

해양방류수역에서 해조장 조성적지 선정 연구

신봉균 · 최창근†

(주)국도해양환경기술단 · †부경대학교

Study on the Suitability Selection for Construction of Seaweed Bed in Sewage Water Ocean Outfall Area

Bong-Kyun SHIN · Chang-Geun CHOI†

(Land Ocean Environment Co., LTD. · †Pukyong National University)

Abstract

For the water quality improvement in the ocean outfall area of sewage treatment plant, this study tried to control the water quality of outfall area using the biofilter method through seaweeds, a way of ecological engineering treatment that is applicable in the marine ecosystem. Therefore, this research made an attempt the main factors necessary for creating seaweed bed to improve water quality in the outfall area of sewage treatment plant, and the results are as follows.

In the case of making the seaweed bed in the ocean outfall area of sewage treatment plant, Habitat Suitability Index of *Ecklonia cava* per all survey points, considered physical and physico-chemical factors in 5~10 meters below sea level, was 50~93% (average 80%), so this seaweed, *Ecklonia cava*, was suitable for making the seaweed bed.

Key words : Ocean outfall, Biofilter, Ecological engineering, Habit Suitability Index, Seaweed bed

I. 서론

우리나라의 도시화 및 산업화는 1960년대부터 연안지역을 중심으로 진행됨에 따라 도시와 산업공단 등에서 발생하는 하, 폐수의 대부분은 하수종말처리시설을 통하여 물리적, 생물학적 처리과정 등을 거친 후 최종적으로 연안 해역으로 방류된다. 하지만 우리나라의 하수처리 방법은 부유물질과 유기물 제거에는 효율적인 반면에 영양염 제거에는 효율적이지 못하여 하수 처리수 내 미처리된 영양염이 함유된 막대한 양의 방류수 배출로 인하여 적조와 같은 오염현상이 주변 해역

에 빈번하게 발생하는 실정이다(Kang et al., 1999). 이에 연안 해역으로 배출되는 다량의 영양염을 제어하기 위하여 고도처리법을 이용하거나 2차 처리된 하수처리수를 해안 또는 하천, 해안 매립지나 갯벌 등을 통하여 배출함으로써 환경에 대한 악영향을 최소화시키고 있다. 해안매립지나 갯벌 등을 통한 최종 처리방법은 배출장소 선정에 대한 어려움이 있으며 토양에 미치는 영향이 크므로 외국에서는 처리된 하수를 하천 및 해양 등에 배출하는 방법을 선택하고 있다. 이미 선진외국의 연안도시에서는 하수의 고도처리와 더불어 1960년대부터 주변 해역의 해양환경을 고려하

† Corresponding author : 051-629-6546, cgchoi@pknu.ac.kr

* 이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2014년)에 의하여 연구되었음.

여 하수처리수를 해양방류를 통하여 배출시켜 하수처리수에 의한 연안생태계의 피해를 최소화하고자 노력하고 있다(Grac, 1978).

우리나라의 해양방류는 해수흐름과 해양환경여건을 충분히 고려하지 않고 해양방류관의 위치와 길이가 선정되어 하수의 희석 및 확산이 제대로 이루어지지 못한 경우가 빈번하게 발생하였으며 방류수역 주변 해역에서 부영양화와 같은 문제점이 지속적으로 발생되었다(Kang et al., 1999; 2000). 반면 고도처리 시설을 이용한 질소나 인 등의 영양염 처리방법은 해역의 영양염 제어에는 효율적이지만 추가 건설비용과 고도처리 비용이 많이 드는 단점이 있다. 그러므로 우리나라는 질소와 인 등의 영양염을 제거하기 위하여 하수처리장의 고차 처리시설 확충과 신·중설, 하수관거 보급 및 정비 등이 선결되어야만 해결이 되므로 막대한 비용과 현실성에서 문제가 제기되고 있다. 이에 현재 운영 중인 하수처리수의 처분 방법을 고려해 보았을 때 경제적이며 환경에 미치는 영향을 최소화 시킬 수 있는 생태공학적인 처리방법이 요구된다(Jung and Kang, 2009).

생태공학적인 시도는 바다와 인접한 우리나라에 적용 가능한 방법으로 해조류를 이용한 바이오필터 공법을 말할 수 있다(Chung et al., 2002). 바이오필터는 생물체를 이용하여 영양염 등의 오염물질을 저감시키는 기술로 해역에서 해조류, 미세조류 등을 이용할 수 있다. 이 중 해조류는 연안과 해양생태계에서 중요한 일차 생산자이며 육상에서 유입되는 과도한 질소와 인 등의 영양염을 흡수하는 바이오필터의 역할을 담당한다(Choi et al., 2002; Mann, 1982).

바이오필터의 역할을 하는 해조류를 이용한 수질개선에 관한 연구는 1960년대부터 가정하수와 농업하수 등에 다량으로 함유되어 있는 무기질소 형태의 질소화합물 흡수에 관한 연구가 전 세계적으로 진행되었으며(Yamada, 1961; D'Elia and DeBoer, 1978; Haines and Wheeler, 1978; Wallentius, 1984; DeBusk et al., 1986; Buschmann

et al., 1996; Kohata et al., 2003; Cohen and Fong, 2006), 우리나라 연안에 무분별하게 산재된 양식장을 중심으로 발생한 배출수를 대상으로 한 바이오필터 관련 연구가 진행되고 있다(Choi et al., 2002a). 하지만 연간 영양염이 다량으로 함유된 배출수 방류수역에서 해조류를 이용한 수질개선 관련 연구는 시도된 바가 없다. 이에 하수처리장 방류수역에서 해조류를 이용한 해역의 수질개선과 건강성을 증가시키기 위해서는 생물의 생산력을 최대화시키고, 자연환경을 건전하고 지속 가능하게 이용할 수 있는 방안이 필요하다고 판단된다.

따라서 해조류를 이용한 바이오필터링은 하수처리장 방류수역에 적용 가능한 방법 중 하나로 주변 해역에 서식하는 해조류를 이용하여 방류수역에 지속적으로 배출되는 영양염을 흡수하여 대상 해역의 자체 정화능력을 향상시키고, 부영양화와 같은 연안 해역에서 발생하는 환경문제에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 해조류로 구성된 해조장은 인근 해역에 서식하는 해양생물들에게 산란장 및 서식 공간을 제공하기 때문에 주변 해역의 생산력을 증진시키며 심미적으로 훌륭한 경관을 제공할 수 있으며 지구온난화의 주요 원인물질인 CO₂ 등의 온실가스를 저감시킬 수 있을 것으로 기대된다(Daisuke, 2004).

이 연구는 하수처리장 방류수역에 해조장 조성을 위한 설계인자 도출 및 조성방법에 관한 연구를 수행함으로써 방류수역 내에 다량 존재하는 잉여의 영양염을 흡수시켜 방류수역의 수질을 개선할 뿐만 아니라 해양생태계를 회복시키기 위한 방안을 마련하기 위하여 실시되었다.

II. 재료 및 방법

1. 대상지역 선정

부산지역에서 운영 중인 하수처리시설은 총 12개소로 유입되는 하수의 특성에 따라 다양한 하

수처리 방법과 방류계획에 맞추어 주변해역으로 하수처리수를 최종 처분한다. 이 중 하수처리방식이 전통적인 하수처리 방법을 채택하고 있으며, 하수처리수의 최종 배출방식이 해양방류 방식을 적용하고 있는 하수처리시설 중 하수처리수의 배출로 인하여 주변 해역에 부영양화 가능성이 높고 연구의 접근성 등이 용이한 곳을 고려하여 연구대상지를 부산광역시 남구 용호동에 위치한 남부하수처리장 방류수역으로 선정하였다.

2. 이식 해조류 선정

해조장을 조성하기 위하여 대상 해역에 이식 대상종 선정시 서식 적지를 확인하여 대상 지역에서 생육 가능하거나(Ohno et al., 1990), 현재는 서식하지 않지만 과거에 분포했었던 종을 이식하는 것이 타당하다(Choi et al., 2002a). 이와 더불어 이식 해조류 선정시 해조장으로서의 가치, 유지에 소요되는 노력 및 비용, 조성에 소요되는 시간 등도 고려하여야 한다.

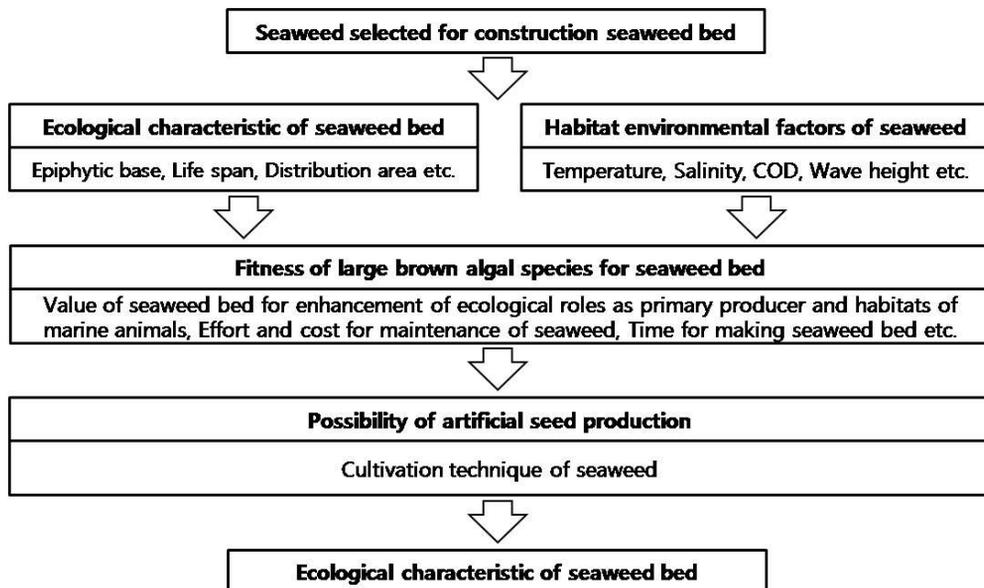
이 연구에서는 [Fig. 1]과 같이 대상지역의 현 황조사 결과를 바탕으로 주변 해역에서 이전에

생육하였던 해조류와 해조장 조성사업에 널리 이용되고 있는 해조류, 해조류 종류별 생태적 특징 및 서식 환경조건, 해조장으로서의 생태, 경제적 가치, 인공 종묘 생산가능성 등을 고려하여 연구 대상 지역에 이식 가능한 해조류를 선정하였다.

3. 서식지 적합지수를 이용한 이식 해조의 적합성 평가

서식지 적합지수를 이용한 해조장 조성과 관련된 적지선정에 관한 연구는 주로 갯녹음 지역에 대한 복원 및 자원조성의 목적으로 Nakajima (2005), Matsumoto & Yamaguchi (2006), Oh (2010)에 의하여 연구되었다. 이 연구에서는 이들이 제안한 서식지 적합지수 계산식을 이용하여 하수처리장 해양방류 수역이 이식해조의 서식지로 적합한지에 대한 적합성 여부를 평가하였다.

서식지 적합지수는 지수에 의해서 표현되는 방법으로 각 생물종을 대상으로 서식지의 환경 요인들을 고려한 후 이를 각각의 변수인 SI로 지정한다(Matsumoto & Yamaguchi, 2006). 이를 위하여 <Table 1>과 같이 이식 해조류를 대상으로 서식에



[Fig. 1] The flowchart of seaweed selection for transplantation

<Table 1> Variable and assumptions used in the formation of HSI

Variable	Assumptions	Sources
Attachment Substrate (SI ₁)	Range : 1~50 cm (rock) Optimum : above 50 cm	Konno, 1985
Minimum Temperature (SI ₂)	Range : 10~16°C Optimum : 13°C	Suto, 1992
Maximum Temperature (SI ₃)	Range : 23~27°C Optimum : 24°C	Suto, 1992
Depth (SI ₄)	Range : 2~25 m Optimum : 5~15 m	Maegawa, 1990 Terawaki et al., 1991
Compensation Light Intensity (SI ₅)	Range : 2.8~12 μmol/m ² /s Optimum : above 12 μmol/m ² /s	Maegawa et al., 1987 Hiroshige et al., 2004 Lourey et al., 2006
Wave Hight (SI ₆)	Range : 1~12 m Optimum : 6 m	Konno, 1985; Suto, 1992 Kim, 2004
Salinity (SI ₇)	Range : 26~30.9 PSU Optimum : above 31 PSU	Suto, 1992
COD (SI ₈)	Range : 1.3~1.7 mg/L Optimum : below 1.3 mg/L	Suto, 1992 Matsumoto & Yamaguchi, 2006
DIN (SI ₉)	Range : 0.005~0.270 mg/L Optimum : 0.137~0.138 mg/L	JFRCA, 1992

있어 필수 요인을 착생기반, 수온(최저, 최고), 수심, 광량, 파랑, 염분, COD, 영양염 등의 총 9 가지로 선정하였으며, 그 결과를 방류수역의 물리적, 이화학적 현황과 비교·검토하여 점수화 시켰다. 이때, 해조류의 서식지로서 최적의 조건일 경우 1.0, 서식지로서 부적합한 조건일 경우 0.0으로 점수를 할당하였으며, 각 단계별로 점수를 차등 할당하였다(Oh et al., 2010).

이때 각각의 SI에 대한 점수의 차등은 식 1의 1차 함수형태의 선형 보간을 통하여 할당하였다. 이후 하수처리장 해양 방류수역이 이식 해조의 서식지로서 적합성 여부를 평가하기 위하여 각 SI의 결과를 기하 평균하여 SI를 결합하였다. 이때 이용된 SI의 결합식은 식 2와 같다(Matsumoto & Yamaguchi, 2006; Oh et al., 2010).

$$SI_i = a+bx \quad (\text{식 1})$$

이때, SI_i는 각각의 환경요인에 대한 SI이며, a는 각각의 SI에 대한 최소값 및 최대값, b는 각

각의 SI에 대한 1차 함수의 기울기이다.

$$HSI = \sqrt[5]{AS \times T \times LI \times Vel \times WQ} \quad (\text{식 2})$$

$$\text{착생기질 : } AS = SI_1$$

$$\text{수온 : } Temp. = \sqrt[2]{SI_2 \times SI_3}$$

$$\text{광 : } Li. = \sqrt[2]{SI_4 \times SI_5}$$

$$\text{파랑(파고) : } Vel. = SI_6$$

$$\text{수질 : } WQ = \sqrt[3]{SI_7 \times SI_8 \times SI_9}$$

$$HSI = \sqrt[5]{SI_1 \times \sqrt[2]{SI_2 \times SI_3} \times \sqrt[2]{SI_4 \times SI_5} \times SI_6 \times \sqrt[3]{SI_7 \times SI_8 \times SI_9}}$$

이를 바탕으로 이 연구에서는 2009년부터 2011년까지 수행된 현장조사 결과를 평균하여 GIS 기반의 일반적으로 이용되는 보간법 중 하나인 IDW (Inverse Distance Weighted)법을 이용하여 조사지점을 포함한 주변 지역의 서식지 적합지수를 파악하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

1. 이식 해조류 선정

연구기간 중 하수처리장 해양방류수역 내 해조장 조성시 이식에 이용할 해조류를 선정하기 위하여 <Table 2>와 같이 해조류의 서식환경 및 생태적 특성, 해조장의 가치, 유지 노력 및 경비, 해조장 조성 소요 시간, 안정적인 인공종묘 생산 가능성 등을 고려하였다.

<Table 2> Suitability of seaweed species for construction artificial seaweed bed

Species	Value		Effort & cost	Time	Life span
	A	B			
<i>Ecklonia cava</i>	●	○	●	○	P
<i>Undaria pinnatifida</i>	●	×	×	●	A
<i>Sargassum horneri</i>	×	●	×	●	A
<i>S. micracanthum</i>	×	○	●	○	P
<i>S. piluliferum</i>	×	○	●	○	P
<i>S. serratifolium</i>	×	●	●	○	P
<i>S. ringgoldianum</i>	×	○	●	○	P
<i>Myagropsis myagroides</i>	×	○	●	○	P
<i>Eisenia bicyclis</i>	●	○	●	○	P

●: very good, ○: good, ×: bad

- 1) Useful macroalgal resources
- 2) Ecological roles as primary producer
- 3) Effort and cost for maintenance
- 4) Time for making seaweed bed
- 5) A: annual species, P: perennial species

첫째, 하수처리장 해양방류수역 내 해조류 생육가능 여부를 판단하기 위하여 Suto (1992)의 해조류 서식환경 및 생태적 특성에 관한 연구결과를 검토하였으며, 이 중 착생기질, 수온, 염분, 파고, 생육기간, 서식가능 분포대 등의 환경요인과 수영만의 설계파고 등을 비교, 검토하였다. 하수처리수를 처리하는 해양방류 수역의 특성상 유속이 빠를 것으로 예상되어 부착력이 강한 다년생 해조류인 감태, 대황, 큰잎모자반을 이식 해조류

로 1차 선정하였다.

둘째, 이식 해조류가 해조장으로서의 가치, 유지에 소요되는 노력 및 경비, 시간 등을 검토하여(<Table 2>) 해조장 조성 후 관리 측면과 서식처, 일차 생산자로서의 역할이 뛰어난 해조자원인 감태와 대황을 이식 해조류로 2차 선정하였다.

셋째, 인공 종묘 공급 가능성 측면도 검토하였을 때, 감태와 대황이 모두 적합한 해조류로 판단되었다. 하지만 대황의 경우 우리나라 동해안에 주로 서식하고, 감태는 높은 탁도에 강한 적응성을 갖고 오륙도와 기장 지역에 서식하거나 기록상 서식이 확인되어 최종적으로 감태를 이식 대상으로 선정하였다.

2. 서식지 적합지수를 이용한 이식 해조류 적합성 평가

하수처리장 해양방류 수역의 수심 5~10 m에 해조장 조성시 대상종인 감태의 서식지 적합지수를 이용하여 이식 해조류의 적합성 평가를 실시하였다. 이때 각 요인별 서식지 적합지수의 차등할당은 <Table 1>을 기준으로 식 1과 2를 이용하여 실시하였으며, 각 요인별로 세부 분류기준을 나타내었다.

1) 해양방류 수역에서 서식지 적합지수

가. 착생기질(SI₁)

착생기질은 해조류가 서식하는 기반으로써 대부분의 해조류가 암반대에 부착기를 착생하여 서식한다. 따라서 부착기질은 해조류의 생존과 밀접한 관계를 나타낸다. 감태는 50 cm 이상의 암반대에 주로 서식하므로 암반대가 50 cm일 경우 서식지로서 최적의 조건으로 평가되지만 본 연구에서는 해조장 조성을 위하여 착생기질이 조성된 부유연승 방법을 이용하므로 기질의 크기와 상관없이 전 지역에서 SI₁ = 1.0으로 평가하였다(<Table 3>).

나. 연간 최저 수온(SI₂)

연간 가장 낮은 수온분포를 나타내는 시기를 1월 혹은 2월로 하였을 때 감태가 서식할 수 있는 적정 수온 범위는 10~16°C로 나타났으므로 중간 값인 13°C에서 SI₂ = 1.0, 9°C 이하, 17°C 이상에서 SI₂ = 0.0을 할당하였다. 식 1을 이용하면, 1°C를 기준으로 1°C씩 증감함에 따라 각각 0.25씩 차등적으로 할당하였다(<Table 4>).

감태가 대상지역에 원활하게 생육할 수 있는 하수처리장 해양방류 수역의 연간 최저 수온은 10.5°C를 나타냈으므로 SI₂ = 0.25로 평가되었다.

<Table 3> Suitability index according to range of attachment substrate

Range (cm)	above 50	25~50	12.5~25	5~12.5	This study
Value (SI ₁)	1.0	0.66	0.33	0.0	1.0

<Table 4> Suitability index according to range of minimum water temperature

Range (°C)	13	12.1	11.2	10.2	below 9 above 17	This study
Value (SI ₂)	1.0	0.75	0.5	0.25	0.0	0.25

다. 연간 최고 수온(SI₃)

연간 가장 높은 수온분포를 나타내는 시기를 8월로 하였을 때 감태가 서식할 수 있는 수온 범위는 27°C 이하로 나타났으며 수온 범위가 25°C 이상일 경우 감태의 광합성 능력이 현저히 떨어지는 것으로 나타났다. 그러므로 24°C 이하일 때 SI₃ = 1.0, 28°C 이상에서는 SI₃ = 0.0을 할당하였다. 식 1을 이용하면, 24°C를 기준으로 1°C씩 증감함에 따라 각각 25~28°C에서는 0.25를 차등 할당하였다(<Table 5>).

감태가 대상지역에 원활하게 생육할 수 있는 조건인 하수처리장 해양방류 수역의 연간 최고 수온은 18.32°C로 나타났으므로 적합성 평가지수인 SI₃ = 1.0으로 평가하였다.

<Table 5> Suitability index according to range of maximum water temperature

Range (°C)	24	25	26	27	above 28	This study
Value (SI ₃)	1.0	0.75	0.5	0.25	0.0	1.0

라. 수심(SI₄)

감태의 서식 수심은 2~25 m 내외로 분포하며, 주로 수심 5~15 m에 밀집하여 생육한다. 따라서 5~15 m에서 SI₄ = 1.0으로 하였으며 수심 2 m 이하와 25 m 이상의 수심에서 SI₄ = 0.0을 할당하였다(<Table 6>). 남부하수처리장 해양방류 수역은 대부분의 수심이 22 m 이내였으며 해조장 조성 방법은 수심 조절이 가능한 부유연승법으로 선정하였기 때문에 해조장 수심은 5~10 m 사이가 되므로 SI₄ = 1.0으로 평가하였다.

<Table 6> Suitability index according to range of water depths

Range (m)	5~15	18	21	24	below 2 above 25	This study
Value (SI ₄)	1.0	0.7	0.4	0.1	0.0	1.0

마. 광량(SI₅)

감태가 서식하는 해역의 보상광량은 11~12 μmol/m²/s 이상으로 나타났으며 어린 감태의 경우 보상광량이 2.8 μmol/m²/s을 나타냈다. 따라서 감태의 보상광량이 12 μmol/m²/s을 기준으로 그 이상일 경우 SI₅ = 1.0, 2.8 μmol/m²/s 이하일 경우 SI₅ = 0.0으로 나타내었다(<Table 7>).

남부하수처리장 해양방류 수역에서 측정된 수심 5~10 m 사이 평균 수중 광량은 연평균의 경우 39.6 μmol/m²/s, 여름철의 경우 19.0 μmol/m²/s, 겨울철의 경우 60.2 μmol/m²/s으로 나타나, SI₅ = 1.0으로 평가되었다.

<Table 7> Suitability index according to range of light intensity

Range ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)	12	9	6	3	below 2.8	This study
Value (SI_5)	1.0	0.67	0.35	0.02	0.0	1.0

바. 파랑(SI_6)

감태는 부착기의 형태가 파랑이 강한 곳에서 서식하기 적합하게 발달하였으며, 서식 가능한 설계 파고가 6 m로 분석되어 식 1을 이용하여 6 m를 기준으로 수심이 1 m씩 증감함에 따라 가감하여 차등 할당하였다. 이를 기준으로 설계 파고가 6 m일 때 $\text{SI}_6 = 1.0$, 1 m 이하와 12 m 이상에서 $\text{SI}_6 = 0.0$ 을 할당하였다(<Table 8>).

남부하수처리장 해양방류 수역의 파랑은 수영만의 설계 파고가 5.2 m로 계산되어 $\text{SI}_6 = 0.83$ 으로 평가하였다.

<Table 8> Suitability index according to range of waves

Range (m)	6	5,7	3,9	1,11	0,12	This study
Value (SI_6)	1.0	0.83	0.50	0.17	0.0	0.83

사. 염분(SI_7)

감태는 염분 농도가 30.9 PSU 이상이 되면 염분 농도에 상관없이 서식할 수 있으며 26.0 PSU인 해역에서도 분포할 수 있다. 따라서 염분 농도가 30.9 PSU 이상일 때 $\text{SI}_7 = 1.0$, 26.0 PSU 이하일 때 $\text{SI}_7 = 0.0$ 으로 할당하였다(<Table 9>).

하수처리장 해양방류 수역의 평균 염분 농도는 33.34 PSU로 $\text{SI}_7 = 1.0$ 으로 평가하였다.

아. COD(SI_8)

감태는 COD 농도가 1.3 mg/L 이하인 지역에서 원활하게 서식하는 것으로 나타났으므로 1.3 mg/L 이하에서 $\text{SI}_8 = 1.0$, 1.7 mg/L 이상일 때 $\text{SI}_8 = 0.0$ 으로 할당하였다. 이를 기준으로 식 1을 이용하여 0.2 mg/L 증가할 때마다 0.33씩 차등 할당하였

다(<Table 10>).

하수처리장 해양방류 수역에서 평균 COD 농도는 1.33 mg/L를 나타냈으므로 $\text{SI}_8 = 0.66$ 으로 평가하였다.

<Table 9> Suitability index according to range of salinity

Range (PSU)	above 31.0	30.0	28.0	27.0	below 26.0	This study
Value (SI_7)	1.0	0.8	0.4	0.2	0.0	1.0

<Table 10> Suitability index according to range of COD

Range (mg/L)	below 1.3	1.3~1.5	1.5~1.7	above 1.7	This study
Value (SI_8)	1.0	0.66	0.33	0.0	0.66

자. 영양염(DIN : SI_9)

감태가 서식하는 해역의 DIN 농도 범위는 0.005~0.270 mg/L 정도를 나타내며, 중간 농도인 0.137~0.138 mg/L를 최적 농도로 선정하여 $\text{SI}_9 = 1.0$, 0.005 mg/L 미만, 0.270 mg/L 이상일 경우 $\text{SI}_9 = 0.0$ 으로 나타내었다. 식 1을 이용하여 각각의 단계별로 0.043 mg/L씩 증감할 때 0.25씩 차등 할당하였다(<Table 11>).

<Table 11> Suitability index according to range of DIN

Range (mg/L)	0.137~0.138	0.183~0.226	above 0.270	This study
Value (SI_9)	1.0	0.5	0.0	0.75

하수처리장 해양방류 수역에서 평균 DIN 농도는 0.126 mg/L으로 나타나 $\text{SI}_9 = 0.75$ 로 평가하였다.

남부하수처리장 해양방류 수역의 각 환경 요인들에 대한 SI를 고려한 대상지역에서 감태의 HSI는 0.80으로 나타났으며 대상 지역인 남부하수처리장 해양방류 수역이 감태 서식지로서 80%의

적합성을 갖는 것으로 나타났다(<Table 12>). 이는 부유연승식 방법을 이용하여 해조장을 조성함으로써 착생기질 및 수심을 대상 지역에 적합하도록 조절하여 나온 수치이며, Oh (2010)가 수행한 바다숲 조성사업 지역에서의 서식지 적합성 평가 결과인 73%와 비교했을 때도 유사한 결과를 보여 최종적으로 해조장 조성시 감태를 이용하는 것이 적합한 것으로 판단된다.

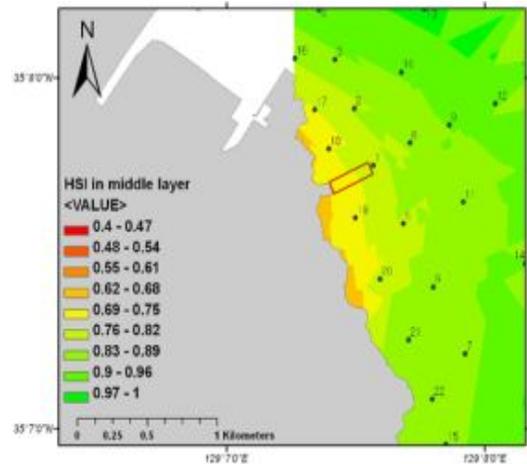
다만, 연구대상 지역이 인근 하천과 해양방류관에서 배출되는 처리수로 인하여 광량이 낮게 나타났고 유기물질 및 미처리된 영양염 등의 영향으로 주변해역에서 상대적으로 높은 농도 분포를 나타냈다. 그러므로 이를 보완하기 위하여 수심이 깊은 곳에서는 보상광량 등을 고려하여 부유연승식 등의 인공 구조물을 이용하여 해조장의 수심을 5~10 m 정도로 유지시켜야 하며 해양방류관을 통하여 배출되는 하수처리수의 희석 범위를 고려하여 해조장을 조성하는 것이 중요할 것으로 판단된다.

2) 해양방류 수역에서 정점별 서식지 적합지수 분포

남부하수처리장 해양방류 수역에서의 정점별 서식지 적합지수를 평가하기 위하여 서식지 적합지수를 보면, 광량 등의 환경요인 등에 의하여 감태가 서식하기 적합한 수심으로 판단되는 5~10 m에서 0.50~0.93 (평균 0.80)으로 나타났다. 이는 해양방류관을 중심으로 연안으로부터 멀어질수록 상대적으로 높은 HSI 값을 나타내어 이들 지역이 감태 서식에 적합한 지역임을 알 수 있었다(<Table 12>, [Fig. 2]). 이를 대상지역의 잔차류 흐름과

연관하여 분석하면 수영만 중앙부에서 해양방류관이 매설된 지역으로 유입된 해수의 흐름이 연안으로 향한 후 해양방류관 방향으로 이동하는 것으로 분석되었다. 이는 해양방류관을 통하여 배출된 처리수 내 COD와 영양염이 주변 해수의 흐름에 의해 희석, 확산되지만 외해로 이동이 원활하지 못해 연안 지역에 상대적으로 높은 농도 분포를 나타내어 감태가 서식하기에 다소 불리한 환경으로 나타났다. 하지만 HSI 값이 0.5 이상을 나타내 감태가 서식하기에 큰 무리가 없을 것으로 판단된다.

하수처리장 해양방류 수역을 대상으로 해조류 서식지 적합성 평가를 위한 이번 연구에서 방류수역 특성상 현장의 물리적, 이화학적 특성을 완전하게 반영하지는 못했지만 실제 해조장 조성시 이식 해조류 서식지로서 적합성을 평가하기 위해



[Fig. 2] Habitat Suitability Index at the study area

<Table 12> Grades used in the formation of HSI

Variation	Substrate	Temperature		Depth	Light intensity	Waves	Salinity	COD	DIN
		Min.	Max.						
	SI ₁	SI ₂	SI ₃	SI ₄	SI ₅	SI ₆	SI ₇	SI ₈	SI ₉
Values	1.0	0.25	1.0	1.0	1.0	0.83	1.0	0.66	0.75
$HSI = \sqrt[3]{1.0 \times \sqrt[3]{0.25 \times 1.0} \times \sqrt[3]{1.0 \times 1.0} \times 0.83 \times \sqrt[3]{1.0 \times 0.66 \times 0.75}} = 0.8$									

서 보다 세밀하고 지속적인 모니터링이 진행되어야 할 것으로 여겨진다.

References

- Buschmann, A. H. · Troell, M. · Kautsky, N. & Kautsky, L.(1996). Intergrated tank cultivation of salmonids and *Gracilaria chilensis* (Gracilariales Rhodophyta). *Hydrobiologia*, 326-327, 75~82.
- Choi, C. G. · Kim, H. G. & Sohn, C. H.(2002a). Effect of transplantation of *Ecklonia stolonifera* Okamura with adhesive glue. *J of Korean Fish Soc*, 35, 608~613.
- Choi, C. G. · Takeuchi, Y. · Terawaki, T. · Serisawa, Y. · Ohno, M. & Sohn, C. H.(2002b). Ecology of seaweed beds on two types of artificial reef. *J Appl Phycol*, 14, 343~349.
- Chung, I. K. · Kang, Y. H. · Yarish, C. · Kraemer, G. P. & Lee, J. A.(2002). Application of seaweed cultivation to the bioremediation of nutrient-rich effluent. *Algae*, 17, 187~194.
- Cohen, R. A. & Fong, P.(2006). Using oppotunistic green macroalgae as indicators of nitrogen supply and sources to estuaries. *Ecological Applications*, 16, 1405~1420.
- D'Elia, C. F. & DeBoer, J. A.(1998). Nutritional studies of two red algae. II. Kinetics of ammonium and nitrate uptake. *J of Phycol*, 14, 266~272.
- Daisuke, M.(2004). Seaweed resources as a source of carbon fixation. *Bull Fish Res Age*, 1, 59~63.
- DeBusk, T. A. · Blakeslee, M. & Ryther, J. H.(1986). Studies on the outdoor cultivation of *Ulva lactuca* L. *Bot Mar*, 29, 381~386.
- Grac, R. A.(1978). Marine outfall system, planing, design and construction. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Haines, K. C. & Wheeler, P. A.(1978). Ammonium and nitrate uptake by the marine macrophytes *Hypnea musciformis*(Rhodophyta) and *Macrocystis pyrifera* (Phaeophyta). *J of Phycol*, 14, 319~324.
- Hiroshige, M. · Serisawa, Y. · Kurashima, A. & Yokohama, Y.(2004). Photosynthetic performances of temperate *Sargassum* and Kelp species growing in the same habitat. *Algae*, 19, 207~216.
- JFRCA.(1992). A standard of judgement and a case for understanding ocean environments impact on algae. 38~47.
- Jung, T. S. & Kang, S. W.(2009). Diffusion analysis for optimal design of ocean outfall system. *J Kor Soc Mar Env Eng*, 12, 124~132.
- Kang, S. W. · You, S. H. & Oh, B. C.(1999). A study on initial and near-field dilution at the ocean outfall of Masan-Changwon municipal wastewater treatment plant. *J Kor Soc Mar Env Eng*, 2, 60~69.
- Kang, S. W. · You, S. H. · Oh, B. C. & Park, K.S.(2000). Initial and near-field dilution at the ocean outfall of Masan-Changwon municipal wastewater treatment plant(II). *J Kor Soc Mar Env Eng*, 3, 35~44.
- Kim, S. Y.(2004). Study of automatic wave characteristic extraction using video image. Inha University, 45.
- Kohata, K. · Hiwatari, T. & Hagiwara, T.(2003). National water purification system observed in a shallow coastal lagoon: Matsukawa-ura, japan. *Mar Pol Bull*, 47, 148~154.
- Konno, T.(1985). Vegetation component of *Sargassum confusum* and *Ecklonia cava* bed. *Ocean Science*, 17, 57~65.
- Lourey, M. J. · Jeff, R. D. & Jason, W.(2006). A mixed-layer nutrient climatology of leeuwin current and western australian shelf waters: seasonal nutrient dynamics and biomass. *J Mar Sys*, 59, 25~51.
- Maegawa, M. · Yasutsugu, Y & Yusho, A.(1987). Critical light conditions for young *Ecklonia cava* and *Eisenia bicyclis* with reference to photosynthesis. *Hydrobiologia*, 151, 447~455.
- Maegawa, M.(1990). Ecological studies of *Eisenia bicyclis* (Kjellman) Setchell and *Ecklonia* Kjellman. *Bull fac Biores*, 4, 73~145.
- Mann, K. H.(1982). Ecology of coastal waters. California University Press.
- Matsumoto, T. & Yamaguchi, T. Habitat suitability index model (Kajime). 14.
- Nakajima, Y.(2005). On the technique for selection of suitable site of creation on seaweed bed. *Jpn Soc Fish Eng*, 42, 159-163.
- Oh, T. G.(2010). A study on suitability selection methods for marine afforestation. Chonnam National University, 100.
- Oh, T. G. · Kim, Y. C. · Yang, Y. S. · Kim, C. G.

- & Lee, M. O.(2010). A suitability selection for marine afforestation using habitat evaluation procedure. J Kor Soc Mar Eng, 34, 894~905.
- Suto, S.(1992). A trial to relate marine benthic floras more precisely to their environmental conditions. Jpn J Phycol, 40, 289~305.
- Terawaki, T. · Kawasaki, Y. · Honda, M., · Yamada, S. · Maruyama, K. & Igarashi, Y.(1991). Verification of technologies for kelp forest creation on sandy sea beds. II. Ecology and growing characteristics of *Eisenia bicyclis* and *Ecklonia cava* at western sea coast of Miura peninsular, central Japan. Ther reports of Abico Research Lab. 66.
- Wallentinus, I.(1984). Comparison of nutrient uptake rates for Baltic macroalgae with different thallus morphologies. Mar Biol, 80, 215~225.
- Yamada, N.(1961). Studies on the manure for seaweeds, I. On the change of nitrogenous component of *Gelidium amansii* Lmx. cultured with different nitrogen source. Bull Jap Soc Sci Fish, 27, 953~957.
-
- Received : 08 June, 2015
 - Revised : 08 July, 2015
 - Accepted : 13 July, 2015