조성은 훼손된 대상지역이 아닌 인근 지역에의 조성, 즉 Mitigation 개념으로 생태계의 순손실을 방지하는 측

면이 강하여 오히려 개발행위를 조장할 수 있는 위험성이 있다.

이에 반해 본 연구는 인간에 의한 습지의 조성이 아닌 훼손이 일어났던 지역을 대상으로 하고 있으며, 복원에 대한 학술적 정의와 기타 복원지침(NOAA, 2003 ; SER, 2004)에서 제시하는 원칙들을 반영하여 훼손된 갯벌지역을 원래상태로 복원할 수 있는 방안을 모색하였다. 방조제 건설로 훼손된 갯벌을 훼손되기 이전의 갯벌로 복원하는데 있어 가장 큰 문제점은 Fig. 2.2에서 Fig. 2.5로의 갯벌 특성 변화와 같이 기존 갯벌생태계를 유지시켜주던 수문환경의 변화와 방조제 건설이후 내부이용을 위한 토양의 교란 후 생물 종이 변화한 것이라 할 수 있다. 갯벌은 수문, 토양, 생물이 서로 상호작용하는 생태계로서(Mitsch and Gosselink, 2000), 이 세 가지 특성들은 서로 밀접한 관계를 가지고 있으며 갯벌 형성에 가장 중요한 부분을 차지하기 때문에 세 가지 요소를 이전 환경과 유사하게 만들어 주는 것이 복원의 핵심이라 할 수 있다. 또한 갯벌복원의 목적과 목표는 기존 자연갯벌이 가지고 있는 기능과 가치와 관련 있으며, 이는 갯벌이 세 가지 특성을 만족했을 때 얻을 수 있는 것이다. 갯벌복원은 갯벌만이 아닌 전체 연안복원 과정에서 중요한 요소라 생각된다. 우리나라에서는 아직 방조제 건설로 훼손된 갯벌 복원과 관련된 사례를 찾을 수 없었으므로 각 요소에 대한 복원방법을 확인하기 위해 갯벌을 포함하는 연안 서식지 복원과 관한 국내·외 연구 자료와 사례들을 조사 분석하여 복원방법 수립을 위한 기초자료로 활용하였다. 이상에서 조사된 각 방법들을 방조제 건설로 훼손된 갯벌 복원에 한정시켜 생각하여 복원방법을 도출할 필요가 있다.

수문복원은 본 연구의 대상지 특성상 방조제에 국한시켜 생각하였으며, 방조제의 제거를 통한 복원이 가장 이상적인 방법이지만, 국내 상황을 고려하였을 때, 방조제의 장점인 교통로의 기능과 담수호에서 볼 수 있는 배

수갑문의 유/무, 노후화에 따른 재해 위험성 등에 따라 각 방법들이 다르게 적용될 수 있다. 토양복원은 방조제 체절 후 내부개발과 이용 등 대상지 마다 특징이 다르며, reference site 지형의 기울기와 고도, 기질 특성 등 갯벌의 형태유지에 중요한 환경을 인근 자연갯벌의 상태와 유사하게 만들어 주는 것이라 판단된다. 이를 위해 기 조사된 우리나라 갯벌 토양의 중요인자의 값을 바탕으로 그 범위를 제시하였으며, 토양인자로 입도분포, 강열감량, 저질COD, AVS, 구배를 이용하였다. 생물복원은 기존 자연갯벌이 가지는 수산물생산 기능, 생물 다양성 유지 등 복원의 목적과 목표에 따라 바뀔 수 있으며, 국내 갯벌의 가치 추정연구에서 가장 높은 비중을 차지하는 부분인 수산물생산 기능이 우선되어야 한다고 판단되었다.

3. 대상지별 복원방안제시

방조제 건설로 훼손된 갯벌 복원방안을 제시하기 위해 앞서 복원대상지에 대한 현황파악과 갯벌의 특징인 수문, 토양, 생물의 국내에 적합한 복원방법을 확인하였다. 이상의 결과에서 복원 대상지별로 수문, 토양, 생물복원의 방법과 순서가 다를 것이라 판단되며, 대상지의 일반적인 상황에 따른 복원방안을 제시하고자 하였다.

연안복원의 절차는 Fig. 2.7에서와 같이 계획, 실행, 평가, 적응관리, 결과공개의 다섯 가지 요소로 구성되며, 본 연구의 대상지별 복원방안은 계획 단계에서 고려되어야 할 사항들이다. 계획 단계에서는 복원의 목표 및 세부

목적, 복원에 대한 성과지표의 수립 등이 포함되며, 이 단계에서 복원되는 생태계의 유형과 장소의 파악 및 복원의 공학적 설계 수립이 설정되어야 한다(NOAA, 2003). 본 연구의 결과인 복원대상지 및 현황에서 복원대상지로 농업용지, 담수호, 염전, 양식장, 나대지로 구분할 수 있었다. 그 중 농업용지와 담수호는 방조제 내측에 농업용지가 존재하는 경우와 방조제와 농업용지 사이에 담수호를 조성하여 이용되는 경우로 나눌 수 있으며 나대지는 폐염전, 폐양식장을 포함하여 현재 간척지의 이용이 되지 않고 있는 지역으로 하였고, 각각에 대한 복원방법이 다를 것으로 판단된다.

성공적인 갯벌복원을 위해서는 인위적인 영향에 역행하는 방법이 필요하다(Gray et al., 2002). 따라서 간척과 내부개발에 반대되는 것이 복원방안이라 판단된다. 복원대상지별로 이용되고 훼손된 현황이 다르지만 공통적으로 고려해야할 요소들이 있으며, 이러한 요소에 대한 질문을 통해 적합한 방법들을 확인할 수 있다. 또한 복원대상지에 대한 개념도는 복원의 순서와 방법에 대해 구체적으로 설명할 수 있게 한다. 대상지별 복원방안을 제시하기 위해 앞서 조사하였던 대상지에 대한 현황자료와 갯벌 특성별 복원방법들, 연안습지 복원을 위한 설계지침서(California State Coastal Conservancy, 2004)를 활용하였다.

Ⅳ. 결과 및 고찰

1. 복원대상지 선정 및 현황

가. 복원대상지 선정

갯벌은 방조제 건설을 통한 매립·간척으로 농업용지, 도시용지, 공업용지, 발전용지, 쓰레기용지, 담수호, 양식장, 염전 등으로 그 이용범위가 다양하다. 본 연구에서 제시한 복원대상지 선정기준은 계획했던 목적과 다른 용도로 사용되는 지역, 다른 생태계에 오염을 유발하는 지역, 복원이 이루어졌거나 복원계획 중인 지역이며, 복원대상지 선정을 위해 문헌조사를 실시하였다.

먼저 계획했던 목적과 다른 용도로 사용되는 지역으로 내부개발이 실시되지 않고 있는 개발 유보지, 간척 후 버려진 지역이나 이용도가 낮은 곳, 즉 나대지를 생각할 수 있다. 우리가 익숙히 알고 있는 새만금 사업의 경우, 농업용지와 담수호를 조성하여 식량자원생산의 목적으로 방조제 건설이 이루어졌으나, 최근의 상황(FTA, 개발압력 등) 변화로 농지면적을 기존 72 %에서 30 %까지로 축소할 계획에 있으며, 2020년까지 개발이 불분명한 유보용지를 27 %로 설정하고 있다(농림부, 2008). 또한 1990년 끝막이 공사가 끝난 시화호는 아직까지 내부개발이 실행되지 않고 수정을 통해 계획을

수립하는 중이다. 새만금, 시화호와 같이 대단위 개발 사업을 위해서는 많은 양의 토사를 필요로 하며, 이는 해양생태계의 파괴뿐만 아니라 육상의 또 다른 생태계가 파괴되는 악영향을 유발한다. 염전의 경우 1997년 소금 수입이 자율화되면서 가격 경쟁력 없는 염전에 대한 지원을 통해 폐전을 유도하였다(산업자원부, 1998). 이에 따라 폐염전 중 일부가 농지, 양식장 등으로 용도 변경되었고 나머지는 방치되고 있다(해양수산부, 2004). 갯벌을 이용한 형태인 축제식 양식장의 경우 전체 양식장 면적 중 축제식 양식장이 64 %를 차지하고 있지만, 2006년 전어 가격의 폭락 및 출하 부진에 따른 경영 악화로 양식어가(사업체)의 수가 대폭 감소하여 전국 162개소, 6.62 ㎢로 줄어들었다(통계청, 2008).

다른 생태계에 오염을 유발하는 지역으로 사회적인 이슈가 되는 시화호의 예를 들 수 있다. 시화호의 경우 흐르던 물을 가두어 정체수역이 생기면서 오염되었다. 인공 담수호는 유역의 오염물들이 희석, 확산되지 못하고 수질과 토양 오염을 유발하며, 방류 시 해양오염을 유발한다. 갯벌을 이용하는 축제식 양식의 경우, 고밀도 수산물 생산에 의해 연안수질오염이 심각한 상황이며 이에 대한 저감대책(환경부, 1999)이 수립되고 있는 실정이다.

복원 계획에 있거나 실행되었던 지역으로는 농업용지, 담수호, 염전, 양식장 등이 있다. 앞서 설명한 국내 사례에서 순천만 갯벌지역은 일부 간척논에 대해 복원을 실행하였으며, 시화호는 해수화 계획에 따라 일부 갯벌이 복원되었다. 복원계획 중에 있는 지역은 고창의 폐염전과 폐양식장이 있으며, 장흥 회진 ~ 신상 간척논이 대상지로 선정되었다.

이상의 지역들에는 농업용지, 담수호, 염전, 축제식 양식장, 나대지가 포함되며, 각 지역에 대한 현황을 파악하였다.

나. 복원대상지 현황

복원에 필요한 수문, 토양, 생물에 대한 현황, 면적, 그 밖의 대상지 특성들에 대해 나타내었다. 대상지의 공통점은 방조제 건설로 해수소통이 제한된 상태이며, 토양은 이용목적에 따라 개량하거나 복토 또는 준설하여 사용되고 있다.

(1) 농업용지

우리나라의 간척논은 Table 4.1과 같이 약 1,531 ㎢로, 간척지 이용의 대부분을 차지한다(농림부, 2007). 일반적으로 간척 초기의 토양은 저지대에 위치하여 투수성과 통기성이 매우 불량하고, 토양 내 염농도가 높아 생물성장에 방해로 작용한다(오와 최, 2001). 이러한 특징 때문에 간척지의 토양개량을 하게 되며, 농업용지로 이용되기까지 약 5 ~ 10년 정도가 걸린다(농어촌진흥공사, 1995 ; 고, 2001). 농업용지로의 이용을 위해 지형 평탄화 작업과 객토를 하게 되며, 지형적인 영향으로 홍수 시 침수될 우려가 있다. 대부분 바다와 인접하고 방조제 하나로 바닷물과 경계를 이루면서 벼를 재배하고 있다(호남농업연구소, 2007).

(2) 담수호

담수호는 원래 염수호가 아닌 내륙호수 중 염농도가 낮은 호수를 말한다. 그 중 하구나 연안에 제방이나 댐, 방조제 등을 건설하여 조성한 호수를 담수화호라고 하며, 이를 통상적으로 담수호라 한다. 따라서 담수호는 하구나 연안에 조성된 인공호, 또는 하구 담수호를 말한다(농림부, 2005). 이 담수호는 해면이나 염도가 높은 호수를 담수화하여 간척지와 배후지의 관개 등

을 위한 수원확보에 목적이 있으며, 홍수조절, 염해 등의 방재를 위해 건설된다(농업기반공사, 2000). 우리나라의 대규모 담수호는 약 16개소에 이르며, 그 외에도 간척에 의한 농업용지 조성과 연계하여 건설된 소규모 담수호가 많다. Table 4.1의 전체 면적은 약 439.27 ㎢로 조사되었으며 대규모 담수호에 해당되는 면적이다.

(3) 염전

염전은 갯벌에 제방과 방조제 등을 통해 해수를 차단하여 소금을 생산하며, 장판 등을 이용하여 소금을 채취하는 천일염과 갯벌토양을 그대로 이용하는 토판염으로 나눌 수 있다. 토판염은 갯벌토양이나 깨끗한 토양을 롤러로 압축하여 사용하며, 지속적인 토양의 보충이 있어야 한다. 1997년 폐전지원을 통해 약 15.78 ㎢가 폐전되었으며, 현재 면적은 Table 4.1과 같이 약 51.6 ㎢이다. 전체 염전면적 중 67 %가 전라남도에 분포하며, 특히 신안군은 염전이 발달한 지역이다.

(4) 양식장

축제식 양식장은 연안지역의 해안선 일부 또는 육지부에 제방을 쌓아서 바닷물을 이용하여 어류를 키우는 목적으로 사용된다. 우리나라 양식업 중 가장 많은 부분을 차지하는 것이 축제식양식이며, 축제식양식장은 Table 4.1과 같이 6.62 ㎢가 분포하는 것으로 나타났다.

(5) 나대지

간척지 내부개발이 실시되지 않은 지역과 그 외에 매립 간척한 지역 중 이용되고 있지 않은 지역이 상당수에 달할 것으로 판단된다. 최근의 상황

변화에 따라 간척지의 목적이 바뀌고 있고, 이에 따라 개발이 유보된 간척지가 늘어날 전망이며, 나대지에 관한 통계자료를 확인할 수 없었으며, 폐염전, 폐양식장과 같은 용도변경지역과 간척 후의 개발 유보지를 나대지로 분류할 수 있다.

Table 4.1 Area of restoration project site

Administrative district	Agricultural land (㎢)	Impoundment (㎢)	Salterm (㎢)	Aquaculture pond (㎢)
Total	1,531	439.27	51.60	6.62
Incheon	108	79.02	4.37	0.43
Gyeonggi-do	48			0.2
Chungcheongnam-do	280	129.04	8.14	1.58
Jeollabuk-do	57	133.2	4.73	1.95
Jeollanam-do	960	85.81	34.36	2.53
Gyeongsangnam-do	137	-	-	0.07
Busan	2	12.2	-	-
Ulsan	1	-	-	-
Jeju-do	1	-	-	-
Reference	농림부(2007)	농림부(2005)	해양수산부 (2004)	통계청(2008)

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

2. 복원방법

복원방법은 갯벌의 특성인 수문, 토양, 생물의 세 가지로 구분하여 제시하였다. 이 중 수문복원방법에서 고려해야 하는 요소는 복원대상지의 특징인 방조제 조작에 의한 해수소통이다. 토양복원은 복원대상지의 이용현황에 따라 다르며, 토양의 제거와 돋움을 통해서 지형의 기울기와 고도, 기질의 토성에 대한 고려가 필요하다. 생물복원은 수문과 토양의 물리적 환경에 따라 자연적인 가입이나 목적과 목표에 맞는 대상종 도입이 필요할 것으로 판단된다. 이러한 각각의 요소에 대한 접근은 복원대상지별로 다르지만 공통적으로 고려해야 할 사항은 Table 4.2와 같으며, 이는 방조제 건설로 훼손된 갯벌의 복원을 위해 인위적인 조절이 가능한 인자들이다.

Table 4.2 Three approaches and consideration in tidal flat restoration

Factor			Approaches	Consideration
Tidal flat ecosystem	Non-living environment	Hydrology	Reintroduce tidal action	Dike
		Soil	Remove or fill of soil	Slope, substrate, elevation
	Living organism	Biota	Succession or introduction of target species	Fishery products

가. 수문복원

갯벌을 포함하는 연안생태계의 복원은 자연이 수행하고 있던 물리적 과정인 해수소통에 의해 복원될 수 있으며(William and Faber, 2001 ; Warren et al., 2002), 방조제 건설로 훼손된 갯벌의 경우 갯벌의 특성인 수문, 토양, 생물환경 요소를 고려하였을 때 가장 큰 문제는 방조제에 의한 조석과 조류의 차단이라 판단된다. 해수소통으로 인하여 육상생태계나 담수생태계에서 해양생태계로 전환될 수 있으며, 갯벌로의 생물 이동이 가능해진다(American Rivers, 2002). 복원을 수행하는데 있어서 해수소통은 연안습지의 구조와 연안생태계의 상태에 영향을 미치는 주요 에너지이며, 대부분의 수문복원은 조석작용의 제한요소인 방조제, 제방 등 구조물의 조작을 통해 해수를 교환시키는 것을 목표로 한다(Neckles et al, 2002).

(1) 문헌연구

방조제, 제방 등 구조물을 조절하는 수문복원 방법은 뉴욕 주의 염습지 복원방법 및 모니터링 지침서(NOAA, 2000)와 Restoration Ecology 학회의 특별호(Simenstad and Warren, 2002), 습지 복원, 조성, 증진을 위한 개론 및 사용자 지침(NOAA etc., 2003), 혁신적이고 성공적인 연안서식지 복원방법에 관한 연구(NOAA, 2004), 국내에서 열린 연안습지 복원 최신동향(NOAA, 2008a), 구조물의 제거를 통한 조수복원에 관한 공동연구(NOAA, 2008b) 등과 같이 근래에 들어 주목받고 있는 방법들로서 국외의 많은 연구와 사례에서 그 방법을 확인할 수 있다. Eertman et al.(2002)의 연구는 네덜란드에서 수문복원이 일어난 사례에 대해 설명하고 있다. 폭풍에 의해 제방이 파괴되었고, 파괴 시 마다 수리를 하여 제방을 유지하였다. 하지만

간척지의 경제적 가치 하락과 보수비용의 증가, 자연보호단체의 압력 등으로 파괴된 방조제를 그대로 두었고, 이로 인해 자연적인 복원이 수행된 사례이다. 이 지역은 지형의 변화에 의해 점차적으로 해수영역이 넓어지고 있어, 성공적인 복원이라 할 수 있다. 주방조제가 아닌 여름에 이용되는 보조방조제에 대한 복원의 사례로써, 주방조제에 적용하기에는 무리가 따를 것으로 판단되며, 복원의 목적과 목표가 없는 상태에서 인간에 의한 복원이 아닌 자연의 재해에 의해 수행된 특수한 경우라 생각된다. Roumans et al.(2002)의 연구는 미국 메인 주와 뉴햄프셔 주의 염습지에서 수문복원 후의 서식지 변화를 예측하는 모델에 관한 연구이다. 도로 건설 등으로 인해 해수 소통이 제한된 염습지를 대상으로 하고 있으며 이 대상지의 문제점은 기존에 설치된 암거가 조석의 범위에 비해 크기가 작고 위치가 적절하지 못하여 조석의 영향을 완벽하게 받지 못한다는 점이다. 이는 도로 건설 후 건설기술자들이 염습지에 대한 생태학적 고려를 하지 않아 생긴 것이며, 복원방법으로 크기가 더 큰 암거를 설치하는 것이 방법이 될 수 있다. 이 연구는 우리나라 방조제와 같이 내부 토지 이용의 목적으로 조성된 것이 아니라 도로에 의해 해수가 차단되었다는 차이점이 있으며, 복원 이전에도 습지로 이용되고 있는 지역이었다. Gray et al.(2002), Thom et al.(2002), Tanner et al.(2002)의 연구는 각각 오리건 주의 Salmon강 하구 주변과 워싱턴 주의 Elk강 하구, Snohomish강 하구에서 목초지 이용을 위해 방조제가 건설된 지역에 대한 복원사례로서 이 지역의 제방을 일부 제거하여 기수수역으로 되돌리고 조수유입에 의해 염습지로 복원한 경우이다. 이 연구들은 하구 복원에 의해 연어 서식지의 복원과 해수 소통에 따른 식물 군집 변화양상에 대해 각각 연구하고 있으며, 방조제를 어떻게 제거하였는지에 대한 구체적인 설명은 하고 있지 않다. Warren et al.(2002)의 연구는 코네

티컷 주의 Long Island 만에서 수행된 20년간의 염습지 복원에 관해 고찰한 내용을 수록하고 있다. 이 연구에서 수문복원 방법으로 사용된 것은 갑문의 제거와 암거의 크기변화, 갑문의 개방 등의 방법이 있었으며, 이에 따라 염습지의 생태학적 기능과 속성들이 복원된 사례들이다. 위의 복원사례에서 우리나라와 같이 바다와 접하여 방조제가 건설된 경우는 없었지만 이러한 방법들을 활용하여 국내의 방조제 건설로 훼손된 갯벌 복원에 응용할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 복원사례의 특징으로 대상지역이 인공담수호이거나 내륙습지, 기수습지 등으로 이용되고 있어 내부개발계획이 실행되지 않은 곳이 대부분이며, 단순한 해수소통 방법에 의해 복원이 가능하다.

NOAA(2004)의 연구는 미국에서 수행된 연안 서식지복원들에 대한 연구이다. 이 연구에서 염습지 복원을 위한 수문복원 방법에 대해 조사하여 요약하고 있었으며, 워싱턴 주의 Skagit강의 방조제 제거사례와 오리건 주의 방조제와 갑문의 제거, 루이지애나 주의 자동 수문조절장치 설치 등의 방법을 확인 할 수 있었다. NOAA(2008a)의 연구는 국내에서 이뤄진 연안습지 복원을 위한 최신 동향에 초점된 발표 자료이며, 이 연구에서는 그 동안에 미국에서 있어왔던 수문복원 방법들에 대해 간략하게 제시하고 있다. 그 방법으로 플로리다 주의 방조제 일부를 교량으로 대체하거나, 암거를 설치하는 방법, 루이지애나 주의 자동조절 수문 설치 방법과 그 외에 방조제 제거, 방조제 일부제거(가장자리 섬 일부제거, 제방에 구멍을 조성) 방법 등을 제시하고 있다. NOAA의 연구와 각 연구논문들의 일부는 기존에 미국에서 수행된 수문 복원을 소개하고 있으며 일부 지역은 같은 대상지에 대한 연구였음을 알 수 있다. 이상의 방법들은 염습지와 관계되는 방법이지만 갯벌 역시 염습지와 같은 조간대에 위치하고 해수의 영향을 받아야하므로

방조제 건설로 훼손된 갯벌의 수문복원 방법을 도출하는데 이용될 수 있는 자료라 판단된다.

국내의 수문복원이 실시된 예는 장재도와 사촌리를 연결하는 제방의 일부를 제거한 사례와 시화호의 해수소통 사례에서 찾을 수 있다. 장재도 사례의 특징은 간척을 위한 방조제가 아니라 교통로의 이용을 위해 육지와 섬을 연결하는 제방을 쌓은 경우이다. 제방 안쪽의 갯벌은 이용되지 못하고 오염되었으나, 해수 소통을 통하여 패류 등이 자라는 갯벌로 복원되었다(www.joins.com). 시화호는 해수화 결정에 따라 배수갑문을 통한 수위조절에 의해 수문복원이 이루어졌다. 하지만 이 지역은 인위적인 배수갑문 조작에 의해 생태계가 불안정한 상태이며 특정종만이 존재하고 있다(시화호 관리위원회, 2008). 이상과 같이 국내 갯벌복원은 그 사례도 많이 부족하며, 대상지에 대한 연구와 분석 자료도 충분하지 못하다. Fig. 2.6에서와 같이 연안 생태계 복원을 위한 정보의 공유는 앞으로 일어날 계획 설정에 도움을 줄 수 있고, 성공가능성을 높일 수 있기에 중요한 요소이다. 국내 복원자료는 많이 부족한 실정이며 사례도 많지 않다. 부족한 자료에 대해서는 국외의 사례를 바탕으로 하여 국내 방조제 건설로 훼손된 갯벌 복원을 위한 방법을 도출해야 할 것이다. 사례연구에서 확인된 방법들을 요약하면 Table 4.3과 같다.

Table 4.3 Hydrologic restoration methods

Methods	Location	Description	Reference
Dike removal	Washington, U.S.	Dike removal to restore tidal hydrology to system	NOAA(2004)
	Oregon, U.S.	Dike and tide gate removal	NOAA(2004), Cornu and Sadro(2002)
	Scheldt Esturary, Netherland	Dike removal by natural disaster(storm)	Eertman et al.(2002)
Dike breach	Florida, U.S.	Culvert placement, Bridge installation	NOAA(2008a)
	California, U.S.	Holes in the dike	Williams and Faber(2001), NOAA(2008a)
	Connecticut, U.S.	Tide gate removal	Warren et al.(2002)
	Oregon, U.S.	Dike section breach	Gray et al.(2002)
	Washington, U.S.		Thom et al.(2002)
	Jang je do, Korea	Bridge installation	www.joins.com
Water control structures	Louisiana, U.S.	Use of a self-regulating tide gate to regulate tidal flushing	NOAA(2004, 2008a)
Sizing of culverts	New Hampshire, U.S.	Culverts be placed or enlarged	NOAA(2000), Boumans et al.(2002)
	Connecticut, U.S.	Dike breach with wider culvert(culvert resized)	Warren et al.(2002)
Open tide gate	Shiwha, Korea	Tide gate management	시화호 관리위원회(2008)
	Connecticut, U.S.		Warren et al.(2002)

(2) 고려사항

본 연구의 수문복원방법에서 복원대상지의 특징인 해수소통을 위해 방조제의 변형이 있어야 하며, 방조제에 대한 고려는 인위적으로 조절 가능한 인자이다(Table 4.2). 국내 방조제에 적합한 방법을 도출하기 위해 방조제의 특성에 관한 고려사항들을 제시해보았다.

방조제의 제거는 갯벌생태계를 복원하는데 있어 가장 이상적인 방법으로 우선으로 고려되어야 하지만 방조제 건설에 들어간 비용과 노력, 방조제의 장점인 교통로 활용, 홍수방지, 염해 방지(경기개발연구원, 2007) 등 국내 여건을 고려할 때 현실적으로 쉽지 않은 방법이다. 방조제의 장점 중 염해 방지의 경우 복원대상지인 농업용지, 담수호, 염전 및 양식장에서 갯벌 복원을 수행하기 위해 조수의 영향을 받아야하며, 해수 소통을 통한 조수의 영향이 갯벌 복원을 수행할 수 있는 주요 에너지원(Neckles et al, 2002)이므로 염해방지는 고려할 필요가 없다. 홍수방지의 경우 갯벌의 기능 중에서 물을 저장하고 홍수를 예방하는 자연재해 조절 기능(Table 2.2)이 있으며, 매립, 간척을 통한 토지이용 목적에 의해 그 기능이 필요해진 것이라 할 수 있다. 갯벌 복원의 입장에서 두 가지 장점은 고려 대상이 아님을 알 수 있다. 교통로 활용을 가능하게 하기 위해서 방조제의 형태를 유지하는 방법을 생각해 볼 수 있다. 기존의 많은 복원 방법들(Table 4.3)에서 방조제 일부를 제거하여 암거와 교량을 설치하는 방법이 수행됨을 알 수 있으며, 이 방법이 활용가능 할 것으로 판단된다. 또한 배수갑문은 담수호가 건설될 경우 유역의 하류에 설치하여 유역홍수량을 안전하게 배제하는 역할을 하며(안산환경기술개발센터, 2002), 우리나라의 경우 수자원 확보를 목적으로 한 방조제의 경우에 배수갑문이 설치되어 있으므로 이 갑문을 이용하여 상시 개방하여 해수소통을 하는 방법이 가능하다. 또한 우리나라 방조제 중 약 69

%가 1961년 이전에 건설되었으며(권, 1998), 해일 등의 재해 위험으로 관리 계획이 세워지고 있는 실정이다. 따라서 이들 중 노후화되고 재해의 위험성이 높은 방조제는 완전히 제거하는 것이 바람직하다고 판단된다(Fig. 4.1).

Fig. 4.1 Seawater intrusion to agricultural land by breaking of sea dike.

(3) 복원방법

수문복원 방법은 갯벌 복원을 위해 해수를 소통시키는 것이며, 사례 연구들을 통해 우리나라에 방조제를 대상으로 활용할 수 있는 방법을 제시하였다. 국내·외 수문복원사례에서 방조제의 제거와 수로개설, 자동조절 수문이용, 암거크기 변화, 갑문개방 등의 방법을 확인할 수 있었다. 이 중 자동조절 수문은 홍수조절과 염해방지 등을 위해 해수 소통의 범위를 제한하는 것이며, 암거크기 변화와 같은 좁은 유입구를 넓히는 복원방법은 염습지였던 지역을 더 넓은 조수의 영향을 받게 하기 위한 복원 방법으로 기존에 암거가 설치되지 않은 우리나라 방조제에는 적합하지 않다. 또한 배수갑문 개방의 방법도 기존의 갑문을 이용하여 조절하는 것이 아니라 갑문의 기능을 없애는 상시 개방을 활용해야 할 것이다.

따라서 국내 방조제에 활용될 수 있는 방법으로 방조제의 완전한 제거, 수로개설, 배수갑문 활용의 세 가지로 나눌 수 있으며(Fig. 4.2), 각 방법에 대해 간략하게 설명하면 다음과 같다.

(가) 방조제 제거

방조제를 제거하는 것은 이전과 같은 환경조건을 만들어 준다는 의미에서 생태학적으로 가장 적합한 방법이다. 방조제를 완전히 제거하는 방법으로는 일반구조물로 생각한 폭파 해체나 철거를 통한 방법을 생각해 볼 수 있다. 폭파 해체는 짧은 시간에 적은 노력으로 구조물을 해체할 수 있으나, 파괴된 방조제 파편의 수거에 어려움이 생길 수 있으며 2차 오염유발 가능성이 있다. 방조제 철거는 방조제 건설 방법인 육지부에서 건설하기 시작하여 마무리 끝막이 공사를 하는 반대 방법으로 실시할 수 있다. 철거 방법에서 방조제 중앙을 먼저 허물어 장비가 다닐 수 있는 공간을 확보하여

제거 하여야 하며, 방조제 밖의 해상에서 선박을 이용해 철거에 도움을 줄 수 있다.

(나) 수로개설

방조제 제거가 가장 바람직하지만 조석의 작용을 이용한다면 방조제가 가지는 장점, 기능을 유지하면서 갯벌 복원을 시행할 수 있다. 방조제를 일부 제거하고 수로를 설치하여 상시 개방하는 방법과 방조제의 부분적인 제거 후 교량으로 연결하는 방법을 적용할 수 있다. 이 방법은 방조제의 장점인 교통로 기능은 유지하면서, 일부를 제거하여 해수소통이 가능하게 하는 방법이다. 방조제의 길이가 길어 하나의 수로에 의해 충분한 해수소통이 되지 못한다면, 복합적인 수로의 건설도 생각해 볼 수 있다. 비용적인 측면에서 방조제 제거에 비해 저렴하며, 앞선 일본의 사례와 같이 새로운 교량설치 후 방조제를 제거하여 교통로로 이용하는 방법에 비해 기존의 방조제를 유지할 수 있어 비용이 절약된다.

(다) 배수갑문 활용

기존에 설치되어 있던 방조제의 배수갑문을 상시 개방하는 방법으로, 이 방법 역시 방조제의 장점, 기능을 유지하면서, 방조제에는 다른 변화를 가하지 않고 갯벌 생태계를 복원할 수 있는 방법이라 할 수 있다. 배수갑문을 활용하는 방법에서는 조석과의 관계를 확인하여 복원 시에 조석의 범위와 이를 포함하는 갑문의 높이와 위치 확인이 필요하다. 배수갑문 활용 방법 역시 충분한 해수소통이 되지 못 할 시에 수로개설 방법과 병행하여 사용할 수 있다.

(4) 방조제 활용방법

방조제를 통한 일정규모 이상의 저류량 확보가 가능하며, 조차가 큰 지역의 방조제는 해수소통을 통한 조력발전으로도 이용을 생각해 볼 수 있다. 기존의 방조제가 가지는 교통로의 이용을 활용하면서 담수호의 오염을 정화하고 갯벌을 복원하며 청정에너지를 생산할 수 있는 효율적인 방법이라 판단된다. 현재 실시되고 있는 인천의 조력발전소 건설은 방조제의 건설과 함께 일부 갯벌이 훼손되므로 바람직한 방안이라 생각되지 않는다. 이미 방조제가 설치된 지역에 한해 시도해 볼 수 있는 방법이며, 시화호에서 실행되고 있다.

또한 방조제 제거 시 발생되는 폐기물은 대상지 바닥을 돋우는데 이용하고 그 위에 준설토나 자연퇴적물을 쌓아서 지형 유지에 활용할 수 있으며, 이는 본 연구의 토양복원과도 연관된다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

Fig. 4.2 Hydrologic restoration methods (a) Dike removal, (b) Culvert use, (c) Open tide gate.

나. 토양복원(지형, 토성)

(1) 문헌연구

방조제, 제방 등 구조물에 의해 해수소통이 제한된 지역은 공기노출에 의한 산화과정이나, 토양층의 압밀, 물리적 압축, 조수에 의한 퇴적물 공급의 제한 등으로 인해 함몰이 일어나게 되며(Cornu and Sadro, 2002), 방조제 건설 후 내부이용 형태에 따라 지형의 변화가 발생됨을 예측할 수 있다. 갯벌의 경우 조차와 고도에 따라 형성되므로(Crooks et al., 2002), 토양복원에서 지형의 기울기와 고도, 기질의 특성을 고려하여 복원대상지의 위치가 MHHW와 MLLW 사이에 위치하고 있음을 확인해야한다.

Fig. 4.3은 염습지에서 수문복원 후에 시간의 경과에 따른 지형 고도의 변화를 나타낸 그래프이다. 이 그림에서 알 수 있듯 시간의 경과에 따라 입자의 퇴적에 의해 지형이 높아지며, 이와 유사하게 갯벌의 복원과정에서도 조석 범위를 고려한 복원 방법이 필요하다(Williams and Orr, 2002).

일반적인 연안서식지의 토양복원방법은 지반 높이에 변화를 주어 조석의 범위에 갯벌을 형성하는 방법(NOAA, 2000 ; Neckles et al., 2002 ; Cornu and Sadro, 2002 ; NOAA, 2008a)과 조수로를 조성하여 해수의 유입량과 침수면적을 넓히는 방법(NOAA, 2000 ; Thom et al., 2002 ; Williams et al., 2002 ; NOAA, 2008a) 등은 일반적으로 고려되어야 할 사항이다. 이밖에도 퇴적을 유도하는 방법과 조수수로를 조성하는 방법, 퇴적물을 개선하는 방법 등을 확인 할 수 있었으며, 수문복원을 통한 해수소통에 의한 소극적인 방법이 아닌 적극적인 복원방법이라 판단된다. 이상의 방법들을 Table 4.4에 나타내었다.

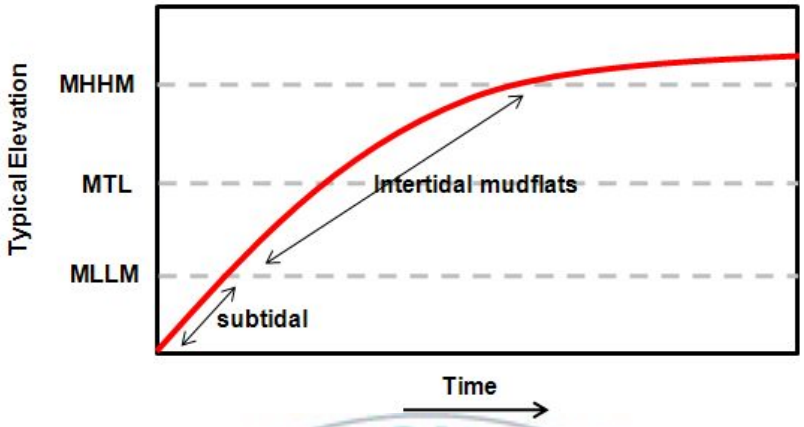

Fig. 4.3 Conceptual model of tidal flat evolution with time since breaching. (Redrawn from Williams and Orr, 2002)

Table 4.4 Soil restoration methods

Methods	Description	Reference
Do nothing	Natural process	Williams and Orr(2002), NOAA etc.(2003)
Elevation manipulation / Sediment grading	Use dredged material to build up the elevation	NOAA(2000), Neckles et al.(2002), Cornu and Sadro(2002), NOAA(2008a)
Tidal channel creation	Facilitate the transport of seawater	NOAA(2000), Thom et al.(2002), Williams et al.(2002), NOAA(2008a)
Erosion control	Use erosion prevention techniques(e. g. cover vegatation, fiber blankets)	NOAA etc.(2003)
Soil amendments	Use of different treatments with soils such as mixing	NOAA(2004)

(2) 고려사항

본 연구의 대상이 되는 방조제 건설로 훼손된 갯벌은 방조제 건설로 해수의 차단 후 지형과 토성의 변화가 일어났으므로 이 변화를 이전 환경으로 돌려주어야 하며, 기존 갯벌 토양과 유사한 환경을 유지하는 것이 필요하다. 이를 위해 우리나라 방조제 건설로 훼손된 갯벌의 과거 자료와 현재 유지가 잘 되고 있는 갯벌들의 기 조사된 자료에서 갯벌 토양의 중요인자 값을 범위로 제시하였으며, 퇴적물 입도, 유기물함량, 산휘발성 황화물과 구배를 인자로 사용하였다. 퇴적물 입도는 갯벌토양의 수분함량과 산소공급량, 유기물함량 등을 좌우하는 인자이며, 입자의 크기에 따라 갯벌 생물의 분포양상이 변한다. 유기물함량(강열감량, 저질COD)은 갯벌토양의 환경상태를 나타내며, 퇴적물의 산소를 소비하는 유기물의 간접지표로 사용된다. 산휘발성 황화물(AVS)은 갯벌 토양에 축적된 유기물이 미생물 분해로 인해 생성되는 것으로 농도가 높을 시 토양의 산소 고갈 및 결핍을 의미한다. 이상의 세 가지 인자는 국토해양부(2008c)의 연안습지 조사 지침서에서 조사항목으로 제시하고 있는 항목이며, 구배는 갯벌토양의 경사로서 조석에 의한 갯벌 면적을 결정하고, 지반 높이를 결정하는 인자로 판단된다.

Reference site로는 자연환경이 잘 유지되고 있으며, 방조제 건설을 통한 매립 계획이 있었던 함평만 갯벌(해양수산부, 1999)과 강진만, 증도, 압해도 갯벌(해양수산부, 2000), 대대적인 간척사업으로 20 %만이 보존되어 있는 순천만과 간척되기 전의 새만금 갯벌(해양수산부, 2001a), 강진만 갯벌(해양수산부, 2002), 도암만 갯벌(해양수산부, 2003a) 등이 적당하다. 이 지역의 갯벌은 서남해안에 위치하며, 방조제에 의한 매립·간척에 직접적인 영향을 받지 않은 자연 상태의 갯벌로 판단된다.

Table 4.5 Characteristics of tidal flat soil

	Grain Size (ø)	Ignition Loss (%)	SCOD (mg/g·dry)	AVS (mg/g·dry)	Slope
Hampyeong Bay	6.0~8.0	1.0~6.2	2.92~12.84	0~0.379	1/1850~1/2300
Gangjin Bay	-	5.5~9.5	8.63~29.69	0~0.64	1/260~1/280
Jeungdo	-	2.6~5.6	3.55~22.27	0~0.28	1/592~1/3175
Abhaedo	-	3.1~6.1	2.29~24.77	0~0.25	1/900~1/2150
Suncheon Bay	7.6~9.1	2.8~6.7	4.18~25.02	0~0.65	-
Saemangeum	2.6~6.3	0.12~3.25	0.65~6.20	0.001~0.154	1/100~1/1500
Doam Bay	-	2.9~6.9	1.31~14.90	0.01~0.37	-
Range	2.6~9.1	0.12~9.5	0.65~29.69	0~0.64	1/100~1/3175

자연 상태의 갯벌토양은 해양수산부(1999, 2000, 2001a, 2002, 2003a) 조사를 통해 Table 4.5와 같이 입도 2.6~9.1ø, IL(%) 0.12~9.5, 저질COD(mg/g·dry) 0.65~29.69, AVS(mg/g·dry) 0~0.64의 범위를 가지는 것으로 나타났으며, 지형의 경우 구배 1/100~1/3175의 범위를 갖는다. 이 범위들은 갯벌토양복원 시에 기준이 될 수 있으며, 복원성공 여부판단에도 도움이 되는 자료로 활용 가능하다.

(3) 복원방법

다양한 생물의 서식공간으로 이용되는 갯벌토양은 높은 염분농도, 미세입자, 높은 수분함량 등 육상토양과는 다른 특징을 가지고 있으며 물리적 환경의 영향으로 퇴적과 침식이 반복되어 지형이 변화되는 특징이 있다(해양수산부, 1999). 갯벌토양의 복원을 위해 토성과 지형에 대한 고려가 필요하며, 일반적인 육상 토양복원 방법인 오염물질을 토양 중에서 제거하여 법적, 환경적 기준 이하로 낮추는 방법들과 달리 갯벌토양의 복원은 기존 토양과 유사한 토성과 지형 유지하도록 돕는 것이라 판단하였다. 복원대상지로 선택된 지역 중 간척논의 경우 방조제 건설 후 내부개발을 위하여 경지정리와 염해방지를 목적으로 토양개량을 하게 되며(농어촌진흥공사, 1995), 담수호는 저수량확보를 위해 준설을 하게 된다(농업기반공사, 2000). 염전은 갯벌 토양 위에 장판을 덮거나 압밀하여 사용하는 형태이며, 축제식 양식장은 갯벌토양을 그대로 이용하지만 먹이나 배설물로 인해 오염물이 농축되어 있다. 따라서 복원대상지에 따라 토양복원방법이 다를 것으로 판단된다.

Table 4.4의 사례에서와 같이 많은 방법들이 토양복원을 위해 사용되고 있지만, 방조제 건설로 훼손된 갯벌 토양복원을 위해서는 복원대상지 현황파악을 통해 조석범위, 지형, 지반 높이 등을 고려하여, 객토나 오염토양에 대한 제거와 준설토를 활용해 토양을 메우는 방법이 필요할 것으로 판단된다. 각 방법들은 복원대상지 별로 다르게 고려되어져야 하며 방조제 건설로 훼손된 갯벌의 상황에 따라 표토제거, 준설, 준설토를 이용하는 세 가지 방법이 필요하다(Fig. 4.4). 각 방법들과 기준을 간략하게 설명하면 다음과 같다.

(가) 표토제거

일반적인 토목공사의 표토제거 목적은 토양층의 유기물이 시공에 방해가 되기 때문에 수행된다. 이에 반해 간척농지의 경우 토양 개량을 위해, 간척지 내부개답 규정에서 30 cm 정도의 객토를 하도록 권장하고 있으며, 염전의 경우 소금생산을 위해 지형을 평탄화하여 장판이나 압축된 토양을 활용하게 된다. 따라서 표토제거를 통해 갯벌토양이 드러나게 하는 것이 필요하며, 표토제거 공법에는 인력에 의한 방법, 기계에 의한 방법, 발파 방법 등 세 가지로 나눌 수 있다. 이 중 발파 방법은 단단한 지반에 적용되는 것으로 갯벌에는 적합하지 않으며, 대규모의 간척지에는 기계에 의한 방법을 활용할 수 있다. 활용되는 기계로는 Dozer, Bucket Dozer, Motor scaper, Backhoe, Dump truck, Loader, Trolley 등이 있으며, 이를 이용하여 표토에 대한 제거를 수행할 수 있다. 기계가 활용될 수 있는 공정과 그에 따른 장비의 특징들에 대해 Table 4.6에 나타내었다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

Table 4.6 Process, equipment and characteristic of top soil removal

Process	Equipment	Characteristic
Cutting	Dozer	Excavation, Short distance portage
	Bucket Dozer	Excavation, Short distance portage
	Scarper + Push Dozer	Excavation, Portage
	Shovel	Excavation, Loading
	BackHoe	Excavation, Loading
	Track Loader	Excavation, Loading
	Trencher	Small area excavation
Loading	Dozer	Loading
	Wheel Loader	Earth loading
	Power Shovel	Earth loading
	BackHoe	Earth loading
	Clamshell, Drag Line	Earth loading
Soil Transport	Dozer	Short distance
	Bucker Dozer	Short distance
	Scaper	Medium distance
	Loader	In boundary
	Trolley	Small scale reclamation

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

(나) 준설

축제식 양식장과 담수호 등은 정체된 수역을 형성하여 오염물 퇴적이 일어나기 쉽다. 이 지역의 퇴적물은 준설을 통해 제거 가능하며, 준설기와 준설선을 활용할 수 있다.

준설방법은 기계식과 유압식(펌프준설)으로 나눌 수 있다. 기계식은 삽 모양의 용기를 직접 퇴적층으로 집어넣어 퇴적물을 퍼내는 방법이며, 유압식은 퇴적물을 슬러리 형태로 흡입하여 배관을 통해 퍼내는 방법이다. 일반적으로 기계식은 단단한 수저오니 또는 큰 돌이나 암석이 많이 포함된 수저오니의 준설에 적당하지만 오니의 재분산이 많게 된다. 유압식은 오니의 재분산을 최소로 억제할 수 있으나 준설된 오니의 수분함량이 증가되는 특징이 있으며(Table 4.7), 양식장과 담수호와 같은 갯벌 토양과 유사한 니질 또는 사질 토양의 경우에 적합한 방법이다. 물과 혼합된 토양을 펌프로 흡입 배송하여 계획 위치에 투기하게 된다.

Table 4.7 Comparison of mechanical dredge and hydraulic dredge

Method	Operational availability	Limiting depth	Limiting type of material	Resuspen-sion	Dredge capacity	Dredge cost
Mechanical dredge	strong	weak	weak	weak	weak	strong
Hydraulic dredge	weak	strong	strong	strong	strong	weak

(건설교통부, 2003)

하천공사 표준시방서에 의하면 오염퇴적물 준설 기준은 TN, TP, 저질 COD, 강열감량, 황화물의 5개 항목 중 2~3개 이상의 항목이 기준을 초과할 경우 준설하게 되며(한국수자원학회, 2007), 그 기준은 Table 4.8과 같다. 이를 대상지인 방조제 건설에 의해 조성된 담수호에 적용해 볼 수 있다.

Table 4.8 Dredge criteria at impoundment

No.	Contents	Range
1	TN(mg/kg)	1,600~3,000
2	TP(mg/kg)	700~1,000
3	SCOD(mg/g)	20~40
4	Ignition Loss(%)	10~20
5	AVS(mg/g)	1.0

(한국수자원학회, 2007)

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

표토제거와 준설은 대상이 되는 토양의 침수 여부와 공기 노출 여부에 따라 다른 방법을 사용해야하며, 갯벌형성에 불필요한 토양이나 오염된 토양을 제거하여 갯벌 토양의 지형을 유지시키는 방법들이다.

(다) 준설토 이용

준설토를 활용하는 방안에 대해 많은 연구가 있었으며, 준설토 매립을 통해 적절한 지반을 유지하여 갯벌을 조성하는 방법이 수행되었다. 이러한 준설토를 활용하는 방법은 담수호와 양식장과 같이 많은 용수량과 수역 확보를 위해 준설을 하여 지형변화가 일어난 지역에 시행할 수 있으며, 그 외에 지반 높이의 변화가 필요하거나 구배 유지가 필요한 대상지에 활용될 수 있다. Table 4.5의 인자들이 기준이 된다.

그 외에 일정한 토양기반이 유지되는 경우에는 조수수로의 조성을 통해 해수의 유입이 더 많이 발생할 수 있는 지형을 조성하여, 생물 환경의 다양성을 도모할 수 있다.

토양복원의 각 방법들은 복원대상지에 따라 한 가지만을 사용하는 것이 아니라 각 방법들을 상호보완적으로 사용하는 것이 바람직하다. 최소한의 지형이나 토성에 대한 고려 후에 수문복원을 통해 해수의 물리적 과정에 의한 갯벌토양의 자연적인 복원이 수행될 것으로 판단된다. 또한 이상의 방법에서 발생하는 토양의 성토와 사토를 국토해양부에서 운영하는 토석정보공유시스템(www.tocycle.com) 등을 통해 정보를 공유하여, 타 지역의 건설현장에 활용가능하다. 또한 준설 후 준설퇴적물은 전처리 후 농지 및 잔디밭의 보명토로 이용하거나 건설자재(벽돌)의 원료로 재활용 할 수 있다(건설교통부, 2003).

(a)

(b)

(c)

Fig. 4.4 Soil restoration methods (a) top soil removal, (b) dredge, (c) dredge material use.

다. 생물복원

생물은 물리적 환경 조건에 따라 다른 분포양상을 보인다(윤과 홍, 1995). 방조제 건설로 인해 바닷물의 유입이 없어지면 갯벌은 해양환경에서 육상환경이나 담수환경으로 변화가 일어나며, 해양성 생물들은 사멸하게 됨을 예측할 수 있다. 앞선 수문복원과 토양복원을 통해 갯벌의 물리적 환경의 형성을 예상할 수 있다. 과거 환경과 유사한 생태계는 자연적 천이 과정을 거쳐 그 환경에 적합한 생물들이 다시 성장하게 된다.

(1) 문헌연구

앞선 수문복원과 토양복원의 국외사례와 연구는 복원대상이 염습지가 주를 이루며, 갯벌 역시 연안에 위치함으로 복원방법을 이용할 수 있었다. 식생이 없는 갯벌은 자연적인 퇴적작용에 의하여 염습지가 되기 위한 과정이라고 판단할 정도로 연안의 복원에서 식생의 중요성을 강조하고 있다(Zedler, 2001 ; Williams and Orr, 2002). 식생복원 방법들은 뉴욕 주의 염습지 복원방법 및 모니터링 지침서(NOAA, 2000), 습지 복원, 조성, 증진을 위한 개론 및 사용자 지침(NOAA etc., 2003), 혁신적이고 성공적인 연안서식지 복원방법에 관한 연구(NOAA, 2004) 등에서 확인 할 수 있으며, 식생은 연안 서식지의 복원을 위해서 필수적으로 고려되어야 할 사항이다.

그 방법들을 보면 대상 식물에 대해 식재하는 방법과 외래종을 제거하는 방법, 자연적 천이에 의한 군집의 형성으로 나뉠 수 있다. 목표 식물에 대한 식재는 일반적인 육상식물의 식재와 같지만 염생식물을 식재하기 위해서 그 대상종이 식재에 의한 성장이 가능한지에 대한 연구가 선행되어야 하며, 환경에 대한 고려가 더 중요함을 알 수 있다(NOAA etc., 2003).

국내의 경우 연안에 식재를 통하여 부유퇴적물의 침강을 촉진하거나 침식을 방지하기 위한 해안인공식재기법이 개발되어 있으며, 이 때 사용되는 식물은 Fig. 4.5와 같다.

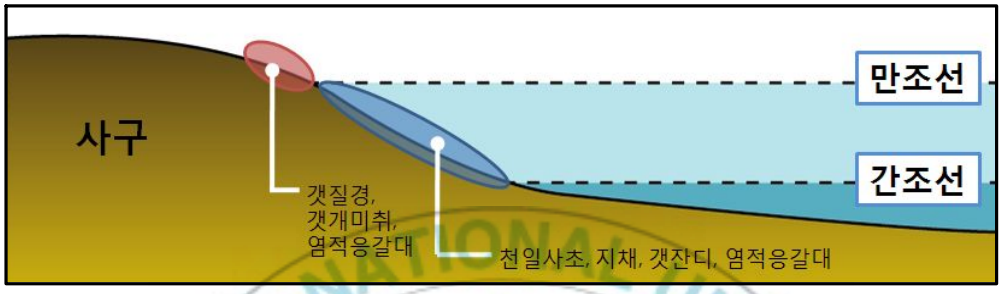

Fig. 4.5 Applicable plants to tidal flat.
(www.ecoone.co.kr)

(2) 고려사항

외국의 연안서식지인 염습지 등과는 다르게 국내 갯벌은 1차 생산자인 식물종이 거의 존재하지 않는 형태이다. 조간대 상부나 해수의 영향을 받는 조상대에 염생식물이 존재하며, 조간대인 갯벌에 우점하는 1차 생산자는 저서규조류와 같은 식물성 플랑크톤이다. 이에 반해 동물로서는 무척추동물, 어류, 조류 등이 갯벌에서 생활하는 생물이다.

복원을 수행하는데 필요한 사항으로는 명확한 목적과 목표의 설정이 강조된다(SER, 2004 ; 2005). 이 목적과 목표로 복원의 방향을 결정하며, 복원 성공 여부를 판단할 수 있다.

생물복원은 갯벌복원의 목적과 목표에 의해 가장 크게 좌우될 수 있는 방법이라 판단된다. 복원의 목적과 목표에 따라 물리적 방법들(수문, 토양복원)이 달라지며, 물리적 환경은 생물종을 결정하는 중요한 인자이다. 우리나라 갯벌의 가치를 종합적으로 연구한 해양수산부(2005a)의 연구에서

갯벌의 가치를 1 ha당 연간 39,193천원으로 평가하고 있으며, 이 중 수산물 생산의 가치가 11,992천원으로 가장 높은 비율을 차지하고 있다. 또한 외국의 갯벌들은 수질정화와 심미적 기능이 높은데 비하여 우리나라는 갯벌에서 생산되는 수산종의 이용도가 높으므로 생물복원을 통해 수산물 생산에 기여할 수 있는 종을 가입시키거나 방류하는 방법이 필요할 것으로 판단된다.

국내 갯벌의 이용은 맨손어업에 의한 수산업으로의 이용이 가장 큰 것으로 판단되며, 심미적인 가치와 오염정화의 목적에서는 동물보다는 식물의 복원이 고려되어야 한다. 생물다양성의 측면에서 건강한 생태계 유지의 목적인 경우에는 다양한 지형을 조성하여 다양한 생물이 서식하는 환경을 만들어주는 방법이 요구된다. 이와 같이 생물분포 양상은 물리적 환경조건에 따라 다르며, 목적과 목표에 따른 종이 다르기 때문에 복원계획에서 목표종의 설정이 있어야 한다.

(3) 복원방법

(가) 자연적 가입 유도

Eertman et al.(2002)의 연구에서 자연적인 방조제 제거를 통해 해수의 유입에 있었으며, 그 후 인위적인 노력 없이도 자연의 물리적 과정만으로 식생과 생물이 복원된 사례라 할 수 있다. 또한 니질의 생태계가 회복되는 데에는 1~6개월, 사질 생태계의 경우 1~3년 정도가 소요되는 것으로 알려져 있으며(인천광역시, 2005), 해수에는 생물의 유생이나 포자 등이 포함되어 있으므로 수문환경, 토양환경이 복원되면 별도의 인위적인 노력 없이 천이의 과정을 거쳐 복원이 될 것으로 판단된다.

(나) 목표종 도입

복원된 갯벌이 자연적 천이에 비하여 빠르게 생물 활동이 시작될 수 있도록 보조하기 위하여 인위적인 방법을 사용할 수 있다. 물리적 조건을 만족하는 염생식물의 종자나 씨앗 등의 인위적 살포 및 식수 등이 효과적인 경우도 있으며, 지역이나 기후에 따른 생육 가능 종이 다르기 때문에 reference site의 자생종을 확인하는 것도 방법이 된다. 그러나 생물복원방법은 수문, 토양환경 등 물리적 조건에 비해 엄격하게 고려할 필요가 적으며, 자연의 self-design을 활용하여 복원 가능한 요소로 판단된다(國土交通省港湾局, 2003).

특정 지역의 복원을 위한 자생종이 타 지역에서는 외래종이 되는 경우(Mitsch and Gosselink, 2000)에서처럼 대상종 도입은 복원의 목적과 목표에 맞는 종으로 선정해야 한다. 특히 외국에 비해 많은 저서생물들이 수산물로 이용되는 국내 갯벌의 상황에 대한 고려가 필요하다.

갯벌의 가치 중에서 가장 높은 수산물 생산 가치를 최대한 빠르게 복원하기 위하여 패류를 채통에 부착하여 성장시키는 수하식이나 치패를 뿌려주는 씨뿌림식 방식을 사용할 수 있다. 국립수산과학원(2007)에 의해 씨뿌림식이 수하식 보다 더 높은 성장률을 보이며, 저비용으로 경제성이 높을 것으로 예측되었다.

3. 대상지별 복원방안

연안의 복원에 있어서 복원전략과 복원목적의 설정은 가장 중요한 요소로 고려되며(Williams and Faber, 2001), 복원전략이란 목적과 대상지에 맞는 방법의 설정임을 알 수 있다. 일반적으로 갯벌이나 연안서식지는 수문복원을 통해 해수의 유입에 따른 토양의 물리적, 화학적 변화를 유발하며, 해수의 유입을 통한 자연의 self-design에 의해 복원된다(Warren et al.,2002). 이러한 방법들은 해수소통의 제한만을 가했던 지역에서 시행할 수 있는 복원방법이며, 이에 반해 국내 대상지들은 해수소통 제한 뿐 아니라 지형에 대한 변화를 일으켰으며 따라서 더 복합적인 복원방법들이 필요하다. 이를 위해 방조제 건설로 훼손된 갯벌 복원을 위한 대상지의 기본적인 고려 사항으로 앞선 복원방법에서 제시되었던 사항들과 미국의 연안습지 복원을 위한 설계지침서(Table 4.9)의 고려사항을 나타내었으며, 이 사항들은 각 대상지별 상황을 파악하여 복원방안을 제시하는데 도움을 줄 수 있다(California State Coastal Conservancy, 2004).

Table 4.9 Questions for salt marsh design

No.	Questions
1	Should the site be filled?
2	Should fill be removed?
3	Should a levee breach and outboard channel be excavated?
4	Should wave breaks be constructed?
5	Should bayfront levee be lowered?
6	Should the new tidal channels be excavated?
7	Should the pre-existing drainage system be modified?
8	Should the site be graded to encourage panne formation?
9	How should the wetland-upland transition be designed?
10	Should soil be treated?
11	Should plants be planted?
12	How do we provide habitat features for target species?
13	How should public access be provided?
14	How should we integrate flood management issues?

(California State Coastal Conservancy, 2004)

가. 농업용지

농업용지는 우리나라 간척지 이용의 대부분을 차지하고 있으며(농림부, 2007), 농지로 이용하기 위해 지형 평탄화와 객토를 하게 된다. 매립·간척 기술의 발달에 따른 농업용지와 담수호 조성이 함께 이루어진 대단위 개발이나 서해안 개발 사업 이전인, 1960년 이전의 간척농지가 위의 경우에 해당될 것으로 판단된다(농어촌진흥공사, 1995). 이 지역은 대부분 바다와 인접하고 방조제 하나로 바닷물과 경계를 이루면서 벼를 재배하고 있으며(호남농업연구소, 2007), 지형적인 영향으로 홍수 시 침수될 우려가 있다. 방조제를 건설하여 농업용지로 이용되는 구체적인 현황에 대해서는 파악할 수 없었고, 방조제와 농업용지만으로 구성된 일반적인 농업용지의 단면도를 Fig. 4.6과 같이 가정하여 복원방안을 제시하였다.

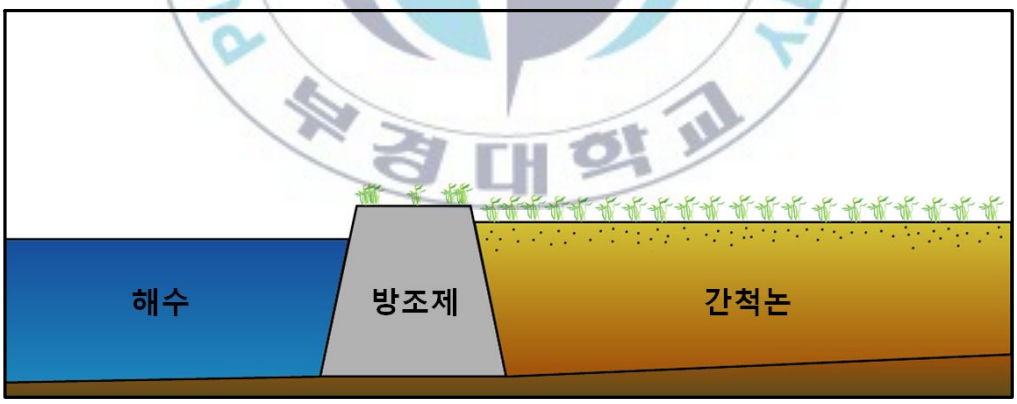

Fig. 4.6 Conceptual diagram of agricultural land.

수문복원만으로 연안서식지의 복원을 기대하는 것은 상대적으로 소극적인 방법이라 할 수 있다. 수문복원과 함께 이루어지는 지형과 토성을 고려하는 토양복원은 더 적극적인 방법이며(Cornu and Sadro, 2002), 대상지에 따라 그 순서와 절차가 달라질 것이다. Fig. 4.6과 같이 농업용지로 이용되는 경우 수문복원인 방조제 제거 전에 토양복원을 먼저 수행하는 것이 더 효율적이라 판단된다(Williams and Faber, 2001). 농지의 경우 30 cm정도의 객토와 지형 평탄화에 의해 지반의 변화가 있었다고 가정되며, 따라서 토양복원방법을 위해 표토를 제거하여 평균최저수위와 최고수위 사이에 기반이 형성될 수 있도록 하여야 한다. 기존의 갯벌 지형과 유사한 기울기와 토성(Table 4.5)을 유지시켜주는 것이 토양복원 시에 필요하며, 대상지에 영향을 미치는 정확한 조석범위의 고려는 갯벌을 형성하는데 매우 중요한 요소이다.

1960년 이전에 건설되어 단순히 농업용지 이용을 위해 건설된 방조제의 경우 배수갑문이 설치되어 있지 않으므로 수문복원 방법으로 방조제의 제거와 수로개설을 통해 해수소통이 가능하다. 방조제의 제거가 가장 이상적인 방법이지만 방조제의 교통로 이용과 재해의 위험성 등을 고려하여 방조제를 제거할지 결정해야 한다. 일반적으로 소규모 농업용지인 이 경우는 개인에 의한 방조제의 건설이 이루어졌으며, 그 준공시기를 고려하였을 때 시설물이 토사로 이루어졌다고 판단되어 방조제의 완전한 제거를 통해 수문을 복원할 수 있다. 또 제거된 토사를 재활용하여 갯벌지형의 형성에 재활용될 수 있다. 교통로의 이용과 주변현황에 따라 방조제의 제거가 불가능 할 경우에는 방조제의 일부를 제거하여 수로를 건설하거나 교량으로 연결하는 방법이 사용될 수 있다. 방조제의 제거되는 부분은 대상지의 조석범위에 충분히 포함될 수 있도록 설계하여, 완전한 조석의 영향을 받을 수

있도록 고려하여야 한다. 또한 그 위치가 조석의 흐름에 최대한의 효과를 낼 수 있는 곳에 위치되어야 하며, 정체가 생기는 경우에는 다수의 수로를 건설하는 것을 고려해 볼 수 있다. 이러한 물리적 환경의 복원수행을 통해 이전 환경과 유사한 갯벌 생물서식 공간이 복원된다고 판단된다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

나. 농업용지 및 담수호

국외 사례에서는 하천의 지류에 제방을 막아 해수영향을 제한하여 농지로 사용하는 경우를 많이 확인할 수 있다(Gray et al., 2002, Thom et al., 2002, Tanner et al., 2002). 이에 반해 우리나라는 한강을 제외한 대부분의 강 하구에 둑을 설치하여 대규모 담수호를 형성한 경우이며, 우리나라 수자원 이용의 특징 중 하나이다. 농업용지와 담수호로 구분되는 지역은 하구둑에 의해 해수유입이 차단된 우리나라 대부분의 강과 일정 규모 이상의 담수호를 보유한 간척지가 해당되며, Fig. 4.7과 같이 나타낼 수 있다.

Fig. 4.7 Conceptual diagram of agricultural land and impoundment.

Fig. 4.7과 같은 담수호와 농업용지가 같이 존재하는 경우에 있어서 가장 먼저 수행되어야 할 사항은 농업용지로 이용되고 있는 토양복원이다. 토양복원 방법은 앞선 농업용지와 동일하다고 판단되며, 대상지의 특징인 조석범위를 정확히 측정하여 기반이 유지되도록 하는 것이 중요하다. 다음으로

방수제에 대한 고려가 있어야 한다. 방수제의 경우도 방조제와 유사한 목적으로 건설되었으며, 간척지가 수해를 입지 않게 하기 위함이다. 방수제 역시 교통로 등으로 활용되는 등 장점을 가지고 있으므로 방조제와 동일한 복원방법이 적용될 수 있다. 방수제는 갑문이 설치되어 있지 않으며, 일부 개방하거나 제거를 통한 복원이 수행되어야 한다. 농업용지의 표토제거와 담수호의 수문복원이 있은 후 방조제를 통한 수문복원이 필요하다. 담수호의 방조제는 일반적으로 배수갑문을 가지고 있으므로, 갑문을 상시 개방하는 수문복원이 가능하다. 배수갑문을 활용하는 경우 충분한 조석작용이 수행되는지 확인해야하며, 대상지의 면적이 넓을 경우 배수갑문만으로는 흐름의 정체가 유발될 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 배수갑문과 수로개설의 방법을 같이 시행하여 해결할 수 있다. 자연적인 조석작용에 의한 수문복원이 시행된 후 담수호 내부 토양이 오염되었을 경우 준설을 통해 제거할 수 있으며, 용수확보를 위해 지형을 깊게 유지한 부분에서는 갯벌의 지형유지를 위해 준설토를 활용할 수 있다.

우리나라 강들은 하구둑에 의한 수문조작을 통해 담수호를 형성하여 용수를 이용하는 목적으로 조성되었으며, 이로 인해 조수의 영향을 받는 지역이 한정되고, 일정한 수심이 유지됨으로 인해 갯벌이 사라진 특징을 가지고 있다. 물론 국내의 습지보전법에서는 하구에 형성된 지역에 대해 내륙습지로 구분하여 있어 갯벌이라고 하기는 힘들다. 하지만 기수역이 생기는 특징과 간만에 의한 노출의 반복은 갯벌의 특징과 동일하며, 해양수산부(2003b)의 연구에서 정의에 대한 문제점을 제시하고 있는 지역이다. 하천변에 형성된 습지들은 만에 형성된 갯벌에 비해 노출되는 면적과 길이가 크지 않으며, 수산물 생산의 목적보다는 하구의 기능인 다양한 생물 서식처로서의 기능이 우선되어야 할 것으로 보인다. 하구둑 건설로 인해 갯벌 훼손이 일어

난 경우도 농경지와 담수호의 경우와 같은 방법으로 복원될 수 있다. 하구둑 역시 방조제와 마찬가지로 홍수량 배제를 위한 배수갑문이 설치되어 있으며, 이를 상시 개방하는 방법으로 쉽게 복원이 수행될 것으로 기대된다. 생물복원의 경우 하구둑 개방으로 해수를 통한 포자나 유생의 가입이 예상되며, 물리적 환경에 적합한 종의 자연적 천이가 기대된다.

(1) 사례분석

농업용지와 담수호의 방조제는 배수갑문이 설치되어 있다는 특징이 있으며, 담수호는 농업용지에 이용되는 용수확보의 목적이 있다. 방조제관리법에서 방조제의 관리를 국가 및 지방자치단체관리로 구분하고 있으며, 이 방조제들은 농업을 목적으로 해안에 설치된 제방과 농지 보전이나 농업 생산에 이용되는 농업생산기반시설이다. 관리방조제에 의하여 보호되는 농경지가 한국농촌공사의 관리지역 안에 있는 경우에는 한국농촌공사가, 관리방조제에 의하여 보호되는 농경지가 한국농촌공사의 관리지역밖에 있는 경우에는 그 지역을 관할하는 시·군에서, 관리방조제에 의하여 보호되는 농경지가 한국농촌공사의 관리지역 안과 관리지역 밖에 걸쳐 있는 경우에는 보다 넓은 농경지를 관할하거나 그 관리지역으로 하는 시·군 또는 한국농촌공사에서 관리함을 방조제관리법 시행령 제 5조에서 확인할 수 있다. 이 중 한국농촌공사가 관리하는 방조제 167개 중 156개의 방조제 위치와 착공연도, 준공연도, 길이, 높이, 저수량, 포용조수량, 유역면적, 수혜면적, 갑문 유/무 등을 확인할 수 있었다. 위의 자료들 중에서 방조제의 길이는 교통로의 비중을 나타내는 특성으로 생각하였으며, 수혜면적의 경우 훼손된 갯벌의 면적과 관련 있는 인자로 판단하였다.

방조제 길이에 따른 수혜면적의 그래프는 Fig. 4.8과 같다. 이 그래프에

서 전체 방조제 길이와 수혜면적의 평균값을 기준으로 하여 유형별로 구분하였다. 평균값들은 2007년도 농림부 통계연보를 사용하였고, 데이터의 구분을 명확히 하기 위해서 각 축을 Log-scale로 나타내었다(Fig. 4.9).

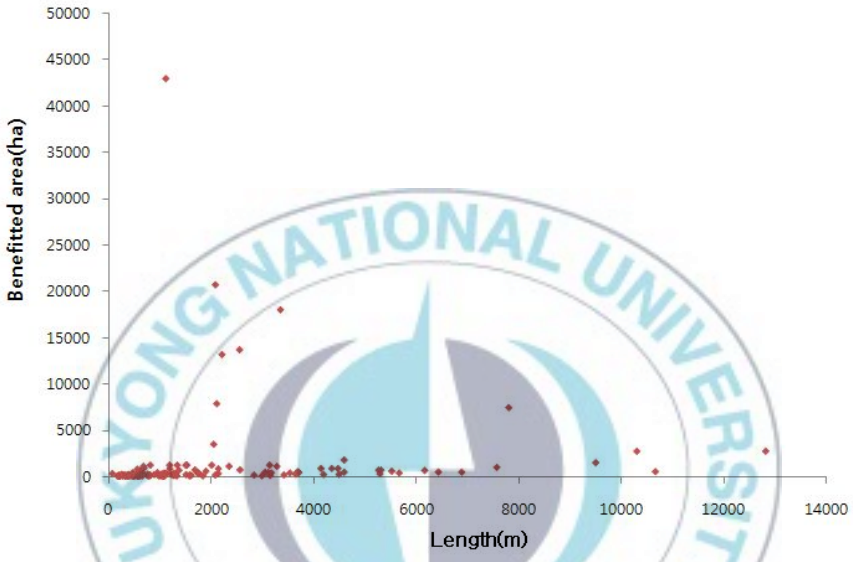

Fig. 4.8 Relationship between sea dike length and benefitted area.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

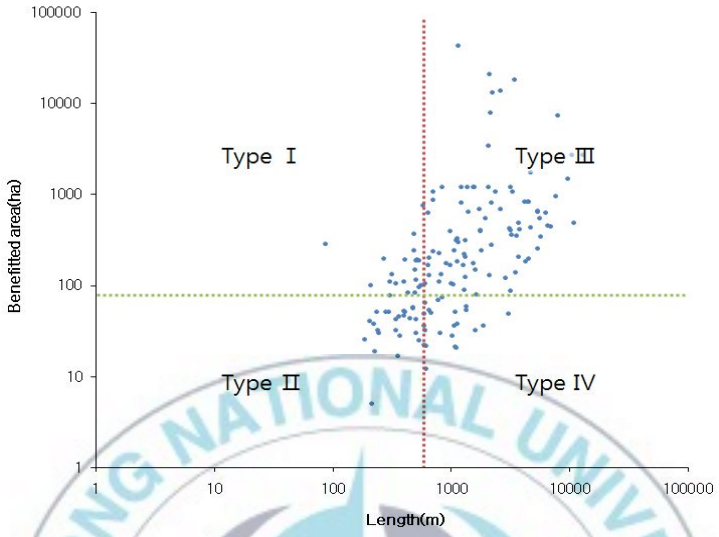

Fig. 4.9 Classification of sea dike with benefitted area and length(log-scale).

(가) Type Ⅰ

Type Ⅰ은 국내 방조제의 평균길이인 578.17 m보다 짧으며, 평균 수혜면적인 78.27 ha보다 큰 지역의 방조제이며, 총 156개의 방조제 중 19곳(12.2%)이 해당되며, 약 12%를 차지한다. 평균 방조제 길이는 409.4 m, 수혜면적과 유역면적의 평균은 각각 159.5, 1,484.6 ha이며, 수혜면적/방조제 길이의 비는 0.53이다(Table 4.10). 이 중 국가관리 방조제는 9개이며, 나머지 10곳은 지방자치단체와 기타 관리였다.

(나) TypeⅡ

TypeⅡ는 총 156개의 방조제 중 25곳(16%)이 해당된다. 평균 방조제 길이

는 339.6 m, 수혜면적과 유역면적의 평균은 각각 39.5, 331.5 ha이며, 수혜면적/방조제 길이의 비는 0.12이다(Table 4.10). TypeⅡ는 국가관리 방조제가 없었으며, 모두 지방자치단체와 기타관리자의 시설물로 구성되어 있었고, 네 가지 유형 중에 방조제 길이와 유역면적이 가장 작은 특징을 가지고 있다.

(다) TypeⅢ

TypeⅢ는 총 156개의 방조제 중 88곳(56.4%)이 해당된다. 평균 방조제 길이는 2,877.2 m, 수혜면적과 유역면적의 평균은 각각 1,947.8, 57,589.8 ha이며, 수혜면적/방조제 길이의 비는 1.06이다(Table 4.10). 방조제의 대부분이 국가 관리를 받고 있으며, 준공연도의 평균에서도 다른 유형에 비해 큰 차이로 최근에 건설된 것을 알 수 있다.

(라) TypeⅣ

TypeⅣ는 총 156개의 방조제 중 24곳(15.4%)이 해당된다. 평균 방조제 길이는 985.7 m, 수혜면적과 유역면적의 평균은 각각 42.3, 441 ha이며, 수혜면적/방조제 길이의 비는 0.05이다(Table 4.10). 방조제의 대부분이 지방자치단체의 관리를 받고 있으며, 이러한 점에서 TypeⅡ와 유사하다.

이상에서 TypeⅡ와 TypeⅣ는 방조제 길이 당 수혜면적의 비가 전체 평균인 0.13(ha/m) 미만이며, 국가관리 방조제가 없다는 공통점이 있다. 또 TypeⅢ는 가장 많은 분포를 나타내며, 평균 준공연도로 보아 가장 최근에 준공된 형태의 방조제로 판단된다.

Table 4.10 Characteristics of each type

Type	Type Ⅰ	Type Ⅱ	Type Ⅲ	Type Ⅳ
No. of dike	19 (12.2%)	25 (16.0%)	88 (56.4%)	24 (15.4%)
av. length (m)	409.4	339.6	2,877.2	985.7
av. benefited area(ha)	159.5	39.5	1,947.8	42.3
av. watershed area(ha)	1,484.6	331.5	57,589.8	441
av. storage capacity (1,000ton)	5,072.1	1,000.5	34,291	782.6
av. completion date	1946	1948	1957	1945
benefitted area(ha)/ length(m)	0.53	0.12	1.06	0.05

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

(2) 유형별 복원방안

TypeⅠ은 방조제 길이는 짧은데 비해 수혜면적이 큰 유형이며, 수혜면적이 크다는 것은 갯벌 훼손이 크다는 것을 알 수 있다. 평균 방조제 길이가 비슷한 TypeⅡ의 경우보다 수혜면적이 넓다는 것은 방조제가 좁은 만 입구에 건설되었으며, 지형이 더 굴곡지고 넓어서 건설된 방조제가 교통로의 이용 효율이 더 높다는 것을 의미한다. 교통로 이용을 위해 방조제의 제거보다는 기존배수갑문의 활용과 수로 개설의 방법이 추천되며, 포용조수량이 다른 유형보다 큰 특징으로 보아 다수의 수로 건설이 있어야 할 것으로 판단된다.

TypeⅡ의 경우 방조제의 길이와 수혜면적이 가장 작은 경우이며, 교통로의 이용도가 낮을 것이라 판단되어 방조제의 제거에 가장 적합한 지역이다. 소규모의 방조제이며, 포용조수량이 적어 단순히 배수갑문 개방을 통해 수문복원에 활용 할 수 있다.

TypeⅢ과 TypeⅣ는 방조제가 길어서 교통로 기능이 크다고 생각된다. 따라서 수로개설이나 갑문활용이 가능하다. TypeⅣ에 비해 TypeⅢ의 경우는 해수의 유출입이 많을 것으로 판단되며, 다수의 수로가 필요하다. 또한 TypeⅢ는 네 가지 유형 중 가장 많은 분포를 보이고 있으며, 대부분이 국가에서 관리하는 방조제이다. 이 유형 중에서 방조제 내측의 조지 면적과 조차가 큰 경우에 조력발전으로 활용 가능 할 것으로 판단된다.

다. 나대지

방조제는 건설되어 있으나 간척지가 방치되어 있거나 내부개발이 실시되지 않은 경우를 나대지로 선정하였으며, 폐염전과 폐양식장 등도 포함된다. 이들에 대한 전체 면적은 조사되어 있으나, 세부적인 현황자료는 구하기 힘들었으며, 일반적으로 Fig. 4.10과 같이 나타낼 수 있다.

나대지를 방조제 건설 후 내부개발이 실시되지 않은 경우, 단순히 해수소통에 의한 수문복원을 통해서 갯벌로의 복원이 가능하다고 판단되며, 토양과 생물은 자연의 self-design을 활용한 복원이 가능하다.

앞서 방조제 체절 후 해수소통이 제한된 지역은 공기노출에 의한 산화과정이나, 토양층의 압밀, 물리적 압축, 조수에 의한 퇴적물 공급의 제한 등으로 인해 함몰이 일어나게 됨을 알 수 있었다(Cornu and Sadro, 2002). 따라서 간척지가 방조제 건설 후 이용되지 않고 방치되어 있는 경우와 계획된 용도에서 벗어나 버려진 경우, 즉 방치된 간척지나 폐염전, 폐양식장 등 내부개발이 실시되어 지형이나 토성 등이 변화한 경우에는 농업용지의 복원과 같으며, 방조제 건설 후 방치된 경우에는 다른 공사가 진행되지 않았으므로 수문복원을 통하여 수월하게 갯벌을 복원할 수 있다.

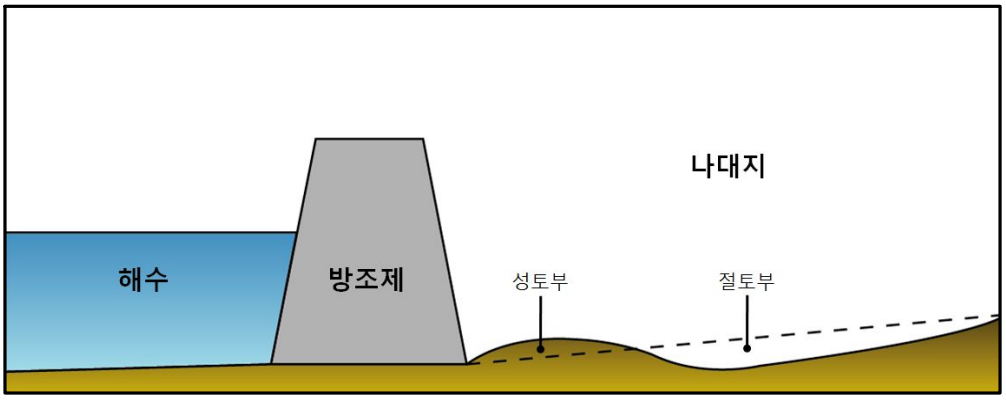

Fig. 4.10 Conceptual diagram of unimproved property.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

Ⅴ. 결론

우리나라 갯벌은 그 동안 매립·간척에 의해 많은 훼손이 있어왔다. 특히 방조제 건설은 갯벌 훼손이라는 사회적 문제와 함께 오염 문제를 유발하는 특징이 있다. 이러한 방조제 건설로 훼손된 갯벌의 복원을 위해 갯벌의 특징인 수문, 토양, 생물의 복원이 있어야하며 본 연구에서는 외국사례와 국내 현황에 따라 각 방법들을 도출하였고, 복원대상지로 설정된 지역에 대한 복원의 구체적인 방안을 제시하였다.

방조제 건설은 해수 소통을 막아 생태계 환경의 변화와 오염을 가중시키는 것과 함께 내부 개발을 위해 갯벌을 훼손하게 된다. 방조제 건설로 인한 환경변화의 과학적인 정보는 부족한 현실이지만 최근 수질오염으로 인해 사회적인 문제가 되고 있다. 아직까지 국내에서 실행된 방조제 건설로 훼손된 갯벌 복원의 예가 없는 실정이며, 본 연구는 많은 문제점을 지니는 방조제 건설로 매립·간척된 갯벌을 복원함은 물론 자연환경 에너지를 얻을 수 있는 방안을 제시하고자 하였다. 이 연구는 앞으로 실행될 방조제 건설로 훼손된 갯벌 복원의 최초 연구로서, 국내 복원사업 실행 시에 도움을 줄 것으로 예상된다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 계획된 목적과 다른 용도로 이용되거나, 다른 생태계에 오염을 유발하는 지역, 복원과 관련된 계획이 있거나 실행되었던 지역에 대해 복원

대상지 선정 기준으로 하였다. 복원대상지로는 농업용지, 담수호, 염전, 양식장, 나대지로 구분되었으며, 각 지역에 대한 현황파악을 실시하였다.

둘째, 갯벌의 특성인 수문, 토양, 생물의 복원방법들을 조사하여 제시하였으며, 수문복원의 경우 방조제 제거, 수로개설, 배수갑문을 활용한 상시개방의 방법이 있으며, 토양복원은 표토제거, 준설, 준설토를 활용하는 방법이 복원에 사용될 수 있다. 생물복원은 물리적 환경변화에 따른 자연적인 천이 유도하는 것이 가장 적합하다고 판단되며, 목적에 따라 대상종을 도입할 수 있다.

셋째, 복원대상지로 선정된 농업용지, 담수호, 염전, 양식장, 나대지에 대해 방조제와 농업용지로 이용되는 경우와 담수호와 농업용지가 같이 존재하는 경우로 구분하였으며, 폐염전과 폐양식장은 나대지에 포함시켜 각각의 복원방안을 제시하였다.

본 연구에서 방조제 건설로 훼손된 갯벌 복원을 위한 복원대상지 선정과 수문, 토양, 생물 복원의 방법, 각 복원대상지에 대한 복원방안을 제시하였으나, 제한된 자료의 이용으로 적용과정에서 보완이 필요할 것으로 판단되며, 구체적인 대상지의 상태나 이해당사자간의 의견 조율, 복원목적과 목표의 설정을 통해 실제 갯벌복원 적용과정에서 다른 형태의 방법이 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

건설교통부, 2003, 호소 및 하천의 퇴적오니 분포조사 및 환경친화적인 준설·재이용 기술개발

경기개발연구원, 2007, 서해안 간척사업 현황분석 및 활용방안

고철환, 1998, 습지보전과 지방자치단체, 지방자치 112, 현대사회연구소, 51~55p

고철환, 2001, 한국의 갯벌, 서울대학교출판부

국립수산과학원, 2007, 국립수산과학원 사업보고서 : 양식연구분야

국토해양부, 2008a, 갯벌복원 국제 심포지움, 갯벌복원 최신 동향(Recent Progress on Coastal Wetland Restoration)

국토해양부, 2008b, 기업하기 좋고 살기편한 국토경영(업무보고자료)

국토해양부, 2008c, 연안습지 조사 지침서

권상필, 1998, 지방관리방조제 개보수 추진, 나라경제, 90, 85~87p

김종구, 유선재, 2000, 통수실험에 의한 갯벌의 오염물질 정화능력 평가, 한국환경과학회지, 9(3), 223~228p

농림부, 1996, 방조제를 이용한 어장환경 조성 기술개발 연구

농림부, 1999, 간척지 개발과 연안의 친수 환경 조성 연구

농림부, 2005, 간척담수호의 염해예보시스템 개발 연구

농림부, 2007, 농업생산기반정비사업 통계연보

농림부, 2008, '새만금을 동북아 경제중심지'로 기틀 마련

농어촌진흥공사, 1995, 한국의 간척

농어촌진흥공사, 1996, 농공기술 50년사

농어촌진흥공사, 1999, 대단위농업종합개발 총람

농업기반공사, 2000, 농업생산기반정비사업 조사·설계 실무요령, 제 4편 간척

농촌진흥청 호남농업시험장, 2002, 한국의 간척지 농업

맹준호, 홍재상, 2008, 해안개발사업으로 인한 갯벌매립의 효율적 저감방안, 학국습지학회, 10(1), 49~57p

산업자원부, 1998, 폐전지원계획 고시

순천시, 2007, 환경백서

시화호 관리위원회, 2008, 2단계 시화호 종합관리계획 세부시행계획

안산환경기술개발센터, 2002, 화옹호 조성에 따른 수질오염도 및 생태계 변화추이 조사, 13~14p

안순모, 백봉주, 2003, 마산만 가포지역 인공갯벌의 유기물 및 영양염 수지, 한국해양학회지, 8(4), 411~419p

오휘영, 최병권, 2001, 해안간척지 친환경적 복원·시공, 서울, 도서출판 조경

유선재, 김종구, 1999, 갯벌의 오염물질 정화능력 평가, 한국수산학회지, 32(4), 409~415p

윤성규, 홍재상, 1995, 해양생물학(저서생물), 서울, 아카데미서적

이석모, 김정숙, 김진만, 송은지, 2005, 인공조간대 조성을 위한 설계기법에 관한 연구, 2005년도 한국해양과학기술협의회 공동학술대회, 2204~2210p

이인철, 이병호, 박소영, 서인수 , 2007, 인공간석지 조성의 생화학적 설계인자 평가에 관한 연구, 2007년도 한국해양과학기술협의회 공동학술대회, 2599~2604p

이정규, 서희동, 2000, 인공 간석지 창출에 있어서 토양조성에 관한 연구, 유기성자원학회, 8(2), 85~92p

이정규, 이남훈, 2000, 간석지 생태계 복원에 관한 실험적 연구, 유기성자원

학회, 8(1), 77~82p
이홍동, 1997, 갯벌의 이용 현황과 경제적 가치, 환경과 생명, 통권 제 13호, 106~117p
인천광역시, 2005, 송도지역 공유수면매립사업[8공구] 환경영향평가서
통계청, 2008, 어류양식현황조사 결과 2007
한국수자원학회, 2007, 하천공사 표준시방서
한국해양연구원, 2003, 황해 연안역의 해양환경 복원을 위한 연구 : 인공갯벌(Ⅰ~Ⅲ)
한국환경정책·평가연구원, 2005, 해양매립사업으로 인한 환경영향의 효율적인 저감방안에 관한 연구
한국환경정책·평가연구원, 2006, 해안개발사업에 따른 해안침식 영향 저감방안 연구
한국환경정책·평가연구원, 2007, 갯벌 매립사업 환경평가 개선방안에 관한 연구
해양수산개발원, 2007, 연안환경 복원의 경제적 편익 분석
해양수산부, 1999, 갯벌 생태계조사 및 지속 가능한 이용방안 연구
해양수산부, 2000, 갯벌 생태계조사 및 지속 가능한 이용방안 연구
해양수산부, 2001a, 갯벌 생태계조사 및 지속 가능한 이용방안 연구
해양수산부, 2001b, 세계 주요국가의 갯벌백서
해양수산부, 2001c, 제 2차 공유수면매립기본계획 수립 추진계획
해양수산부, 2002, 갯벌 생태계조사 및 지속 가능한 이용방안 연구
해양수산부, 2003a, 갯벌 생태계조사 및 지속 가능한 이용방안 연구
해양수산부, 2003b, 대체습지조성 중장기 계획 수립용역(Ⅰ)
해양수산부, 2004, 대체습지조성 중장기 계획 수립용역(Ⅱ)
해양수산부, 2005a, 갯벌 생태계조사 및 지속 가능한 이용방안 연구

해양수산부, 2005b, 우리나라 갯벌 : 자연생태의 특성

해양수산부, 2006, 해양수산통계연보

해양수산부, 2007a, 연안관리 제도개선 연구

해양수산부, 2007b, 연안생태계 식생복원을 통한 연안관리 기술개발

해양수산부, 2007c, 완도·도암만 환경보전해역 생태계 관리복원 사업 연구

해양수산부, 2007d, 해양수산통계연보

호남농업연구소, 2007, 간척지 논토양 관리기술

홍재상, 1998, 한국의 갯벌, 대원사

홍재상, 2001, 우리나라 갯벌의 현황과 갯벌생태계의 보존, 토지개발기술 2001년 여름호, 98~111p

환경부, 1999, 해산어 육상축양장의 수질개선 및 연안환경 개선을 위한 오존처리 시스템의 개발

환경부, 2007, 훼손된 자연생태계 복원기술 : 낙동강 하구역 습지 생태계 훼손지역 복원 및 관리기술

American Rivers, 2002, The Ecology of Dam Removal

Bradshaw A., 1997, Restoration of mined lands-using natural processes, Ecological Engineering, 8, 255~269p

California State Coastal Conservancy, 2004, Design Guidelines for Tidal Wetland Restoration in San Francisco Bay

Cornu C. E., S. Sadro, 2002, Physical and Functional Responses to Experimental Marsh Surface Elevation Manipulation in Coos Bay's South Slough, Restoration Ecology, 10(3), 474~486p

Crooks S., J. Schutten, G. D. Sheern, K. Pye, A. J. Davy, 2002, Drainage

and Elevation as Factors in the Restoration of Salt Marsh in Britain, Restoration Ecology, 10(3), 591~602p

Eertman R. H. M., B. A. Kornman, E. Stikvoork, H. Verbeek, 2002, Restoration of the Sieperda Tidal Marsh in the Scheldt Estuary, the Netherlands, Restoration Ecology, 10(3), 438~449p

Gray A., C. A. Simentstad, D. L. Bottom, T. J. Cornwell, 2002, Contrasting Functional Performance of Juvenile Salmon Habitat in Recovering Wetlands of the Salmon River Estuary, Oregon, U.S.A., Restoration Ecology, 10(3), 514~526p

IUCN, 2000, Ecosystem Management : Lessons from around the World. A Guide for Development and Conservation Practitioners

Kang D., 2001, Emergy Evaluation of the Kangwha Tidal Flat, Korean Society of Oceanography, 36(2), 51~58p

Kangas P. C., 2003, Ecological Engineering : Principles and Practice. CRC Press

Millenium Ecosystem Assessment, 2005, Ecosystem and Human Well-being : Wetlands and Water, World Resource Institute

Mitsch W. J., J. G. Gosselink, 2000, Wetlands : Third Edition,

Mitsch W. J., S. E. Jorgenen, 2004, Ecological Engineering and Ecosystem Restoration.

National Research Council, 1992, Restoration of Aquatic Ecosystem : Science, Technology, and Public Policy, National Academy Press, Washington DC.

Neckles H. A., M. Dionne, D. M. Burdick, C. T. Roman, R. Buchsbaum, E. Hutchins, 2002, A Monitoring Protocol to Assess Tidal Restoration of Salt Marshes on Local and Regional Scales, Restoration Ecology,

10(3), 556~563p

NOAA, 1998, Restoration of Coastal Habitats and Species in the Gulf of Maine

NOAA, 2000, New York State Salt Marsh Restoration and Monitoring Guidelines

NOAA, 2003, Systematic Approach to Coastal Ecosystem Restoration

NOAA, EPA, Corps, FWS, NRCS, 2003, An Introduction and User's Guide to Wetland Restoration, Creation, and Enhancement

NOAA, 2004, National Review of Innovative and Successful Coastal Habitat Restoration

NOAA, 2008a, Lessons Learned from Tidal Hydrology Restoration in the Southeastern U.S., "Recent Progress on the Coastal Wetland Restoration'

NOAA, 2008b, Restoring Tidal Hydrology : Breaking Down Barriers, Workshop Proceedings

Roumans R. M. J., D. M. Burdick, M. Dionne, Modeling Habitat Change in Salt Marshes after Tidal Restoration, Restoration Ecology, 10(3), 543~555p

Short F. T., D. M. Burdick, C. A. Short, R. C. Davis, P. A. Morgan, 2000, Developing Success Criteria for Restored Eelgrass, Salt Marsh and Mud Flat Habitats, Ecological Engineering, 15, 239~252p

Simenstad C. A., R. S. Warren, 2002, Introduction to the Special Issue on Dike/Levee Breach Restoration of Coastal Marshes, Restoration Ecology, 10(3), i p

Society for Ecological Restoration International, 2004, The SER

International Primer on Ecological Restoration.

Society for Ecological Restoration International, 2005, Guidelines for Developing and Managing Ecological Restoration Projects, 2nd Edition.

Tanner C. D., J. R. Cordell, J. Rubey, L. M. Tear, 2002, Restoration of Freshwater Intertidal Habitat Functions at Spencer Island, Everett, Washington, Restoration Ecology, 10(3), 564~576p

Thom R. M., R. Zeigler, A. B. Borde, 2002, Floristic Development Patterns in a Restored Elk River Estuarine Marsh, Grays Habor, Washington, Restoration Ecology, 10(3), 487~496p

Warren R. S., P. E. Fell, R. Rozsa, A. H. Brawley, A. C. Orsted, E. T. Olson, V. Swamy, W. A. Niering, 2002, Salt Marsh Restoration in Connecticut : 20 Years of Science and Management, Restoration Ecology, 10(3), 497~513p

Williams P., P. Faber, 2001, Salt Marsh Restoration Experience in San Francisco Bay, Coastal Research, SI(27), 203~211p

Williams P. B., M. K. Orr, 2002, Physical Evolution of Restored Breached Leeve Salt Marshes in the San Francisco Bay Estuary, Restoration Ecology, 10(3), 527~542p

Zedler J. B., 2001, Handbook for Restoration Tidal Wetlands

國土交通省港湾局 監修/海の自然再生ワーキンググループ著, 2003, 海の自然再生ハンドブッ　　ク , 株式會社 ぎょうせいー 第2卷 干潟編

<인터넷 사이트>

www.coast.kr/portal	국토해양부연안포탈
www.ecoone.co.kr	에코원 주식회사
www.encyber.com	두산백과사전
www.reclaim.hari.go.kr	국립식량과학원 한국의 간척농업
www.tidalflat.go.kr	갯벌정보시스템
www.tocycle.com	토석공유시스템
www.joins.com	중앙일보

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교