공학석사 학위논문

갯녹음 해역의
해조장 복원 절차에 관한 연구

2008 년 8 월

부 경 대 학 교 대 학 원

환 경 공 학 과

권 혜 옥

공학석사 학위논문

갯녹음 해역의
해조장 복원 절차에 관한 연구

지도교수 이 석 모

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2008 년 8 월

부경대학교 대학원

환 경 공 학 과

권 혜 옥

權惠玉의 工學碩士 學位論文을 認准함.

2008 년 8 월

주 심 공학박사 김 일 규 ㊞

위 원 공학박사 이 태 윤 ㊞

위 원 공학박사 이 석 모 ㊞

목 차

Ⅰ. 서론 ····· 1

Ⅱ. 이론적 배경 ····· 4

1. 해조장(Seaweed bed, 海藻場) ····· 4

1.1 해조(Alga, 海藻) ····· 4

1.2 해조장의 기능 및 가치 ····· 5

2. 갯녹음(Whitening event) ····· 8

2.1 갯녹음 현상의 정의 ····· 8

2.2 갯녹음 현상의 원인 및 피해 ····· 11

2.3 갯녹음 지표종 – 무절산호조류(Crustose coralline algae) ····· 18

2.4 갯녹음 현상의 대책 ····· 21

2.5 국내·외 연구 상황 ····· 23

3. 해조장 복원 ····· 25

3.1 생태복원의 개념 ····· 25

3.2 복원의 일반적 절차 ····· 28

3.3 해조장 복원연구 ····· 31

Ⅲ 연구방법 ····· 33

Ⅳ. 결과 및 고찰 ····· 35

1. 현황조사 ····· 35

1.1 자연환경 ····· 35

1.2 사회·경제 환경 ····· 42

2. 복원진단 및 원인규명 ····· 45

2.1 복원진단 ····· 46

2.2 원인규명 ····· 49

3. 복원목표 수립 ····· 54
3.1 복원목표와 목적 결정 ····· 54
3.2 Reference 생태계 결정 ····· 55
3.3 복원 면적 및 복원 기간 ····· 55
4. 복원대상종 선정 ····· 56
4.1 대상종 - 1 ····· 56
4.2 대상종 - 2 ····· 57
5. 이식방법 선정 ····· 71
5.1 이식방법 ····· 71
5.2 착생기질 ····· 76
5.3 이식시기 고려 ····· 79
6. 모니터링 ····· 80
7. 유지관리 및 평가 ····· 82
7.1 유지관리 ····· 82
7.2 평가 ····· 83
8. 복원매뉴얼 ····· 85
8.1 인위적으로 제어가 가능한 원인 ····· 85
8.2 인위적으로 제어가 불가능한 원인 ····· 98
Ⅴ. 결론 ····· 107
참고문헌 ····· 109

표 목 차

Table 2.1 Cause of whitening event(谷口,1998) ····· 12
Table 2.2 Cause of whitening event(choi, 2007) ····· 15
Table 2.3 The status of whiting event ····· 17
Table 2.4 The coralline reported from our country ····· 19
Table 2.5 Examples of ecological engineering approachs for ecosystems according to types of application ····· 25
Table 3.1 Investigation of present condition in study site ····· 44
Table 3.2 Classification of coralline algae cover percentage ····· 47
Table 3.3 Classification of algae cover percentage ····· 49
Table 3.4 Classification of whitening event for restoration ····· 54
Table 3.5 Target species ····· 57
Table 3.6 Substrate of seaweeds ····· 58
Table 3.7 Depth of seaweed (intertidal zone) ····· 60
Table 3.8 Depth of seaweed (subtidal zone) ····· 61
Table 3.9 Target species(Temp.) ····· 63
Table 3.10 Seaweed classifications size and lifecycle ····· 64
Table 3.11 The salinity for growth of the seaweed ····· 67
Table 3.12 The nutrient for the growth of the seaweed ····· 68
Table 3.13 The COD for the growth of the seaweed ····· 69
Table. 3.14 Reproductive organ of seaweed ····· 74
Table. 3.15 Growth Condition ····· 75
Table. 3.16 Monitoring ····· 81

그 림 목 차

Fig. 2.1 Sea forest(海中林) ····· 7
Fig. 2.2 Whitening event ····· 10
Fig. 2.3 Succession of seaweed bed ····· 13
Fig. 2.4 Whitening event construction one model ····· 21
Fig. 2.5 Step and pattern of environment restoration ····· 27
Fig. 2.6 Concept and goal of ecological engineering ····· 27
Fig. 2.7 Type of ecological engineering ····· 28
Fig. 2.8 process of the general restoration ····· 30
Fig. 3.1 Study site ····· 50
Fig. 3.2 Upward tendency of sea temperature ····· 52
Fig. 3.3 Relationship between seaweed and tide ····· 70
Fig. 3.4 Adult transplantation ····· 72
Fig. 3.5 Spore bag method ····· 74
Fig. 3.6 Plan of artificial reefs investigation process ····· 78
Fig. 3.7 Method of longline ····· 79

Manual of seaweed restoration in whitening coastal area

Hye Ok Kwon

Department of Envoronmental engineering, Graduate school,
Pukyoung National University

Abstract

Whitening event is a symptom that the useful algae disappears, crustose coralline like cement covesr the rocks on the coast due to a certain cause and finally, oceanic lives disappear. In this study, we tried making a manual to formulate substantially the items and factors which are considered in case we recover the wild-stock enhancement during whitening event occurred on the coast. From the result of this research, in case of the occupying rate of useful algae is lower than 3 and the occupying rate of crustose coralline is higher than 3, we suggest a recovery standard to recover the changed coast. Also, for the recovery, we suggest a counter measure after classifying the control cause into artificial cause and natural cause. When controling artificial cause, if we prevent the cause, they are recovered by self design. When controling the natural cause, we should select an affordable species for the environment and a proper implanting method and then recover the species.

This manual will be contributed to plan and make seaweed restoration.

Ⅰ. 서론

해양은 지구 표면적 5.1×10^7 km^2 중 70%에 해당하는 3.8×10^7 km^2을 차지하며, 지구기후를 조절하고 전 지구적 순환을 조절하는 매우 중요한 역할을 한다. 또한 연간 1조 달러 가치자원과 생산물의 공급자로서 중요한 사회경제적 가치를 가진다. 또한 휴양지와 관광지로, 수송의 매개물로, 유전과 생물학적 정보의 보고 역할을 한다(IPCC, 2001). 이러한 작용들 중에서 육지와 외양의 중간에 위치한 수심 200 m 이하의 연안역은 육상생태계와 해양생태계의 천이지대로 시공간적인 척도와 인접한 생태계간 상호관계의 영향으로 일련의 독특한 생태적 특징들을 지닌 공간으로(Hansen and Di castri, 1992) 예로부터 인간의 문화 예술적 관심의 대상이 되었으며, 문학, 미술 및 음악작품으로도 곧잘 표현되었다. 이렇게 인간생활과 밀접한 연안역 해안선에서 100 km 이내에는 오늘날 지구상 인구의 약 3/4이 거주하고 있다(장, 1999). 때문에 연안역은 인간의 관심과 활동이 집중되는 곳으로 지구상에서 가장 유용한 곳이면서 동시에 훼손이 가장 우려되는 곳이다.

연안역을 둘러싼 위협요인은 크게 자연적 영향과 인간활동에 따른 영향으로 구분 할 수 있다. 자연적 영향에는 기후변화, 지진, 태풍 등의 자연재해, 그리고 해양생태계 질병요인 등이 있다. 이보다 더욱 직접적이고 단기적인 위협요인으로는 인간활동에 따른 영향이다. 인간활동에 따른 영향은 다시 해양기반과 육상기반으로 구분되어 해양기반 활동에 따른 영향요인은 수산물 남획, 해양오염, 선박활동 등으로 나뉜다. 육상기반 활동에 따른 요인에는 연안개발, 침식, 농업활동 등이 있다. 특히 우리나라는 전체인구의 27%가 연안에 거주하면서 개발에 대한 수요가 연안에 집중되어 있어(한국수산개발원, 2007), 습지와 갯벌 과 같은 연안생태계에 미치는 영향이 다른 요인들 보다

매우 크다. 1970년대 경제성장 이후 시작된 적극적인 해안개발로 인한 모래사장, 갯벌과 같은 연안서식처 파괴, 생활하수에 의해 흘러들어오는 영양염의 부영양화에 의한 적조현상과 바다사막화로 불리는 갯녹음 현상으로 인해 해산생물자원이 감소하는 등 우리나라는 지금 극심한 해양생태계 변화를 겪고 있다. 특히 육상의 온대림을 능가하는 높은 생산력과 생물학적 측면에서 매우 중요한 존재로 인식되는 해조장이 파괴되는 갯녹음 현상은 해양환경보전 및 수산자원 보호의 측면에서 심각한 문제로 제기되고 있다. 더욱이 갯녹음 현상은 여름철에 일시적으로 발생하는 적조현상과 달리 오랜 시간 동안 완만히 진행되어 한번 진행이 되고 나면 다시 원상태로 되돌아가는데 무척 어렵고, 오랜 시간이 걸릴 뿐만 아니라 그 영향이 불특정 다수에게 영향을 미친다는 점에서 해양생태학적으로나 수산업적으로 더 큰 문제로 인식되고 있다(해양수산부, 2000).

갯녹음 현상은 원래는 자연적 천이과정으로 시간이 지나면 해조장으로 되돌아가지만 최근 발생하고 있는 현상은 인간활동에 의한 경우로 생태순환의 과정이 끊어져 회복이 되지 않아 심각한 문제가 된다. 따라서 이러한 갯녹음 현상에 대처하기 위해서는 먼저 갯녹음의 원인이 무엇인지를 밝히는 것과 이를 지속시키는 원인이 명확히 밝혀져야 하며, 다음으로 훼손된 갯녹음 해역에 대한 대안이 제시되어야 한다. 가장 적극적인 대안이면서 생태공학적인 방법으로 제시되고 있는 것이 해조장 복원이다. 우리나라의 경우 국립수산과학원에서 동, 남해안과 제주도에 해조장 복원 연구가 이루어지고 있으며, 특히 동해수산연구소의 갯녹음 해역에 대한 해조장 복원 연구는 대표적인 사업이다. 하지만 대부분의 연구가 아직까지는 해중림초에 대한 연구(국립수산과학원, 2005 ; 국립수산과학원, 2005 ; 국립수산과학원, 2008 ; 김 등, 2003)에 한정되어 있다.

이에 본 연구는 이러한 갯녹음 현상의 대안으로 제시되고 있는 해조장

복원사업시 각 단계에 따라 고려해야 할 항목과 인자들을 체계적이고 구체적으로 나타낸 매뉴얼을 작성하고자 하였다. 이와 같은 기초적 연구가 확립됨으로써 추후 갯녹음에 의해 소실된 해조장 복원이나 해양목장화사업과 같은 주요 사업의 필요성과 방향과 목표, 실제 복원사업에서 대상해조류의 선정, 복원절차, 사업시행 후의 모니터링 까지 각 단계별로 구체적인 계획수립에 기여하고자 한다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

Ⅱ. 이론적 배경

1. 해조장(Seaweed bed, 海藻場)

1.1 해조(Algae, 海藻)

조류는 “광합성을 하는 비관속 식물로서 엽록소 a 와 단순한 생식구조를 가지는 무리”로 정의된다(Trainor, 1978). 이 중 녹조식물문(녹조류), 갈조식물문(갈조류), 홍조식물문(홍조류)으로 구성된 대형조류를 우리는 일반적으로 해조류라고 부른다(오, 2006). 해조는 육상에서의 식물과 같은 광합성 작용을 통한 일차생산자의 역할을 수행하는 바다 식물로 해양저면적의 0.1%에 분포하지만 지구의 일차생산에 5%이상을 차지하고 있어 해양생태계유지에 큰 역할을 하고 있다(Smith, 1981).

녹조식물문(Chlorophyta)은 엽록소를 가지고 있어서 녹색을 띤 해조를 말하며, 주로 단세포성 종과 담수종이 많다. 기록된 16,800종에서 10%(해산식물학)만이 해양에서 출현하며 이들 대부분이 대형조류이다. 우리가 흔히 알고 있는 파래(*Entermorpha.*spp.)가 녹조류의 일종이다(강, 1968).

갈조식물문(Phaeophyta)은 녹갈색 또는 담갈색으로 5~6속 만이 담수환경에 서식하고 거의 대부분이 해산종(강, 1968)으로 기본적으로 온대해역에 우점하며 크기가 작은 사상형부터 단단한 구조의 조간대 갈조(*Ascophyllum, Fucus*)와 조하대에 분포하는 대형갈조류(*Macrocystic*)까지 체형이 다양하다. 우리가 흔히 알고 있는 미역(*Undaria pinnatifida*), 감태(*Ecklonia cava*), 다시마(*Liminaria japonica*) 와 같은 종이 갈조식물문에 속하며 이들 종은 식용으로 이용될 뿐만 아니라 해조콜로이드 알긴산 원료를 얻기 위해 수확되며 가축

사료나 비료대용으로 이용되어 상업적으로 중요하다.

홍조류(Rhodophyta)는 녹조류나 갈조류보다 서식범위가 넓어 얕은 수심에서부터 광선이 닿는 수심까지 자생하며 붉은 빛 또는 자주빛을 띤 해조로 그 수는 약 4000종으로서 다른 분류군의 해조류를 합친 것 보다 더 많다. 지리적으로는 한대성 해역보다는 온대와 아열대에 많이 분포하고 있으며 우리가 알고 있는 우뭇가사리(*Gelidium amansii*)가 홍조류에 속한다(강, 1968).

1.2 해조장의 기능 및 가치

해중 식물군락 중에서 해조류로 이루어진 경우를 조장(藻場) 또는 해조장(海藻場)이라고 부른다. 그러나 잘피류나 말잘피류와 같은 해초류가 우점적인 군락에 관해서는 초장(草場, seagrass beds)이라고 불러야 하지만 이 용어는 거의 사용하지 않는다(윤 등, 1995). 생육기반의 특성에 따라 구분하면 암초역에 발달하는 암초성해조장(주로 갈조류로 구성된 해조장)과 사니역에 발달하는 사니성해조장(잘피 등의 해초로 구성 된 조장)으로 분류된다(김, 2003). 또한 이 해조장을 구성하는 해조・초의 종류(이하 해조(海藻)로 통일)는 그 해역의 환경조건에 따라 다르다. 그래서 해조장을 구성하는 주요한 식물의 명칭을 붙여서 부르는 경우가 많은데 대표적인 것으로는 모자반(*Sargassum* spp.)을 주체로 한 모자반場, 대황(*Eisenia bycyclis*), 감태(*Ecklonia cava*) 및 다시마류(*Laminaria* spp.)를 주체로 한 대황場, 감태場, 다시마場과 해초류의 잘피(*Zostera marnia*)를 주체로 한 잘피場 등이 있다. 이 중 모자반류를 포함한 대황, 감태, 다시마와 같은 대형 갈조류가 Fig. 2.1과 같이 마치 산림을 형성하고 있는 것처럼 보이는 것을 해중림(海中林, Sea forest)이라 한다.

이러한 해조장에서 가장 중요한 기능은 일차생산 기능이다. 해양생태계에서 1차 생산력의 연평균 생산율을 보면 하구역이나 해조숲-산호초의 생산

력이 대륙붕이나 용승해역보다 4배 정도가 높고, 외해역보다 거의 10배 이상 차이가 난다는 보고가 있다(홍, 1999). 생산성이 높다는 것은 생물들이 서식하기에 적합하다는 것을 의미 하는 것으로 해조장을 생활기반으로 두는 부착동물 군집부터, 해조군락을 서식지, 산란처, 은신처로 이용하는 전복, 성게, 소라, 볼락, 조피볼락 등 어류에 이르기 까지 다양한 생물상을 가지는 생물군집을 구성하고 있다. 때문에 해조장은 예로부터 인류의 식량자원으로서 중요한 역할을 담당해온 지역이다(Watanuki and Yamamoto, 1990 ; 최 등, 2000). 또한 연안으로 유입되는 영양염류를 흡수함으로써 연안해역의 부영양화를 감소시키는 완충기능과 수질과 저질의 정화기능을 함께 수행한다. 또한 광합성으로 CO_2를 흡수하고 O_2를 방출하여 대기, 해수 중의 용존산소를 증가시키고, 주변지역에서 방출되는 CO_2를 흡수하고 고정하는 환경형성을 수행한다(해양수산부, 2006).

또한 해조장은 환경 안정화의 역할을 함께 수행하는데 특히 암초성 해조장은 퇴적환경의 안정화에 크게 기여한다. 해조장내부에서 생육하는 조류의 밀집으로 인해 파도의 힘과 유속은 크게 감소되고 수온변화의 폭을 감소시킨다(國土交通省港湾局 監修/海の自然再生ワ-キンググル-プ著, 2003,). 이러한 영향은 많은 저서생물의 부유유생 안정의 기회를 주는 효과가 있으며, 사니질조장인 잘피場 에서도 수층이 영양염을 흡수 제거하고 산소를 공급하여 수질을 정화하는 기능뿐만 아니라, 해조류들의 지하줄기에 의해 모래지반이 안정화되기도 한다(박, 2007). 또한 이러한 해조장은 연구자들에게 훌륭한 연구의 장으로 적극적인 학술연구가 행해지는 친수공간으로서의 기능도 함께 한다.

Fig. 2.1 Sea forest(海中林).

(http://depc.co.kr, Photo by JungYeonKyu).

2. 갯녹음(Whitening event)

2.1 갯녹음 현상의 정의

갯녹음 현상은 아한대에서 아열대에 위치하고 있는 해역에서 보편적으로 나타나는 현상으로 일본에서 바위가 불탄다는 의미로 기소(Isoyake)라 한다. 일본의 엔도 기치사부로 박사는 1902년 [해조 갯녹음 조사보고]에서 갯녹음 현상을 다음과 같이 정의 하였다.

"갯녹음 현상은 해저에서 여러 종류의 해조류가 완전히 없어져서 암반이 백색 또는 황색으로 변하며, 다만 모자반과의 어떤 종이나 그 외 소수의 해조만이 소량으로 여기저기 남아있을 뿐이다. 그러므로 해조군락에 살고 있는 새우나 전복 등은 자취를 감추고, 포란을 위해 모여들던 어류도 모여 들지 않고, 서식처를 다른 곳으로 옮기게 된다. 이렇게 하여 연안어업에 의한 이익은 현저하게 감소하게 된다(손 등, 2002)."

우리나라에서 최초로 학술적인 용어로 갯녹음이란 용어를 사용한 손 등(1982, 1986)은 돌산도와 연화도에서 조간대와 조하대의 분포에서 무절산호조류가 우점하는 경향을 처음 보고하면서, 이소야케(Isoyake) 라고 불리던 현상을 순 우리말인 갯이 녹는다는 의미인 "갯녹음"이라 칭하였다.

김(1999)은 "대형해조류의 양적쇠퇴를 수반하는 퇴행적 천이에 의해 계급구조의 하층에 서식하고 있는 산호조류의 극상상태의 식생구조가 비교적 장기간에 걸쳐 유지되는 현상"으로 해조자원의 가입개체수가 감소할 뿐만 아니라 무절산호조류가 확대되는 현상으로 설명하였다. 이와 같이 암반이 백색으로 변화하는 것은 갯녹음의 지표종인 홍조류의 일종인 무절산호조류가 죽어서 암반을 뒤덮은 후 백색으로 변한것이다.

2002년 해양수산부에서 “갯녹음 현상의 원인규명 및 대책”에서는 갯녹음 현상을 다음과 같이 정의하였다.

“갯녹음 현상은 연안에서 어떤 요인에 의해서건 엽상형해조류가 소멸되고 시멘트와 같은 석회질로 된 딱딱한 홍조류인 무절산호조류가 암반을 뒤덮는 현상(Fig. 2.2)이다. 이처럼 바다 속의 해조류가 사라지면 그것을 먹이로 하는 성게나 전복 등의 자원감소는 물론이고, 바다숲을 서식처나 산란장으로 이용하는 모든 수중생물의 자원 또한 감소하게 되어 결국 마을어장이 황폐화되는 결과를 초래하고 있다(해양수산부, 2002).”

선행연구에서의 갯녹음 현상의 공통점은 첫째, 원래 서식하던 해조류가 소실되었다는 점, 둘째는 해조류가 소실된 공간을 홍조류의 일종인 무절산호조류가 차지한다는 점, 셋째는 해양생물이 사라진다는 것이다.

이것으로 보아 갯녹음 현상은 해양에서 어떤 원인에 의해 원래 그 해역에 서식하던 해조류가 사라지고 홍조류의 일종인 무절산호조류가 우점해버리는 현상으로, 결국에는 해양생물이 서식할 수 없는 해역이 되어버리는 현상이다.

Fig. 2.2 Whitening event.

2.2 갯녹음 현상의 원인 및 피해

2.1.1 갯녹음 현상의 원인

갯녹음 현상의 발생원인은 지역에 따라 생물군집의 구성과 지형, 해수특성이 제각기 다르기 때문에 항상 동일시 하는 것은 불가능하다. 다음은 전세계적으로 제시되고 있는 갯녹음의 원인이다(윤, 2005).

◎ 수온 상승설

대기 중의 CO_2 증가로 인한 지구온난화 결과 바다의 수온상승이 엽상형 해조류보다 무절산호조류가 번식하기에 좋은 환경을 만들어서 갯녹음이 발생하였다라는 설로 특히 일본과 한국의 경우 쿠로시오 난류의 영향이 점점 강해지고 있는 지역에 갯녹음이 확산되어 가장 설득력을 얻고 있다.

◎ 식해설

해조류를 섭식하는 성게와 같은 섭식동물들의 균형이 깨어지면서 해조군락이 소실된다. 이것은 성게의 접근이 어려운 하구나 쇄파대에서는 해조류가 잘 서식하는 것을 보면 성게의 섭식압이 해조류의 생장에 미치는 영향을 알 수 있다.

◎ 영양염 결핍설

영양염 결핍설은 해안가 도로 또는 방파제등의 건설로 인한 육상생태계와의 차단으로 인해 생장에 필요한 영양염과 미네랄 등이 결핍되어 갯녹음이 발생한다는 설로 특히, 육지로부터 담수유입의 감소로 인해 대형갈조류의 생장에 필요한 철이온이 부족하여 갯녹음이 발생한다는 설이다. 또한 쿠로시오난류의 영향을 받는 지역은 투명도가 높고 고수온과 더불어 영양염이 결핍되는 경우가 발생하는데 이러한 경우에도 갯녹음이 발생한다는 설이 제기

되고 있다.

기타 제시되고 있는 갯녹음의 원인으로는 생활하수나 산업폐수 등과 같은 인위적인 수질오염이 갯녹음 현상의 사태를 더욱 악화시킨다는 것이다. 일본 동북대학의 谷口(1998)는 이러한 갯녹음의 원인을 크게 생태학적인 요인과 인위적인 요인으로 나뉘어 설명하였다(Table 2.1).

생태학적인 요인은 해일이나 홍수에 의한 일시적인 대량 담수유입, 수온 상승과 영양염 상태의 변화와 같은 무기환경의 변동, 섭식동물이나 석회조와 같은 섭식동물에 의한 영향을 들 수 있다. 이러한 생태학적인 요인은 시간이 많이 걸리기는 하지만 수 십년 또는 그 이상 장기간 지속되면 회복되는 일종의 천이과정으로 설명하였다(Fig. 2.3).

Table 2.1 Cause of whitening event(谷口,1998)

Ecological Factors	Artificial factors
1. Environmental change	1. Over harvest
1) Hydrographic Variation (temperature, nutrient, wave action etc.)	2. Low of transparency by pollution
2) Geophysical change (tusnami, eruption, flood waters etc.)	3. Suspension of silt and drift sand
2. Biological effects	4. Waste water from mine factories
1) Grazing by herbivorous animals	5. Oil pollution
2) Inhibition of algal growth by crustose Coralline red algae	6. Synthetic detergent
	7. Agricultural chemicals

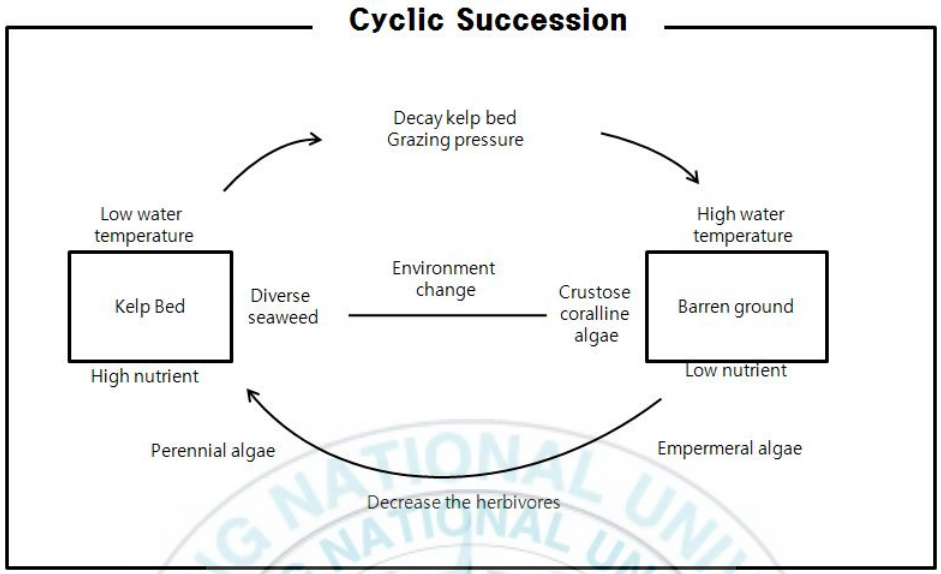


Fig. 2.3 Succession of seaweed bed.

(해양수산부, 2002).

저수온과 풍부한 영양염이 존재할 때는 다양한 엽상형 해조류들이 번식하는 해조장이 형성되지만 여러 원인에 의한 환경변화로 낮은 영양염과 고수온의 환경이 되면 무절산호조류가 번식하기 쉬운 환경으로 인해 공간경쟁에서 밀리게 된 엽상형 해조류는 점점 쇠퇴한다. 이러한 현상은 자연적인 천이과정으로 설명이 된다. 그러나 해양오염으로 대표되는 인위적인 원인에 의한 경우에는 “바다의 황폐화”, “바다의 사막화” 라고 표현 한다. 해양오염의 발생원은 육상과 해양에서 기인하는 2가지로 나누어 볼 수 있는데 육상기인 오염원은 생활하수나 산업폐수와 농업으로 인한 비료, 농약 등 각종 화학물질뿐만 아니라 매립이나 인근의 공사로 인한 부유성 현탁물과 토사영향으로 인한 투명도의 감소 등이 있다. 그 다음으로 해양기인오염원은 선박 등에서 발생하는 각종 오염물질 등이 해양에 유입됨에 따라 발생한다. 이러한 해양

오염원 중 가장 주된 오염원은 육상기인 오염원으로 해양오염의 전체의 80% 이상을 차지한다. 谷口(1998)에 의한 갯녹음의 원인은 생태적인 천이로 이해 가능한 현상과 해양오염과 같은 인위적인 현상으로 구분했으나 최근에는 인간의 개입으로 인해 자연적인 생태 천이가 더뎌지거나 오히려 그 순환속도가 빨라지는 것과 같이 그 구분이 점점 모호해 지고 있다.

최 등(2006)은 갯녹음 현상의 원인을 환경적인 요소로 세 가지로 구분하였다(Table 2.2). 첫째, 쿠로시오난류의 영향이나 발전소 온배수와 같은 연안의 수온이 상승해 엽상형 해조가 생리기능을 잃고 스트레스를 받는 물리환경 변화, 둘째, 연안환경 오염의 증가, 청수 등으로 인한 영양염류의 부족과 같은 화학환경 변화, 셋째, 성게나 소라와 고둥 등에 의한 어린 해조의 다량 섭취와 해조류 종간의 서식처 다툼과 같은 생물학적 원인을 들 수 있다.

최(1998) 등은 제주도의 갯녹음 발생 원인을 성게류의 과도한 식해에 의한 것이라 하였으며 다른 연구에서는 해수교환에 불량으로 인한 원인과 육지 인근의 오염원 유입으로 인한 가능성을 시사하였다. 김(2002)등은 갯녹음의 원인으로 수온상승을 꼽았다. 2005년 서울대 해양연구소에서는 우리나라 동해의 수온이 최근 17년 동안 1.5도 상승했으며 이것은 연평균 0.087도씩 수온이 증가하고 있는 것이며, 이는 세계바닷물 평균수온상승치의 6배가 넘는 수치라고 밝혔다. 또한 온배수를 방출하는 발전소 부근은 석회조류 분포가 다른 지역에 비해 높게 나타나 수온의 상승이 무절산호조류의 생장에 영향을 미치다는 것을 입증하고 있다(김 등, 1998 ; 김 등, 2004 ; 김 등, 2005 ; 김 등, 2006)

우리나라와 같이 광역적인 갯녹음 현상의 경우 성게와 같은 섭식동물에 의해서만 설명되기가 어렵고, 완도나 독도와 같이 청정해역으로 분류된 지역에서의 갯녹음 현상은 섭식동물의 섭식압이나, 해양오염으로 설명되기도 어렵다. 때문에 수온상승으로 인한 갯녹음의 발생이 상당한 설득력을 얻고 있다. 그러나 갯녹음 현상은 단순히 생태학적인 원인이나 인위적인 원인 한

가지 때문에 발생하는 것이 아니라, 해역에 따라 다르고 서식생물상 또는 어장관리방법 등 다양한 원인에 의해 발생한다(최, 2007). 즉, 갯녹음 현상은 여러 가지 원인이 복합적으로 작용해서 발생하는 현상으로 이해해야 한다.

Table 2.2 Cause of whitening event(Choi, 2007)

Cause of whitening event	
physical change.	Water temperature rise Fresh water, Typhoon · Storm The habitat destruction which is caused by with industrialization The floatage in compliance with a reclamation and a harbor construction
chemical change.	Salinity change Influx of pollutant Tribal actual condition of nutrition salt
biological change	Excess intake of seaweeds The ecosystem participation which is artificial Competition of species Resources overfishing

2.1.2 갯녹음의 피해

갯녹음이 발생하면 해조군락의 소멸, 파괴에 따른 물리적 구조는 물론 먹이사슬의 변화에 따라 해양생태계 전반에 구조적 변동을 일으킨다. 이러한 해조장이 소실이 되면 먼저 해조류에 서식하는 미세동물의 감소로 인해 해양의 먹이사슬이 파괴(최 등, 2007)되며 이것은 해조류를 먹이로 하는 유용자

원의 감소와 어류의 산란장이나 서식장 또는 유·치어의 육성장 소실, 생태계 파괴 등으로 이어져 어업자원이 극심하게 감소된다(최, 2002). 또한 질소와 인을 이용하는 해조류의 감소는 바다의 정화역할자의 감소를 초래하여 부영양화를 가속시킨다(최, 2007). 장기적인 관점에서 보면 건강한 해조장은 해양생물들에게만 이득이 되는 것이 아니라 인류의 생존에도 필수적인 것이다. 사람도 결국 지구 전체 생태계의 일부이기 때문이다.

우리나라의 경우 1980년대 이후 제주도와 남해안 일대에서 갯녹음 현상에 의한 피해해역이 확산되기 시작하여 1990년대 이후에는 동해연안에서 심각한 피해가 나타났다. 문(2001)등에 의하면 경남이 마을어장의 16.1ha정도가 피해를 당한 것으로 보고되었으며 뿐만 아니라 동해안 최북단인 속초연안(김, 2002)과 청정해역으로 알려진 독도까지 갯녹음 현상이 진행(김, 2004) 된 것으로 밝혀졌다. Table 2.3 은 우리나라 연안에서 진행 된 갯녹음의 발생현황으로 점점 그 면적이 증가해서 2004년에는 10,999ha에 이른다. 내만역의 경우 투명도가 낮아 조사가 불가능하거나 해조류 서식가능 수심 분포대가 불명확해 모든 수심대 조사에 어려움이 있다. 이러한 표본조사의 한계와 아직 조사가 시행되지 않은 지역을 고려한다면 실제 갯녹음이 발생하여 진행중인 면적은 이보다 훨씬 더 많을 것으로 예상된다.

Table 2.3 The status of whitening event

(ha)

site \ Year		1998	1999	2000	2001	2004	2006
Gang won[1)]	Goseong gun		20		20	48	
	Sokchosi		10	6	10	15	
	Yangyanggun		2	62	2	26	
	Gangneungsi		15	15	15	118	
	Donghae-si		206	206	206	182	
	Samcheok-si	155	523	523	523	540	
	Total	155	776	812	776	929	
Kyoung buk[1)]	Pohangsi	83	1106	1106	1106	571	
	Kyoungjusi		260	13	260	73	
	Yeongdeokgun	20	95	99	95	225	
	Uljingun	112	179	190	179	340	
	Ulleunggun		134	134	134	102	
	합계	215	1,774	1,542	1,774	1,311	
Kyoung nam[1)]	Ulsansi		336	366	336	173	
Jeonnam[2)]	Yeosusi						70
Jaeju[3)]	Jaejusi	36				244	
	BukJaejugun	738				1750	
	Seogwiposi	598				740	
	NamJaejugun	1559				1806	
	합계	2931				1806	
합계		6,602	5,436	5,074	5,436	10,999	70

1) 2006, 국립수산과학원 동해수산 연구소
2) 2006, 국립수산과학원 남해수산연구소
3) 2007, 국립수산과학원 제주수산연구소

2.3 갯녹음 지표종 – 무절산호조류(Crustose coralline algae)

갯녹음 현상에 대한 여러 가지 용어나 연구의 차이에서 알 수 있듯이 그 이해는 완전히 공통적인 것은 아니다. 그러나 갯녹음 현상이 해조장이 소멸하여 최종적으로는 무절산호조류가 우점 하는 군락으로 변한다고 하는 생태학적인 현상에 대해서는 공통적이다. 무절산호조류는 세계 어느 곳의 해저에서 해조장이 분포하는 하한보다 깊은 곳일 지라도 빛이 미치는 수심이면 어디든 생육이 가능하다(한국해양연구소, 1997). 이러한 무절산호조류는 홍조류의 일종으로 살아있는 상태에서는 분홍색을 띄지만 사멸 후에는 흰색(최, 2000)으로 변해 어업인들에게는 백화현상으로 널리 알려져 있다. 무절산호조류는 껍질은 석회질이나 몸속은 연한조직으로 이루어진 산호조류 중 마디가 없는 종을 일컬으며 우리나라의 전 연안에 분포한다. 특히 종간 외부형태가 육안으로 판별이 어려우므로 분류가 까다로우며 우리나라에서는 1913년 오카무라(Okamura)가 부산연안에서 1종을 밝힌 후 현재는 총 10속 19종이 보고되었다(Table 2.4)(국립수산과학원, 2005 ; 국립수산과학원, 2006).

Table 2.4 The coralline reported from our country

Scientific name	Korean name
Division Rhodophyta	홍조식물문
Class Rhpdophyceae	홍조강
Subclass Florideophycidae	진정홍조아강
Order Gelidiales	우뭇가사리목
Family corallinanceae	산호말
Dermatolithon canescens(Fosile)Fosile	회색버짐
Fosilla Zostericola(Fosile) segawa	잘피껍데기
Heteroderma sargassi(Fosile) Fosila	모자반껍데기
H. sargass(Fosile)Fosile F. parvula masaki	애기모자반껍데기
Lithophytum okmurae Fosile f. *joponicum* Fosile	흑돌잎
L. shioense Fosile	납작흑돌잎
L. yendoi(Fosile) Fosile	엔도흑돌잎
Lithothamnion aculeiferum mason	잔가시쩍
L. cystotocarpioideum Fosile	낭과쩍
L. erubscens Fosile	돌나무쩍
L. simulans(Fosile) Fosile	기와지붕쩍
Porolithon collriculosum Masaki	돌구멍쩍
Tenarae dispar(Fosile)Adey	짝자기우무쩍
T. thumidulum(Fosile)Adey	덧우무쩍
Hydrolithon samoense	사모아이끼적
Lithohyllum yessoense	납작돌잎
Lithothamnion muelleri	매끈적
Phymatolit repamdum	너울둥근쩍
Spongites fruticulo	흑해면돌잎

(2006, 국립수산과학원)

해양환경의 변동에 의해 엽상형 해조류가 감소하고 무절산호조류가 증가하는 이유는 첫째, 둘 다 식물체이지만 엽상형 해조는 광합성의 저해로 성장이 둔화되거나 정지 상태인 반면 석회조 식물은 광합성에 의한 성장에 있어서는 아무런 장애를 가져오지 않기 때문이다(Fig. 2.4)(해양수산부, 2002). 즉 해황이 변하여 무절산호조류가 보다 잘 번식할 수 있는 환경이 되었고 이로 인하여 공간경쟁에서 밀린 엽상형 해조류가 점점 쇠퇴하는 것이다. 또한 무절산호조류는 표피세포층의 탈피와 포자발아억제물질에 의해 엽상형해조의 서식을 어렵게 한다. 무절산호조류는 성장하면서 표층의 죽은 세포를 항상 박리하는데 이런 현상은(손, 2002) 다른 해조류의 착생을 저해하여 갯녹음 연안을 지속시키는 역할을 한다. 두 번째는 무절산호조류가 엽상형 해조를 먹이로 하는 섭식자들의 유생을 정착시키는 화학물질을 내기 때문에 섭식자에 의한 과다섭식으로 인해 엽상형 해조가 감소된다. 무절산호조류가 이러한 화학물질을 분비하는 이유는 초식자들이 부착식물과 같은 다른 피복성 생물들을 제거하면 그 빈 공간으로 빛을 이용하려는 생존적응이라고 여겨진다.

무절산호조류의 엽상해조와의 공간경쟁과 antifouling기작, 성게유생의 착생유도는 무절산호조류가 오랜시간 동안 살아남기 위해 환경에 적응한 생존전략이며, 착생저해 물질은 비단 무절산호조류 뿐만 아니라, 다른 대형해조류도 생산하는 물질이다(국립수산과학원, 2006). 그러므로 무절산호조류는 갯녹음 현상의 원인생물이 아니며 결과적으로 나타나는 현상으로 갯녹음 현상의 진행 정도를 파악할 수 있는 지표종이다. 여러 복합적인 원인에 의한 갯녹음 현상에서 수온이 상승한 지역에서는 무절산호조류 군락의 종조성도 단순화 되며, 최종적으로는 무절산호조류 역시 사멸해서 백색으로 변한다.

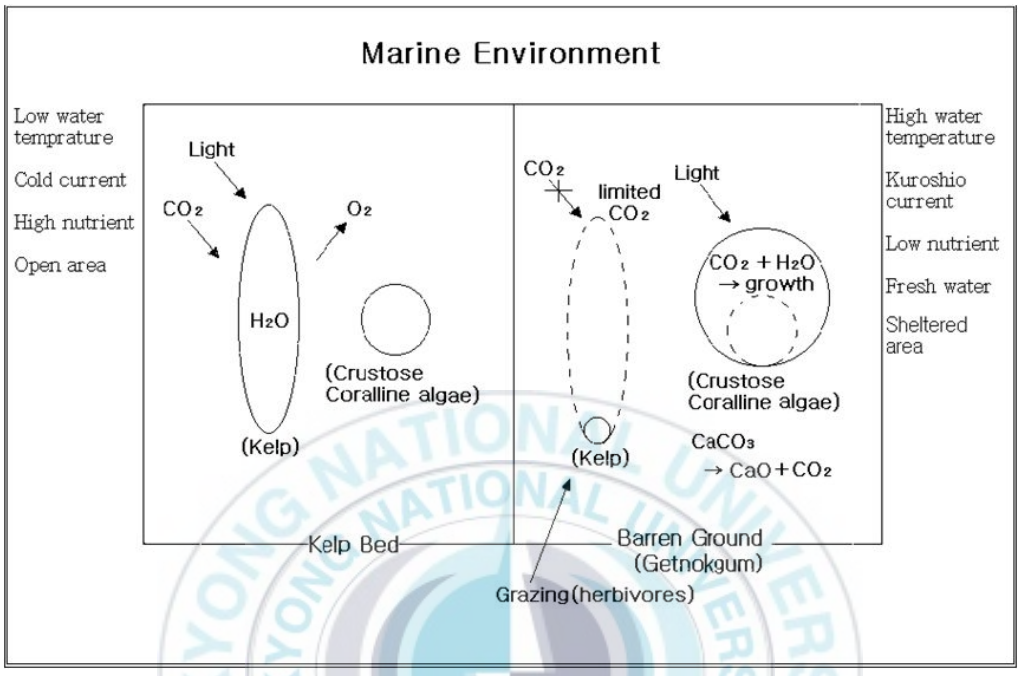


Fig. 2.4 Whitening event construction one model.

(해양수산부, 2002).

2.4 갯녹음 현상의 대책

갯녹음 현상은 기본적으로 지구온난화에 따른 기상이변 등 천재에 가까운 자연재해 현상의 한 부분으로 이해 될 수 있다. 그렇기 때문에 이러한 자연현상을 인간의 힘으로 단시일 내에 극복한다는 것은 어렵다.

갯녹음 현상의 대책에 대해서는 크게 소극적인 대책과 적극적인 대책으로 나뉘어 생각해 볼 수 있다. 먼저 소극적인 대책으로는 갯녹음 현상이 발

생하지 않게 하는 것과 이를 위한 시민과 지역단체와 국가의 인식 전환의 필요성이다. 갯녹음 현상의 원인은 인위적인 원인과 생태적인 천이과정으로 설명이 된다. 이 중 생태적인 천이과정은 시간이 지나면 회복(谷口, 1998)이 되므로, 인위적인 원인에 대한 대책이 필요하다. 인위적인 원인으로 인해 발생하는 갯녹음 현상의 대책은 먼저 생태적인 천이과정의 사슬을 끊는 원인을 차단한다. 연안의 해조장이나 갯벌 등 생태계가 오염되고 난 이후 이들을 회복시키고 복원하는데 막대한 시간과 경비가 소요되므로 사전 예방이 시간적인 면이나 경제적인 면에서 무엇보다도 중요하다. 이를 위해서는 연안도시와 공단 형성 등으로 인한 환경오염 때문에 해조장이 사라지지 않게 연안으로 유입되는 육상기인 오염원을 차단하거나 정화시켜 방류하도록 노력해야 할 것이다. 또한 연안을 지속적으로 이용하기 위해서는 갯녹음의 심각성과 해조장의 중요성에 대한 보호와 복원이 시급하다는 사실을 연안을 이용하는 시민과 기업체와 지방자치단체들이 깨닫는 것이 필요하다. 갯녹음 현상의 적극적인 대책으로는 해조장의 복원(Restoration)과 조성(Creation)이 있다. 갯녹음 현상이 발생하지 않게 하는 것과 이를 위한 인식의 전환과 교육도 중요하지만 이미 발생해서 확대되고 있는 갯녹음 현상을 복원과 조성을 통해 이전의 모습으로 회복하는 적극적인 자세가 필요하다. 인위적인 노력으로 완벽하게 예전 모습으로 복원 할 수는 없겠지만 우리가 시도하고 있는 다양한 생태계조사와 연구가 중요한 복원의 첫 시발점이다. 해조장의 복원은 원래 있던 해조장이 어떠한 원인에 의해 발생한 갯녹음 현상에 의해 훼손되고 황폐화 되었을 때, 이를 이전에 있던 해조장의 기능과 역할을 수행 할 수 있도록 되돌리는 것을 말한다. 해조의 생육을 제한하는 요인을 제거해주면 자연 스스로 회복이 되기도 하지만 때로는 개발 사업 등으로 인하여 사라져버린 해조장의 기능을 수행 할 수 있는 새로운 해조장을 적합한 적지에 조성하여 그 기능을 대신 할 수 있도록 할 수도 있다. 이러한 인공해조장 복원과 조성을 통해 수산동물의 서식 및

산란장 회복과 어패류 생육장의 확보가 대안으로 제시되고 있다.

2.5 국내·외 연구 상황

갯녹음 현상에 대한 연구는 갯녹음으로 인해 심각하게 피해를 입은 제주도에서 활발히 진행이 되어오고 있다. 최(1998)는 제주도의 갯녹음 발생원인이 성게류의 과도한 식해에 의한 것이라고 추측하였으며 이 등(1998)은 제주도에서의 갯녹음 현상을 단순히 대형갈조류와 무절산호조류 군집이 서로 확대와 축소를 반복하는 천이의 한 과정으로 설명하고 있다. 또한 정 등(1998)은 서귀포 연안 갯녹음 현상에 미치는 여러 가지 환경적인 원인들에 대해 연구하였다.

이후 1990년대 중반 이후에는 갯녹음 현상이 남해안과 제주도뿐만이 아니라 동해안 최북단인 속초연안(김, 2002)과 독도까지 진행(김 등, 2004)되었다. 특히 김(2004)등은 우리나라 최동단에 위치하고 있는 독도의 해조류 종조성이 심하게 감소하고 있음이 단순히 하계에 일어나는 잎녹음이나 끝녹음 현상으로 인한 생체량과 개체량의 감소뿐만 아니라, 지구온난화에 의한 수온상승으로 갯녹음 현상이 진행되어, 연안생태계가 사막화되어 해조류의 종조성이 감소한 것으로 판단하면서 여기에 대한 해결책이 강구되어야 함을 지적하였다.

해조식생에서 석회조류가 우점하여 나타나는 현상에 대해서는 돌산도와 연화도(손 등 1982, 1986), 울릉도(이 등, 1993)등 여러 군락조사에서 이루어졌으며 갯녹음 현상의 지표종인 석회조류 연구는 홍조류 무절석회조류에 대한 연구(황 등, 2002)와 초식작용에 대한 성게의 섭식압(손 등, 1997)등에 대한 연구가 진행되어 이 분야의 기초가 되고 있다. 특히 온배수를 방출하는 발전소 부근은 석회조류 분포가 다른 지역에 비해 높게 나타나 무절산호조류의 생장에 수온이 미치는 영향이 크다는 것을 입증하고 있다(김 등, 1998 ; 김 등, 2004 ; 김 등, 2005 ; 김 등, 2006).

일본에서는 1902년 이즈지방에서 우뭇가사리 어장의 황폐화를 조사할 때

갯녹음이 최초 발견 된 후 1930년대부터 서서히 진행되어 1930년대 중반이후에는 급속히 진행되어 1990년대에는 전국 26개 지역에서 발생하였고, 이때 북해도에서 항공촬영결과 전 해역 면적의 69%가 갯녹음 현상이 진행(손, 2000)되는 것으로 나타나 심각성을 더했다. 일본은 이뿐만 아니라 고도 경제성장에 따른 연안지역의 개발과 매립 등에 의해 1973년 이후 20년 동안 약 1만 ha의 해조장을 소실하였다(환경관리연구소, 2006). 일본 도호쿠(東北)제국대학 엔도 기치사부로는 1902년 그 당시의 농상무성에서 "해조 갯녹음 조사보고"를 낸 후 1911년에 해산식물학에서 해조류 감소의 일부로서 갯녹음에 대해 체계적으로 기술하였다. 북해도 대학 지구환경과학에서는 1994년 7월 갯녹음의 현황과 과제라는 지구환경심포지엄에서 "세계의 갯녹음 현상", "북해도에 있어서의 갯녹음의 현상과 대책", "다시마의 감소에 대한 대마난류의 변동", "해조생태학의 입장에서 본 갯녹음이란", "석회조의 확대요인에 대해서" 등과 같은 주제로 갯녹음의 여러 가지 특면에서 이 현상을 이해하고 원인을 분석하였다(해양수산부, 2002). 또한 일본 동북대학의 谷口(1998)는 갯녹음 현상의 원인과 발생과정과 지속이유, 바다숲의 회복과 유지 등에 대한 연구결과를 책으로 발표하였다.

서구에서의 갯녹음 현상의 연구는 산호초(coral reef)의 형성과 대기 중 이산화탄소 고정에 크게 기여하는 산호조류의 유실을 억제하기 위한 관점에서의 연구(Dawson, 1966 ; Littler and Doty, 1975 ; Hillins Colinvaux, 1980 ; Kayanne, 1990 ; Okazaki, 1992 ; Littler and Littler 1994) 가 대부분으로 갯녹음에 대한 연구의 내용 및 관점이 해조류를 식용으로 하는 동양의 경우와는 관점이 사뭇 다르다.

3. 해조장 복원

3.1 생태복원의 개념

생태공학이란 자연생물을 도구로 이용해서 생태계를 설계하고 design하는 학문으로 자연과 인간의 공생을 목표(Goal)로 한다(Mich, 1996,1998). 이런 생태공학의 잠재적인 접근분야는 너무나 광범위 하다. 환경관리와 생태학적 관점에서 볼 때 가장 중요한 몇 가지 방법들은 Table 2.5 와 같다. 다양한 접근방법이 있지만 다음의 적용원리 중 한 가지 이상을 기초로 한다.

Table 2.5 Examples of ecological engineering approachs for ecosystems according to types of application

Ecological Engineering approaches	Examples
1. Ecosystems are used to solve a pollution problem.	Phytoremediation, Waste water wetland
2. Ecosystems are imitated or copied to reduce or resource problem.	Forest restoration Replacement wetlands
3. The covery 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

생태복원은 철저하게 파괴된 지역이나 생태계에 대한 재건에서부터 일부 인간에 의해 변형된 지역의 제한된 관리에 이르기 까지 그 정도와 범위는 광범위 한다. 따라서 복원의 목표와 적용되는 공학적 기술은 상황에 따라 분명하게 다르다. 자연친화적인 공학기법의 개발과 생태학적 원리의 도입은 복원지역의 특성과 방향성과 복원의 목적에 따라서 다르게 적용된다. 생태복원공학의 특성은 크게 기존의 환경을 관리하는 측면과 훼손된 생태계를 조성하고 때로는 생태계를 도입하는 적극적인 활동을 모두 가지고 있다. 이러한 시점에서 최근 유럽에서 활발히 논의되어 시행하고 있는 생태공학적인 복원방법은 동식물군집의 상호작용, 생태계의 조성, 복원, 개발 및 보전 등 생물서식지의 안정성과 건전성을 시공간적으로 성취하는데 매우 유용한 방법을 제시(홍 등, 2005)하고 있다(Fig. 2.5). 비생물서식지 환경조성(Physiotope creation)은 비생물요소를 변화시킴으로써 자연적인 생태군집과 자연과정의 발달을 도모할 수 있는 위치를 창출해 내는 방안이다. 생물서식지 환경조성(Biotope creation)은 생태군집이 발달하는 과정에서 지침에 따라서 적절한 교란을 줌으로써 새로운 생물이 도입 될 수 있는 공간을 확보하는 방안이다. 복원되고 조성된 서식지는 발달과정에 따라서 적절한 관리의 강도가 필요하다. 홍 등(2005)은 생태복원공학의 개념과 목적을 Fig. 2.6과 같이 제시하였다.

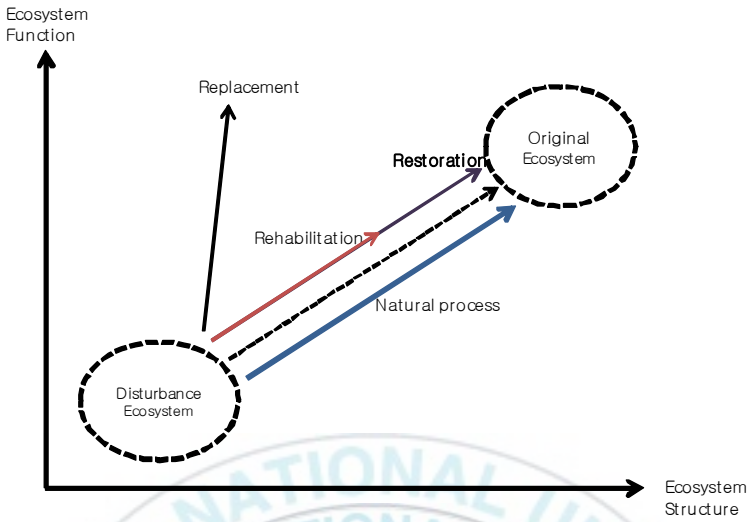


Fig. 2.5 Step and pattern of environment restoration.

(Krystyna M. Uranska et al., 1997.).

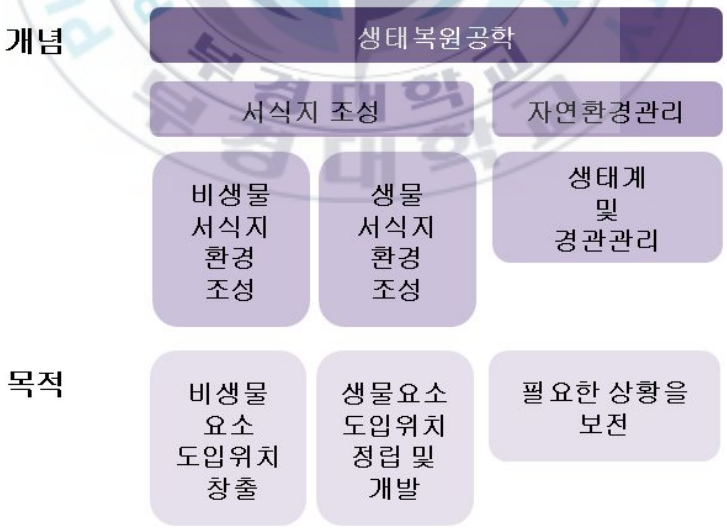


Fig. 2.6 Concept and goal of ecological engineering.

(홍 등 ,2005).

또한 복원의 유형을 원래 생태계와의 유사성 정도와는 다르게 Fig. 2.7과 같이 복원의 관점이나 주요 대상에 따라 구분(한국수산개발원, 2007) 하기도 한다. 서식지 복원은 주로 특정 종의 복원과 관련되는 개념인 반면 종 다양성 복원은 그보다 폭넓은 대상을 목표로 삼는다. 경관생태 복원은 종 다양성과 밀접한 관련을 지니면서 인간이 자연에 대해 갖는 심미적인 측면을 주로 강조하는 개념이라고 할 수 있다.

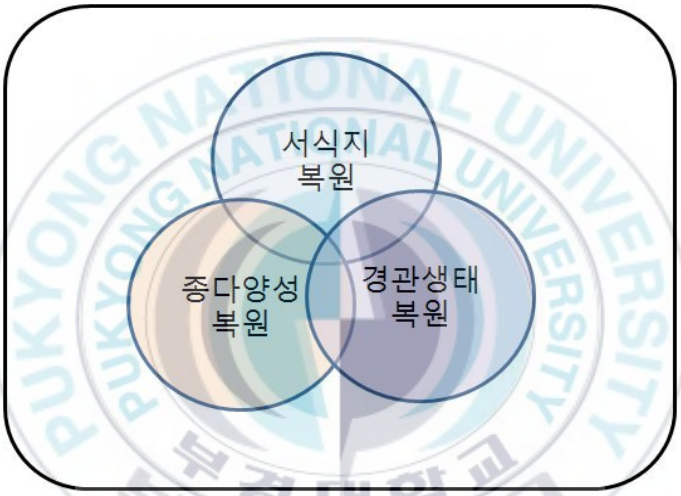


Fig. 2.7 Type of ecological engineering.

(한국수산개발원, 2007)

3.2 복원의 일반적 절차

생태계에 대한 복원을 시행하기 위한 절차에 관해서는 여러 가지 접근과 규정이 있을 수 있으나 본 절에서는 국제생태복원협회(Society for ecological restoration)에서 제시하는 일반적인 절차에 대해 검토하고자 한다(Fig. 2.8).

복원의 가장 첫 단계는 기본적인 계획의 마련과 이해관계자의 폭 넓은 참여를 유도하는 과정이다. 이 단계에서는 다른 계획들과의 관계를 파악하는 것이 중요하며 복원사업과 관련된 분야의 전문가 뿐만아니라 복원 대상지역의 주민들의 여러 의견을 수렴하여야 한다.

두 번째 단계는 복원 대상지역에 대한 현황조사와 분석·평가 단계이다. 이 단계에서는 복원대상지역의 자생종이나 희귀종, 종다양성과 같은 생태계의 중요도를 파악한다. 또한 물리적인 조건을 파악해야하며 주변지역의 생태계 유형과 인접지역의 서식지에 대해서도 함께 파악한다.

세 번째 단계는 타당성 검토과정으로 복원에 대해 경제성 측면과 정책적 측면의 타당성을 검토한다. 경제적 타당성에서는 복원에 사용되는 대략적인 비용과 복원으로 인한 사회·경제적인 편익을 측정하고 비교하는 과정이다. 정책적 타당성은 복원에 따라 발생할 수 있는 지역효과를 고려하고, 복원대상지역의 주민들의 참여를 구한다.

네 번째 단계는 구체적인 목적과 목표를 제시하고 세부 복원계획의 수립단계이다. 복원에 대한 계획을 작성할 때는 복원의 목적과의 부합성을 고려하여 세부적인 시설배치, 접근성, 복원수행정도에 따른 영향 등을 검토한다.

복원사업의 계획수립 과정에 최소한 포함되어야 하는 것은 다음과 같다.

1) 복원이 왜 필요한지에 대한 명확한 근거
2) 복원을 위해 지정된 지역의 생태적 특성
3) 복원프로젝트의 목표 및 세부목적
4) Reference 생태계의 지정 및 설명
5) 복원사업의 주변 경관 및 유기체와 물질의 흐름의 조합
6) 지역선정, 시설 및 사후시설에 대한 명확한 계획, 일정, 예산 그리고 사업 중간단계에서의 신속한 사업수정을 위한 전략
7) 사업을 평가 할 수 있는 명확한 성과기준과 모니터링 계획

8) 복원된 생태계의 장기적 보존 및 유지를 위한 전략

다섯 번째 단계는 시행과 모니터링 단계이다. 성공한 복원사업은 Reference 생태계의 중요한 속성들을 반영하여 애초에 계획했던 목표달성을 가능하게 한다. 목표는 구체적인 목적을 수행하면서 달성되는데 목표는 이상적이며 세부목적은 이러한 목표를 달성하기 위한 수단이다. 모니터링 및 평가를 수행하는 것에는 세 가지 전략이 있다. Reference생태계와 복원생태계의 각각의 파라미터들을 비교하는 직접비교, 생태계가 가지는 속성을 비교하는 속성비교, 역사적 흐름을 비교하는 경로분석이 있다.

여섯 번째 단계 에서는 모니터링 결과를 토대로 복원을 통해 얻어지는 효과 등을 검토하고 장기적인 계획에 따라 주기적인 관리와 보수를 시행하고 전반적인 계획의 성공여부를 판단한다.

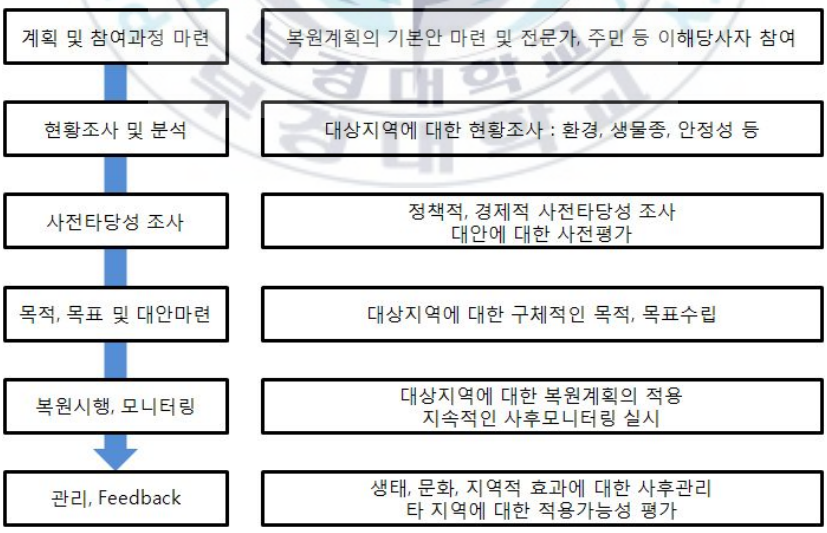


Fig. 2.8 process of the general restoration.

3.3 해조장 복원연구

일본의 경우 경제활동을 위한 상업적인 해안개발의 결과 1978년부터 1991년 사이에 약 6000ha의 해조장이 사라졌다고 보고되었고 여러 가지 원인으로 인해 발생한 갯녹음 해역의 확장으로 인해 환경보전과 수산자원의 증대측면에서 많은 해조장 복원사업의 필요성이 제기되면서 갯녹음 해역의 복원에 관한 연구가 활발히 진행 되고 있다. 그 내용으로는 갯녹음 해역에서의 복원에 있어서 초기방제가 중요한 성게 등에 의한 섭식압을 고려한 복원에 관한 연구와 (Toshio Yotsui et al., 1993 ; Toshinobu Terawaki et al., 2003), 포자주머니법을 이용하여 다른 착생 기질면에 해조장을 복원하여 성공한 사례(Choi et al.,, 2000)등이 있다. 최근에는 여러 종류의 부착기질을 지닌 블록이나 인공어초를 투입한 후 5~6년간의 지속적인 모니터링을 통하여 해조장 복원에서 중요한 해조류의 천이를 파악하고, 이를 통한 해조장 복원의 기법을 연구하는 등 많은 연구가 시행되었다(Ohno, 1993 ; Serisawa et al., 1995 ; Choi et al, 2002 ; Choi. et al., 2006).

우리나라의 경우 국립수산과학원에서 해조장 복원 연구가 이루어지고 있으며, 특히 동해수산연구소에서 동해안 갯녹음 해역에 해조장 복원연구가 대표적인 사업이다. 김 등(2002)은 갯녹음 현상의 복원을 위한 해중림초 연구 등에서 동해안의 갯녹음 현상에 대해 나타내었으며, 곰피의 이식효과(최 등, 2002), 동해수산연구소의 해조장 조성연구(문 등 2002 ; 문 등, 1999 ; 민 등, 1998), 표면처리에 의한 해조인공암초의 효율성에 대한 연구(김 등, 2002) 등이 수행되었다. 또한 김 등(2003)은 제철과정에서 생기는 전로슬래그를 활용하여 갯녹음 현상의 복원을 위한 재료로 이용하는 연구를, 조 등(2007)은 다공질 콘크리트를 이용하여 제작된 해중림초의 해조류에 대한 연구를 수행하기도 하는 등 최근에는 해중림초의 기질에 대한 연구가 많이 수행되고 있다. 여기에 해조류를 이

용한 이산화탄소 저감방안에 대한 연구(해양수산부, 2006)가 수행되면서 유용 해조류의 대량양식과 해중림 조성을 통한 갯녹음 해역의 복원과 지구온난화의 원인인 CO_2를 제어하는 동시효과를 누릴 수 있는 연구가 수행 중이다.

우리나라의 해조장 복원은 일본과 비교했을 때 아직은 규모면이나 기술적인 면에서 실험적 스케일이며 주로 해조류를 이식하는 방법의 연구나, 해중림초의 재질에 대한 연구가 대부분으로 갯녹음 해역에서 해조장 복원을 완전하게 성공시킨 예는 드물다고 할 수 있다.

Ⅲ 연구방법

본 연구는 갯녹음현상으로 인해 훼손된 해역에 대한 대안으로 제시되고 있는 해조장 복원의 절차를 체계적으로 나타낸 매뉴얼을 작성하고자 한다.

생태계 복원 절차에 관한 많은 접근과 규정이 있으나 본 연구에서는 국제생태복원협회(Society for ecological redtoration)에서 제시하는 일반적인 절차를 적용하여 복원시 고려해야 할 항목과 인자들을 보다 체계적이고 구체적으로 나타낸 매뉴얼을 작성하고자 하였다.

첫 번째 단계는 계획 및 참여과정에서 복원사업과 관련된 분야의 전문가와 복원 대상지역의 주민들의 의견을 수렴한다. 두 번째 단계, 현황조사 및 분석에서 해양환경공정시험법(해양수산부, 2005)의 분류 (해양수질, 해양퇴적물, 해양생물, 해양폐기물)에서 제시하는 해양수질 및 퇴적환경, 해양생물환경, 해조류의 생육에 영향을 미치는 물리환경으로 나뉘어 매뉴얼을 작성하고자 하였다. 세 번째 단계, 사전타당성 조사에서는 갯녹음 현상에 대한 선행연구들의 재해석을 통해 갯녹음 현상이 발생하였을때의 공통현상을 찾고자 하였다. 이 현상들을 Factor로 하여 생태계 스스로 회복 할 능력을 넘어서는 단계 즉, 인위적인 복원이 필요한 단계를 찾아내고자 하였으며 이를 통해 복원사업의 필요성을 제시하고자 하였다. 네 번째 단계, 목적・목표 및 대안 마련에서는 복원사업의 목표를 제시하고자 하였다. 또한 선행연구들의 재해석을 통해 대상종 선정시 고려해야하는 인자들을 제시하고 이 대상종을 중심으로 복원계획을 수립하고자 하였다. 다섯 째, 복원시행과 여섯 째, 관리 및 Feed back은 일반적인 복원절차와 거의 유사하다.

- 일반적인 절차 -	- 해조장 복원 매뉴얼 -
계획 및 참여과정	◉ 복원사업과 관련된 분야의 전문가 , 복원 대상지역의 주민 의견을 수렴
⬇	⬇
현황조사 및 분석	◉ 일반적인 해양조사와 동일하게 물리환경, 수질 및 퇴적 환경, 생물환경의 현황파악, 평가 ◉ 갯녹음의 발생원인과 진행정도를 파악
⬇	⬇
사전 타당성 조사	◉ 갯녹음 현상에 대한 선행연구의 재해석을 통해 공통현상을 찾고, 이 현상을 Factor로 하여 인위적인 복원이 필요한 단계를 제시 ◉ 복원사업의 필요성을 제시
⬇	⬇
목적, 목표 및 대안마련	◉ 복원사업의 목표를 제시, ◉ 선행연구의 재해석을 통해 대상종 선정시 고려해야 하는 인자들 제시 ◉ 대상종을 중심으로 복원 계획을 수립
⬇	⬇
복원시행	◉ 복원계획을 바탕으로 시공
⬇	⬇
관리, Feedback	◉ 평가 및 모니터링, 유지관리 수행

Ⅳ. 결과 및 고찰

1. 현황조사

생태계를 복원하는데 있어서 가장 우선적인것이 아니라 주변지역까지도 넓게 조사해야 하며 그 중 우수한 생태계를 Reference site로 정할 수 있다. 해조장을 이루는 해조류는 지리적 분포와 물리적인 환경, 수질 및 저질과 같은 화학적 환경, 성게와 같은 식해생물의 생물적 환경에 따라 그 분포가 결정된다(國土交通省港湾局 監修/海の自然再生ワ-キンググル-プ著, 2003). 따라서 갯녹음으로 인한 해조장의 생태공학적 복원을 위한 현황조사는 이들 내용을 모두 포함하여야 한다. 현황조사 시행 전에는 기본적으로 복원 하려는 대상지역의 과거자료를 수집, 정리해서 해석한다. 과거에도 갯녹음이 발생한 경우에는 해조장의 확대와 축소시기, 과거 갯녹음 발생시기 및 지속기간 등을 조사하며, 복원계획에 필요한 항목을 검토 한다.

현황파악을 위한 조사는 크게 자연환경 조사와 사회환경 조사로 나뉜다.

1.1 자연환경

자연환경조사는 물리환경조사, 해양수질 및 퇴적환경조사, 해양생물환경조사로 다시 나뉜다. 물리환경조사와 해양수질 및 퇴적환경조사를 통해서는 해조장이 형성되는 생육환경과 갯녹음이 발생한 환경조건에 대해 파악이 가능하며 이를 통하여 이 지역의 해조장 복원 타당성의 검토가 가능하다. 생태계 조사의 경우 형성된 해조장의 분포조사와 갯녹음이 발생한 해역에 대한 해조류와 어류, 성게와 같은 섭식동물 등 서식하는 생물들에 대한 조사를 기본적으로 수행한다. 자연환경조사방법은 항공사진촬영조사와 Scuba등이 있다.

해조장의 존재는 자연환경조건만이 아니라 어업과 개발 등의 인위적인 사회환경의 요소에도 영향을 받는다. 따라서 해역의 권리설정과 이용상황을 조사할 필요가 있다. 이러한 목적에 맞고 필요한 각종 사회조건에 관한 사항에 대해서 과거자료를 수집하고 정리해서 자연조건과의 관계에 대해 정리하고 해석한다. 여기에 이용 될 수 있는 방법은 과거 조사된 자료를 이용하는 문헌연구 뿐만 아니라, 인근의 어업인들을 대상으로 한 설문지와 질의응답을 통한 자료의 수집도 함께 수행된다.

1.1.1 해양물리환경

갯녹음이 발생한 환경조건의 파악을 위해 해양물리환경의 현황을 파악한다. 물리환경조사는 대상지역과 그 주변해역에서 기 수행되어진 문헌 및 현장관측 결과를 분석하며 그 항목으로는 크게 조석, 조류, 파랑환경이 있다.

가. 조석(潮汐, Tide)

조석은 바닷물이 밀려들어왔다 빠져나갔다하는 주기적인 현상으로 간조와 만조로 이루어져 있다. 간조란 물이 빠져나가 해수면이 가장 낮을 때로 썰물이고, 만조는 반대로 물이 들어와 해수면이 가장 높을 때로 밀물이다. 이 조석은 약 12시간 25분 주기로 일어나며 달이 지구에 미치는 인력에 의해 발생한다. 조석을 일으키는 힘을 기조력이라고 하며 달을 향한 쪽과 그 반대쪽에서 최대가 된다(http://www.encyber.com/). 우리나라는 국립해양조사원(http://www.nori.go.kr)에서 조석에 관한 정보를 제공하고 있다.

나. 조류(潮流, Tidal current)

조류는 밀물과 썰물로 말미암아 일어나는 바닷물의 흐름으로 달이나 태양의 인력에 기인하여 조석파(潮汐波)에 의하여 일어나는 물입자의 수평운동이다.

해류(海流)와 달리 그 방향 ·속도가 시간에 따라 변하고, 일정한 시간이 지나면 원래 상태가 된다.(http://www.encyber.com/). 조간대가 교대로 해수에 잠겼다가 드러났다 하는 이 현상은 이 지역에 사는 생물들에게는 특별한 적응력을 요구한다. 해류의 흐름이 너무 없거나 완만하면 해조장의 생장과 성숙에 부정적인 영향을 미치므로 문헌조사 및 정밀한 현장조사가 시행되어야 한다(국립수산과학원, 2008).

다. 파랑환경(波浪, wave)

파랑은 바람이 해면이나 수면상에 불 때 생기는 풍랑(風浪)과 어느 해역에서 발생한 풍랑이 바람이 없는 다른 해역까지 진행하여 감쇠하여 생긴 너울이다. 풍랑이 연안에 접근하여 수심이 파장의 반 이하인 얕은 곳으로 오면, 밑바닥의 영향을 받아 파고·주기·파장 등에 변화가 일어나며 이른바 연안쇄파(沿岸碎波)가 된다(http://www.encyber.com/). 이러한 파랑은 저서생물에 절대적으로 영향을 주는 생태적 요인이다. 기질에 부착해서 사는 생물에게는 먹이를 공급해주며 반대로 기질에 잘 부착하지 못하는 저서생물에게는 강한 위협이 된다(윤 등, 1998). 이러한 파랑은 부착생물인 해조류에게도 큰 영향을 미치므로 해조장이 형성이 되어 있거나 과거에 형성되어 있었던 지역의 파랑환경에 대한 변화 등에 대한 조사를 수행한다.

1.1.2 해양수질 및 퇴적환경

해양수질은 해조생장에 영향을 미치는 중요한 인자이다. 또한 해조류는 모래와 뻘에는 잘 서식하지 못하므로 이런 장소인지에 대한 구분으로 퇴적환경에 대한 조사를 수행한다(국립수산과학원, 2008).

가. 해양수질

해양수질의 일반 항목 및 영양염류는 채수기를 이용하여 채수한 후 시료용기에 보관하고, 채수 된 시료의 변질을 예방하기 위해 신속하게 운반하여 분석을 실시한다. 일반적으로 조사하는 수질 항목은 다음과 같다(Table 3.1).

(1) 수온(Temperature)

수온은 해양생태계에 큰 영향을 미치는 조건으로 해류와 계절의 영향을 받아 변화하는데 생화학적 분해과정이나 자정작용 등에 영향을 미친다. 또한 용존산소를 비롯한 다른 기체의 수중포화도에 관계되는 해양생태계의 중요한 인자이다. 수온상승은 수중생물의 종류에 따라 활성도를 높여 생산성을 크게 할 수 있는 반면 한계치를 초과하면 치명적인 영향을 미치게 된다.

(2) 염분(Salinity)

일반적으로 해수의 염분은 유입 담수량과 강수량, 습도, 성층의 형성여부와 수심, 계절 조석의 영향 등에 따라 변화하는 것으로 알려져 있다.

(3) 투명도(Transparency)

투명도는 부유물질의 유무를 눈으로 재는 방법으로 일반적으로 연안수역의 투명도는 기초생산력을 좌우하는 투과량과 수온 등의 환경요인에 의해 발생 되는 부유생물과 육지로부터 유입되는 지표수와 도시하수 등의 고형유기물에 의해 좌우된다.

(4) 수소이온농도(pH)

해수는 일종의 중탄산 완충용액으로 바다에서의 pH는 해류로 인해 계속 순환하고 있으므로 크게 변하지 않는 편이다. 그러나 외적작용에 의해서 pH 변화가 크게 있을 경우 해양생물에 미치는 영향은 아주 크다.

(5) 용존산소량(DO)

대기 중의 산소는 수면에서 물속으로 분산·흡수되며 흡수된 산소는 기체의 분압에 의해 용존되는데 이와 같이 수중에 용존되는 산소의 농도는 물의 온도와 기압, 불순물 및 염분농도 등에 따라 영향을 크게 받으며 해양에 사는 대부분의 생물은 육상생물과 달리 수중에 녹아있는 용존산소를 이용하여 호흡한다. 용존산소의 농도는 해양환경에 있어 어패류의 산란 및 성장에 중요한 역할을 하며 수체의 혼합 특성 등을 규명하는 중요한 인자 중의 하나이다.

(6) 총 부유물질(Total Suspend Solid)

부유물질은 유기·무기화합물 또는 수중미생물로 오염원으로는 연안으로 유입되는 공장폐수와 가정하수, 농업배수 등의 육수의 유입 또는 토양입자를 들 수 있으며 수층의 교란에 의해 부상하는 저질토 또한 발생 원인이 되기도 한다.

(7) 화학적 산소요구량(COD)

화학적 산소요구량은 해수 중 유기물량을 간접적으로 나타내는 지표로서 해역의 유기물에 의한 오염의 척도로, 유기오염의 지표로 이용 된다.

(8) 총질소(TN)

해수 중 녹아있는 질소는 인산염과 더불어 바다에서 일차생산을 담당하는 모든 해양식물의 성장에 필수적인 요소이다.

(9) 총인(TP)

해수 중에 녹아있는 인산염은 질산염과 마찬가지로 바다에서 일차생산을 담당하는 모든 해양식물의 성장에 필수적인 요소이며 제한인자이다. 일차생산이 활발히 일어나는 표층에서 식물에 빨리 흡수되고 있으며 제한인자이며, 과다한 영양염류의 유입은 바다의 부영양화의 원인이 되며 적조현상을 일으키기도 한다.

나. 퇴적환경

일반적으로 해양퇴적물의 유형에 따른 분포는 해저지형과 그 해역에 작용하는 해수유동, 파랑 등 에너지 환경과 관련이 있다. 퇴적환경에 대해 기본적으로 조사 하는 항목(Table 3.1)에는 입도분석, 강열감량, 저질 COD가 있다.

(1) 입도분석

입도분석은 어떤 퇴적물의 특성 중에서 가장 기초적인 것으로 그 퇴적환경에 쌓인 퇴적물의 특징이 될 수 있다. 이는 운반 및 퇴적에 대한 정보를 제공하며 투수도(permeability), 공극률(porosity), 유성(rheology)과 같은 퇴적물의 성질과 관련이 있으며 이런 성질들은 입도에 의해 예측 될 수 있다(조 외, 1995).

(2) 강열감량

퇴적물 중의 유기물을 고온(550℃)으로 가열한 후 그 무게차이를 통해 알아내는 방법이다.

(3) 저질 COD

수중의 유기물질이 가라앉아서 저질 속에 스며들었거나 저서생물에 의

해 공급된 유기물량을 나타내기 위한 지표로 쓰이는 저질 COD는 저질 시료를 알카리성으로 하여 강산화제인 과망간산을 이용하여 측정한다.

1.1.3 해양생물환경

해조장을 형성하는 해조류의 종 다양성은 해조류간의 경쟁과 섭식동물에 의한 섭식작용과 그 군집을 둘러싼 이화학적 환경요인에 의해 결정된다(Schiel and Foster, 1986). 조간대 해조류의 분포상한선은 대체로 건조와 온도를 포함한 비생물적 요인에 의해 제한되며(Bell, 1995) 하한선은 전형적으로 피식과 경쟁 등에 의해 조절된다(little and kitching, 1996). 이처럼 해조장의 해양생물환경은 여러 가지 복합적인 원인으로 인해 다양성이 조절이 되므로 이러한 요인들의 현황파악이 이루어져야 한다(Table 3.1).

가. 군집구조 – 출현종, 개체수, 생체량

해양생물환경에서 수행되어야 하는 해조장의 출현종 조사에는 크게 해조류의 출현종과 섭식동물의 출현종 조사로 나뉜다. 해조류는 수심, 수온 등과 같은 많은 환경적인 영향을 받기 때문에 같은 위도상이라고 할지라도 다른 해조류가 나타날 수 있다. 때문에 출현한 해조류의 종에 따라 그 해역의 환경상태를 파악 할 수 있으며 과거에 출현한 종과의 비교를 통해서는 환경의 변화를 추론해 볼 수 있다. 또한 해조류 뿐만 아니라 해조류를 먹고사는 성게, 군소와 같은 섭식동물들의 출현종을 조사해야 하며, 해조장을 산란장이나 생육장으로 살아가는 어류의 출현종에 대한 현황조사도 함께 수행되어야 한다. 조사내용은 먼저 출현한 종의 종류, 우점종 조사, 출현한 종의 개체수, 생체량 등을 조사하며, 이를 통해 군집구조의 해석 등이 가능하다.

나. 해조군락의 면적변화

엽상형해조류가 무절산호조류와의 공간경쟁에서 밀려 갯녹음 현상이 더욱 확산 되는것이므로 무절산호조류와의 공간경쟁 등을 파악할 필요가 있다. 엽상형해조는 광합성의 저해로 성장이 둔화되거나 정지상태가 되어버리지만 석회조 식물은 광합성에 의한 성장에 있어 아무런 장애를 가져오지 않는다. 이로 인해 해조류와 무절산호조류 둘 다 식물체이지만 엽상형 해조류는 점점 무절산호조류와의 공간경쟁에서 밀리게 되는 것이다. 그러므로 대상해역의 현황조사에는 무절산호조류의 분포도와 두 종간의 경쟁관계를 파악하기 위해 군락의 면적변화를 확인한다. 또한 무절산호조류와 함께 공존할 수 있는 해조류의 종 역시 파악하여야 한다. 강(1968)은 한지역의 해조상을 구체적으로 파악하기 위해서는 매월 채집하기를 권장하였다. 그러므로 현황조사 시 해조군락의 면적과 해조상 파악은 매월 수행하는 것이 적합하다.

1.2 사회·경제 환경

1.2.1 해역이용현황

해역의 사회환경에서 그 해역의 이용현황은 갯녹음 현상의 직접적인 원인이 될 수 있다. 어장에서 과잉수확으로 인해 발생하는 갯녹음이 큰 예이다. 또한 주위에 하수처리장, 발전소처럼 그 해역으로 영향을 미칠 수 있는 시설물에 대한 현황조사가 시행되어야 한다.

과거와 현재 어장으로 이용되는 해역의 면적, 수산자원의 손실과 같은 상황도 해역의 이용현황을 파악 하는데 도움이 되므로 함께 수행되어야 한다.

1.2.2 상위개발계획

해조장의 현황 조사 시에는 그 지역의 개발계획과 같은 상위관련계획에 대한 현황조사가 함께 이루어져야 한다.

복원하려고 하는 지역이 나중에 공장부지나 다른 목적으로 이용이 되기 위해 매립 되거나, 항만이나 항로와 같은 용도로 바뀔 수 있는 경우도 있으므로 이와 같은 지역의 상위 이용계획과 연안역의 개발에 대한 파악이 필요하다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

Table 3.1 Investigation of present condition in study site

Present condition investigation item				
Nature environment	Physical environment		Tide	
			Tidal current	
			Wave	
	Water and sediment environment	Water	Temperature	
			Salinity	
			Transparency	
			pH	
			Demand Oxygen(DO)	
			Total Suspend Solid(TSS)	
			Chemical Oxygen Demand(COD)	
			Total Nitrogen(TN)	
			Total Phosphate(TP)	
		Sedi -ment	Partical size analysis	
			Ignition loss	
			Sediment COD	
	Bioenvironment		Seaweed · Benthos	Appearance kind
				Individual possibility
				Organism quantity
			Seaweed	Area change of comunity
Society environment			Use present condition	
			Exploitation project	

2. 복원진단 및 원인규명

앞서 수행된 현황조사를 바탕으로 복원계획을 수립한다. 복원사업의 계획수립 과정에 최소한 포함되어야 하는 것 중에 첫 번째는 복원이 왜 필요한지에 대한 복원 필요성 진단이다. 훼손 된 상황을 예전의 상황과 비교해서 문제가 무엇인지를 판단하고 문제파악 후 우리가 계획한 대로 바꾸어야 한다는 명확하고 과학적인 근거를 제시하여야 한다.

만약 갯녹음이 발생한 환경이 이미 항만이나 항로로 이용되는 경우나 그 지역이 해조류가 서식이 불가능한 환경에는 복원이 불가능하다. 복원이 불가능하다고 판단되는 경우에는 원래 환경의 기능을 대신 해줄 수 있는 인공해조장을 근처에 만들어 주는 것과 같은 다른 방안을 마련해야 한다.

또한 갯녹음이 얼마나 진행이 되었을 때부터 인위적으로 개입을 해서 시간과 에너지를 투자해 복원사업을 진행해야 하는지 명확한 진단이 필요하다. 그러나 어떤 해역에 갯녹음의 정도가 어느 정도 인가 하는 것을 정확하고 정량적으로 파악하기란 쉬운 문제가 아니다.

본 연구에서는 꼭 복원이 필요하다 라고 판단되는 기준을 여러 문헌을 통한 재해석을 통해 제시하고자 하였다.

갯녹음 현상에 대해 선행연구 된 해양수산부(2002)와 기타연구(최 등, 2002 ; 최 등, 2006 ; 김 등, 2002)에서 공통되는 현상은 (1) 해조류가 감소하거나 해조숲이 사라지는 현상 (2) 무절석회조의 피복도 (3) 수산생물자원의 변동(해양수산부, 2002)을 제시 하고 있다. 따라서 본 연구에서 복원진단 Factor는 해조류 피도의 감소, 무절산호조류의 피복도, 이 두 가지를 고려하여 제안한다.

2.1 복원진단

2.1.1 무절산호조류피도

갯녹음 해역에 최종적으로 남아있는 무절산호조류 군락은 천이의 결과로 인한 필연적인 결과이다. 김(2006)은 제주도의 갯녹음에 관한 연구를 진행하면서 피도조사를 수행하였다. 10×10 cm의 소형격자로 구성된 50×50 cm의 방형구를 이용하여 수행된 피도의 평균값으로 갯녹음의 진행단계를 구분하는 방법을 제시하였다(Table 3.2). 김(2006) 이 제시한 갯녹음의 진행단계는 무절산호조류의 피도와 산호조류 외의 해조류 분포상태를 기준으로 4단계로 구분하는 방법으로 정상해역(1. Undisturbed)은 감태 및 모자반 등의 대형 갈조류가 숲을 형성하는 곳이다. 초기(2. Early period)해역은 무절산호조류의 피도가 30%이하인 해역으로 해중림을 구성하는 대형 갈조류나 소형해조류가 산발적인 패치로 분포하며 조식성 동물에 의한 식해흔적이 뚜렷한 곳이다. 중기(3. Middle period)해역은 무절산호조류의 피도가 30~80%인 해역으로서 소량의 해조류가 점생하거나 소규모의 패치를 형성하는 해역이다. 말기(4. Last period)해역은 무절산호조류 피도가 81% 이상인 해역으로 직립하는 해조류는 거의 없고 암반이 백색 또는 황백색인 해역이다.

초기(2. Early period) 단계에서 조식성 동물에 의한 식해 흔적이 뚜렷이 나타나므로 중기(3. Middle period)단계에서는 조식성 동물의 영향이 더 커질것이다. 앞서 제시한 첫 번째 단계의 Factor와 관련하여 무절산호조류의 피도가 30~80%라는 것은 그만큼 엽상형 해조류의 피도보다 무절산호조류의 피도가 커진 단계로 여기에 섭식압까지 증가하므로 이 단계가 지나면 스스로 복원이 되기가 어렵다. 따라서 최소한 중기단계부터는 복원이 시행되어야 한다. 그러므로 복원진단 두 번째 조건은 김(2006)이 제시한 갯녹음 진행단계

의 중기(3. Middle period)~말기(4. Last period)단계로 판단한다.

Table 3.2 Classification of coralline algae cover percentage

Level / Cover	Crustose coralline algae cover percent(%)
1 : Undisturbed	Seaweed
2 : Early period	below of 30
3 : Middle period	31~80%
4 : Last period	Over of 81%

(김, 2006)

2.1.2 해조류피도

갯녹음 현상의 가장 큰 현상 중에 하나는 원래 서식하고 있던 유용해조류가 사라지는 것이다. 해조류가 사라지는 현상은 무절산호조류와의 공간 경쟁에 밀렸다는 의미이며, 이것은 무절산호조류가 잘 서식할 수 있는 환경으로 변했다라는 것을 간접적으로 의미한다. 이렇게 환경이 변화하고 무절산호조류와의 경쟁에서 밀리게 되면 앞서 언급한 것처럼, 성게와 같은 섭식 동물이 더욱 과다 번식하게 되며 결국 이것은 갯녹음 해역을 지속시키는 원인 중 하나가 된다.

선행 된 대부분의 연구에서는 갯녹음 해역의 식생을 “식생이 드문드문 있다”라고만 표현 할 뿐 과거와 비교해서 얼마만큼의 해조류가 쇠퇴했는지에 대한 과학적인 근거를 제시하지 않아 그 쇠퇴정도를 정확하게 판단 할 수 없다. 이렇게 정량적이거나 과학적인 근거를 제시 할 수 없는 이유는 현재 드러나 있는 해조군집의 다양성이나 현존량을 비교 할 수 있는 과거자료가 충분하지 않기 때문이다. 이것은 지금부터라도 우리 연안의 해조군집의 특성을 충분히 조사하여 향 후 일어나는 변화의 폭을 사정(司正) 할 수 있는 자료 확보의 중요성을 강조한다.

우리나라 대부분의 선행연구에서는 “식생이 드문드문 존재”하는 해조장의 경우를 심각한 갯녹음 현상으로 판단한다. 식생이 드문드문 존재한다라는 의미는 일차생산자와 산란장, 보육장의 역할을 하는 해조장이 그만큼 사라졌다는 의미로 시급히 복원이 되어야 한다라는 의미이다. 하지만 대부분의 선행연구에서 표현되는 “드문드문”이라는 의미가 지극히 비과학적이므로 여기에 대한 명확한 기준이 필요하다. 일본의 (주) 해양조사협회[해양조사기술 매뉴얼 해양생물론]는 해저면의 면적과 식피율에 따라 크게 0~5까지 계급을 나누었다(Table 3.3). 선행연구에서 제시한 식생이 드문드문 존재하는 경우는 식생보다 해저면이 많아지는 계급 3(식피율 50~25%)과 가장 유사한 의미라 판단된다. 따라서 본 연구에서는 복원진단 첫 번째 조건은 식생보다 해저면이 많은 피도를 말하는 피도계급이 0~3, 식피율은 0~50%인 경우로 판단한다.

Table 3.3 Classification of algae cover percentage

Algae cover percent(%)	class	Classification
100~75	5	해저면이 거의 보이지 않음
75~50	4	해저면보다 식생 쪽이 많음
50~25	3	식생보다 해저면 쪽이 많음
25~5	2	식생은 드문드문 있음
< 5	1	식생은 극히 드문드문 있음
0	0	식생은 없음

(주) 해양조사협회[해양조사기술 매뉴얼 해양생물론]

2.2 원인규명

갯녹음 해역 복원의 궁극적인 목표는 지속가능한 연안의 이용이며 이를 위해서는 임기응변적인 대처방안이 아닌 지역주민의 이해나 협력을 바탕으로 한 근본적인 상황의 개선이 필요하다. 이를 위해서는 근본적인 발생 원인을 구명하고 인식해야 할 필요가 있다. 최근 우리나라 연안에서는 갯녹음 현상이 자주 논란이 되고 있으며 원인규명에 대한 필요성이 강조되고 있으나 이에 대한 정확한 원인규명은 단편적인 요인으로 해석되고 추론되고 있을 뿐 아직 종합적인 결론에는 이르지 못하고 있다. 김(2002)등 많은 선행연구에서 보면 우리나라와 같은 광역적인 갯녹음 현상의 원인으로 수온의 상승이 가장 설득력을 얻고 있다. 이에 본 연구에서 연안의 연안정지관측(Fig. 3.1) 10개 정점의 1968년부터

2006년까지 29년간 장기 관측한 매달 표면 수온Data에 대해 관측기간 동안 상승 또는 하강 정도를 알 수 있는 1차 회귀식을 이용하여 우리나라 연안의 수온의 상승추이를 살펴보았다. 그 결과 지난 29년간 전체적으로 수온이 작게는 0.406℃에서 크게는 2.639℃가 변화 하였다(Fig. 3.2). 특히 쿠로시오난류가 흘러가는 여수의 경우 큰 수온변화추이를 나타내고 있다.

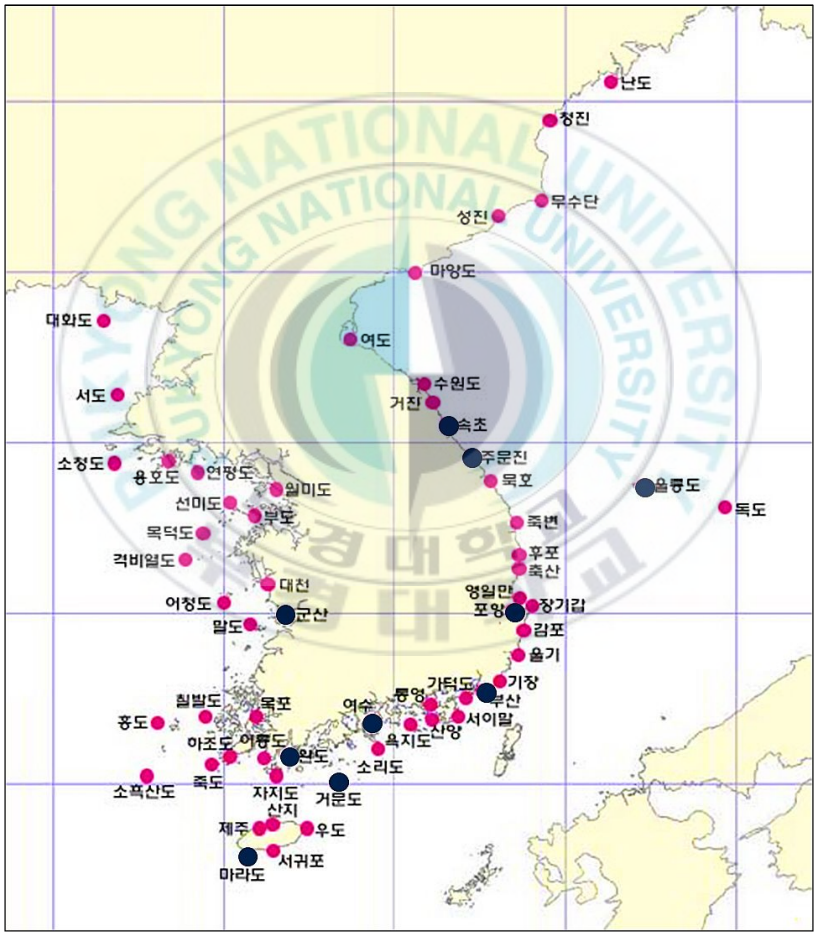
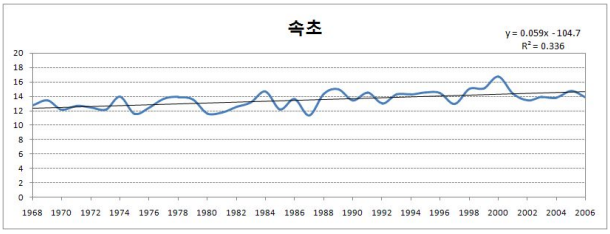
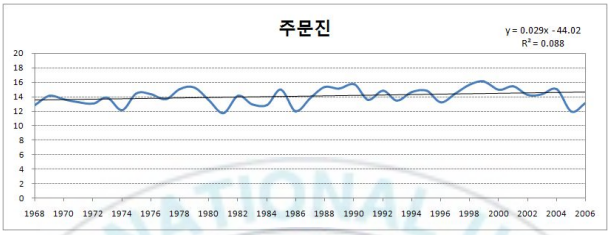
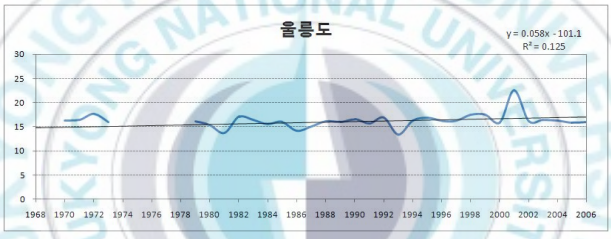


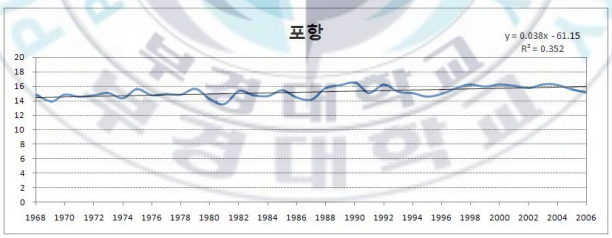
Fig. 3.1 Study site.

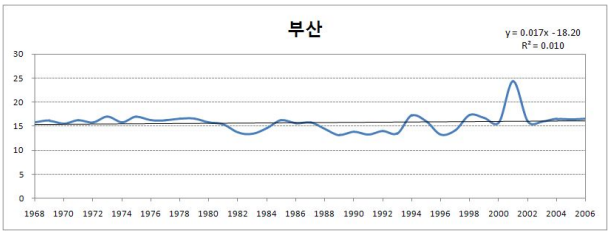
(http://portal.nfrdi.re.kr/page?id=kr_index)


속초
y = 0.059x - 104.7
R² = 0.336


주문진
y = 0.029x - 44.02
R² = 0.088


울릉도
y = 0.058x - 101.1
R² = 0.125


포항
y = 0.038x - 61.15
R² = 0.352


부산
y = 0.017x - 18.20
R² = 0.010

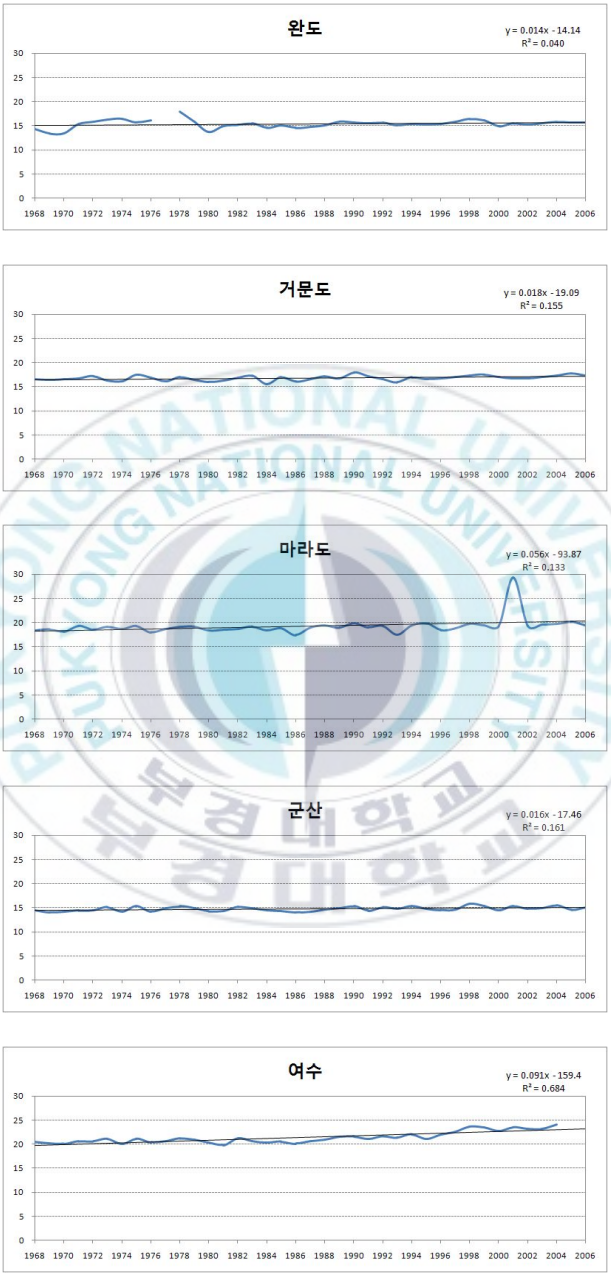


Fig. 3.2 Upward tendency of sea temperature.

수온의 상승이라는 한 가지 원인만으로 갯녹음이 발생하였다고는 단정지을 수 는 없지만 이러한 수온상승이 우리나라의 갯녹음 해역을 지속시키는 원인 임은 분명하다. 谷口(1998), 해양수산부(2002), 최(2006) 등은 여러 기준으로 갯녹음의 원인을 구분하였다. 선행연구의 공통점은 갯녹음이 한 가지 원인에 의해 발생하는 현상이 아니라 여러 가지 원인과 해황의 변동 등이 복합적으로 작용해 발생하는 현상이라는 것이다.

본 연구는 갯녹음 현상의 복원을 위한 매뉴얼 작성이 주 목적으로 복원을 하기위한 원인 규명은 인위적으로 제어가 가능한지 불가능한지에 따라 접근하는 것이 타당하다. 갯녹음이 인위적으로 제어가 가능한 원인으로 인해 발생한 경우에는 그 원인을 명확히 밝히고 제거 해주는 것만으로 Self design에 의해 지역이 복원이 된다. 그러나 훼손이 심한 경우에는 기존에 서식하던 종을 이식해서 보다 복원을 보다 빨리 완성 시 킬 수 있다.

그러나 앞서 언급한 것과 같은 지속적인 수온 상승의 경우에는 인위적으로 제어가 불가능하므로 이러한 경우에는 이런 환경에 적합한 대상종을 선정한다거나 환경을 인위적으로 바꾸어서 복원을 해야 한다(Table 3.4).

Table 3.4 Classification of whitening event for restoration

Cause of whitening event	
The cause where artificially the control is possible	Salinity Turbity Wave Pollution Grazing Over harvesting
The cause where artificially the control is impossible	Change of sea temperature Salinity Wave Typhoon

3. 복원목표 수립

3.1 복원목표와 목적 결정

복원의 목표와 목적이 다양할수록 복원의 의미가 클 수 있지만 너무 많은 목표를 정하여 어느 목표도 제대로 달성 될 수 없거나 상충되는 목표를 정하지는 말아야 한다. 많은 목표가 정해지고 이들 목표의 우선순위가 정해질 때 복원과정 및 복원 후의 효율적인 관리가 이루어 질 수 있다(홍 등, 2005,). 또한 목표와 목적은 다음의 연속적인 복원단계에 영향을 미치게 된다. 여기서 말하는 목표는 이상이고 목적은 이러한 목표를 달성하기 위해 취해진 구체적인 대책이다. 복원된 생태계를 평가하기 위해서는 여기에 관련된

기본적인 두 가지 물음이 주어진다. 목적이 수행되었는가? 목표가 충족되었는가? 두 가지 물음에 대한 대답은 그 목표와 목적에 대한 물음이 복원계획을 실행하기에 앞서 정해져야 타당성을 지닌다(환경부, 2007).

갯녹음 해역의 해조장 복원의 일반적인 목표를 제시하면 다음과 같다. 여기서 제시하는 목표는 아주 일반적인 목표로서 대상해역의 복원 목적이 항상 같은 것은 아니다.

◎ 해역의 환경보전을 위한 해조장 : 생물다양성
◎ 오염물질 제거와 같은 수질정화 : 해양안정화
◎ 식용해조의 배양
◎ 유용한 해양생물의 사료 공급원으로서의 해조장

3.2 Reference 생태계 결정

복원진단 후 복원이 필요한 것으로 평가된다면 복원 목표와 목적에 맞는 Reference 생태계를 찾아야 한다. Reference생태계에 대한 자료는 향 후 갯녹음 해역의 복원 및 복원 후 성취목표 달성 여부를 진단하는 도구로 활용된다(환경부, 2007). Reference생태계는 인근의 건강한 해조장이 될 수 도 있고 과거 자료 등을 통해 파악한 훼손된 생태계의 과거의 모습이 될 수 도 있다. Reference생태계에 따라 복원의 과정, 실제 설계과정이 달라질 수 있으므로 신중하게 선택해야 한다.

3.3 복원 면적 및 복원 기간

Reference 생태계를 결정 하고 나면 여기에 따른 해조장의 면적과 완성할 때까지의 기간과 같은 Scale을 결정해야 한다. 자연적인 해조장에서 종이

공급되는 경우와 인위적으로 이식하는 경우 모두 일정 기간이 필요하다. 해조장은 자연적인 천이과정을 거쳐 안정적이고 건강한 해조장이 된다. 이 천이에 수반되는 시간은 해조장의 조성시기와 대상종의 수명, 대상해역의 환경조건, 다른 생물과의 경쟁 등에 따라 상이하고 명확하지 않다. 그러므로 어떤 장소에 형성되는 해조류의 군락의 상황을 예측하고 대략 어느 정도의 기간을 목표로 할지에 관한 세부적인 목적을 분명히 정해야 한다.

4. 복원대상종 선정

생태공학적인 개념 하에 대상종을 선정 할 때에는 대상지역에서 생육이 가능하거나 현재는 서식하지 않지만 이전에 분포했던 종을 활용하는 것이 타당하다(최, 2002). 해조군집은 동일지역에서도 광선, 수온, 영양염 조성의 차이, 해류, 수질, 부착기질의 경쟁, 초식상 동물의 식해 등의 물리 화학적 역학적 생물학적 요인 등 여러 복합적 요인에 의하여 시공간적인 변화가 수반되므로 이를 획일적으로 인식하기는 어려운 점이 많다(남 등, 1996). 따라서 생태복원의 측면에서 볼 때 어느 대상해역에 서식하는 해조류의 종 목록 및 계절변동에 관한 자료는 매우 중요한 자료로써 활용된다(최, 2006). 그러나 지구온난화로 인한 연안수온 상승과 같이 그 해역의 환경이 변화한 경우에는 기존 서식하던 종을 이식 하여도 서식이 불가능하다. 따라서 이런 경우에는 환경조건에 맞는 종을 선택한다.

4.1 대상종 - 1

인위적으로 제어가 가능한 원인으로 인해 발생한 갯녹음 해역을 복원 할 때는 이전에 분포했던 종이나 현재 분포하는 종을 대상으로 하는 것이 바람

직하다. 선행연구를 통해 우리나라 연안에 대표적인 종 을 제시하였다(Table 3.5).

Table 3.5 Target species

site	seaweeds
East-mid.	*Limanaria spp.* *Undaria pinnatifida* *Sargassum.pp*
East-south.	*Sargassum spp.* *Ecklonia cava* *Undaria pinnatifida*
south sea	*Sargassum spp.* *Ecklonia cava* *Ecklonia stolonifera*
Je ju	*Ecklonia cava* *Sargassum spp.*

4.2 대상종 - 2

환경의 변화로 인해 기존 서식하던 종의 서식이 불가능한 경우 해역의 환경에 맞게 우선순위를 정해서 대상종을 선택한다. 대상종은 하나의 종 만 선정하는 것이 아니라 아래에 제시하고 있는 조건들을 고려하여 여러 가지 대상종을 선정한다.

◎ 무절산호조류와 공존하는 종 : 소형다년생해조류(구멍갈파래 등.)
◎ 성장 속도가 빠른 종: 대형일년생해조류(미역, 괭생이모자반 등.)
◎ 조식동물의 섭식압으로부터 견딜 수 있는 종 : 소형다년생 해조(서실 등.)
◎ 인공종묘 생산 및 양성기술이 개발되어 있는 종(감태, 곰피, 미역 등.)

◎ 수산자원으로서의 가치가 있어서 어업인 들에게 경제적 가치창출이 되는 종(감태, 곰피, 대황, 미역, 다시마 등.)

4.2.1 일차 대상종 선정

가. 착생기반

해조장은 앞서 언급 된 것 처럼 착생기질에 따라 암초성 해조장과 사니성 해조장으로 나뉜다. 즉, 대상종은 대상해역의 착생기반에 따라 달라진다 (Table 3.5). 암초성 해조장에 서식하는 해조류는 수심에 따라 종류가 매우 다양하다. 그러나 사니성 해조장은 대부분이 잘피로, 서식수심에 따라 구성종이 달라지기도 한다. 사니성 해조장에서도 굵은 모래나 자갈로 이루어진 경우에는 잘피가 서식하기 힘든 환경이다. 이런 환경에서는 섭식압이 일반적인 암초성 해조장 보다 낮은 경향이 있다. 따라서 인공해중림초와 같은 착생기반을 통해 해조장을 형성 할 수 있다.

Table 3.6 Substrate of seaweeds

착생기반	Seaweeds
Sand	*Zostera marina*
Rock	Eckolonia cava, Laminaria joponica

나. 수심

일반적으로 해조류는 수심 5~20m 정도에 분포한다. 해조류의 생육수심은 광량이 미치는 깊이로 연안역에서의 빛은 흡수되거나 반사되므로 아래쪽으로 내려 갈 수 록 해조군집은 드물어진다. 해조류가 생육하는 최저 수심은 원양에서는 200m 로 표층 빛의 0.01%만이 도달한다(오, 2006).

우리나라의 경우는 각 해역별 수심에 따라 해조류의 종이 아주 다양하다. 본 연구에서 제시하고 있는 것은 해조류의 서식 수심을 조간대, 조하대를 상・중・하로 나뉘어 제시하였다(Table 3.7, Table 3.8). 이러한 대상해역에 서식하는 해조류의 종 목록 및 수심에 관한 자료는 매우 중요한 자료로써 활용 될 가능성이 높으므로 이러한 해조류의 분포수심을 밝히는 것이 중요하다.

Table 3.7 Depth of seaweed (intertidal zone)

Reference	지역		조간대		
			상	중	하
김, 1995		의항리	지충이, 불등가사리	산호말속, 지충이	산호말속, 지충이
		천리포	지충이	지충이, 산호말속, 뜸부기	지충이, 바위수염, 구멍갈파래
		모항리	지충이, 비단풀, 구멍갈파래	산호말속, 지충이, 모자반	지충이, 바위두목
		몽산포	지충이, 부챗살	지충이., 알송이모자반, 산호	지충이, 산호말속, 뜸부기속, 갯쇠털속, 구멍갈파래
		백사장	지충이	지충이, 구멍갈파래	구멍갈파래, 납작파래
		방포	지충이, 바위수염, 부챗살	알송이모자반, 지충이, 뜸부기, 갯쇠털속	지충이, 넓은미역쇠, 알송이모자반, 뜸부기, 쾡생이모자반, 갯쇠털속
		장고도	뜸부기, 꼬시래기	지충이--- 알송이모자반	지충이, 뜸부기, 구멍갈파래
		고대도	지충이	뜸부기, 지충이	
		원산도	지충이	지충이	지충이
		대천	바위수염	지충이, 산호말속, 뜸부기	지충이
		호도		지충이, 산호말속, 뜸부기	지충이, 산호말속
이, 1997		문갑도	애기우뭇가사리		구멍갈파래, 떨기나무붉은실, 참김, 참갈고리풀, 작은구슬산호말
		선미도			
		백아도	애기우뭇가사리,	작은구슬산호말, 부챗살	
이, 1997		파도리	불등풀가사리	지충이, 작은구슬산호말, 누은분홍잎	구멍갈파래, 진두발
		백령도	김류, 불등풀가사리, 애기가시덤불, 애기우뭇가사리	새빨간검둥이, 남작파래	다시마, 구멍갈파래, 미끌풀
		파도리	불등가사리	지충이,작은구슬산호말,	지충이, 뭇
김, 1986		월도	불등가사리, 메생이	애기가시덤불, 지충이, 패	도박, 부챗살, 검은서실
김, 1986		신수도	불등가사리, 애기가시덤불	지충이, 구멍갈파래, 패	뭇, 도박, 마디잘록이, 작은구슬산호말
손, 1983		오동도	파래속, 구멍갈파래, 애기우뭇가사리	뭇, 지충이, 작은구슬산호말, 개서실	비틀대모자반, 돌가사리, 개우무
이, 1996		제주도	속김	패	큰잎모자반
손, 1983		돌산도	애기우뭇가사리	지충이, 구멍갈파래, 뭇, 개서실	바우두목, 개서실, 붉은실속
김, 1983		감포	불등가사리	개서실, 작은구슬산호말	쾡생이모자반, 흑돌잎
		삼천포	애기풀가사리, 잘록이고리매	애기돌가사리, 넓패	작은구슬산호말
		화북	속김	뭇	알송이모자반, 짝잎모자반, 불래기말
고, 1990		거문도	불등가사리, 애기우뭇가사리	넓패, 뭇, 지충이	쾡생이모자반, 애기돌사가리, 작은구슬산호말
오, 2005		신안군	애기우뭇가사리, 불등풀가사리, 바위수염	파래류, 패	구멍갈파래, 지충이, 참보라색우무, 뭇, 뜸부기, 미역
오, 2002		가학리	불등풀가사리	작은구슬산호말, 바위수염, 참풀가사리, 지충이, 미끌풀	뭇, 구멍갈파래, 애기돌가사리, 참까막살
오, 2002		해남군	불등풀가사리, 애기가시덤불, 바위수염	참풀가사리, 애기풀가사리, 애기우뭇가사리, 구멍갈파래, 지충이	뭇,뜸부기, 진두발, 미역, 감태
황, 1997		신지도	납작파래, 구멍갈파래, 속김,	뭇, 지충이, 애기돌가사리, 작은구슬산호말	도박, 우뭇가사리, 쾡생이모자반
황, 2004		돌산도	지충이, 구멍갈파래	애기돌가사리, 뭇, 작은구슬산호말, 개서실	에페드라게발, 미역
오, 2004		진도	불등풀가사리	지충이, 애기우뭇가사리, 뭇	구멍갈파래, 애기돌가사리
부, 1987		강원해역	불등가사리, 염주말, 국수나물, 흐린대마디말	뭇, 작은구슬산호말, 모로우붉은실, 서실	
김,		강릉	염주말, 파래류	지충이	개그물바탕말
손, 2007		강릉	불등풀가사리, 염주말, 국수나물, 흐린대마디말	뭇, 작은구슬산호말, 모로우붉은실, 개서실	
손, 2007		소돌	참김	구멍갈파래, 파래류, 지충이, 뭇, 참도박	지충이, 뭇, 참도박
김, 2004		독도	서실류, 산호말류, 게발류, 잎꼬시래기, 두갈래분홍치, 깃풀서실, 개우무, 우뭇가사리, 국수나물, 대마디말류, 청각, 대황	대황	대황
이, 1999		장호	염주말,	구멍갈파래, 지충이	진두발

Table 3.8 Depth of seaweed (subtidal zone)

Reference	지역		조하대		
			상	중	하
윤 등, 1998		서해	지누아리류, 꼬시래기류, 가는보라색 우무, 분홍입류		
이,1997			비단풀류, 외깃풀류		
			큰대마디말, 큰잎알쏭이모자반		
이, 1996			미끈뼈대그물말, 새우말, 굵은마디말, 잔가지말, 엇가지풀류, 참보라색우무, 새빨간검둥이, 각시잇바디가지, 끈말		
윤 등, 1998			비틀대모자반, 개도박류, 돌가사리, 개우무	감태, 괭생이모자반, 갈래잎모자반, 톱니모자반, 넓은게발, 게발흑, 바다표고	붉은잎류, 곱슬이류, 열매으관말
윤 등, 1998			알쏭이모자반, 돌가사리, 참갈고리풀, 엇가지풀	검은서실, 라입, 쇠미역사촌, 미역	다시마
유, 2003			미역, 지충이, 괭생이모자반, 산호말류	미역, 괭생이모자반, 옥덩굴	쌍발그물바탕말
			미역, 산호말류, 지충이, 톳	미역, 산호말류, 옥덩굴	참그물바탕말
			괭생이모자반, 지충이, 서실류, 가는개도박, 참가시그물바탕말	괭생이모자반, 지충이, 서실류, 가는개도박, 참가시그물바탕말	괭생이모자반
정, 1991			참보라색우무, 작은구슬산호말, 미역, 비틀대모자반, 개그물바탕말	욱덩굴, 미역, 비틀대모자반, 개그물바탕말	미역, 비틀대모자반, 개그물바탕말
부, 1987			도박류, 비틀대모자반		
손, 2007			비틀대모자반(장호, 속초, 호산등의 조하대에 우점)		
김, 2004			대황		

다. 수온

생물에게 온도는 가장 기본적인 비생물 요인으로서 분자, 세포, 조직으로부터 군집에 이르기 까지 생명체의 모든 수준에 영향을 미친다. 해조류 생장의 평균적정 온도는 극지종이 0~10℃, 온대종이 10~15℃, 난온대종은 10~20℃, 난온대 및 열대종은 15~30℃ 이다(Luning, 1990). Gassner(1970)와 Luning(1990) 역시 생식이 일어나는 적정 온도범위(생식한계 reproduction limitis), 생장만 일어나는 적정이하의 온도(생장한계 growth limities), 생장이 중지되고 죽는 극단온도(치사한계 lethal limits)사이는 연속적이라고 주장하였다. 갈파래과, 다시마목, 모자반목, 우뭇가사리목의 생장과 관련된 생육한계 수온으로 특히 암반에 서식하는 해중림을 구성하는 종에 대한 수온은 성숙과 포자방출기인 겨울철 수온이 중요하다. 그 중 최저수온기인 2월과 연중 최고 수온기인 8월의 수온이 가장 중요하다. 본 연구에서는 선행연구 된 수온과 해조류의 관계를 바탕으로 크게 온대종과 난온대종, 광역종으로 구분하였다. 이에 따라 해역의 수온에 따른 해조류를 제시한다(Table 3.8). 다음에서 제시하고 있는 조건은 실제 해조장이 형성되어 있는 지역에서의 해조류의 생육환경으로 항상 일치하는 것은 아니며 참고자료로 제시한다.

Table 3.9 Target species (temp.)

	Temperate zone kind		Wide area kind
February	Below 10℃	10~15℃	5~20℃
August	Below 25℃	Below 27℃	Below 30℃
Rist	다시마과	미역과	모자반과
	쇠미역사촌 *(Coastria costata)* 다시마 *(Laminaria joponica)*	대황*(Eisenia bicyclis)* 감태*(Ecklonia cava)* 검둥감태*(E. kurome)* 곰피*(E. stolonifera)*	모자반 *(S. spp)* 큰잎모자반 *(S. ringgoldianum)* 괭생이모자반 *(S. horneri)* 큰열매모자반 *(S. macrocapum)*

라. 생장상태 - 크기 및 수명

소형 다년생 해조는 화학적 방어물질을 생산하여 스스로 살아남는 생존 전력을 가지고 초식동물을 배제함으로써 다음세대인 다년생 해조류의 발아를 보증하고 천이의 진행을 억제시키고, 해조장의 확대를 위해 주변 해조류의 서식 조건을 변화시킨다(손, 2002). 따라서 소형 다년생 해조류를 이용한 해조장 복원이 다년생 해조에 의한 푸른 숲을 만 들 수 있을 것으로 판단된다. 또한 대형일년생 해조는 상당히 빠른 성장과 고밀도로 군락을 형성함으로써 초식동물의 섭식압에 대항하고 있다. 이때 대형 다년생 해조가 대량으로 발아함과 더불어 대형 일년생 해조가 번성하면 이것이 섭식압을 흡수하는 역할을 맡게 되어 다년생 해조의 생존율을 보다 높일 수 있다(김남길, 2003). 즉, 소형일년생, 소형다년생, 대형일년생, 대형다년생 해조 중 적합한 대상종을 선정하여 자연적인 천이과정을 유도 할 수 있다.

Table 3.10 Seaweed classifications size and lifecycle

Seaweed
Annual plant
Small
Monostroma nitidum Wittrock, Monostromataceae Kunieda, Ulva lactuca Linnaeus, Cladophora pygmaea Reinke, Chaetomorpha brachygona Harvey, Bryopsis maxima Okamura, Papenfussiella kuromo (Yendo) Inagaki, Scytosiphon lomentaria (Lyngbye) Link, Porphyra yamadae Yoshida, Grateloupia livida Yamada, Grateloupia turuturu Yamada, Kallymeniaceae Taylor, Rhodymeniaceae Harvey, Antithamnion nipponicum Yamada et Inagaki, Ceramium japonicum Okamura, Ceramium kondoi Yendo, Griffithsia japonica Okamura, Heterosiphonia japonica Yendo, Heterosiphonia pulchra (Okamura) Falkenberg, Acrosorium yendoi Yamada, Delesseria serrulata Harvey, Chondria chejuensis Y. Lee in Lee Y. & Yoon S. Y., Laurencia nipponica Yamada, Laurencia pinnata Yamada, Polysiphonia Greville, Symphyocladia latiuscula, Symphyocladia marchantioides (Harvey) Falkenberg in Schmitz & Falkenberg
Big
Desmarestia viridis (Muller) Lamouroux, Laminaria japonica Areschoug, Costaria costata (C. Agardh) Saunders, Sargassum horneri (Turner) C. Agardh
Perennial Plant
Small
Dilophus okamurae Dawson, Gelidium amansii (Lamouroux) Lamouroux, Gelidium vagum Okamura in Inagaki, Pterocladiella capillacea (Gmelin) Santelices et Hommersand, Carpopeltis prolifera (Hariot) Kawaguchi et Masuda, Grateloupia elliptica Holmes, Chondracanthus intermedia (Suringar) Hommersand in Hommersand, Guiry, Fredericq & Leister, Chondrus cripus Stackhouse, Mazzaella japonica (Mikami) Hommersand in Hommersand, Guiry, Frederidq & Leister, Lomentaria catenata Harvey, Lomentaria hakodatensis Yendo, Acrosorium polyneurum Okmura
Big
Eisenia bicyclis (Kjellman) Setchell, Sargassum yezoense (Yamada) Yoshida et T. Konno, Sargassum confusum C. Agardh, Enteromorpha prolifera (Muller) J. Agardh. Ecklonia stolonifera Okamura

4.2.2 이차 대상종 선정

착생기질과 수심, 수온, 생장상태에 적합한 종 목록이 제시되면 보다 구체적으로 환경과 해조류와의 관계를 고려한 세부적인 대상종을 선정한다. 여기서 고려할 환경조건들로는 파랑・유동, 해저경사면, 영양염농도, 염분농도, 조차・노출 등이 있다.

가. 파랑・유동

Lewis(1964)는 해조류의 대상 분포에 있어서 파고가 중요하다는 것을 강조 했다. 적당한 파고는 해조류에 따라서 좋은 조건이 되지만 필요 이상의 큰 파고는 해조류의 착생을 방해하고 착생개체를 떨어뜨리고 생장저해 요인이 된다. 파고의 영향은 해조의 종류와 생장단계에 따라 다르기 때문에, 어느 시기의 파도가 어느 생장단계의 해조의 생육을 제한하는지에 대한 해조의 생육과 파고와의 관계를 조사할 필요가 있다. 또한 해조에 영양염을 공급하거나 노폐물의 제거, 포자의 확산들에 기여하는 유동에 관한 조사도 함께 수행되어야 한다. 모자반류는 다시마에 비해 고착력이 약하기 때문에 강한파도에 의해 이탈되기 싶다. 모자반류는 1～2m 정도, 대황과 미역은 2～3m 정도까지의 파고에서 생장할 수 있다. 해조류의 종이 파랑・유동의 영향에 따라 다르기 때문에 대상종 선정시 이에 대한 충분한 고려가 되어야 한다.

나. 해저경사도

해저경사와 해조의 생육과의 관계에서 해저의 구배가 완만한 것은 파랑의 감쇄가 크고 파도도 완만한 것을 의미하며 이것은 해조류의 생육에 영향을 미친다. 須藤(1992)는 해조가 생육 가능한 하한의 해저구배(해안선~수심 10m의 해저구배)를 제시하였다. 괭생이모자반은 비교적 완경사를 좋아하고,

검둥감태는 비교적 급경사를 좋아한다. 이처럼 해저경사에 따른 해조류의 종류와 분포가 달라지므로 해저경사에 대한 현장조사를 바탕으로 대상종을 선정해야한다.

다. 염분

해조류는 발아하고 생장할 때 해수가 필요한 절대염생식물 (Obligatw halophytes) 이다. 須藤(1992)은 해조가 생육할 수 있는 환경 하에서 염소량의 하한치를 제시하였다(Table 3.11 ; Table 3.11 에서의 須藤는 염소량을 염분으로 환산하여 제시하였음). 검둥감태, 톱니모자반, 큰잎모자반은 염분 30.7 psu이상의 염분이 높은 해수에서 생육하는 것으로 나타났고, 미역은 염분 23.7 psu, 괭생이모자반은 염분 26.6 psu으로 다소 저 염분해역에서 생육이 가능하다. 이처럼 염분은 해조류의 생육에 큰 영향을 미치는 요인이므로 대상해역의 현황조사에서 해조류가 서식하는 지역과 인근지역의 염분을 조사하여 적합한 대상종을 선택하여야 한다. 특히 강과 하천의 영향이 많은 곳과 일시적이라도 염분농도가 25 psu 이하로 내려간 지역은 부적합하다(국립수산과학원, 2006).

Table 3.11 The salinity for growth of the seaweeds

국명(학명)			Salinity(하한) (psu)
갈파래목	갈파래과	구멍갈파래*(Ulva pertusa)*	23.7
다시마목	다시마과	쇠미역사촌*(Coastria costata)*	
		다시마*(Laminaria joponica)*	
	미역과	미역*(Undaria pinnatifida)*	23.7
		감태*(Ecklonia cava)*	30.9
		검둥감태*(E. kurome)*	31.8
		곰피*(E. stolonifera)*	
		대황*(Eisenia bicyclis)*	30.0
모자반목	모자반과	외톨개모자반*(Myagropsis myagropsis)*	30.0
		톳*(Hizikia fusiformis)*	30.0
		알쏭이모자반*(Sagrassum confusum)*	
		짝잎모자반*(S. hemiphyllum)*	30.0
		괭생이모자반*(S. horneri)*	26.6
		큰열매모자반*(S. macrocapum)*	30.9
		쌍발이모자반*(S. patens)*	29.8
		구슬모자반*(S. piluiferum)*	29.8
		큰잎모자반*(S. ringgoldianum)*	30.9
		꽈배기모자반*(S. siliquastrum)*	30.4
		지충이*(S. thunbergii)*	28.5
		왜모자반*(S. yezoense)*	
우뭇가사리목	우뭇가사리과	우뭇가사리*(Gelidium amansii)*	28.5
		왕우뭇가사리*(G. pacificum)*	30.9
		잘피(거머리말)*(Zostera marina)*	23.7

라. 영양염

영양염은 적정량 이상, 이하로 존재할 경우에는 해조류의 생육에 영향을 미친다. 따라서 해역의 영양염 농도는 대상종 선정에서 고려해야 하는 요소이며, 복원시 조절해주어야 하는 인자이다. 다음에서 제시하는 것은 건강한 해조장이 현존하는 해역에서의 영양염류실측치로 영양염류의 농도(Table 3.12)이며 참고자료로 제시(港灣構造物と海藻草類の共生マニュアル)하였다. 須藤(1992)는 해조가 생육할 수 있는 COD(알칼리법)의 상한치를 종류별로 제시하였다(Table 3.13).

Table 3.12 The nutrient for the growth of the seaweeds

(ppm)

해조류	NH_4-N	DIN	PO_4-P
대황 *(Eisenia bicyclis)*	0.00~2.65	0.50~8.96	0.04~0.42
감태 *(Ecklonia cava)*	0.07~9.31	0.36~13.20	0.04~1.48
검둥감태 *(E. kurome)*	0.00~8.92	0.32~12.06	0.00~0.64
괭생이모자반 *(S. horneri)*	0.17~4.57	0.30~7.85	0.02~0.92
쌍발이모자반 *(S. patens)*	1.39	2.20	0.10
큰잎모자반 *(S. ringgoldianum)*	0.42	3.68	0.08

(港灣構造物と海藻草類の共生マニュアル,)

Table 3.13 The COD for the growth of the seaweeds

국명(학명)			COD(하한) (mg/L)
갈파래목	갈파래과	구멍갈파래*(Ulva pertusa)*	2.2
다시마목	다시마과	쇠미역사촌*(Coastria costata)*	
		다시마*(Laminaria joponica)*	
	미역과	미역*(Undaria pinnatifida)*	2.2
		감태*(Ecklonia cava)*	1.3
		검둥감태*(E. kurome)*	1.4
		곰피*(E. stolonifera)*	
		대황*(Eisenia bicyclis)*	1.6
모자반목	모자반과	외톨개모자반*(Myagropsis myagropsis)*	1.7
		톳*(Hizikia fusiformis)*	1.6
		알쏭이모자반*(Sagrassum confusum)*	
		짝잎모자반*(S. hemiphyllum)*	1.3
		괭생이모자반*(S. horneri)*	2.2
		큰열매모자반*(S. macrocapum)*	1.4
		쌍발이모자반*(S. patens)*	1.3
		구슬모자반*(S. piluiferum)*	1.3
		큰잎모자반*(S. ringgoldianum)*	1.3
		꽈배기모자반*(S. siliquastrum)*	1.4
		지충이*(S. thunbergii)*	1.7
		왜모자반*(S. yezoense)*	
우뭇가사리목	우뭇가사리과	우뭇가사리*(Gelidium amansii)*	1.7
		왕우뭇가사리*(G. pacificum)*	1.2
		잘피(거머리말)*(Zostera marina)*	2.2

마. 조석(Tide)

조석은 조간대의 해조류 분포를 일차적으로 조절하는 특징이 있다. 조석의 폭(수직범위)과 빈도(주기)는 중요한 환경요소이다. 예를 들어 대조(사리)기가 덥고 건조한 날씨와 일치하게 되면 조간대 생물들은 심하게 노출되어 죽게 된다. 조석의 효과는 특정한 조석경계와 해조류가 자라는 범위와 서로

관련이 있다는 임계 조위 가설 Critical Tide Level(CLT)로 표현된다(Fig. 3.3). 임계조위는 파도의 영향을 심하게 받는 노출된 곳에 비해 보호된 곳에서 매우 뚜렷하게 나타난다. 이 때문에 각 조위대의 월 평균 노출은 출현하는 생물과 관련이 있다. Fig. 3.3에서 2의 조위에서는 해양 지의류가 출현하며 4와 5의 조위는 갈조 뜸부기류(*Pelvetia*)가 생육하며 7과 8의 조위는 홍조 톱니지누아리(*Prionitis*)가 출현하며 항시 물에 잠겨있음을 나타낸다. 따라서 대상종 선정 시 이런 조석의 영향에 따른 건조에 대한 내성을 고려해서 선택한다.

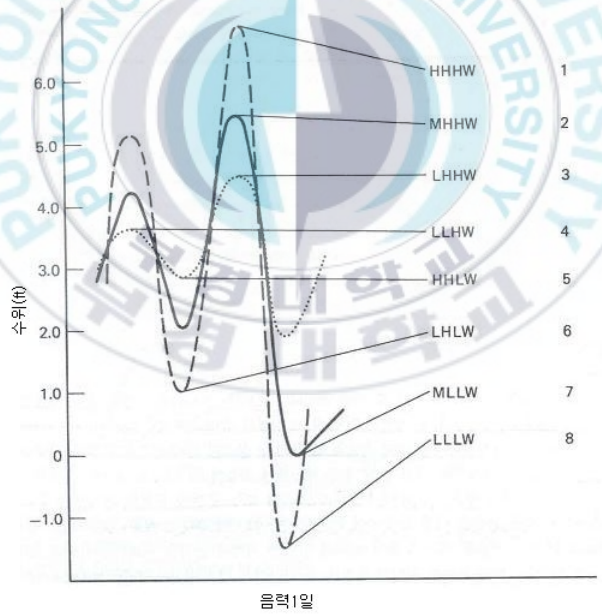


Fig. 3.3 Relationship between seaweed and tide.

(오, 2006)

5. 이식방법 선정

무절산호조류가 사멸하기 전과 후에 따라 착생기질의 투입 여부가 달라지며 착생기질의 투입여부에 따라 이식방법이 바뀐다. 갯녹음이 심화되면 홍조류의 일종인 무절산호조류가 사멸해 백색으로 변한다. 무절산호조류가 사멸 한 경우에는 엽상형 해조류가 공간경쟁을 하지 않아도 되므로 착생기질을 투입하지 않고 자연암반을 그대로 이용하거나 혹은 정비 후 이용 할 수 있다. 이에 반해 무절산호조류가 사멸하기 전의 경우 엽상형해조류가 서식할 수 있는 착생기질을 투입해 주어야한다. 이때, 섭식압이 강한 경우에는 해중림초나 수중저연승방법을 이용해 섭식압에 적절히 대응 할 수 있도록 하며 섭식압이 강하지 않은 경우에는 간단히 콘크리트 블록을 투입한다.

5.1 이식방법

5.1.1 성체이식

성체이식(모조이식)은 먼저 부착기의 손상 없이 해조를 채취한 후 운반을 한다. 운반 시에는 해조류가 손상 되지 않게 직사광선과 고온을 피하여 단시간에 운반 하여야 한다. 또한 수량에 비해 해조가 너무 많으면 호흡에 의해 산소를 다 소모해버릴 수 있으므로 과밀운반은 피한다. 성체를 고정시키는 경우는 운반 후 즉시 접착제 등으로 기질에 부착하고 해저기반에 설치하는 방법이 일반적이다. 해조의 고정방법은 건축용 블록에 대형해조를 고무밴드로 부착하는 방법과 콘크리트 기반의 돌출부 등에 직접 케이블 타이(Fig. 3.4)로 고정시키는 방법 등이 있다(國土交通省港湾局 監修/海の自然再生ワ-キンググル-プ著, 2003).

해조채취	운반	기질부착	해역설치
부착기 손상 없이 채취. →	・직사광선, 고온 피할 것. ・단시간 운반. ・과밀 운반 피할 것 →	・건축용 블록 ・해조플레이트, ・콘크리트 기반 돌출부. ・접착제와 케이블 타이를 이용하여 고정. (Fig.) →	설치.

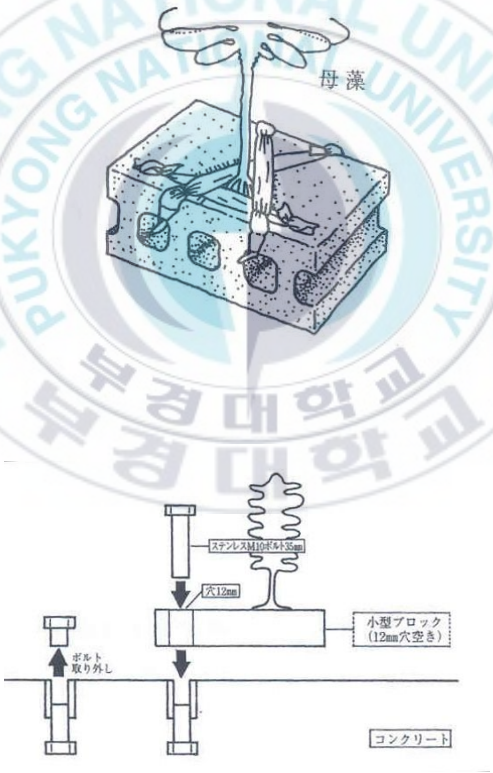


Fig. 3.4 Adult transplantation.

5.1.2 포자주머니법(종묘투입법, Spore bag)

성숙한 잎과 생식기관을 그물망에 넣어 해역에 설치하거나 투입하여 자연 방출을 유도하여 종묘를 공급, 착생시키는 방법을 종묘투입법 또는 포자주머니 법이라 한다(Fig. 3.5). 해조류가 성숙한 시기는 해역의 환경조건에 따라 달라지므로 종묘투입법에서는 해역에 해조류의 성숙시기를 판단하는 것이 중요하다. 각각의 해조류는 생식기관이 다르다(Table 3.14). 이 방법은 옛날부터 어민이 대황과 감태의 모조를 묶어서 돌을 매달아 갯녹음과 해조장의 번무가 불량한 장소에 투입하여 회복시키는 방법을 개량한 것으로 간편하고 배 위에서 투입 할 수 있다(國土交通省港湾局 監修/海の自然再生ワ-キンググル-プ著, 2003).

생식기관채취		운반		망에 넣어 투입
・해조류 성숙 시기에 채취 (해역환경에 따라 다름) ・생식기관만 채취.	→	・직사광선, 고온 피할 것. ・단시간 운반. ・과밀 운반 피할 것	→	・건축용 블록・해조플레이트, ・콘크리트 기반 돌출부. ・접착제와 케이블 타이를 이용하여 고정

Table. 3.14 Reproductive organ of seaweeds

Seaweed	Organs of generation
감태(*Ecklonia cava*), 대황(*Eisenia bicyclis*), 다시마(*Liminaria joponica*)	자낭반
미역(*undaria pinnatifida*)	포자엽
모자반과(sargassum)	생식기탁

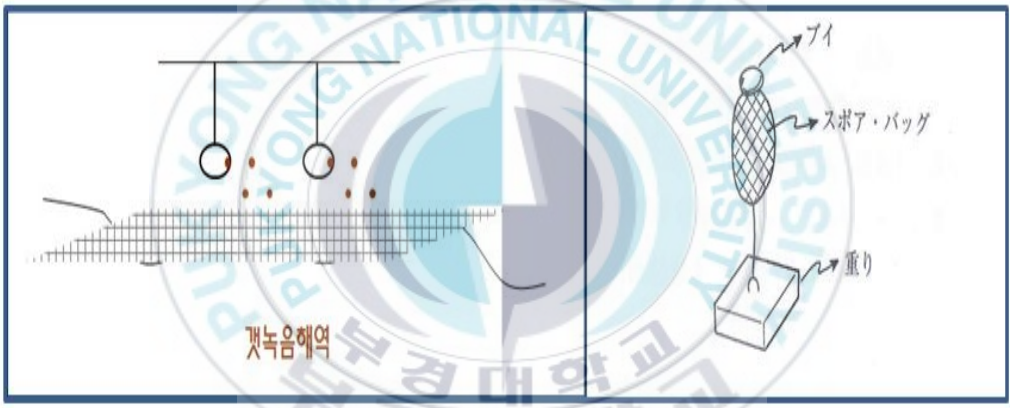


Fig. 3.5 Spore bag method.

5.1.3 인공종묘이식(Cultivation)

이 방법은 모조에서 인공적으로 종묘를 채취하고, 일정기간 육상수조에서 중간 육성하여 해역에 이식하는 방법으로 자연에서 종묘의 공급이 없는 경우와 대규모의 해조장을 복원 할 경우에 시행하는 방법이다.

따라서 포자주머니법과 함께 수행될 경우 큰 효과를 볼 수 있다(국립수산과학원, 2006).

생식기관 채취		채묘		육묘		중간육성		이식
・해조류 성숙시기에 채취(해역 환경에 따라 다름) ・생식기관만 채취	→	다시마목과 모자반과의 채묘방법은 다름	→	육묘방법과 조건은 해조류에 따라 다름 (Table 3.15)	→	착생한 유주자를 아포체까지 발아 성장시키는 기간	→	이식 수행

Table. 3.15 Growth Condition

Seaweed	Temp.	Light	Month	etc.
Ecklonia kurome (검둥감태)	15~20℃	3,000lx	1~2	통기배양
Ecklonia cava (감태)	22~23℃	2,000~3,000lx	2	-
Liminaria joponica (다시마)	6~18℃	1,000~2,000lx	10~12	지수배양
Sagrassum horneri (괭생이모자반)	15~25℃	1,000~4,000lx	5~7	지수배양

(國土交通省港湾局 監修/海の自然再生ワ-キンググル-プ著, 2003)

5.2 착생기질

5.2.1 자연암반

자연암반을 그대로 이용하는 경우에는 자연암반을 그대로 이용하는 경우와 자연암반을 정비 후 이용하는 경우로 나뉜다. 자연암반에 엽상형 해조류가 서식 할 공간이 없는 경우 암반폭파 등의 작업을 수행한다. 자연암반을 그대로 이용하는 경우에는 포자주머니법, 인공종묘이식 과 같은 방법을 함께 사용해 자연적인 천이를 유도한다. 이 경우 초기 섭식압을 조절해 주지 않을 경우 어린 해조류까지 섭식동물이 먹어 치워버리므로 이식 전에 꼭 수행되어야 한다.

5.2.2 착생기질의 투입

착생기질의 투입은 섭식압에 따라 나뉜다.

먼저 섭식압이 강하지 않은 경우에는 콘크리트 블록과 같은 착생기질을 투입해 준다. 이때 대상면적이 좁은 경우 모조이식법(성체이식법)을 사용한다. 그러나 면적이 넓은 경우 모조이식법은 적용이 불가능하다. 따라서 이런 경우에는 육상에서 종묘를 길러 이식하는 인공종묘이식법을 이용하게 되며, 이때 포자주머니법을 함께 사용하면 더욱 효과를 볼 수 있다(국립수산과학원, 2006).

섭식압이 강한 경우에는 해중림초를 이용하거나 수중저연승법을 이용할 수 있다. 수중저연승법의 경우 해중림초에 비해 넓은 면적의 해조장 복원에 적합하다. 따라서 섭식압이 강하면서 복원대상 면적이 넓은 경우에는 수중저연승법이 적합하다. 수중저연승법과 해중림초는 둘 다 인공종묘이식법을 이용한다.

가. 콘크리트블록의 투입

먼저 섭식압이 강하지 않은 경우에는 콘크리트 블록과 같은 착생기질을 투입해 준다. 이때 대상면적이 좁은 경우 모조이식법(성체이식법)을 사용한다. 그러나 면적이 넓은 경우 모조이식법은 적용이 불가능하다. 따라서 이런 경우에는 육상에서 종묘를 길러 이식하는 인공종묘이식법을 이용하게 되며, 이때 포자주머니법을 함께 사용하면 더욱 효과를 볼 수 있다(국립수산과학원, 2006).

나. 인공해중림초

착생기질을 투입해야하는 해역이 섭식압이 강한 경우에는 크기나 모양이 자유로운 콘크리트를 이용한 인공 해중림초가 적합하다. 인공해중림초는 해중림초의 높이와 중량, 표면 거칠기 등을 잘 고려해야한다(Fig. 3.6). 또한 섭식압으로부터 대상해조류를 보호하기 위해 해중림초에 홈을 만드는 방법 등을 통해 섭식압을 이겨낼 수 있다. 현재 우리나라에서 개발되어 특허출원된 해중림 조성용 인공 해중림초는 6개이다. 이 방법은 개발 된 인공해중림초에 인공종묘이식법을 통해 얻어진 중간육성단계의 해조류를 이식한 후 바다에 설치하는 방법이다. 이러한 해중림초는 암반경사가 30도 이상인 곳은 피해야 한다(국립수산과학원, 2008). 또한 모래해역은 세굴, 모래이동 등의 이유로 시설하지 않으나 암반 사이사이 존재하는 모래층에는 설치하여도 무방하다. 하지만 모래층의 면적이 사방 20m를 초과하면 안된다.

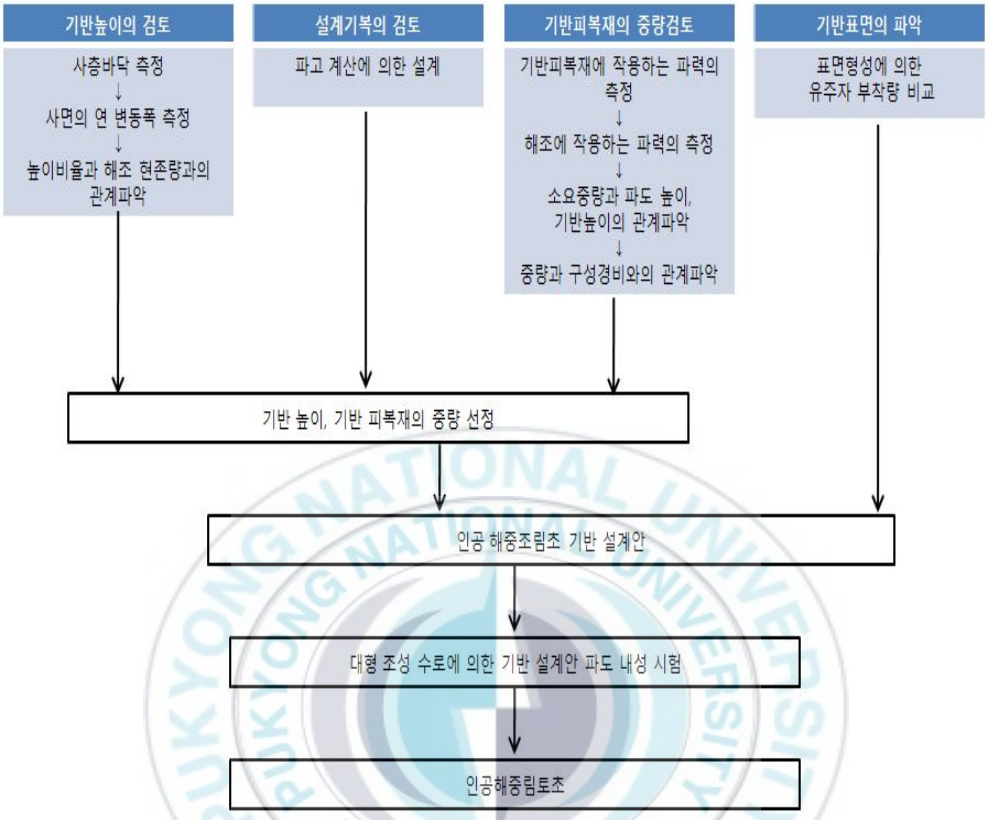


Fig. 3.6 Plan investigation process of artificial reefs.

.

(港灣構造物と海藻草類の共生マニュアル,)

다. 수중저연승법

수중저연승법은 인공해중림초에 비해 넓은 면적에 보다 저렴한 방법으로 복원이 가능하다. 이 방법은 중간육성 된 종묘를 로프에 감아서 해상 양

식장에서 수직 연승식으로 10~15cm정도 성장시킨 후 양쪽 끝에 고리를 만들어서 수중에 시설된 앙카용조림초에 시설(Fig. 3.7)하는 방법이다. 이식된 종묘는 식해종물의 유인 효과 및 저연승 아래의 갯녹음지역에 빛 차단 효과가 있어서 무절산호조류의 광합성을 저해한다. 이것은 무절산호조류의 사멸로 인한 소형 해조류 공간경쟁을 감소시켜 주고 해조류 유엽기에 조식동물의 식해가 적어지므로 갯녹음 암반에 자연적으로 해조류가 서식 할 수 있는 환경을 만들어 준다(국립수산과학원, 2006).

Fig. 3.7 Method of longline.

(국립수산과학원 동해수산연구소, 2006)

5.3 이식시기 고려

해조류의 생장에 따른 이식시기는 해조장 복원 성공에 많은 영향을 미친다. 해조류는 생활사, 생장특성, 성숙기가 해역의 해황과 여러 가지 조건에 따라 달라 일반적인 이식시기를 제시하기 어려우므로 종에 따라 신축적으로

적용을 달리한다. 특히 인공해조림초의 투여시 여름과 같이 굴류와 같은 경쟁생물이 대량으로 번식하는 시기는 피해야 한다.

여기서 제시하는 성숙시기는 일반적인 이식시기를 말하는 것으로 해황에 따라 다를 수 있으므로 실제 복원 시에는 현황조사 된 자료를 바탕으로 수행한다.

가. 다시마, 미역, 쇠미역

다시마와 미역, 쇠미역은 늦가을인 10월에서 11월이 성숙시기이다. 인공종묘 생산법은 감태나 대황과 유사하며 엽장의 길이가 10~20 cm정도 되었을 때 이식하는 것이 바람직하다. 이 후 생장은 효율과 생존율에서 많은 차이가 있으며 이식시기는 1월에서 2월 정도가 적합하다.

나. 감태, 곰피, 대황

성숙시기는 동해안의 경우에는 10월~11월 정도의 늦가을이 적당하며 제주도는 9월 중순에서 10월 말경이다. 이후의 생장은 효율과 생존율에서 많은 차이가 있으며 이식시기는 2월에서 4월 사이 정도가 가장 적합한 것으로 알려져 있다.

다. 모자반

모자반은 주로 봄철에 종묘를 생산하여 가을철에 이식한다.

6. 모니터링

복원된 해조장이 충분하게 발달하여 자연적인 천이가 일어나기 까지 해조류의 생육·생장상태와 해조장형성 후의 기능파악을 목적으로 모니터링

조사를 종합적·정기적으로 실시한다.

따라서 모니터링 계획에는 모니터링 기간과 항목, 모니터링을 수행할 기관과 인력에 대한 내용을 수립하여야 한다.

모니터링 항목은 지형의 안정성, 수질, 저질, 파랑, 광 등의 환경조건, 대상종의 생육상황, 그 외 생물의 생육, 생식상황 등에 대해서 조사항목, 조사지점, 조사시기, 조사방법 등을 검토 한다. 모니터링 기간은 대상종의 번무와 해조장 분포의 확대, 해조장 생태계의 기능 등이 안정화 될 때까지 최저 몇 년간의 시간 스케일을 고려해야 한다. 이것은 다년생 감태 등의 수명이 5~6년이기에 최소한 5~6년 이상이 바람직하다(국립수산과학원, 2006).

Table. 3.16 Monitoring

contents		
Item	growth condition	Stability of terrain warwe and sediment wave and light
	Growth condition of target species Competition species , Grazing animal Function of seaweeds	
period	Minimum 5~6year	
Human	The monitor ring which is periodical	

7. 유지관리 및 평가

7.1 유지관리

모니터링 조사 결과 대상종의 생육상황이 나쁜 경우와 해조장 군락의 확대속도가 늦은 경우, 경쟁생물과 식해동물에 의해 피해가 나타난 경우 등은 계획을 변경해서 재이식, 경쟁생물의 세거, 식해동물의 방제 등의 조치를 강구하는 유지관리를 해야한다. 따라서 각각의 상황에 따른 유지관리 계획을 수립해야만 한다.

7.1.1 기반유지

해조장이 부니의 퇴적과 표사의 이동으로 기반 표면이 덮여 복원이 원활히 일어나지 않는 경우가 있다. 이러한 경우 기반표면의 청소 등을 통해 기반을 유지해 주어야 한다.

7.1.2 적정밀도의 유지

복원 대상종의 밀도감소가 현저한 경우에는 그 요인을 조사해서 감소를 방지한다. 해조군락이 유지되기 위해서는 경쟁생물과 조식동물과의 평형이 유지되어야 하는데 이런 경쟁이 깨지면 적정밀도가 유지가 될 수 없다. 따라서 복원 대상종의 밀도감소가 현저한 경우에는 경쟁생물과 조식동물을 제거하는 일과 함께 필요하다고 판단 될 때는 대상종의 종묘를 재이식한다.

자연조건이 당초의 조건에 비해 탁도가 증가하고 광량부족이 판단 되는 경우에는 탁도 방지와 마운드 조성 등을 통한 해조장의 수심을 올리는 일에 대한 유지관리가 수행되어야 한다.

7.2 평가

Reference site와 비교해서 복원이 잘 되었는가를 평가한다.

7.2.1 피도의 회복

복원의 진단시 이용되었던 엽상형 해조류의 피도가 복원이 수행되기 전보다 얼마나 회복이 되었는지를 평가한다. 엽상형해조류의 피도가 피도계급 3이상인 피도계급 4와 피도계급 5를 만족하는지를 평가하고 이를 만족 할 경우에는 복원이 성공적으로 이루어 졌다고 할 수 있다.

7.2.2 Reference site와의 유사성

가. 직접비교

복원된 생태계와 Reference생태계의 특징을 나타내는 Parameter를 각각 비교한다. Reference 생태계가 건강한 경우 생물 및 비생물적 측면에서 상당히 많은 parameter가 비교될 수 있다. 그러므로 바람직한 접근법은 생태계를 공통적으로 묘사하고 있는 특성의 일관된 조합을 신중하게 선택한다.

나. 속성비교

복원된 생태계와 Reference생태계의 각각의 parameter가 아니라 속성을 평가하는 것이다. 예정된 모니터링과 기타 정량적 및 준정량적 데이터가 각각의 목적달성 여부를 판단하는데 이용된다.

7.2.3 기능평가

가. 서식지 기능

해조장은 어류, 연체동물, 극피동물 그 밖의 수산동물 특히 난, 치·자어의 생육장으로서 생태적으로 매우 중요한 역할을 수행한다(Yoshida et al, 1963 ; Umezaki, 1983). 복원된 해조장이 이러한 생물들의 서식지로서의 기능을 잘 수행하는지 평가한다.

나. 환경보전기능

해조류는 온대연안 생태계에서 일차생산력에 큰 역할을 담당하는 생산자 구성요소이며, 영양소의 순환에도 주요한 역할을 담당한다. 또한 최근에는 CO_2 고정능력이 환경보전의 입장에서도 주목받고 있다(Yoshida et al.,1997). 또한 해양에 용해되어 있는 영양염류를 흡수하여 생존에 필요한 영양분을 흡수함과 동시에, 해수 중의 무기영양염 및 중금속을 제거하여 수질을 정화하는 식물여과재로서의 역할도 수행하는 것으로 알려져 있다. 따라서 상기의 환경보전기능을 평가한다.

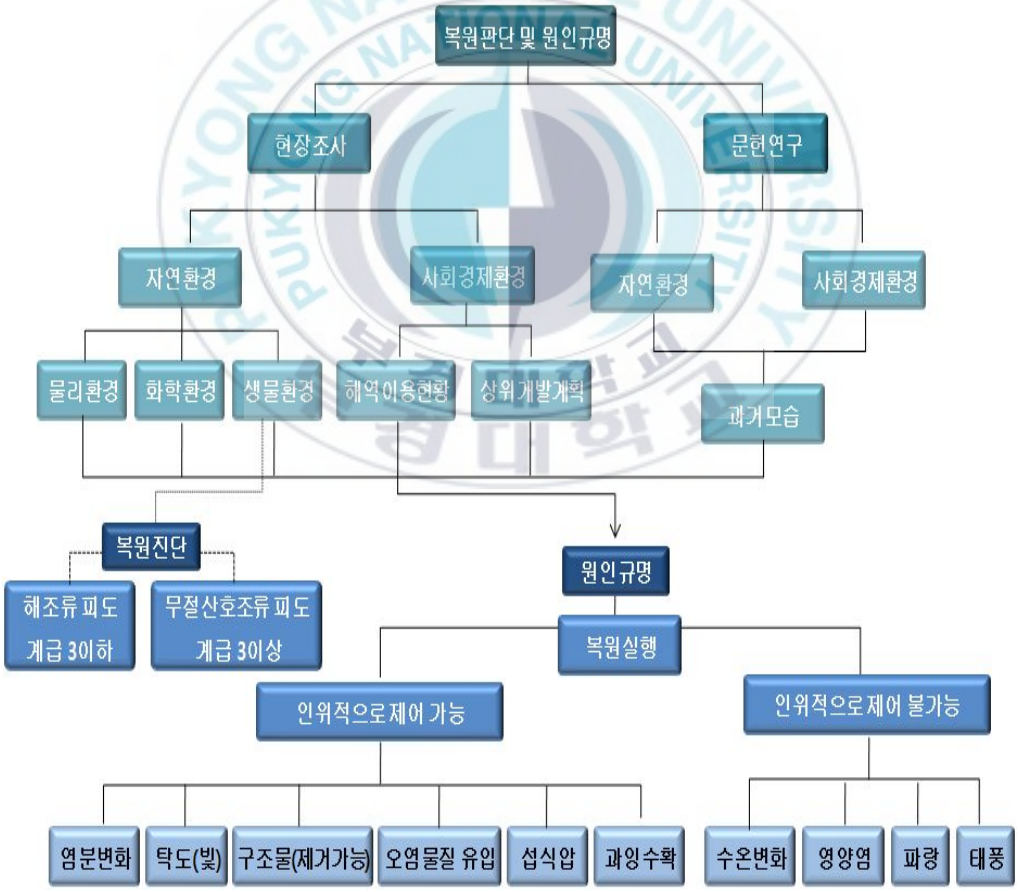
다. 생산기능

해조류의 번성은 기초생산뿐만 아니라 이에 따른 2차 생산을 증가시켜 어류자원의 증대에 의한 어획량증가와 자연적인 생산량을 증가시키게 된다. 따라서 복원된 해조장이 상기의 생산기능을 유지하는지를 평가한다.

8. 복원매뉴얼

8.1 인위적으로 제어가 가능한 원인

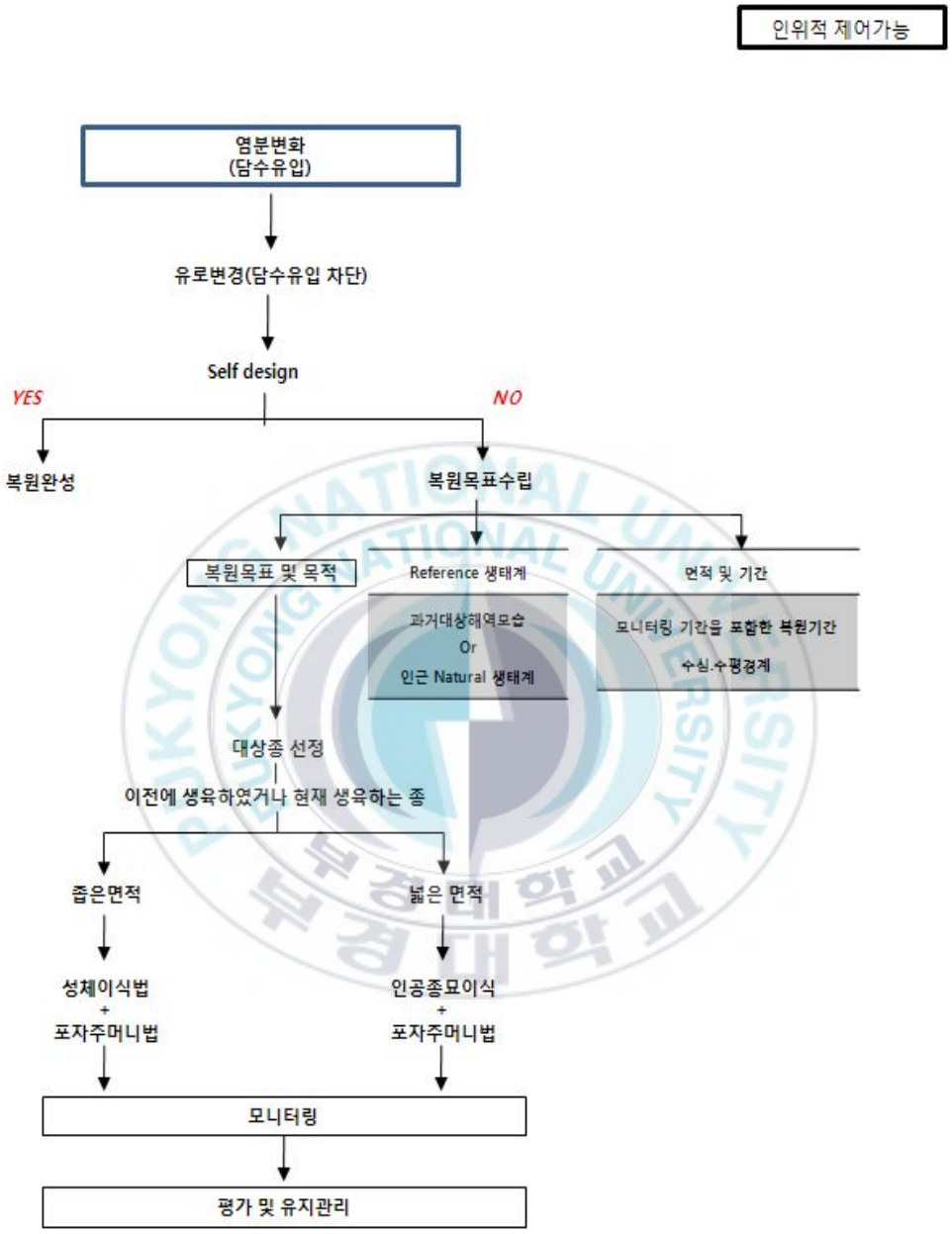
인위적으로 제어가 가능한 원인으로 인해 발생하는 갯녹음 현상은 가장 먼저 원인을 제어 해 준다. 그리고 자연스스로 회복이 되는 경우와 인위적으로 이식을 해줌으로 써 복원이 빨리 되도록 하는 단계로 구분 할 수 있다.



8.1.1 염분변화

육상에서의 하천 공사 등으로 인한 물길의 변동으로 인해 원래 유입되지 않던 담수가 유입이 되면 절대 염생식물인 해조류에게 영향을 미친다. 따라서 염분 유지를 위해 담수유입을 차단하여 스스로 회복이 되도록 한다. 스스로 회복되는 속도가 느리거나 해조류의 이식이 필요한 경우에는 이전에 생육하였거나 현재 생육하는 종으로 대상종을 선정하여 이식한다. 이 경우 이식면적에 따라 두 가지로 나뉜다. 인근에 건강한 해조장이 존재하여 복원대상면적에 성체를 충분히 공급할 면적이 될 경우(좁은면적) 성체이식법과 포자주머니 법을 함께 사용한다. 면적이 넓은 경우에는 인공종묘이식으로 육상에서 종묘를 배양하여 이식하는 방법으로 이 방법 역시 포자주머니 법을 함께 사용하면 효과를 볼 수 있다.

염분이 변화한 경우에는 무절산호조류와 성게와 같은 섭식동물 역시 생장할 수 없기 때문에 특별히 고려 해 주지 않아도 된다.


인위적 제어가능
염분변화
(담수유입)
유로변경(담수유입 차단)
Self design
YES
NO
복원완성
복원목표수립
복원목표 및 목적
Reference 생태계
면적 및 기간
과거대상해역모습
Or
인근 Natural 생태계
모니터링 기간을 포함한 복원기간
수심·수평경계
대상종 선정
이전에 생육하였거나 현재 생육하는 종
좁은면적
넓은 면적
성체이식법
+
포자주머니법
인공종묘이식
+
포자주머니법
모니터링
평가 및 유지관리

8.1.2 탁도

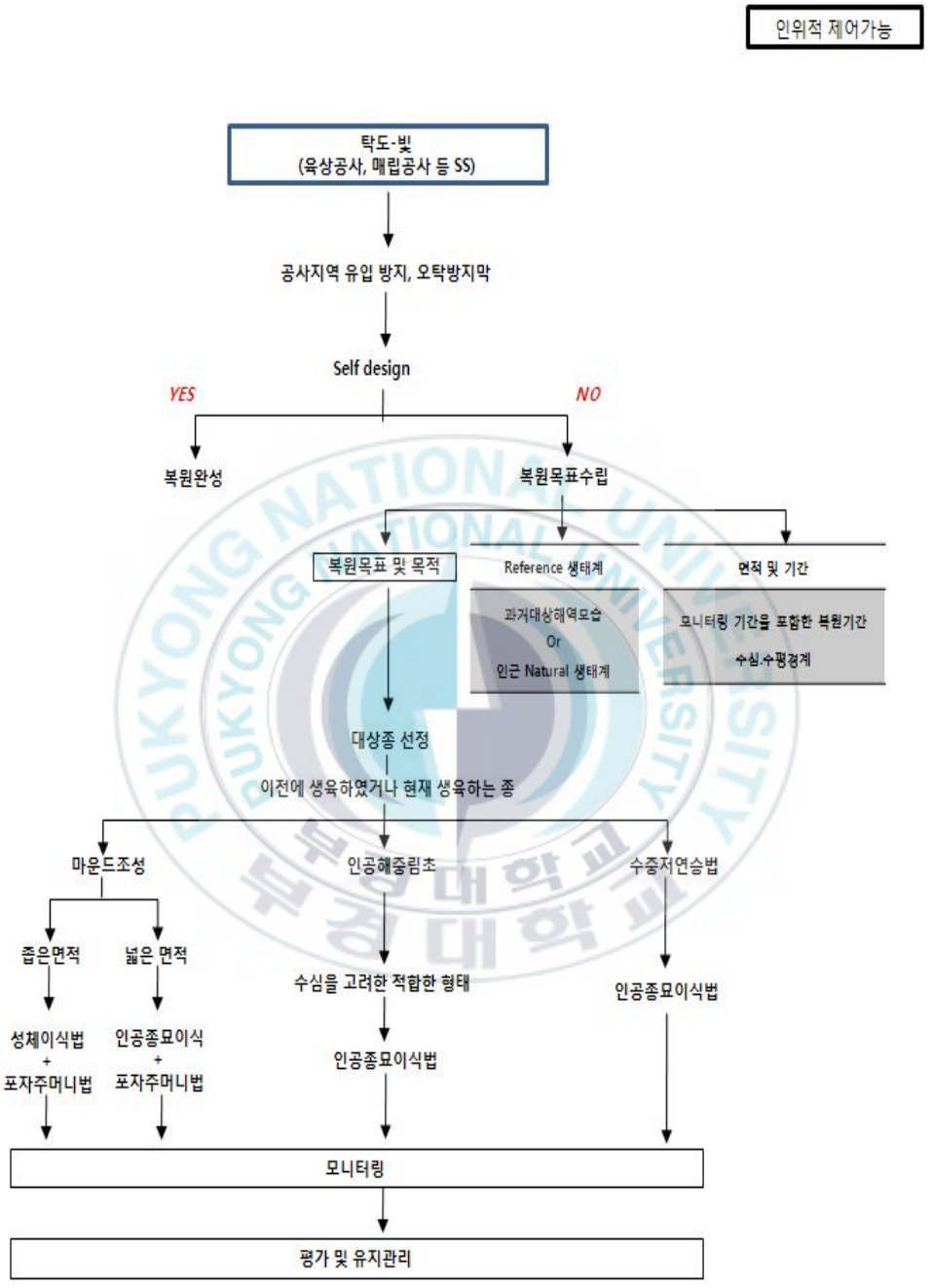
육상에서의 공사 등으로 인해 유입된 부유물질이나, 인근의 해양매립 등으로 인해 발생한 부유물질은 탁도를 저해 시키며 이것은 광합성을 하는 해조류의 생장에 큰 영향을 미친다. 따라서 공사지역에서의 유입을 차단하고, 오탁방지막등을 설치하여 탁도를 개선 시킨다. 탁도가 개선이 되면 스스로 회복이 된다. 그러나 스스로 회복되는 속도가 느리거나 환경개선이 필요한 경우에는 개선 후 이전에 생육하였거나 현재 생육하는 종으로 대상종을 선정하여 이식한다.

방법은 크게 세가지로 나뉜다. 첫째, 마운드를 조성해줌으로써 해조류의 생육에 필요한 광조건을 만들어 주는 것이다. 조건을 만들 어 준 후 면적에 따라 두 가지 이식방법으로 나뉜다. 인근에 건강한 해조장이 존재하여 복원 대상면적에 성체를 충분히 공급할 면적이 될 경우(좁은면적) 성체이식법과 포자주머니 법을 함께 사용한다. 면적이 넓은 경우에는 인공종묘이식으로 육상에서 종묘를 배양하여 이식하는 방법으로 이 방법 역시 포자주머니 법을 함께 사용하면 효과를 볼 수 있다.

두 번째는 인공해중림초를 이용하는 방법이다. 인공해중림초 중 수심조건을 극복할 수 있는 크기의 적합한 형태를 선정한다. 선정 된 인공 해중림초에 인공종묘이식법으로 이식을 한다.

세 번째는 수중저연승 방법을 이용하는 방법이다. 이 방법은 인위적으로 수심 조절이 가능하므로 인공종묘를 해조류가 생장 할 수 있는 수심으로 조절을 해주면 복원이 가능하다.

무절산호조류와 엽상형 해조류는 광합성을 하기 때문에 탁도조건이 나빠질 경우 둘 다 생장이 불가능 하다. 따라서 이러한 복원 시 무절산호조류의 피도는 크게 고려하지 않는다.

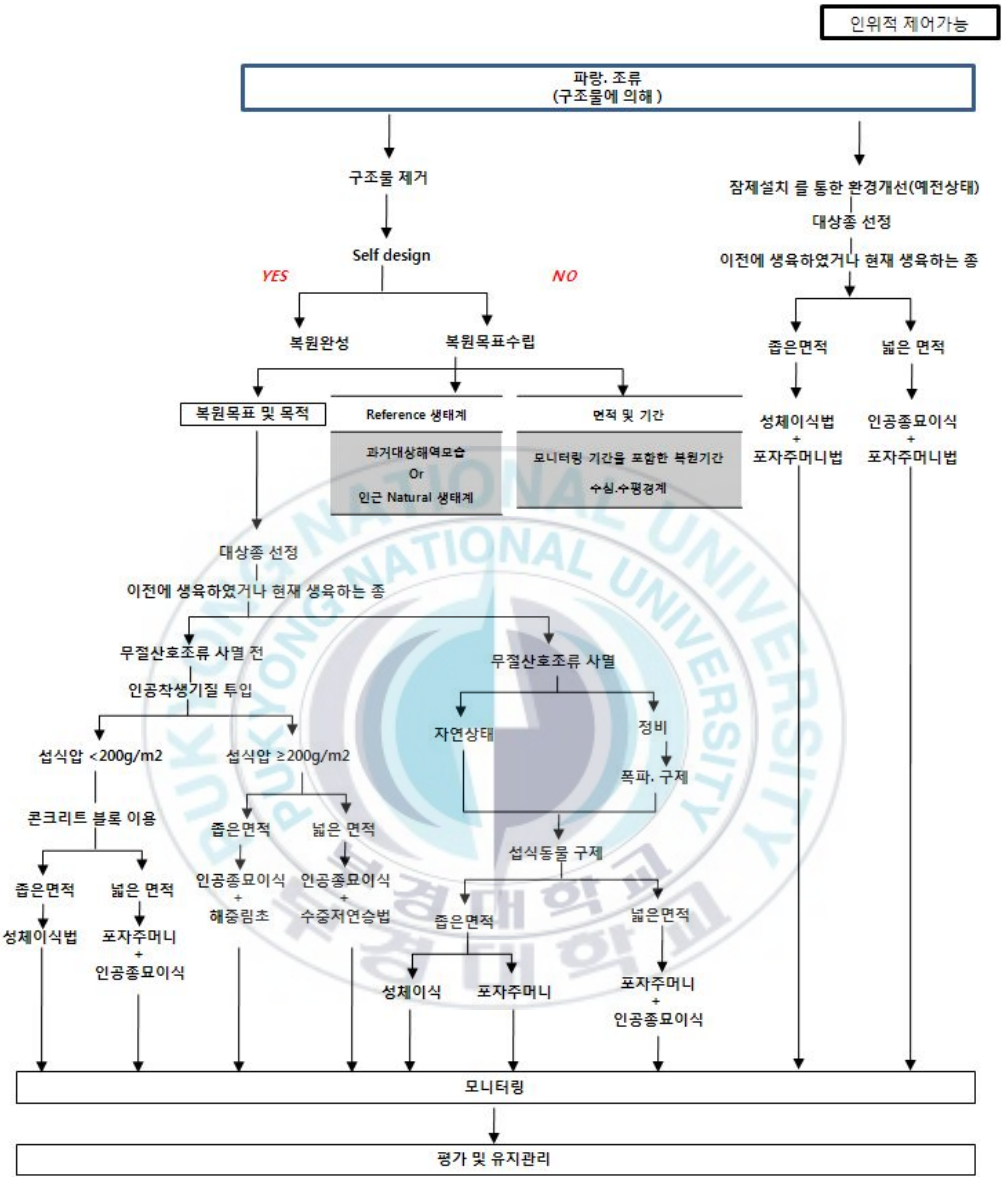

인위적 제어가능
탁도-빛
(육상공사, 매립공사 등 SS)
공사지역 유입 방지, 오탁방지막
Self design
YES
NO
복원완성
복원목표수립
복원목표 및 목적
Reference 생태계
면적 및 기간
과거대상해역모습
Or
인근 Natural 생태계
모니터링 기간을 포함한 복원기간
수심,수평경계
대상종 선정
이전에 생육하였거나 현재 생육하는 종
마운드조성
인공해중림초
수중저연승법
좁은면적
넓은 면적
수심을 고려한 적합한 형태
인공종묘이식법
성체이식법
+
포자주머니법
인공종묘이식
+
포자주머니법
인공종묘이식법
모니터링
평가 및 유지관리

8.1.3 파랑, 조류

연안역에 생긴 구조물은 파랑과 조류의 흐름을 변화시키고 이것은 해조류의 생육에 영향을 미친다. 따라서 이러한 경우는 구조물을 제거하거나 추가적인 설치물을 통해 환경을 개선하는 두 가지 경우를 고려한다.

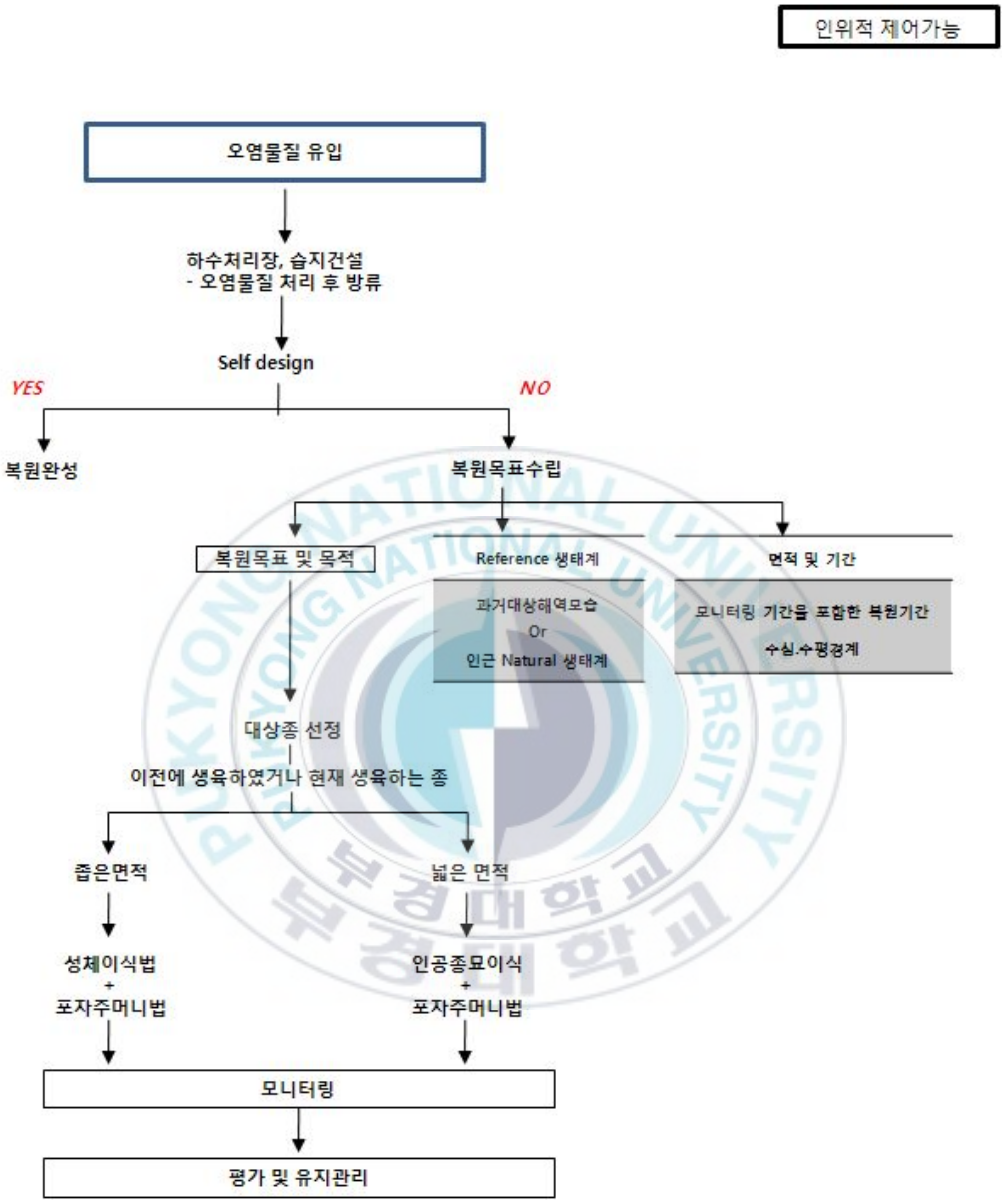
먼저 구조물의 제거가 가능한 경우에는 구조물을 제거해 주며 시간이 지나면 스스로 회복이 되어 복원이 완성된다. 그러나 이 기간이 너무 길거나 해조류가 생육하지 못한다면 인위적으로 이식을 한다. 이때의 대상종은 이전에 생육하였거나 현재 생육하는 종으로 한다. 파랑과 조류의 흐름 변화는 엽상형 해조류에게는 큰 영향을 미치지만 무절산호조류와 섭식동물에게는 영향이 적다. 따라서 파랑과 조류의 흐름 변화로 인한 복원 시에는 이 두 가지를 함께 고려한 이식방법의 선정과 섭식동물의 구제가 필요하다.

두 번째 방법은 추가적인 설치물을 통해 환경을 개선하는 방법으로 가장 대표적인 것이 잠제의 설치이다. 이러한 설치물은 대상해역의 환경에 따라 다르므로 적절히 선택하여 설치하며 이식한다. 설치물을 통해 이식할 경우 면적에 따라 좁은면적의 경우 성체이식법과 포자주머니법을 이용하며 넓은 면적의 경우 인공종묘이식과 포자주머니법을 이용한다.


인위적 제어가능
파랑. 조류
(구조물에 의해)
구조물 제거
Self design
YES
NO
복원완성
복원목표수립
복원목표 및 목적
Reference 생태계
면적 및 기간
과거대상해역모습
Or
인근 Natural 생태계
모니터링 기간을 포함한 복원기간
수심.수평경계
대상종 선정
이전에 생육하였거나 현재 생육하는 종
무절산호조류 사멸 전
인공착생기질 투입
섭식압 <200g/m2
섭식압 ≥200g/m2
콘크리트 블록 이용
좁은면적
넓은 면적
성체이식법
포자주머니
+
인공종묘이식
좁은면적
넓은 면적
인공종묘이식
+
해중림초
인공종묘이식
+
수중저연승법
무절산호조류 사멸
자연상태
정비
폭파. 구제
섭식동물 구제
좁은면적
넓은면적
성체이식
포자주머니
포자주머니
+
인공종묘이식
잠제설치 를 통한 환경개선(예전상태)
대상종 선정
이전에 생육하였거나 현재 생육하는 종
좁은면적
넓은 면적
성체이식법
+
포자주머니법
인공종묘이식
+
포자주머니법
모니터링
평가 및 유지관리

8.1.4 오염물질 유입

광산이나 공장의 폐수, 원유의 유출, 인근 도시하수 등이 유입이 될 경우 해조류의 생장에 큰 영향을 미치며 갯녹음 현상을 유발시킨다. 따라서 하수처리장을 건설하거나 습지를 건설하여 오염물질이 연안역으로 직접 방류되는 것을 차단하여야 한다. 이러한 오염물질 유입을 차단시킨 후 시간이 지나면 해조장이 스스로 회복이 되어 복원이 완성된다. 그러나 이 기간이 너무 길거나 해조류가 생육하지 못한다면 인위적으로 이식을 한다. 이때의 대상종은 이전에 생육하였거나 현재 생육하는 종으로 한다. 오염물질의 유입은 무절산호조류와 섭식동물들도 살 수 없는 환경으로 만든다. 이식방법은 면섶에 따라 좁은 면적의 경우 성체이식과 포자주머니법을 삼께 사용하며 넓은 면적은 인공종묘이식과 포자주머니법을 이용한다.

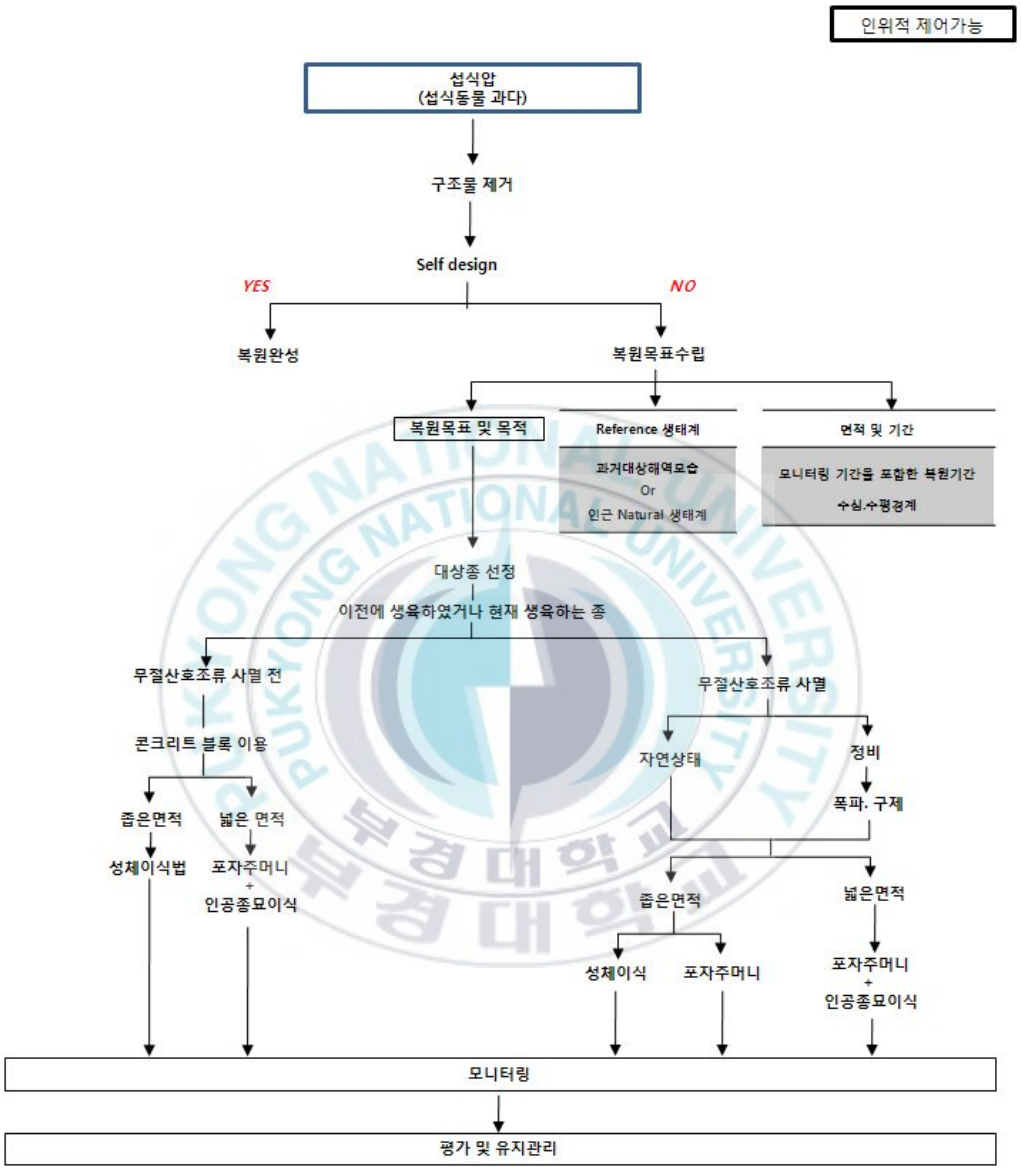

인위적 제어가능
오염물질 유입
하수처리장, 습지건설
- 오염물질 처리 후 방류
Self design
YES
NO
복원완성
복원목표수립
복원목표 및 목적
Reference 생태계
면적 및 기간
과거대상해역모습
Or
인근 Natural 생태계
모니터링 기간을 포함한 복원기간
수심.수평경계
대상종 선정
이전에 생육하였거나 현재 생육하는 종
좁은면적
넓은 면적
성체이식법
+
포자주머니법
인공종묘이식
+
포자주머니법
모니터링
평가 및 유지관리

8.1.5 섭식압

해조류를 먹이로 하는 섭식동물의 양이 증가하면 자연스럽게 엽상형 해조류는 쇠퇴한다. 특히 무절산호조류와 일부 섭식동물은 공생관계를 유지시키기 때문에 엽상형해조류가 공간경쟁에서도 밀리게 되고 이것은 갯녹음을 더욱 지속시킨다. 이러한 이유들로 인해 발생한 갯녹음현상은 섭식압을 인위적으로 낮춰 스스로 회복이 되게 한다. 그러나 과도한 섭식압으로 인해 인위적인 해조류의 이식이 필요한 경우에는 이전에 생육하였거나 현재 생육하는 종을 대상종으로 하며 이식 시 고려해야 하는 점은 무절산호조류의 사멸 전과 사멸 후의 이식방법이 다르다. 이것은 무절산호조류가 엽상형 해조류와 공간경쟁을 하기 때문이다. 무절산호조류가 사멸 전 이라면 콘크리트블록을 넣어서 엽상형해조류가 착생 할 공간을 인위적으로 넣어준다.

좁은 면적의 경우 콘크리트블록에 성체를 이식해서 넣어주는 성체이식법을 사용하며, 넓은 면적의 경우 인공종묘이식을 통해 얻은 종묘를 콘크리트블록에 착생시킨다. 이 방법에는 포자주머니 방법을 함께 사용해 효과를 더욱 증대 시킨다.

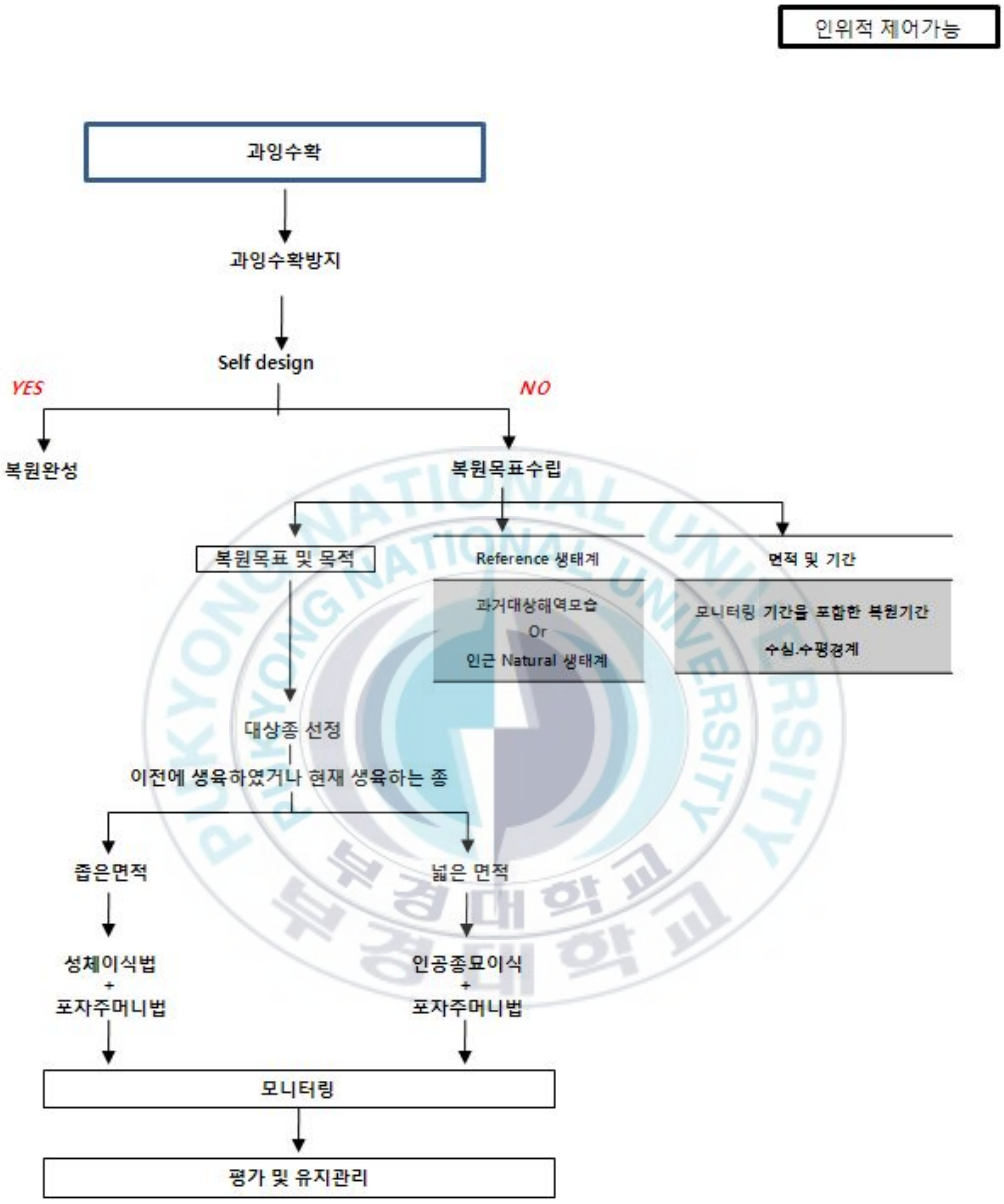
무절산호조류가 사멸 한 후에는 엽상형해조류가 공간경쟁을 하지 않아도 되므로 인공착생기질을 넣어주지 않는다. 그러나 간혹 폭파나 구제 등을 통해 착생기질을 확보할 수도 있다. 좁은 면적의 경우 성체를 이식하거나 포자주머니방법을 사용한다. 엽상형 해조류 성장에 저해요인인 섭식압의 감소와 무절산호조류의 사멸은 포자주머니법을 가능하게 한다. 넓은 면적의 경우 포자주머니방법과 인공종묘이식방법을 동시에 사용한다.


인위적 제어가능
섭식압
(섭식동물 과다)
구조물 제거
Self design
YES
NO
복원완성
복원목표수립
복원목표 및 목적
Reference 생태계
과거대상해역모습
Or
인근 Natural 생태계
면적 및 기간
모니터링 기간을 포함한 복원기간
수심,수평경계
대상종 선정
이전에 생육하였거나 현재 생육하는 종
무절산호조류 사멸 전
콘크리트 블록 이용
좁은면적
넓은 면적
성체이식법
포자주머니
+
인공종묘이식
무절산호조류 사멸
자연상태
정비
폭파, 구제
좁은면적
넓은면적
성체이식
포자주머니
포자주머니
+
인공종묘이식
모니터링
평가 및 유지관리

8.1.6 과잉수확

해조류는 오래전부터 식품으로서 이용이 되었을 뿐만 아니라 최근에는 의약품과 화장품, 생필품 등 많은 분야에서 다양하게 이용이 되고 있다. 이로 인해 어업인들에게 과잉 수확이 되며 이것은 갯녹음 현상으로 직결된다. 이러한 현상은 자원관리와 교육 등을 통해 과잉수확을 방지해야 한다. 과잉 수확을 방지하면 해조장은 스스로 회복이 되어 복원된다. 그러나 과도한 수확으로 인해 해조장이 복원이 되지 못할 경우에는 인위적으로 이식을 해서 해조장이 복원이 되도록 도와주는 역할을 수행해야 한다.

대상종은 이전에 생육하였거나 현재 생육하는 종으로 한다. 면적이 좁을 경우에는 성체이식법과 포자주머니법을 동시에 적용해 복원을 가능케 하며, 넓은 면적의 경우에는 인공종묘이식과 포자주머니법을 동시에 적용해 복원한다.


인위적 제어가능
과잉수확
과잉수확방지
Self design
YES
NO
복원완성
복원목표수립
복원목표 및 목적
Reference 생태계
면적 및 기간
과거대상해역모습
Or
인근 Natural 생태계
모니터링 기간을 포함한 복원기간
수심.수평경계
대상종 선정
이전에 생육하였거나 현재 생육하는 종
좁은면적
넓은 면적
성체이식법
+
포자주머니법
인공종묘이식
+
포자주머니법
모니터링
평가 및 유지관리

8.2 인위적으로 제어가 불가능한 원인

인위적으로 제어가 불가능한 원인은 그 환경조건에 적합한 대상종을 선정해 복원을 해주는 생물복원이 수행되어야 한다. 따라서 이 경우에는 인위적으로 제어가 가능한 원인으로 인해 발생한 갯녹음 현상보다 더욱 까다로운 대상종 선정을 요구한다.

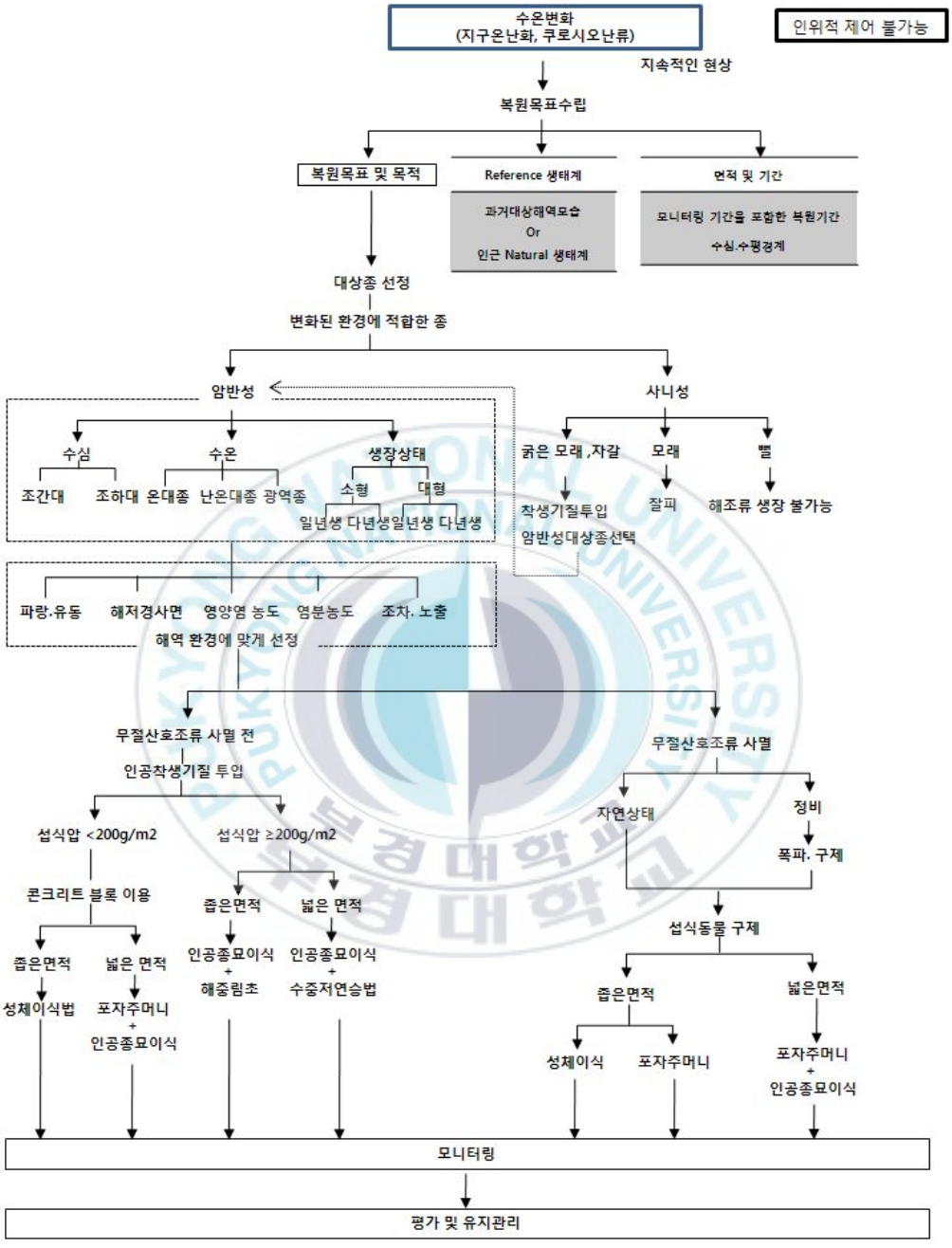
8.2.1 수온변화

지구온난화와 쿠로시오난류의 영향력이 강해지면서 갯녹음 현상은 더욱 지속이 된다. 지속적으로 지구온난화에 대해 고려해서 더 이상 수온 상승이 되지 않게 하는것은 맞으나, 수온상승은 복원을 위해 제어 할 수 없는 원인이다. 따라서 이러한 경우에는 수온 상승에 적합한 대상종을 선정하여 그 환경에서 잘 서식 할 수 있게 하는 복원이 수행되어야 한다. 변화된 환경에 적합한 종을 선정하기 위해서는 대상해역이 암반성인지 사니성인지에 대한 고려가 가장 먼저 수행되어야 하면, 수심과 수온, 생장상태를 고려한 일차 대상종을 선정한다. 일차대상종을 선정 한 후 그 해역의 파랑과 유동, 해저경사면, 영양염 농도, 염분농도, 조차 등을 세부적으로 고려해 대상종을 선택한다. 이렇게 선정 된 대상종은 무절산호조류가 사멸하기 전인지 사멸 한 이후인지에 따라 이식방법이 달라진다. 무절산호조류가 사멸하기 전인 경우에는 공간경쟁에서 밀리지 않게 착생기질을 투입해준다. 이 착생기질의 투입 시에는 단위면적당 섭식동물의 생식밀도가 200g이상인 경우에는 해조류의 생장에 영향을 미치므로 생식밀도 이상인지, 미만인지에 따라 달라진다.

섭식압이 200g/m^2미만인 경우에는 콘크리트 블록을 투입해 면적에 따라 좁은면적은 성체이식법을 사용하며 넓은 면적은 포자주머니와 인공종묘이식을 함께 수행한다. 섭식압이 200g/m^2이상인 경우에는 섭식압의 영향을 배제

할 수 있는 해중림초와 수중저연승법을 이용한다. 수중저연승법의 경우 해중림초에 비해 보다 넓은 면적의 복원에 유리하므로 복원대상해역의 면적을 고려하여 적절한 방법을 선택한다. 이때 해중림초와 수중저연승 방법은 인공종묘이식법을 사용한다.

무절산호조류가 사멸한 경우에는 엽상형해조류가 공간경쟁을 하지 않아도 되므로 섭식동물을 인위적으로 구제한 후 이식을 수행한다. 이식방법은 좁은 면적과 넓은 면적에 따라 달라진다. 좁은 면적의 경우 섭식동물 구제 후 성체를 이식하거나 포자주머니법을 사용한다. 넓은 면적의 경우에는 인공종묘이식법과 포자주머니법을 함께 사용하는것이 효과적이다.

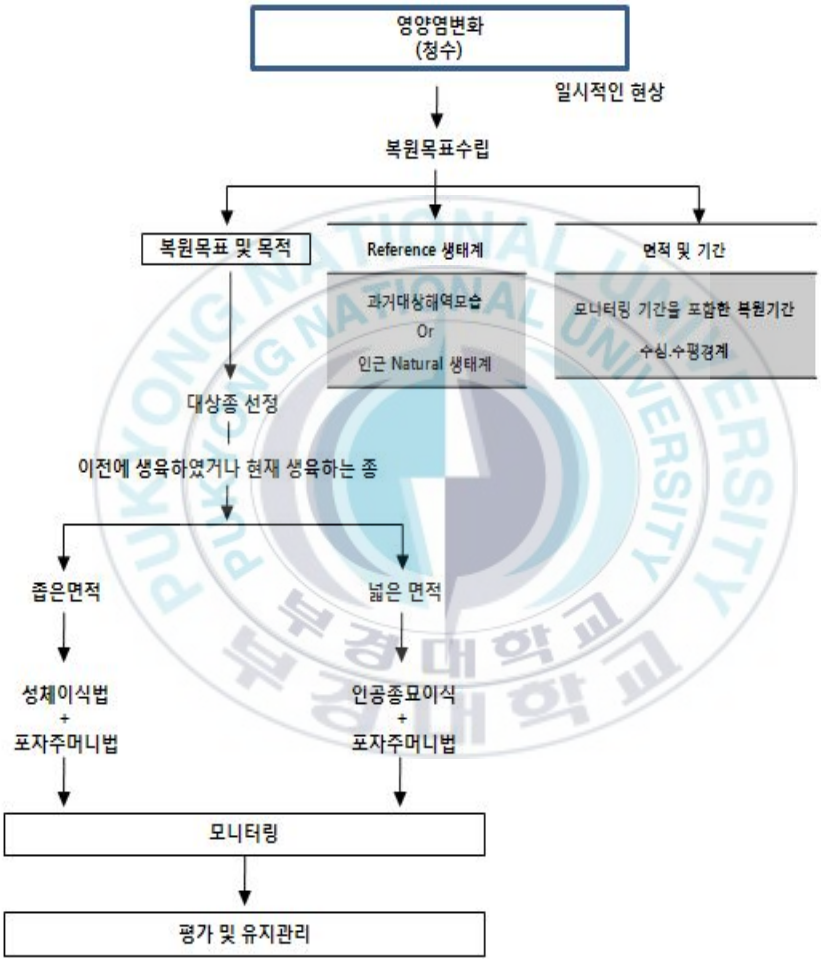

수온변화
(지구온난화, 쿠로시오난류)
인위적 제어 불가능
지속적인 현상
복원목표수립
복원목표 및 목적
Reference 생태계
과거대상해역모습
Or
인근 Natural 생태계
면적 및 기간
모니터링 기간을 포함한 복원기간
수심.수평경계
대상종 선정
변화된 환경에 적합한 종
암반성
사니성
수심
수온
생장상태
조간대
조하대
온대종
난온대종
광역종
소형
대형
일년생
다년생
일년생
다년생
굵은 모래 ,자갈
모래
뻘
착생기질투입
암반성대상종선택
잘피
해조류 생장 불가능
파랑.유동
해저경사면
영양염 농도
염분농도
조차. 노출
해역 환경에 맞게 선정
무절산호조류 사멸 전
인공착생기질 투입
무절산호조류 사멸
섭식압 <200g/m2
섭식압 ≥200g/m2
자연상태
정비
폭파. 구제
콘크리트 블록 이용
좁은면적
넓은 면적
좁은면적
넓은 면적
인공종묘이식
+
해중림초
인공종묘이식
+
수중저연승법
섭식동물 구제
좁은면적
넓은면적
성체이식법
포자주머니
+
인공종묘이식
성체이식
포자주머니
포자주머니
+
인공종묘이식
모니터링
평가 및 유지관리

8.2.2 영양염 변화(청수)

하계에 발생하는 청수현상은 일시적으로 영양염의 농도를 떨어뜨리며 이것은 해조류에게 크게 영향을 미친다. 이런 청수 현상은 일시적으로 발생하는 현상이므로 이전에 생육하였거나 현재 생육하는 종을 대상종으로 이식한다. 대상종의 이식방법은 인근에 건강한 해조장이 존재하여 복원대상면적에 성체를 충분히 공급할 면적이 될 경우(좁은면적) 성체이식법과 포자주머니 법을 함께 사용한다. 면적이 넓은 경우에는 인공종묘이식으로 육상에서 종묘를 배양하여 이식하는 방법으로 이 방법 역시 포자주머니 법을 함께 사용하면 효과를 볼 수 있다.

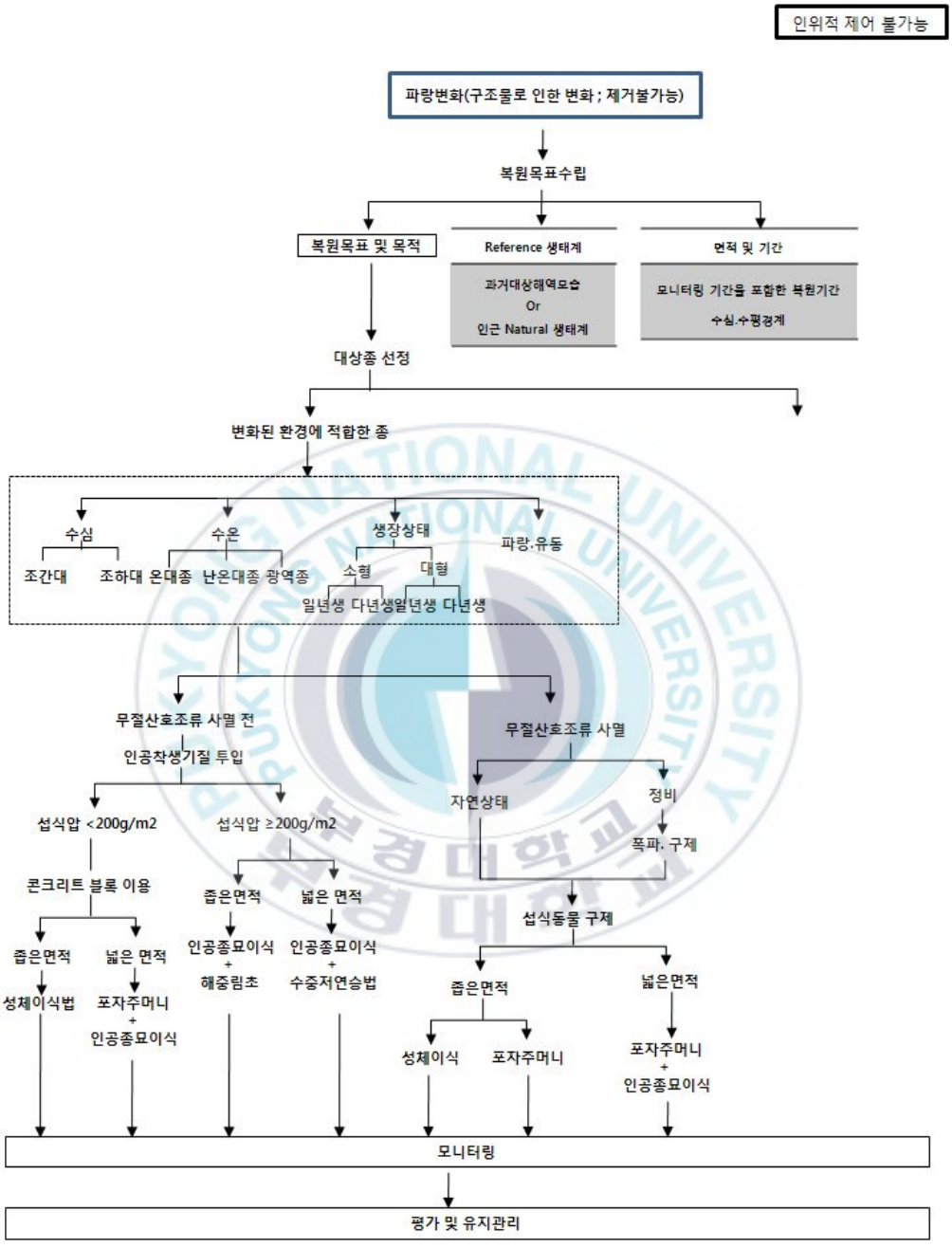
영양염이 변화한 경우에는 무절산호조류와 성게와 같은 섭식동물 역시 생장할 수 없기 때문에 특별히 고려 해 주지 않는다

인위적 제어 불가능


영양염변화
(청수)
일시적인 현상
복원목표수립
복원목표 및 목적
Reference 생태계
면적 및 기간
과거대상해역모습
Or
인근 Natural 생태계
모니터링 기간을 포함한 복원기간
수심.수평경계
대상종 선정
이전에 생육하였거나 현재 생육하는 종
좁은면적
넓은 면적
성체이식법
+
포자주머니법
인공종묘이식
+
포자주머니법
모니터링
평가 및 유지관리

8.2.3 파랑의 변화(구조물로 인한 변화 : 구조물의 제거 불가능)

구조물로 인해 파랑의 변화가 생기면 해조류의 생장에 영향을 미친다. 이러한 구조물이 제거가 가능하다면 제거를 한 후 기존에 서식하던 종이나 과거에 서식하던 종을 대상종으로 복원을 하면 되지만, 항만이나 항로, 대형 구조물과 같이 제거가 불가능 한 경우에는 그 해역의 환경에 적합한 대상종을 선정하여 복원을 수행 하는것이 바람직하다. 이러한 환경에 적합한 대상종의 선정 시 수심, 수온, 생장상태, 그리고 파랑의 조건을 고려하여 대상종을 선정한다. 구조물로 인한 파랑의 변동은 엽상형 해조류에게는 치명타 이지만 무절산호조류와 섭식동물에게는 크게 영향을 미치지 않는다. 따라서 복원시 이 두가지를 고려한 복원이 수행되어야 한다. 먼저 무절산호조류가 사멸하기 전과 사멸한 후 상태에 따라 나뉜다. 무절산호조류가 사멸하기 전은 착생기질을 투입해서 공간경쟁에서 유리한 조건을 만들어준다. 섭식압이 작은 경우에는 콘크리트 블록을 이용하며 섭식압이 큰 경우(섭식동물 생식밀도 $\geq 200g/m^2$)에는 섭식압을 배제할 수 있는 해중림초와 수중저연승법을 이용한다. 무절산호조류가 사멸 한 후에는 공간경쟁을 하지 않아도 되므로 섭식동물을 인위적으로 구제하여 제거 해 준 다음 면적에 따라 이식을 수행한다. 좁은 면적의 경우 성체이식이나 포자주머니방법이 타당하며 넓은 면적의 경우 포자주머니와 인공종묘이식법을 함께 수행한다.

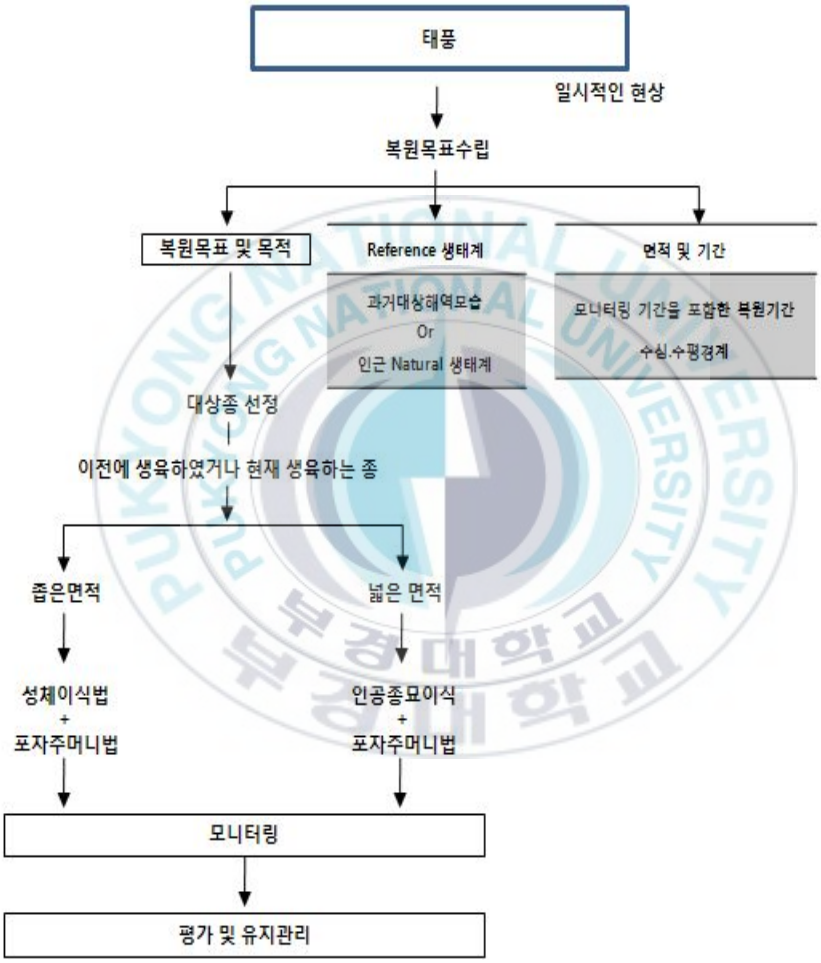

인위적 제어 불가능
파랑변화(구조물로 인한 변화 ; 제거불가능)
복원목표수립
복원목표 및 목적
Reference 생태계
과거대상해역모습
Or
인근 Natural 생태계
면적 및 기간
모니터링 기간을 포함한 복원기간
수심.수평경계
대상종 선정
변화된 환경에 적합한 종
수심
조간대
조하대
수온
온대종
난온대종
광역종
생장상태
소형
일년생
다년생
대형
일년생
다년생
파랑.유동
무절산호조류 사멸 전
인공착생기질 투입
섭식압 <200g/m2
콘크리트 블록 이용
좁은면적
성체이식법
넓은 면적
포자주머니
+
인공종묘이식
섭식압 ≥200g/m2
좁은면적
인공종묘이식
+
해중림초
넓은 면적
인공종묘이식
+
수중저연승법
무절산호조류 사멸
자연상태
좁은면적
성체이식
포자주머니
정비
폭파. 구제
섭식동물 구제
넓은면적
포자주머니
+
인공종묘이식
모니터링
평가 및 유지관리

8.2.4 태풍의 영향

고수온의 조건에서 가끔 발생하는 태풍으로 인해 생긴 강한 파동은 해조류를 착생기질로부터 떨어뜨리는 역할을 한다. 또한 태풍은 일시에 담수를 유입하게 하기도 하여 태풍이 지나간 이후에는 일시적으로 갯녹음이 발생한다. 이런 태풍과 같은 자연재해는 인간이 인위적으로 제어를 할 수 없는 원인으로 이런 경우에는 일시적인 현상이 소강된 후 이전에 생육하였거나 현재 생육하는 종을 이식해 복원한다. 이식 방법의 선택은 면적에 따라 나뉜다. 좁은 면적의 경우 성체이식법과 포자주머니법을 함께 사용하여 복원하며, 넓은 면적의 경우 인공종묘이식법과 포자주머니법을 함께 사용하여 복원한다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교 부경대학교

인위적 제어 불가능


태풍
일시적인 현상
복원목표수립
복원목표 및 목적
Reference 생태계
면적 및 기간
과거대상해역모습
Or
인근 Natural 생태계
모니터링 기간을 포함한 복원기간
수심.수평경계
대상종 선정
이전에 생육하였거나 현재 생육하는 종
좁은면적
넓은 면적
성체이식법
+
포자주머니법
인공종묘이식
+
포자주머니법
모니터링
평가 및 유지관리

Ⅴ. 결론

1) 갯녹음 현상은 여러 선행연구에서 각각 다르게 정의되지만, 공통적인 현상은 세가지로 나타난다. 첫째, 원래 그 해역에 서식하던 해조류가 사라진다. 둘째, 홍조류의 일종인 무절산호조류 군락이 우점한다. 셋째, 해양생물이 사라진다. 따라서 갯녹음 현상은 여러 가지 원인이 복합적으로 작용해 원래 서식하던 해조류가 사라지고 홍조류인 무절산호조류 군락이 우점해 버리는 현상으로 결국에는 해양생물이 서식 할 수 없는 환경이 되는 현상이다.

2) 선행연구에서 제시되는 공통점을 Factor로 하여 복원 필요성을 진단의 기준을 제시하였다. 첫째, 엽상형 해조류의 피도가 식생보다 해저면이 많은 피도계급 0~3 인 경우(식피율 0~50%), 둘째, 무절산호조류의 피도가 31% 이상인 중기해역(31~100%)인 경우이다. 이 두 기준 이상에서는 복원사업을 시행하여야 한다.

3) 본 연구에서는 갯녹음으로 인해 훼손된 생태계의 복원절차를 국제생태복원협회에서 제시하는 일반적인 절차를 적용하여 복원시 고려해야 할 항목과 인자들을 보다 구체적이고 체계적으로 나타낸 매뉴얼을 작성하였다.

매뉴얼은 갯녹음의 원인을 복원을 위한 관점에서 접근해 인위적으로 제어가 가능한 원인과 가능하지 않은 원인으로 구분하였다. 인위적으로 제어가 가능한 원인은 담수유입으로 인한 염분변화, 공사 등으로 인한 탁도변화, 구조물로 인한 파랑과 조류의 변화, 오염물질의 유입, 섭식압의 발생, 과잉수확 등이 있다. 이와같이 인위적으로 제어가 가능한 원인은 그 원인을 차단하면 자연의 Self design에 의해 복원이 된다. 그러나 지나친 훼손으로 인해 복원

이 어렵거나 시간이 오래 걸려 인위적인 도움이 필요한 경우에는 이전에 생육하였거나 현재 생육하고 있는 종을 대상종으로 선정하여 적합한 방법으로 이식하며 복원한다.

인위적으로 제어가 불가능한 원인은 지구온난화와 쿠로시오난류의 영향으로 인한 수온변화, 일시적으로 발생하는 청수에 의한 영양염변화, 제거가 불가능한 구조물에 의한 파랑의 변화, 태풍 등을 들 수 있다. 이와 같이 인위적으로 제어가불가능한 원인은 그 환경에 적합한 대상종을 선정하고, 그 대상종에 적합한 이식방법을 선정하여 복원한다.

4) 본 연구와 같은 기초적 연구가 확립됨으로써 추 후 갯녹음에 의해 소실 된 해조장 복원이나 해양목장화 사업과 같은 해조장복원 사업의 설정할 필요성과 방향, 목표, 실제 복원사업에서 대상해조류의 선정, 복원절차, 사업시행 후의 모니터링 까지 각 단계별로 구체적인 계획수립에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

강래선, 고철환, 1999, 밀도에 따른 다시마(*Laminaria japonica Areschoug*)의 생장과 생존, 한국수산학회, 32(4), pp.444-451

강래선, 고철환, 1999, 수온과 광량에 따른 다시마 초기 생활사의 발아와 성장, 한국수산학회, 32(4), pp.438-443

강래선, 고철환, 1999, 한국 동남해안에서 다시마(*Laminaria japonica Areschoug*)의 성장, 성숙, 사망률 및 생산, 4(3), pp.226-236

강래선, 김종만, 2004, 한국 남해중부 금오열도 연안 암반 조하대 해조군집의 구조, 한국조류학회, 19(4), pp.339-347

강래선, 제종길, 홍재상, 1993, 남해의 하계 해조군집 1. 조간대, Bull. Korean Fish. Soc., 26(1), pp.49-62

강래선, 제종길, 홍재상, 1993, 남해의 하계 해조군집 Ⅱ. 조하대의 군집, Bull. Korean Fish. Soc., 26(2), pp.182-197

권천중, 이상용, 최청일, 2002, 동해안에 자생하는 거머리말(Zostera marina L.)의 생육지 분포에 따른 형태 분석, Korean J. Environ. Biol., 20(1), pp.66-72

김남길, 갯녹음현상 복원을 위한 해조장 조성, 양식학회, pp.84-91

김남길, 유종수, 2003, 해중림의 구조와 기능 1. 통영산 외톨개모자반(Myagropsis myagroides) 개체군의 연령과 생장, 한국조류학회, 18(4), pp.289-294

김동삼, 홍정표, 김영대, 송홍인, 김형근, 2007, 갈조 곰피 (Ecklonia stolonifera Okamura)의 종묘생산과 양성, 한국양식학회지, 20(1), pp.7-13

김명수, 2003, 환경복원에서 복원생태학, 경관생태학, 보전생물학의 역할, J. Korean Env. Res.&Reveg. Tech., 6(4), pp.17-23

김미경, 김기태, 2000, 울릉도 독도의 해조류 연구 : Ⅰ. 해조류의 종조성 감소와 해조상의 변화, 한국조류학회, 15(2), pp.119-124

김미경, 신재기, 차재훈, 2004, 하계 독도 연안 해조류의 종조성 변동과 갯녹음현상, 한국조류학회, 19(1), pp.69-78

김수암, 강수경, 1999, 해양생태계의 환경수용력과 관련한 최근의 연구경향, J. Korean Soc. Fish. Res., 2, pp.101-110

김영대, 송홍인, 김진희, 홍정표, 전창영, 한형균, 김수경, 김동삼, 김명래, 진형주, 2007, 동해안 개다시만 Kjllmaniella crassifolia Miyabe (Phaeophyta)의 초기 배양과 생장 특성 연구, J. Kor. Fish. Soc., 40(5), pp.315-322

김영대, 송홍인, 홍정표, 전창영, 김수경, 한형균, 김동삼, 방종득, 2006, 해조장 조성을 위하여 이식한 갈조류 쇠미역(Costaria costata)의 생장과 성숙, Journal of Life Science, 16(6), pp.1044-1051

김영대, 송홍인, 홍정표, 전창영, 김수영, 한형균, 김동삼, 방종득, 2006, 해조장 조성을 위하여 이식한 갈조류 쇠미역(Costaria costata)의 생장과 성숙, Reprinted from the Korean Journal of Life Science, 16(6), pp.1044-1051

김영대, 홍정표, 송홍인, 전창영, 김수경, 손용수, 한형균, 김동삼, 김진희, 김명래, 공용근, 김대권, 2007, 갯녹음 해역에 해중림 조성을 한 다시마의 생장과 성숙, J. Kor. Fish. Soc., 40(5), pp.323-331

김영식, 남기완, 1997, 한국산 미역 배우체의 생장과 성숙에 대한 온도 및 광반응, 한국수산학회, 30(3), 505-510

김영식, 최한길, 2004, 한국의 남해안과 서해안에 생육하는 지충이(Sargassum thunbergii)의 착생 해조류의 종조성, 한국생태학회지, 27(3), pp.173-177

김영환, 박선홍, 1997, 제주도 조간대 해조군집의 천이양식, 한국조류학회, 12(1), pp.23-30

김영환, 안중관, 2005, 동해안 3개 원전 배수로 해조군집의 생태적 특성, 한국조류학회, 20(3), pp.217-224

김영환, 안중관, 2006, 동해안 월성원전의 온배수 방출이 주변 해조군집에 미치는 영향, 한국조류학회, 21(4), pp.453-461

김영환, 안중관, 이재일, 엄희문, 2004, 동해안 울진원전의 온배수 방출이 주변 해조군집에 미치는 영향, 한국조류학회, 19(3), pp.257-270

김영환, 엄희문, 강연식, 1998, 한국산 내열종 해조류의 정성·정량적 분석 Ⅰ. 고리원자력발전소, 한국조류학회, 13(2), pp.213-226

김형근, 박중구, 김동삼, 2005, 동해안 토속종 개다시마(Kjellmaniella crassifolia)와 이식종다시마(Laminaria japonica)의 실내배양 연구, 한국양식학회지, 18(4), pp.299-304

김형근, 손철현, 강제원, 1986, 남해안 신수도와 서해안 월도의 해조군집에 대하여, The Korean Journal of Phycology, 1(1), pp.169-183

김형근, 한규삼, 손용수, 박기영, 정인학, 김영돈, 갯녹음해역 해조인공암초의 표면처리에 의한 바다숲 조성, G9, pp.367-368

김형석, 박광석, 한기현, 박기영, 2003, 연안 생태계 복원을 위한 전로슬래그 해중림초 이용 방안 연구, RIST 硏究 文, 17(4), pp.392-397

김홍기, 김영환, 1991, 韓國 3개 原子力發電所 주변 海洋群集(한국 3개 원자력발전소 주변 해양군집), The Korean Journal of Phycology, 6(2), pp.157-192

남기완, 김영식, 1999, 부산 용호동 일대의 저서 해조상 및 군집구조, J. korean Fish. Soc., 32(3), pp.374-384

남기완, 김영식, 김영환, 손철현, 1996, 한국 동해 연안역의 저서 해조류 : 해조상, 분포 및 군집구조, J. korean Fish. Soc., 29(5), pp.727-743

문석기, 구본학, 남상준, 2000, 우리나라 생태복원분야 정착의 전망과 과제, J. Korean Env. Res.&Reveg. Tech., 4(1), pp.67-79

문영봉, 손용수, 김영대, 2001, 동해안 수산자원조성 기술개발 Ⅱ.해조장 조성 시험, 동수연사업보고서, pp.194-211

박연석, 김영환, 1990, 서해안 하계 해조류 분포에 관한 식물지리학적 연구, The Korean Journal of Phycology, 5(1), pp.39-50

박연숙, 김영환, 1990, 서해안 하계 해조류 분포에 대한 식물지리학적 연구, The Korean Journal of Phycology, 5(1), pp.39-50

박은정, 이순정, 강경화, 김영식, 남기완, 한국산 다시마과 (Laminariaceae, Phaeophyta) 3종의 생장과 성숙에 미치는 광질의 영향, PF-3

박정임, 김영균, 박상률, 김종협, 김영상, 김정배, 이필용, 강창근, 이근섭, 2005, 잘피(Zostera marina)서식지 복원을 위한 최적 이식방법 및 시기 선정에 관한 연구, 한국조류학회, 20(4), pp.379-388

박진희, 한태준, 1999, 해조류의 자외선 흡수 색소에 관한 고찰, 한국조류학회, 14(3), pp.201-212

배영훈, 이동근, 2001, 해안간척지의 생태적 환경복원을 위한 식물 선정에 관한 연구, J. Korean Env. Res.&Reveg. Tech., 4(3), pp.66-74

백재민, 황미숙, 이재완, 이욱재, 김종인, 2007, 백령도 해조군집의 종조성과 생물량, 한국조류학회, 22(2), pp.117-123

부성민, 1987,강원도 해역 해조류의 분포, The Korean Journal of Phycology, 2(2), pp.223-235

부성민, 1987, 강원도 해역 해조류의 분포, The Korean Journal of Phycology, 2(2), pp.223-235

손용수, 2000, 동해안 백화현황 및 금후 대책

손철현, 1983, 오동도 해조군락에 관한 연구, Bull. Korean Fish. Soc., 16(4), pp.368-378

손철현, 1996,한국 해조류 양식 발달에 관한 고찰, 한국조류학회, 11(4), pp.357-364

손철현, 최창근, 김형근, 2007, 강릉 연안의 해조군락 유용 해조자원 분포, 한국조류학회, 22(1), pp.45-52

신현웅, 1995, Biofouling by Marine Weedy 한국조류학회, The Korean Journal of Phycology, 10(2), 97-108

오병건, 이재완, 이해복, 2002, 남해안 해남군 무인도서의 하계 해조상 및 군집, 한국수산학회, 35(1), pp.57-63

오병건, 이재완, 이해복, 2002, 한국 남해안 가학리의 해조류와 군집구조의 월별변화, 한국수산학회, 35(1), pp.64-70

오병건, 이재완, 이해복, 2005, 남서해안 신안군 무인도서의 하계 해조식생, 한국조류학회, 20(1), pp.53-59

오병건, 황정자, 김종인, 이재완, 이해복, 2004, 남해안 진도 가학리의 해조상과 군집, 청주대학교, 21(2) pp.65-72

옥정현, 이인규, 2006, 한국산 갈조식물 모자반속(Sargassum)의 분류Ⅱ. Bactrophycus아속 Halochloa와 Repentia절, 한국조류학회, 21(4),

pp.393-405

유종수, 2000, 인공구조물에서 적조에 의해 파괴된 해조군집의 복원, Bull Mar. Sci&Tech, 9, pp.141-145

유종수, 2003, 영일만 내 외해역에서 조하대 해조군집 구조의 특성, 한국조류학회, 18(4), pp.365-369

유종수, 김영환, 2003, 태안화력발전소 주변 해조군집의 생태 연구, 한국조류학회, 18(4), pp.311-320

이상룡, 이성미, 김정하, 최청일, 2003, 동해 덕산항에 생육하는 거머리말(Zostera marina L.) 개체군의 생물계절학과 형태 변이, 한국해양학회, 8(2), pp.70-77

이상용, 권천중, 김태진, 서영배, 최청일, 1999, 서식지에 따른 왕거머리말(Zostera asiatica Miki, Zosteraceae)의 형태적 특성, Korean J. Environ. Biol., 17(4), pp.503-512

이상용, 권천중, 민원기, 허승, 최청일, 포기거머리말(Zostera caespitosa Miki,거머리말과)의 생물지리학적 연구: Ⅰ. 서식환경과 형태적인 특징, PG-20

이상용, 권천중, 최청일, 2000, 동해안에서 자생하는 거머리말속(Zostera, Zosteraceae) 식물의 분포와 생육지 환경, 한국수산학회, 33(6), pp.501-507

이상용, 김태진, 허승, 최청일, 2001, 한국산 거머리말속(Zostera, Zosteraceae)의 생태 및 분류학적 특성에 대한 연구: Ⅰ. 포기거머리말(Zostera caespitosa Miki)의 서식 환경과 형태적인 특징, 한국생태학회지, 24(3), pp.149-156

이상용, 이성미, 지해근, 최청일, 2001, 남해안에서 자생하는 거머리말(Zostera marina L.)식물의 분포와 생육지 환경, Korean J. Environ. Biol., 19(4), pp.313-320

이순열, 이재완, 이해복, 1997, 동해안 영일만과 그 주변 지역의 해조상, 한국조류학회, 12(4), pp.303-311

이용필, 윤상웅, 1995, Notes on Marine 한국조류학회 from Cheju Island-I,(제주도산 해조류에 대한 주해), The korean Journal of Phycology, 10(1), pp.1-13

이욱재, 윤환수, 부성민, 1997, 서해 경기만 도서의 해조류 군집, 한국조류학회,

12(2), pp.139-144

이재완, 1999, 한국 동해안 장호의 조간대 해조상 및 군집(1), J Ind Sci., Chongju Univ., 17(1), pp.91-98

이재완, 오병건, 이해복, 1997, 서해안 태안반도 파도리 일대의 해조상과 군집, 한국조류학회, 12(2), pp.131-138

이해복, 장래혁, 1989, 서해안 태안반도 해양군집변화에 대한 정성 정량적 연구, The Korean Journal of Phycology, 4(1), pp.19-40

조성환, 최창근, 좌종헌, 2007, 다공질 인공어초(반톱니형)에서 진행된 해조천이 및 해중림 조성, J. Kor. Fish. Soc., 40(4), pp.220-225

최창근, 2007, 부산 영도의 해조상 곰피(Ecklonia stolonifera Okamura)군락, 한국조류학회, 22(4), pp.313-318

최창근, 곽석남, 손철현, 2006, 동해안 울진 연안 조하대 저서 해조류의 군집구조, 한국조류학회, 21(4), pp.463-470

최창근, 김형근, 손철현, 2002, 순간접착제를 이용한 곰피 (Ecklonia stolonifera Okamura)의 이식효과, 한국수산학회, 35(6), pp.608-613

최창근, 김형근, 손철현, 2003, 해중림 조성을 위한 괭생이모자반(Sargassum horneri) 유체의 이식), 한국수산학회, 36(5), pp.469-473

최태섭, 김광용, 2005, 구멍갈파래(Ulva pertusa Kjellman)의 생태생리에 대한 생육기질의 효과, 한국조류학회, 20(4), pp.369-377

최태섭, 김광용, 이병권, 이정석, 2005, 잘피의 광합성에 대한 중금속 및 TBT의 독성 영향과 중금속 흡수에 대한 연구, 한국조류학회, 20(2), pp.157-166

황은경, 김은진, 김형근, 손철현, 2002, 홍조류 무절석회조, 납작돌잎(Lithophyllum yessoense) 사분포자체의 포자방출과 생장, 한국수산학회, 35(3), pp.242-246

황은경, 박찬선, 고남표, 손철현, 1997, 남해안 신지도의 해조군집, 한국수산학회, 30(4), pp.574-584

황은경, 박찬선, 손철현, 1994, 톳(Hizikia fusiformis)의 재생, 분화와 생식기탁 형성에 미치는 조도 및 온도의 영향, The Korean Journal of Phycology,

9(1), pp.85-93

황은경, 박찬선, 손철현, 고남표, 1996, 영광 인근 해역 해조군집의 기능형군별 분석, 한국수산학회, 29(1), pp.97-106

황은경, 백재민, 박찬선, 2005, 모자반(Sargassum fulvellum)의 생장, 성숙과 발생, 한국수산학회, 38(2), pp.112-117

황은경, 하동수, 백재민, 위미영, 박찬선, 2006, 갈조류 양식 모자반(Sargassum fulvellum)과 해적생물에 대한 pH와 염분의 효과, 한국조류학회, 21(3), pp.317-321

황정자, 김종인, 오병건, 이재완, 이해복, 2004, 남해안 돌산도 임포리의 해조상과 군집, 청주대학교, 21(2), pp.57-64

A. Watanuki, H. Yamamoto, 1990, Settlement of seaweeds on coastal structures, Hydrobiologia 204/205, pp.275-280

Bolton, JJ and K. L ning, 1982, Optilan growth and maximum survival temperatures of Atlantic Laminaria species in culture. Mar. Biol, 66, 89~94

Charles Simenstad, Denise Reed, Mark Ford, 2006, When is restoration not? Incorporaiong landscape-scale processes to restore self-sustaining ecosystems in coastal wetland restoration, Ecological Engineering, 26, pp.27-39

Chang gun choi, Masao Ohno, chul hyun sohn, 2002, Seaweed Succession on Artificial Reefs Placed in Different Depths at Ikata, Japan, J. Fish. Sci. Tech., 5(4), pp.281-286

Chang gun choi, Masao Ohno, chul hyun sohn, 2006, Algal Succession on Different Substrata Covering the Artificial Iron Reef at Ikata in Shikoku, Japan, algal, 21(3), pp.305-310

Chang gun choi, Yukihiko Serisawa, Masao Ohno, chul hyun sohn, 2000, Construction of Artificial Seaweed Beds; Using the Spore Bag Method, algal, 15(3), pp.179-182

Christopher Luckett, Walter H. Adey, Janice Morrissey, Donald M. Spoon, 1996, Coral reef mesocosms and microcosms - successes, problems, and the future of laboratory models, Ecological Engineering, 6, pp.57-72

Chun-Hsiung Lan, Kuo-Torng Lan, Che-Yu Hsui, 2007, Application of fractals: create an artificial habitat with several small(SS) strategy in marine environment, Ecological Engineering, Ecoeng-1206, pp.1-8

D. Daby, 2003, Effects of seagrass bed removal for tourism purposes in a mauritian bay, Environmental Pollution, 125, pp.313-324

Dayton P.K.,Currie V., Gerrodette T., Keller B. D., Rosenthal R., Ven Tresca D. 1984, Patch dynamics and stability of some california kelp communities, Ecol. Monogr, 54, 253~289

Douglas C. Miller, Christine L. Muir, Olivia A. Hauser, 2002, Detrimental effects of sedimentation on marine benthos: what can be learned from natural processes and rates?, Ecological Engineering, 19, pp.211-232

Eric Feunteun, 2002, Management and restoration of European eel population(Anguilla anguilla): An impossible bargain, Ecological Engineering, 18, pp.575-591

Geime, J,P. 1979, Palnt and strategies and vegetation process. John and Sons, New york. 222pp

Gregory D. Steyer, Daniel W. Llewellyn, 2000, Coastal Wetlands Planning, Protection, and Restoration Act: A programmatic application of adaptive management, Ecological Engineering, 15, pp.385-395

Jackon G.A. 1977, Nutrients and production of giant kelp, Macrocystis purifera, off southern Califonia. Lomnol. Oceanogr, 22, 979~999

Lobban C. S. and Harrison P.J. 1994. Seaweed Ecological and Physiology. Cambridge Univ. Press, New York. 366pp

Mark S. Fonseca, Brian E. Julius, W. Judson Kenworthy, 2000, Integrating biology and economics in seagrass restoration: How much is enough

and why?, Ecological Engineering, 15, pp.227-237

Masao Ohno, 1993, Succession of Seaweed Communities on Artificial Reefs in Ashizuri, Tosa Bay, Japan, The Korean Journal of Phycology, 8(2), pp.191-198

Masao Ohno, ShogoArai, Miki Watanabe, 1990, Seaweed succession on artificial reefs on different bottom substrata,Journal of Applied Phycology, 2, pp.327-332

Nam pyo koh, 1990, An Ecological Study on Resources of Marine Plants in Geomundo Islands The Korean Journal of Phycology, 5(1), pp.1-37

Roy R. Lewis Ⅲ, 2000, Ecologically based goal setting in mangrove forest and tidal marsh restoration, Ecological Engineering, 15, pp.191-198

S.J. Hawkins, J.R. Allen, S. Bray, 1999, Restoraion of temperate marine and coastal ecosystems: nudging nature, Aquatic Conservation: Marine And Freshwater Ecosystems, 9, pp.23-46

Schiel D.R. and Foster M.S. 1986, The structure of subtidal algal stands in temperature waters, Oceanogr, Mar. Biol. Annu. Rev. 24, 265~307

Shepherd, S.A. and H.B.S. Womersley, 1970, The sublittoral ecology of west island , south Ausralia. 1. Environmental features and algal ecology. Trans. Roy. Soc. S. Austr., 94, 105~137

Shepherd, S.A. and H.B.S. Womersley, 1981. the algal and seagrass ecology of waterloo Bay, South Australia, Aquatic botany , 11, 305~371

Terawaki T, Hasegawa H, Aria S. and Ohno M. 2001. Management free techniques for restoration of Eisenia and Ecklonia beds along the central pacific coast of japan. J. Appl. phycol.13, 13~17

Toshinobu Terawaki, Koji Yoshikawa, Goro Yoshida, Masayuki Uchimura, Kazuo Iseki, 2003, Ecology and restoration techniques for Sargassum beds in the Seto Inland Sea, Japan, Marine Pollution Bulletin, 47, pp.198-201

Toshio Yoysui, Nobuhiko Maesako, 1993, Restoration Experiments of Eisenia bicyclis Beds on Barren Grounds at Tsusima Islands, Suisanzoshoku, 41(1), pp.67-70

Walter C. Jaap, 2000, Coral reef restoration, Ecological Engineering, 15, pp.345-364

Yukihiko Serisawa, Masao Ohno, 1995, Succession of Seaweed Communities on Artificial Reefs in Tei, Tosa Bay, Japan, Nippon Suisan Gakkaishi, 61(6), pp.854-859

Yukihiko Serisawa, Masao Ohno, 1995, Succession of Seaweed Communities on Artificial Reefs in the Inlet of Tosa Bay, Japan, Suisanzoshoku, 43(4), pp.437-443

Yukihiko Serisawa, Zenji Imoto, Tetsu Ishikawa, Masao Ohno, 2004, Decline of the Ecklonia cava population associated with increased seawater temperatures in Tosa Bay, southern Japan, Fisheries Science, 70, pp.189-191

Appendix

Table 1. Temperature data

	속초	주문진	울릉도	포항	부산	완도	거문도	마라도	군산	여수
1968	12.79	12.86	9.74	14.87	15.83	14.38	16.53	18.37	14.50	20.50
1969	13.42	14.17		13.92	16.17	13.36	16.39	18.60	14.06	20.13
1970	12.19	13.63	16.27	14.82	15.48	13.42	16.51	18.16	14.13	20.08
1971	12.67	13.23	16.48	14.57	16.30	15.35	16.74	19.34	14.42	20.57
1972	12.48	13.09	17.70	14.77	15.76	15.88	17.24	18.60	14.50	20.57
1973	12.17	13.88	15.94	15.11	17.00	16.33	16.32	19.12	15.14	21.09
1974	14.01	12.19		14.34	15.85	16.48	16.16	18.64	14.24	20.03
1975	11.57	14.49		15.63	16.98	15.72	17.45	19.27	15.38	21.15
1976	12.45	14.40		14.78	16.27	16.08	16.88	18.00	14.23	20.41
1977	13.64	13.67	15.65	14.99	16.23		16.13	18.67	14.86	20.63
1978	13.91	15.11		14.86	16.59	17.98	17.02	19.13	15.30	21.26
1979	13.61	15.27	16.12	15.62	16.62	15.81	16.50	19.19	14.97	20.95
1980	11.64	13.60	15.42	14.26	15.75	13.70	16.02	18.37	14.25	20.31
1981	11.79	11.71	13.77	13.60	15.40	14.96	16.22	18.47	14.38	19.81
1982	12.54	14.13	17.11	15.41	13.67	15.16	16.93	18.68	15.19	21.21
1983	13.17	12.98	16.44	14.80	13.41	15.49	17.29	19.16	14.88	20.57
1984	14.65	12.88	15.53	14.65	14.56	14.58	15.58	18.38	14.48	20.36
1985	12.19	15.01	16.01	15.48	16.22	15.06	17.00	18.85	14.30	20.54
1986	13.64	12.00	14.24	14.45	15.64	14.57	16.08	17.42	14.06	20.12

Table 1. Temperature data(Cont)

	속초	주문진	울릉도	포항	부산	완도	거문도	마라도	군산	여수
1987	11.39	13.83	15.14	14.18	15.81	14.82	16.53	18.98	14.12	20.58
1988	14.37	15.33	16.09	15.73	14.47	15.15	17.13	19.42	14.61	20.95
1989	14.97	15.12	16.01	16.19	13.16	15.84	16.73	18.97	14.94	21.50
1990	13.41	15.74	16.59	16.53	13.88	15.68	17.97	19.82	15.30	21.60
1991	14.51	13.59	15.71	15.11	13.31	15.46	17.20	19.05	14.41	21.06
1992	13.04	14.87	16.90	16.28	13.95	15.66	16.60	19.32	15.15	21.63
1993	14.27	13.51	13.35	15.31	13.49	15.07	15.93	17.55	14.76	21.38
1994	14.27	14.68	16.30	15.11	17.27	15.39	16.97	19.47	15.44	22.07
1995	14.56	14.86	16.88	14.60	15.99	15.16	16.63	19.89	14.78	21.06
1996	14.48	13.28	16.23	14.95	13.29	15.43	16.75	18.48	14.51	21.98
1997	12.96	14.45	16.26	15.77	14.18	15.84	16.99	18.84	14.55	22.63
1998	15.05	15.67	17.51	16.28	17.34	16.36	17.38	19.78	15.77	23.70
1999	15.10	16.11	17.56	15.95	16.75	16.07	17.55	19.46	15.34	23.48
2000	16.76	14.99	15.95	16.24	15.88	14.89	17.01	19.39	14.54	22.75
2001	14.39	15.46	22.57	16.10	24.42	15.47	16.72	29.38	15.40	23.55
2002	13.44	14.29	16.20	15.78	16.03	15.17	16.74	19.35	14.81	23.27
2003	13.91	14.38	16.48	16.25	15.97	15.58	16.97	19.62	14.89	23.21
2004	13.84	15.04	16.30	16.21	16.51	15.79	17.26	19.76	15.48	24.13
2005	14.78	12.00	15.83	15.54	16.46	15.74	17.75	20.17	14.55	
2006	13.84	13.20	15.94	15.15	16.56	15.66	17.30	19.50	15.08	

Table 2. 암초성 해조류의 수심에 따른 분포

지역	동해				남해			서해
	울진	강릉	독도	죽도	부산영도	금오열도	문섬, 관탈도, 여서도, 거문도, 흥도	백령도
Reference	최, 2006	손, 2007	김, 2004	남, 1986	최, 2007	강, 2004	강, 1993	백, 2007
1					구멍갈파래, 곰피, 우뭇가사리, 붉은 부챗살, 잎꼬시래기, 바다참나무잎	작은구슬산호말, 비틀대모자반, 우뭇가사리		다시마, 구멍갈파래, 지누아리사촌
2								
3	구멍갈파래, 청각, 미역, 모자반, 쨍생이모자반, 구슬모자반, 큰잎모자반, 지충이, 애기다시마, 작은구슬산호말, 줄엷은잎		갈고리서실, 우뭇가사리, 청각, 대황, 국수나물, 에페드라게발			우뭇가사리, 붉은 까막살, 넓은게발, 작은구슬산호말		
4								거머리말, 무절석회조류
5					곰피, 진분홍딱지, 잎꼬시래기, 잔금분홍잎, 바다참나무잎		비틀대모자반, 개도박, 돌가사리, 큰개우무	해조류 착생불가능
6	구멍갈파래, 청각,미역, 짝잎모자반, 쨍생이모자반, 검중모자반, 애기다시마, 개그물바탕말	다시마	붉등가사리, 애기가시덤불, 큰그물바탕말, 가는개도박, 가시뻐대그물말, 분부책말, 참가시그물바탕말, 대황					
7					곰피			
8								
9	구멍갈파래, 쇠꼬리산말, 짝잎모자반, 쨍생이모자반, 우뭇가사리							
10								
11							감태, 갈래잎모자반,구슬모자반, 쨍생이모자반 (해중림)	
12	청각, 미역, 쇠꼬리산말, 미끈뻐대그물말, 우뭇가사리, 참곱슬이		가시뻐대그물말, 쨍생이모자반, 미역, 외톨개모자반, 대황, 쌍발이모자반	애기다시마				
13								
14								
15		개다시마	대황				감태, 갈래잎모자반, 그슬모자반, 쨍생이모자반 (해중림), 톱니모자반, 열매의관말	
16								
17								
18			감태				톱니모자반, 열매의관말	
19			곰피					
20							톱니모자반, 열매의관말, 세발, 곱슬이속, 가위말속, 갈솜, 붉은잎속	
21							톱니모자반, 열매의관말	
22								
23								
24								
25								
		구멍쇠미역						

Table 3. 해조류 생장 환경

종명			학명	2월수온 하한~상한	8월수온 하한~상한	염분 하한	COD 하한 (mg/L)	파 하한
갈파래목	갈파래과	구멍갈파래	*Ulva pertusa*	-2~20	16~29	23.7	2.2	1.0
다시마목	다시마과	쇠미역사촌	*coastria costata*	-2~7	16~24			2.5
		다시마	*laminaria joponica*	-1~8	20~24			2.5
	미역과	미역	*undaria pinnatifida*	2~14	20~27	23.7	2.2	1.8
		감태	*Ecklonia cava*	10~16	23~27	30.9	1.3	6.0
		검둥감태	*E. kurome*	8~14	26~27	31.8	1.4	2.1
		곰피	*E. stolonifera*	6~13	24~27			
		대황	*Eisenia bicyclis*	7~14	22~27	30.0	1.6	2.5
모자반목	모자반과	외톨개모자반	*Myagropsis myagropsis*	6~15	22~27	30.0	1.7	2.0
		톳	*Hizikia fusiformis*	5~20	20~28	30.0	1.6	1.4
		알쏭이모자반	*sagrassum confusum*	-1~13	20~27			1.8
		짝잎모자반	*S. hemiphyllum*	7~19	25~28	30.0	1.3	2.5
		괭생이모자반	*S. horneri*	4~19	20~28	26.6	2.2	1.0
		큰열매모자반	*S. macrocapum*	6~19	24~28	30.9	1.4	2.1
		쌍발이모자반	*S. patens*	6~20	24~28	29.8	1.3	1.0
		구슬모자반	*S. piluiferum*	5~16	20~27	29.8	1.3	1.0
		큰잎모자반	*S. ringgoldianum*	7~16	22~27	30.9	1.3	4.0
		꽈배기모자반	*S. siliquastrum*	5~15	20~27	30.4	1.4	2.1
		지충이	*S. thunbergii*	-2~20	16~28	28.5	1.7	1.0
		왜모자반	*S. yezoense*	2~13	20~27			2.0
우뭇가사리목	우뭇가사리과	우뭇가사리	*Gelidium amansii*	2~19	20~28	28.5	1.7	1.0
		왕우뭇가사리	*G. pacificum*	13~17	25~27	30.9	1.2	6.0
		개우무	*pterocladia capilliacea*	2~19	20~28	16.8	1.3	1.0
		잘피)	*Zostera marina*	-2~16	16~28	23.7	2.2	1.0

감사의 글

2003년 9월 1일 1호관 3층 1310 연구실문을 열고 시작한 5년간의 연구실 생활이 영화필름처럼 스쳐 지나갑니다. 정말 많은 일들과 경험을 할 수 있었던 연구실 덕분에 제가 많이 성장할 수 있었습니다. 무엇보다도 이 글을 쓸 수 있게 지금까지 많이 이끌어주시고 지도해주신 이석모 교수님께 진심으로 감사합니다. 교수님께 배운 학문과 세상을 살아가는 마음가짐을 가슴깊이 새기고 살아가는 사람이 되겠습니다. 바쁘신 와중에도 논문의 심사를 맡아 지도해주신 김일규 교수님, 이태윤 교수님 감사합니다. 학부와 대학원 생활을 하는 동안 많은 가르침 주신 박청길 교수님, 이제근 교수님, 여석준 교수님, 이병헌 교수님, 강임석 교수님, 김상단 교수님, 강대석 교수님, 정용현 교수님, 성기준 교수님, 김동명 교수님께도 감사드립니다. 논문 때문에 고민할 때 많은 도움 주시고 지도해주신 최창근 박사님 ..박사님은 제게 오아시스 같은 분이셨어요. 진심으로 감사드립니다.

자주 뵙지는 못하지만 항상 연구실에 든든한 힘이 되어주시는 김영진 선배님, 손지호 선배님 감사합니다. 항상 좋은 말씀으로 세상을 살아가는 방법을 알려주시는 최영근 선배님, 우리방 여자박사 1호 커리우먼 김진이 선배님, 다정한 김우석 선배님.. 연구실 생활하면서 많은 가르침 주시고 술을 일깨워주신 진만선배 ^^ 센터일로 많이 바쁘시지만 늘 격려해주시는 정혁선배, 닮고 싶은 멋진 여성상 울트라 짱 윤미언니, 고생했지만 덕분에 많이 클 수 있었던.. 우리 은지언니 ^^ , 지금 잘 돼서 너무너무 좋은 다정한 화숙이 언니.. 자주 못보지만 함께 생활 할 때 친언니처럼 잘 챙겨준 경미언니.. 선배들의 격려가 항상 큰 힘이 되었습니다. 선배님들께 받은 큰 사랑을 후배들에게 줄 수 있는 사람이 되겠습니다. 지주대마왕 용수선배.. 선배가 가르쳐준 그 것.. 잊지 않는 사람이 될께요. 내 우상 영윤선배.. 고집쟁이 후배 권혜옥이 드디어 졸업합니다. 항상.. 많이 고마워요♥ 사람 좋은 봉균선배.. 애교쟁이 영애 언니~ 늘 고마웠어요.. 잔소리쟁이 문보선배~ 선

배의 잔소리가 그리울꺼 같아요ㅋ.. 완전 이쁜 태국미녀 오미~당신은 잘 할꺼에요 ^^ 파트타임이라서 자주 못 보지만 늘 잘 챙겨주신 상현선배랑 윤식선배, 맨날 괴롭혀서 미안한 킹왕짱!! 직영선배, 늘 유쾌한 선혁선배.. 정말 열심히 사는 Laura.. 일하면서도 열심히 공부하는 파트타임 선배들 보면서 저도 열심히 해야겠다는 생각 많이 했습니다. 둘도 없는 내 룸메이트 혜현~ 늘 고맙고 미안하고... 넌 최고에 친구야♡ 고집쟁이 땡깡쟁이 후배 때매 많이 힘들었을 종명선배, 광섭선배.. 선배들이 너무 좋아서 그랬어요. 알죠? 수다친구 혜민이 언니.. 언니 있어서 참 좋았는데. 그리울꺼 같아요 ^^ 성질 급한 내 밑에서 고생 많이 한 우리 이쁜이 하나랑 보라, 이제 새로운 대학원 생활 시작하는 승혁선배, 이제 연구실 생활 시작하는 든든한 주연이랑 애교덩어리 성훈이에게도 감사의 마음을 전합니다.

논문 쓰면서 많은 힘이 된 코스모스 동기 명국선배, 재철선배, 늘 든든한 아빠 역할 해주는 민수선배, 힘들 때 돌파구가 되어준 정선이 언니.. 감사합니다. 고맙다는 말이 미안할 만큼 고마운 내 친구 영실이, 맘 여린 내 친구 연실이, 논문 쓸 때 돌파구가 되어준 술친구 선호랑 매력덩어리 할배 경진이... 완전 고마운 우리 뽀동이 엄마 영지. 친구라는 이름의 당신들이 제게 많은 힘이 되었습니다. 최강 알맹이회 영용, 성주, 규호, 주영, 대호, 성희, 순주.. 당신들과 만나서 웃고 떠들 수 있었던 그 시간들이 아주 많이 고마웠습니다.

늘 바쁘다는 핑계만 대는 저를 한결같은 미소로 맞이해주던.. 고마운 친구 경아, 혜연, 미리, 소현이, 영낭이, 은경이, 혜진이, 규학이에게 감사하는 마음을 전합니다.

항상 내편이 되어주시는 사랑하는 엄마와 아빠, 언니와 형부, 곧 태어날 희망이.. 우리 동생 혜정이.. 가족이라는 이름이 제가 공부를 하고 살아가는데 가장 큰 힘입니다. 늘 감사하고 사랑합니다.

감사의 글을 쓰면서 돌아보니 참 많은 사람들의 도움으로 살아왔구나를 새삼 느꼈습니다. 다시 한번 감사드립니다.

최고보다는 최선을, 항상 꿈꾸는, 사람냄새 나는 권혜옥이 되겠습니다.