

GIS 기반의 미더덕 SFG(Scope for Growth)를 이용한 양식장의 적지선정

박정현¹ · 서용철^{2*}

GIS-Based Suitable Site Selection for Aquaculture Using Scope for Growth of *Styela Clava*

Jung-Hyun PARK¹ · Yong-Cheol SUH^{2*}

요 약

본 연구는 GIS를 기반으로 한 미더덕 SFG를 이용하여 미더덕 양식장의 적지를 선정하는데 있다. 미더덕 양식은 2001년 15,084M/T의 생산량을 기록하였으나 2005년 1,412M/T로 생산량이 급격히 감소하였다. 이후 연간생산량은 조금씩 증가하여 2012년 2,484M/T를 나타냈으나 여전히 초기 생산물량에 미치지 못하고 있는 실정이다. SFG는 환경과 생물간의 상호연관성을 나타내고 양식생물의 성장도를 나타낸다. SFG 개념을 이용하여 GIS 기반의 적지선정이 가능하며, 양식장의 지속적인 생산성확보를 위한 어장관리시스템 구축에 활용할 수가 있다. 진동만 미더덕 양식장에 대한 GIS 기반의 미더덕 SFG를 이용한 적지 선정을 하여본 결과 해역 전체의 SFG는 0.054~0.57J/day의 범위를 보였으며, 대상해역과 중첩시킨 미더덕 양식장의 SFG 역시 0.054~0.57J/day로 분포하고 있다. 또한 미더덕 양식장의 SFG와 실제 생산량의 상관성 $r=0.786$, $p<0.05$ 로 높은 상관성을 보이고 있다. GIS 기반 양식장의 서식지적합도 산정을 통한 어장관리시스템 구축은 양식장의 적지선정과 양식장의 지속가능한 생산량을 확보할 수 있으며, 환경의 변동과 양식생물성장의 인과관계를 객관화 할 수 있는 체계를 도입함으로써, 지속적인 어장 관리를 위한 의사결정방안을 도출 할 수 있다.

주요어 : 지리정보시스템, 적지선정, SFG(Scope for Growth), 서식적합도

ABSTRACT

The purpose of this paper is to do GIS-based suitable site selection using Scope for Growth index of *Styela clava* in Jindong Bay. The aquaculture of *Styela calva* is only

2013년 6월 25일 접수 Received on June 25, 2013 / 2013년 8월 20일 수정 Revised on August 20, 2013 /
2013년 9월 3일 심사완료 Accepted on September 3, 2013

1 국립수산물과학원 어장환경과 Marine Environment Research Division, National Fisheries Research & Development Institute

2 부경대학교 공간정보시스템공학과 Dept. of Spatial Information Engineering, Pukyong National University

* Corresponding Author E-mail : suh@pknu.ac.kr

conducted in Korea, especially Jindong Bay. Suspended culture of *Styela clava* was initiated in 2001 and the annual production reached 15,084M/T, but declined to 1,412M/T in 2005. The annual production was increased slightly to 2,484M/T in 2012 but the production is lower than the beginning yield. Scope for Growth(SFG) can indicate interrelationships between environment and organism growth index in aquaculture. GIS-based suitable site selection can be available by the concept of SFG, and fishery management system can be constructed for the sustainable production. As a result of the assessment of habitat suitability, Jindong Bay's SFG value ranges 0.054~0.57J/day and *Styela clava* farm's SFG values range 0.054~0.57J/day, either. The correlation between *Styela clava* farm's SFG and the actual production has a good result, as $r=0.786$, $p<0.05$. The construction of fishery management system using habitat suitability index ensures the reasonable site selection and the sustainable production in aquaculture farm. It introduces an objective method for the interrelationships between the environmental variation and the organism growth. Consequently, it can promote the decision making practices for the sustainable fishery management.

KEYWORDS : GIS, Suitable Site Selection, SFG(Scope for Growth), Habitat Suitability

서 론

우리나라에서 미더덕으로 알려진 *Styela calva*는 전세계적으로 우리나라에서만 양식이 되고 있고 국내에서도 경남 진해만 내에서만 양식장이 개발되어 있다. 미더덕은 부착성 피낭류로 오호츠크해에서 상하이 남쪽까지 서식하면서 일본, 한국, 중국, 시베리아까지 북동 태평양 지역에 서식하였지만(Abbott and Johnson, 1972; Clarke and Therriault, 2007) 지금은 전 세계적으로 온대 수역에 서식하고 있을 뿐 아니라, 유럽과 남반구의 호주, 뉴질랜드에서 서식되고 있으며 각종 양식생물의 해적생물로 취급되고 있다(Davis and Davis, 2005; 2007). 우리나라에 분포하고 있는 미더덕의 종류는 미더덕(*Styela clava*), 두줄미더덕(*Styela partita*), 긴자루 미더덕(*Styela longipedata*), 세줄미더덕, 상칭미더덕 그리고 주름미더덕(*Styela plicata*)이 있다. 산업적인 양식은 미더덕과 주름미더덕(오만둥이)을 주로 하고 있다. 이러한 미더덕은 독특한 향과 맛으로 인하여 국내 수요가 늘어나기 시작했고 1990년대 후반 수요량의 증가로 양식의 필요성이 부각되

었다. 2001년 미더덕 생산량이 15,084M/T의 최대생산량 이후 2006년에는 1,519M/T로 급감하였고 최근 2012년에는 2,484 M/T으로 생산량이 늘어 나긴했으나 예년의 생산량을 회복하지 못하고 있는 실정이다. 또한 양식어업권과 양식면적도 점차 감소하여 2003년 556건에 8,034ha 이었으나 2010년 149건에 578ha로 감소하였다(MIFAFF, 2011). 미더덕의 생산량 감소는 진동만을 중심으로 여름철 수중 용존산소 농도가 3ppm 이하로 떨어지는 현상인 빈산소 수괴의 영향이 많고, 하절기 집중강우에 의한 저염분 등이 일부 영향을 끼쳤다.

미더덕 생산량의 안정화는 어장환경의 공간정보를 기반으로 적지 선정을 통하여 지속적인 생산을 가능하게 한다. 양식장의 적정한 위치선정은 환경부하의 위험을 최소화 하고, 경제적인 보상을 극대화 하며, 양식장의 다른 자원과의 중복을 최소화 할 것이다(Perez *et al.*, 2005). 공간특성을 고려하지 못한, 부적절한 위치선정은 어장 생산성 감소, 개발의 오용과 자원사용에 대한 비 지속성, 어장환경 악화 등을 야기 할 수 있다. 공간의 적합도 분석은 양식장 개발의 통제와 관리에 대한 의사결정 기반을 형성 할 수 있으며, 이러한 공간적 기준은 어장의 휴식기, 공

간 재배치 등의 정책적 근거로도 활용 할 수 있다. 양식장 개발은 연안관리 계획과 어장 관리법과 조화를 이루어야 하며, 기존 자원을 사용하는 중에 대해 양식장 도입에 따른 충돌 및 악영향을 감소시킬 필요가 있다(Stead *et al.*, 2002).

이러한 공간적 특성 고려에 있어 GIS (Geographic Information System)는 유용한 도구로 활용되고 있다. 또한 개발자 및 사용자들로 하여금 정보를 저장, 분석, 통합하는 능력을 개선시키고, 특정지점의 데이터와 속성을 비교분석하는 공간 분석 및 참조의 기능을 가진다(Burrough and McDonnell, 1998). GIS를 이용한 양식장 관련 연구를 살펴 보면 고해상 항공영상을 활용한 김, 전복, 어류 양식장 시설량 산출(Jo, 2011), 양식장 플랫폼을 활용한 실시간 해양환경 정보제공시스템 개발연구(Yang *et al.*, 2007), GIS를 이용한 양식어장 정보관리 시스템 구축(Park *et al.*, 2004) 등이 있다.

양식장 적지선정을 위한 여러 가지 활용방안 중의 하나로 미 어류 및 야생동물 관리국(U.S. Fish and Wildlife Service, 1980)에 의해 개발된 서식지 적합 지수(Habitat Suitability Index, 이하 HSI)의 활용을 들 수가 있는데 이는 한 종이 이용 가능한 서식지의 정량적, 정성적 특성을 규명하기 위해, 환경과의 상호작용에 관한 연구를 통해 개발되어졌고, 종의 성장이나 생존의 항목에서 서식적합도를 등급화 한 것이다. 그러나 HSI는 설정과정의 과학적, 논리적 방법성과는 달리 지수선정이나 score 설정단계의 모호성과 불명확성을 내포하여 문제점으로 지적되어 왔다. 이러한 문제점들을 보완하기 위해 대상종의 생리·생태학적 연구 접근 방법으로 양식생물의 Scope for Growth(이하 SFG)의 HSI를 도입하여 대상종의 SFG를 산출하여, 어장환경과 양식생물 생산과의 상관성을 해석하고 양식장의 적지선정을 과학적으로 도출해 낼 수가 있다.

이에 본 연구는 진동만 미더덕 양식장에서 지속적인 생산을 위하여 GIS를 기반으로 한 미더덕 SFG를 고려한 서식적합도를 산정하여 미더덕 양식장의 적지선정을 하고자 한다.

연구지역 및 방법

1. 대상해역

진동만의 미더덕 양식장은 경남 창원시 서남해안 128°26'22"E, 35°2'30"N~128°36'3"E, 35°8'20"N에 위치하며, 진동만 내측과 군사경계선 사이에 자리한다(그림 1). 진동만의 어업면허권수는 274건이며 그중 미더덕 양식어업이 29.6%인 81건, 패류양식 어업장은 19.0%인 52건을 차지하고 있고 어장의 어업면허에 따른 어장면적을 살펴보면 미더덕 양식어장은 199ha를 차지하고 있다.

대상해역의 해양환경특성을 파악하기 위하여 CTD(19 plus, Seabird electronics)를 이용하여 수온과 염분의 수직 구조를 관측하였다. 대기 수질측정기(6000, YSI)를 이용하여 용존산소를 관측하였고, 저층수는 Niskin 채수기를 이용하여 해저면 상부 1m 에서 채수하였다. 분석항목에 따라 전처리 및 GF/F 필터로 여과한 후 -20°C로 냉동보관하여 실험실에서 분석하였다.

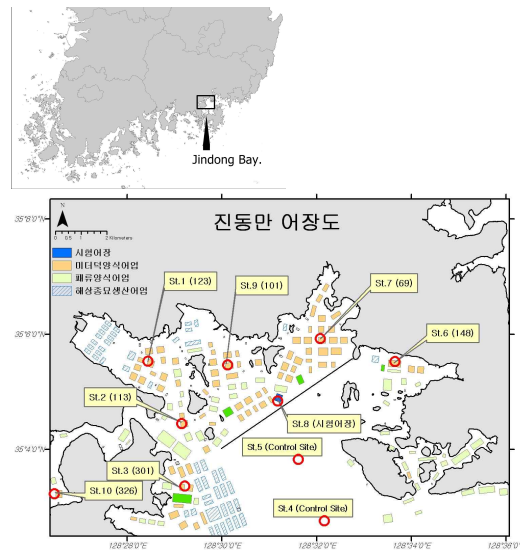


FIGURE 1. Distribution of *Styela clava* farms and sampling stations in Jindong Bay (St. number, Licence number)

2. 적지선정을 위한 GIS 기법

데이터 수집은 2011년 7월, 10월 2012년 1월 그리고 4월의 조사관측에 의한 실측값으로 데이터베이스를 구축했으며, 미더덕의 먹이원에 직접적인 영향을 주는 클로로필 값을 계절별 평균화 하였다. 평균 클로로필 값은 진동만 해역에 IDW(Inverse Distance Weighted)법으로 보간하였으며, SI(Suitability Index)를 나타내기 위해 GIS 상에서 vector data를 값을 나타내기 위하여 Rasterize로 나타내었으며, 각 raster data를 10단계의 등간격(Equal interval)로 재분류하여 각 어장위치에 포함되는 클로로필값을 나타내었다. 다음은 각 어장의 면적내에 분포하는 클로로필 값을 나타내기 위해서 각 어장의 feature에 SFG 값의 분포를 나타내었으며, 어장에 분포된 SFG의 값을 이용하여 최종적인 서식지적합도(habitat suitability index)를 산정하였다.

3. 미더덕 Scope for Growth 산정

SFG(Scope for Growth)는 생물의 통합된 생리적 상태를 측정하는 것이다. 개체의 에너지 당량이며, 섭취된 음식물로부터 호흡과 배설(분, 뇨), 배출(점액)로부터 잃어버리는 에너지를 결정하는 것이다.

Kang(2011)은 미더덕 SFG 산정을 위하여 현장에서 실험대상 생물을 채집하고, 대상해역의 염분과 먹이량 조건을 반영하여 수온 변화에 따른 생리에너지 대사 실험을 통하여 SFG를 구하였다.

순 에너지 교환식 [$C=F+U+R+P$, C : 섭취 에너지, F : 배출에너지, U : 배설에너지, R : 호흡에너지, P : 성장(생산)에너지] 으로부터 성장률을 계산하기 위해 섭취율과 배출율은 단백질, 탄수화물, 지질의 에너지 상당량인 24.0, 17.5 및 39.5J/mg(Gnaiger, 1983)의 계수를 각각 곱하여 총 에너지를 J로 계산하였고, 배설율의 경우는 암모니아 질소 값의 에너지 상당량인 24.83J/mg(Elliot and Davison, 1975)의 계수를, 호흡율의 경우 산소 값에 13.98 J/mg(Gnaiger, 1983)의 계수를 곱하여서 모든 값을 J로 환산하여 계산하였다. 그림 2는 계절

적 수온변화에 따른 미더덕 SFG의 변화를 나타내고 있으며, 수온이 차가워지는 시기에 (+)의 SFG(성장)을 나타내고 있다.

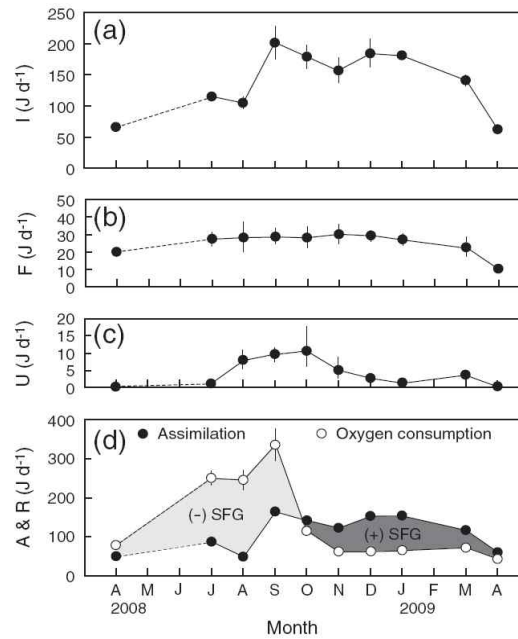


FIGURE 2. (a) Ingestion (I), (b) feces production (F), (c) ammonia excretion (U), and (d) assimilation (A) and oxygen consumption (R). Vertical bars (adapted Kang *et al.*, 2011)

결 과

1. 진동만 해양환경특성

진동만의 연간 수온변화의 측정자료는 2000년부터 2010까지의 해양환경측정망의 계절평균값으로서, 수온, Chl.a 그리고 생산량을 표 1에 나타내었다. 수온의 연평균 값이 표층 16.47 °C, 저층 14.38 °C로 나타나 미더덕의 성장에 적합함을 나타내었다(그림 3). 미더덕의 먹이원인 클로로필의 값이 년 간 큰 변화량을 보이고 있는데 클로로필과 생산량의 상관성이 $r=0.803$, $p<0.01$ 로서 유사한 결과를 그림 4에서 보여주고 있다.

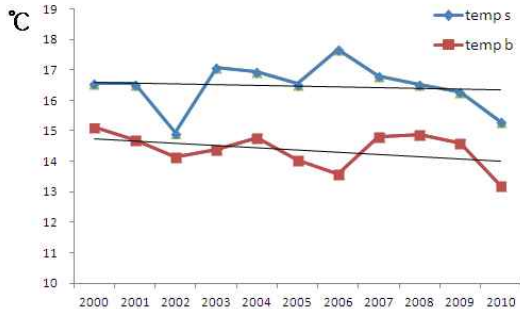


FIGURE 3. Annual mean water temperature(°C) in Jindong Bay

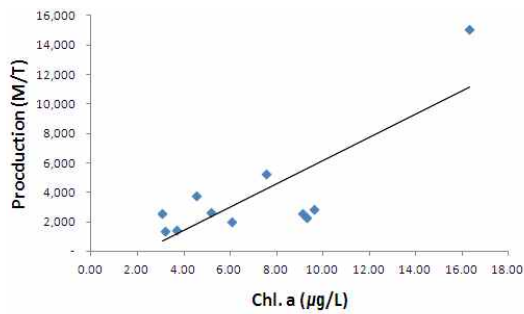


FIGURE 4. Correlations between Chl.a values and *Styela clava* yield($r=0.802, p<0.01$)

TABLE 1. Annual mean Surface water temperature, Chl.a and yield distribution in Jindong Bay

년도	temp (°C)	Chl.a (µg/L)	yield (M/T)
2000	16.57	16.31	
2001	16.54	7.54	15,084
2002	14.93	6.07	5,266
2003	17.09	9.11	2,047
2004	16.95	3.19	2,590
2005	16.54	3.68	1,412
2006	17.66	9.29	1,519
2007	16.80	3.06	2,309
2008	16.51	4.53	2,620
2009	16.28	9.58	3,845
2010	15.30	5.15	2,920
average	16.47	7.05	7.05
max	17.66	16.31	16.31
min	14.93	3.06	3.06

2. 지리정보시스템을 이용한 진동만 적지선정

1) 클로로필

진동만의 2011년 7월, 10월, 2012년 1월, 4월의 클로로필 데이터를 10개 조사정점별로 평균하여 GIS 상에서 "IDW tool (ArcGIS Spatial Analyst Tools)"법으로 보간하여 진동만 해역에 나타내었으며(그림 5), 진동만의 서쪽 해역이 1.14~1.6 µg/L으로 나타났고 동쪽 해역이 0.587~1.1.3 µg/L으로 나타나 서쪽 해역이 상대적으로 높은 클로로필의 농도 분포를 보였다.

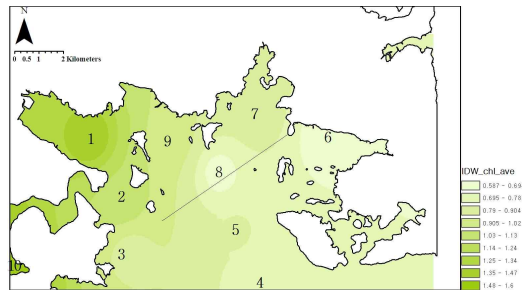


FIGURE 5. Annual mean chlorophyll a (µg/L) distribution in Jindong Bay

2) 진동만의 SFG value 분포

미더덕의 성장은 수온과 가용한 먹이원 등의 상호작용에 의하며 진동만의 SFG의 분포를 나타내기 위하여 GIS 상에서 "Raster Calculator tool (ArcGIS Spatial Analyst Tools)"을 사용하여 다음의 식을 이용하여 계산하였다.

$$SFG = F * IDW_Chl.a_ave - R - F - U$$

여기서 F는 섭식 에너지, R은 호흡 에너지, F는 분(糞) 에너지, U는 뇨(尿) 에너지이며 각 에너지 값은 $Y = aDW^b$ (Jiang *et al.*, 2008b)의 계산식으로 구하였다. DW는 건조육중량, a, b는 상수 값으로 나타내고 있으며 클로로필의 연평균으로 계산되어진 진동만 해역에 분포된 SFG의 값은 0.054~0.57로 계산 되어졌으며 그림 6은 이를 다시 해역에 "Reclassify tool

(ArcGIS Spatial Analyst Tools)"을 사용하여 재분류를 하여 나타내었다.

조사정점 1번과 10번 지역인 진동만 서쪽해역에 높은 SFG의 분포를 나타내고 있으며 이는 클로로필의 분포도와도 매우 유사한 분포를 보이고 있다.

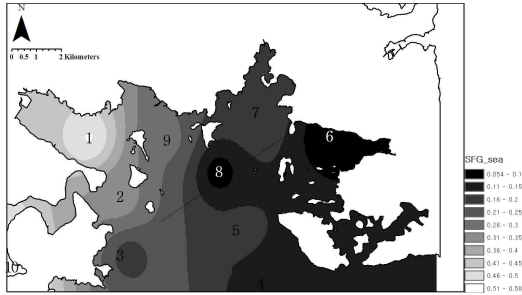


FIGURE 6. 'Reclassify' of SFG values scoring

3) 양식장의 SFG value 분포

진동만 미더덕 양식장내에 포함하고 있는 SFG 값의 분포를 알아보기 위해 GIS 상에서 "Extract by Mask tool(ArcGIS Spatial Analyst Tools)"을 사용하여 raster data 값으로 나타난 진동만의 해역과 feature data 값으로 나타난 진동만 미더덕 양식장을 중첩하였고, 양식장의 속성값 이되는 SFG 값을 추출해 내어 그림 7에 나타내었다. 이는 각 정점에 위치한 대표 어장들의 SFG 값을 나타내었다.

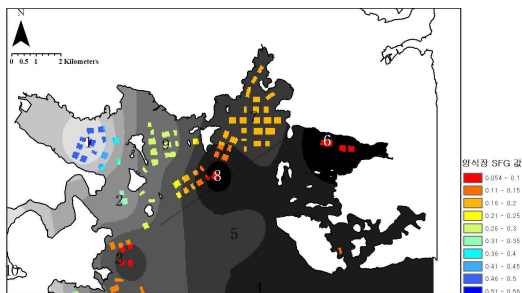


FIGURE 7. Extracted SFG for *Styela clava* farms in Jindong Bay

4) SFG value에 따른 진동만 미더덕양식장의 분포

진동만 내의 SFG 점수별로 대상해역의 면적 비율과 양식장 면적의 비율을 GIS 상에서 "Reclassify tool(ArcGIS Spatial Analyst Tools)"을 사용하여 픽셀의 count 값을 이용하여 Equal Interval(SFG interval 0.5) 10개의 구역으로 분할하여 그림 8에 나타내었다(cell size : default, 3.23677784338003E-04).

진동만 내의 SFG 점수별로 대상해역의 면적 분포와 미더덕 양식장의 면적 분포를 살펴보면 표 2와 같다. 진동만은 SFG 0.11~0.15J/day에 해당하는 해역이 33.0%, SFG 0.16~0.2 J/day에 해당하는 해역이 21.5%로 전체 해역의 54.5%에 달하는 35.4km²에 해당하였다. 또한 진동만 내의 미더덕 양식장은 SFG 0.16~0.2J/day에 해당하는 양식장이 31.8%로 가장 많은 비율이었으며, SFG 0.11~0.15J/day에 해당하는 양식장의 비율이 18.4%를 나타내었다. 이러한 결과로 미더덕 양식장 면적에 대하여 산술적으로 고려하였을때, 미더덕양식장의 전체 면적은 64.9km²에 해당하고 SFG가 높은 곳의 해역면적은 2.9km²이며 SFG가 낮은 양식장의 면적은 1.3km²로 나타나 어장의 재배치가 가능하다.

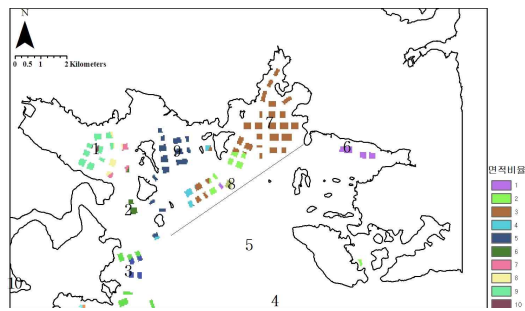


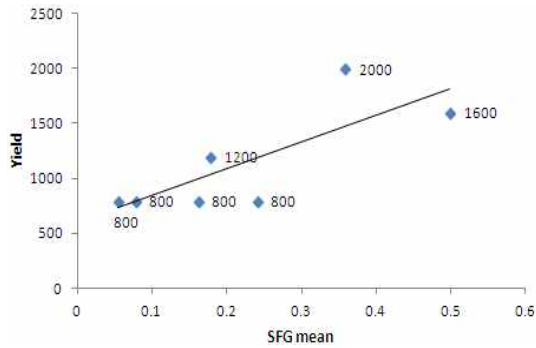
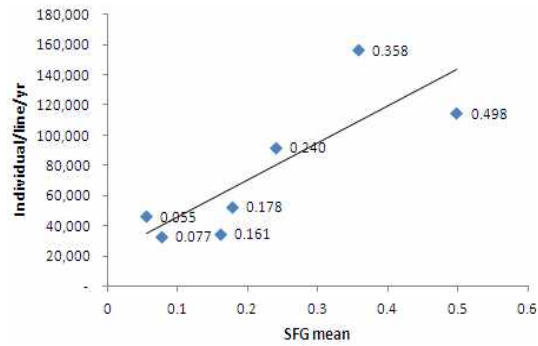
FIGURE 8. SFG distribution according to *Styela clava* farms

3. Score for Growth 검증

진동만 해역에서 SFG 값과 미더덕의 생산량의 상관관계를 파악하기 위해 조사정점에 위치

TABLE 2. Area distribution according to SFG values

SFG	Bay area		Farm area	
	(m ²)	%	(m ²)	%
0.054 - 0.1	3,576,250	5.5	276,961	13.9
0.11 - 0.15	21,435,657	33.0	365,284	18.4
0.16 - 0.2	13,951,329	21.5	633,767	31.8
0.21 - 0.25	8,279,050	12.7	75,829	3.8
0.26 - 0.3	5,111,604	7.9	272,316	13.7
0.31 - 0.35	3,628,261	5.6	48,159	2.4
0.36 - 0.4	2,109,551	3.2	39,811	2.0
0.41 - 0.45	3,900,796	6.0	89,532	4.5
0.46 - 0.5	2,133,476	3.3	178,508	9.0
0.51 - 0.58	839,451	1.3	10,274	0.5
Total	64,965,425	100.0	1,990,440	100.0

FIGURE 9. Correlations between SFG mean value and *Styela clava* production ($r=0.786$, $p<0.05$)FIGURE 10. Correlations between SFG meanvalue and *Styela clava* individual ($r=0.825$, $p<0.05$)TABLE 3. Yield of *S. clava* (2011~2012. 진동만 미더덕영어조합)

	St	SFG mean	area(ha)	1box/1line/yr	kg/line/yr	Ind. Total wt., g/ind	Ind., ea/line/yr
마산양식 제123호	St.1	0.498	4.5	40	1,600	14	114,981
마산양식 제113호	St.2	0.358	4.5	50	2,000	13	156,728
마산양식 제301호	St.3	0.178	3.0	30	1,200	23	53,203
창원양식 제148호	St.6	0.055	8.0	20	800	17	46,709
마산양식 제069호	St.7	0.161	4.5	20	800	23	35,369
창원시협어장	St.8	0.077	1.5	20	800	24	33,331
마산양식 제101호	St.9	0.240	4.5	20	800	9	92,511

한 미더덕 양식장의 면허번호 및 면적과 생산량 그리고 한 라인당 연간 생산량을 표 3에 나타내었다. SFG mean의 경우 zonal statistics를 사용하여 중첩시킨 어장의 평균값을 산출하였다.

각 대표어장의 SFG 평균값(J/day)과 연간 정점별 라인당 생산량(kg/line/yr)을 비교해 보면 그림 9, 진동만 좌측의 높은 SFG값과 생산량, 우측의 낮은 SFG값과 생산량이 좋은 상관성을 보여주었다. 상관계수 역시 $r=0.786$, $p<0.05$ 로 양호한 결과를 보여주었다. 각 대표어장 SFG 평균값(J/day)과 연간 라인당 개체수(ind./line/yr)를 살펴보면 그림 10에서 알 수 있듯이 상관성이 $r=0.825$, $p<0.05$ 로 양호한 결과를 보여 미더덕 양식장의 SFG 값은 미더덕의 생산량과 좋은 상관성을 가지는 것으로 판단된다.

결론

GIS 기반의 양식장 적지 선정은 양식생물의 생산량과 대상해역의 서식환경간의 상관성 및 복잡성을 다 기준 분석 기법을 통하여 해결할 수 있으며, 이는 주관적 판단이나 타당성이 없는 가정을 배제 할 수 있고 객관적인 방법에 의해 정책 의사결정에 효과적으로 사용 될 수가 있다.

미더덕의 SFG는 성장에 필요한 먹이에너지, 축적에너지, 생리대사를 통한 소모에너지 등을 정량화 하고 환경인자인 수온, 염분, 클로로필 등의 관계를 통하여 환경인자에 따른 미더덕 성장에 관한 지표라고 할 수 있다. 즉, SFG를 이용한 미더덕 양식장의 서식지적합도 산정은 환경과 생물간의 상호 관련성 해석의 해결책이 될 수 있다.

진동만 미더덕 양식장에 대하여 GIS 기반의 미더덕 SFG를 이용한 적지 선정을 하여본 결과 해역 전체의 SFG 0.054~0.57J/day의 범위를 보였으며, 대상해역과 중첩시킨 미더덕 양식장 역시 0.054~0.57J/day로 넓게 분포하고 있었다. 미더덕 양식장의 SFG 결과와 실제 생

산량과의 상관성은 $r=0.786$, $p<0.05$ 로 양호한 결과를 보였다. 현재 진동만 미더덕 양식장의 문제점인 생산량 감소를 해결하기 위한 방안으로 표 2에서 보는바와 같이 미더덕 양식장이 차지하고 있는 면적 1.9km²를 대상해역의 SFG 0.41J/day 이상인 6.9km²로 모두 재배치 할 것을 제안한다. 양식장간의 공간확보 및 먹이원 경쟁 저감을 위해서는 어장수용력 산정을 통한 입식밀도 조절이 다른 방안으로 제시될 수 있다.

GIS모델은 공간과 환경, 생물 간의 상호작용을 규명하고 서로간의 상충되고 복잡한 문제들을 해결할 수 있으며, 결과를 통하여 의사결정에 큰 도움을 주고 있다. GIS 기반 양식장의 서식지적합도 산정을 통한 어장관리 시스템 구축은 양식장의 적지선정뿐 아니라 양식장의 지속가능한 생산량을 확보할 수 있으며, 환경의 변동과 양식생물성장의 인과관계를 객관화 할 수 있는 체계를 도입함으로써, 지속적인 어장관리를 위한 의사결정방안을 도출할 수 있다.

KAGIS

참고문헌

- Abbott, D.P. and J.V. Johnson. 1972. The ascidians *Styela barnharti*, *S. plicata*, *S. clava*, and *S. montereyensis* in Californian waters. *Bulletin of the Southern California Academy of Sciences* 71:95-105.
- Buitrago, J., M. Rada, H. Hernández and E. Buitrago. 2005. A single-use site selection technique, using GIS, for aquaculture planning: choosing locations for mangrove oyster raft culture in Margarita Island, Venezuela. *Environmental Management* 35(5):544-556.
- Burrough, P.A. and R.A. McDonnell. 1998. *Principle of Geographical Information*

- Systems, Oxford University Press, 327pp.
- Clarke, C.L. and T.W. Therriault. 2007. Biological Synopsis of the Invasive Tunicate *Styela Clava*(Herdman 1881). Canadian Manuscript Report of Fisheries and Aquatic Sciences 2807. pp.1-23.
- Davis, M.H. and M.E. Davis. 2005. *Styela clava*(Tunicata: Ascidiacea) a new addition to the fauna of the Portuguese coast. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 85:403-404.
- Davis, M.H. and M.E. Davis. 2007. The distribution of *Styela clava*(Tunicata, Ascidiacea) in European waters. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 342:182-184.
- Elliot, J.M. and W. Davison. 1975. Energy equivalents of oxygen consumption in animal energetics. *Oecologia* 19(3):195-201.
- Gnaiger, E. 1983. Calculation of energetic and biochemical equivalents of respiratory oxygen consumption. In: E. Gnaiger and H. Forstner(eds.). *Polarographic Oxygen Sensors*. Appendix C, Springer-Verlag, Berlin, pp.337-345.
- Jiang, A.L., J. Lin and C.H. Wang. 2008. Physiological energetics of the ascidian *Styela clava* in relation to body size and temperature. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A: Molecular & Integrative Physiology* 149(2):129-136.
- Jo, M.H. 2011. Measuring the quantities of aquaculture farming facilities for seaweed, ear shell and fish using high resolution aerial images. *The Korean Association fo Geographic Information Studies* 14(2):147-161 (조명희. 2011. 고해상 항공영상을 활용한 김, 전복, 어류 양식장 시설량의 산출. *한국지리정보학회지* 14(2):147-161).
- Kang, C.K., E.J. Choy, W.C. Lee, N.J., Kim, H.J. Park and K.J. Choi. 2011. Physiological energetics and gross biochemical composition of the ascidian *Styela clava* cultured in suspension in a temperate bay of Korea. *Aquaculture* 319(1-2):168-177.
- MIFAFF(Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries). 2011. Food, Agriculture, Forestry and Fisheries Statistical Yearbook(11-1541000-000078-10) (농림수산식품부. 2011. 농림수산식품통계연보(11-1541000-000078-10)).
- Park, S.E., W.J. Choi, W.C. Lee, J.H. Koo, R.H. Jung and J.S. Park. 2004. Construction of the fishing grounds information management system using GIS. *The Korean Association fo Geographic Information Studies* 7(3):90-98 (박성은, 최우정, 이원찬, 구준호, 정래홍, 박종수. 2004. GIS를 이용한 양식어장 정보관리 시스템 구축. *한국지리정보학회지* 7(3):90-98).
- Perez, O.M., T.C. Telfer and L.G. Ross. 2005. Geographical information systems-based models for offshore floating marine fish cage aquaculture site selection in Tenerife, Canary Islands. *Aquaculture Research* 36:946-961.
- Stead, S.M., G. Burnell and P. Goulletquer. 2002. Aquaculture and its role in integrated coastal zone management. *Aquaculture International* 10(6):447-468.

U.S. Fish and Wildlife Service. 1980. Habitat as a basis for environmental assessment. Ecological Services Manual 101. Division of Ecological Services, USFWS, U.S. Dept. Int., Washington, D.C.

Yang, J.Y. Y.S. Suh, Y.K. Choi, K.K. Jung, H.D. Jeong and J.S. Kim. 2007. Development of real-time oceanographic information system using platforms of

aquaculture farms. The Korean Association fo Geographic Information Studies 10(2):46-56 (양준용, 서영상, 최용규, 정규귀, 정희동, 박종수. 2007. 양식장 플랫폼을 활용한 실시간 해양환경 정보제공 시스템 개발연구. 한국지리정보학회지 10(2):46-56).

<http://www.meis.go.kr/meis/rest/env/ALL/null/14/1> (국가해양환경정보통합시스템).

KAGIS