creative commons
COMMONS DEED

저작자표시-비영리-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

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

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

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

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

Disclaimer

dCollection

공학석사 학위논문

진동만 미더덕 양식장의 서식지적합도를 이용한 어장관리시스템 구축

2013 년 8 월

부 경 대 학 교 대 학 원

지리정보시스템공학과

박 정 현

공 학 석 사 학위논문

진동만 미더덕 양식장의 서식지적합도를 이용한 어장관리시스템 구축

지도교수 서 용 철

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함

2013 년 8월

부 경 대 학 교 대 학 원

지리정보 시스템공학과

박 정 현

박정현의 공학석사 학위논문을 인준함

2012 년 8 월

주 심 공학박사 윤 홍 주 ㊞

위 원 공학박사 이 양 원 ㊞

위 원 공학박사 서 용 철 ㊞

목 차

Ⅰ. 서론 ·····1

Ⅱ. 이론적 배경 ·····4

1. 우리나라 미더덕 양식 산업의 현황 ·····4

2. 수산업에서의 지리정보시스템의 이용·····8

가. 해양에서의 GIS 이용·····8

나. 양식장에서의 GIS 이용·····11

3. 미더덕의 HSI(Habitat Suitability Index)·····20

Ⅲ 재료 및 방법·····22

1. 대상해역·····22

2. 적지선정을 위한 GIS 기법 ·····24

3. 미더덕의 SFG(Scope For Growth) 산정 ·····26

Ⅳ. 결과 및 고찰·····28

1. 미더덕의 생리·생태 특성·····28

2. 진동만 해역의 특성·····32

3. 지리정보시스템을 이용한 진동만의 적지선정·····35

가. 클로로필·····35

나. 진동만의 SFG value 분포·····36

다. 양식장의 SFG value 분포·····38

라. SFG value에 따른 진동만 미더덕양식장의 분포·····40

4. Scope for Growth 검정·····43
Ⅴ. 결론 ····· 47

참고문헌 ····· 49

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

표 목 차

Table 2.1 Annual yield and price of *Styela calva* ·····7
Table 2.2 The list of reffereed journal that have published four or mor e GIS-Multicriteria Decision Analysis in 1990~2004.·····13
Table 2.3 Source layers, associated attributes and scores used in the GIS to evaluate salmonid cage culture potential ·····15
Table 2.4 Distribution of MCDA papers by methods and applications··19
Table 4.1 Annual mean water temperature, Chl.a and yield distribution in Jindong Bay ·····34
Table 4.2 Area distribution according to SFG values ·····42
Table 4.3 Yield of *Styela clava* (2011~2012) ·····44

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

그 림 목 차

Fig. 2.1 Diagram of yield and price of *Styela Clava* in Korea·····6
Fig. 2.2 The PSSF relationships between model variables and suitability for clam rearing ·····16
Fig. 2.3 A hierarchical modeling schme to indentify suitable site for Japaneses scallop aquaculture in Funka Bay, southwestern Hokkaido.·····17
Fig. 3.1 Distribution of *Styela clava* farms and sampling stations in Jindong Bay.(St. number, Licence nubmer)····· 23
Fig. 3.2 Flow-chart of site selection ·····25
Fig. 3.3 (a) ingestion (I), (b) feces production (F), © ammoniaexcretion (U), and (d) assimilation (A) and oxygen consumption (R). Vertical barsrepresent 95% confidence interval. Shaded areas Indicate negative (−) and positive (+) scope for growth (SFG)····· 27
Fig. 4.1 Change in survival rate by temperature. (left) low, (right) high (by NFRDI)·····28
Fig. 4.2 Change in Oxygen consumption rate (left) low, (right) high (by NFRDI)·····29
Fig. 4.3 Survival of *Styela clava* by decrease of DO(by NFRDI)·····30
Fig. 4.4 Survival of *Styela clava* by decrease of DO consumption and Excretion rate·····30
Fig. 4.5 Annual mean water temperature(℃) in Jindong Bay.·····32

Fig. 4.6 Comparison of Chl.a with yearly yiedl(2000~2010) ·····33
Fig. 4.7 Correlations between Chl.a values and *Styela clave* yield.(R=0.802,P<0.01)·····33
Fig. 4.8 Annual mean chlorophyll a (㎍/L) distribution in Jindong Bay ·····35
Fig. 4.9 SFG values scoring ·····37
Fig. 4.10 'Reclassify' of SFG values scoring·····37
Fig. 4.11 Overlay of *Styela clava* farm in Jindong Bay.·····38
Fig. 4.12 Extracted SFG for *Styela clava* farms in Jindong Bay.·····39
Fig. 4.13 SFG distributioni in Jindong Bay.·····41
Fig. 4.14 SFG distribution according to *Styela clava* farms.·····41
Fig. 4.15 Correlations between SFG mean value and *Styela clava* production·····45
Fig. 4.16 Correlations between SFG mean value and *Styela clava* individual ·····46

Construction of Fishery Management System Using Habitat Suitability Index of *Styela clava* in Jindong Bay.

Jung Hyun Park

Department of Spatial Information Engineering, The Graduate School,
Pukyoung National University

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

Abstract

The aquaculture of *Styela clava* is only conducted in Korea, especially Jindong Bay. *Styela clava* was regarded as a troublesome competitor for grown in aquaculture farm. Suspended culture of *Styela clava* was initiated in 2001 and the annual production reached 15,084 M/T, but declined to 1,412 M/T in 2005. Annual production was increased slightly to 2,484 M/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 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 0.054~0.57 J/day and *Styela clava* farm's SFG value ranges 0.054~0.57 J/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.

Ⅰ. 서 론

지리정보시스템(Geographic Information System, 이하 GIS)은 실세계의 다양한 형상들에 대한 공간자료를 수집, 생성, 갱신, 검색, 저장, 변환, 분석, 표현을 위해 필요한 다양한 도구들이 모여진 도구상자이다(Burrough, 1986; Parker, 1988; Clarke, 1995). GIS는 다양한 데이터 통합의 어려운 문제들의 해결방안을 제공하나 해양환경에서는 특징적인 문제점들을 가지고 있다 (Lockwood and Li 1995; Wright and Goodchild 1997). 해양지리정보시스템 (Marine Geographic Information System, 이하 MGIS)은 GIS를 해역으로의 적용, 활용에는 한계가 있어왔다. GIS는 많은 이점과 유용한 추론들과 음향 조사로 부터 특별히 밀집한 데이터들의 생산을 만들어낸다. 얕은 수질조사의 멀티빔 수중 음파탐지기(sonar)는 엄청난 양의 데이터를 쉽게 생산한다. 엄청나고 빠른 스피드의 유동은 데이터의 프로세싱이나 관리, 품질 그리고 시각화 등에서 많은 문제들이 나타난다(Myer et al., 1997). GIS 데이터베이스는 2차원적 배열로 연결되어 있으며 이는 지도를 나타내기에 적합하다 (Bonham-Carter 1996). 기본적인 정보는 2차원 데이터로 구축되지만, 대부분 해양환경은 수주의 정보를 그려내는 것이 요구된다. 수온, 염분, 음속(sound velocity) 등의 인자들은 3차원 공간의 데이터로 나타낼 때 활용도가 크다.

국내에서 해안선과 연안역의 이용도는 거주지, 수산업활동, 부두, 도로, 공단 등 인구밀도가 높고, 활용의 집중도가 높다. 특히 연안해역의 경우 지형이나 정보에 관한 활용 수요는 높은 반면 해역에 활용되고 있는 사례는 찾아보기 힘들다. 또한 시대적 환경변화에 대응하고 지속 가능한 어업을 위한 어업정보를 효율적이고 체계적으로 수집, 관리, 해석해야 하는 수산·해양 정보화

시스템의 중요성이 증대되고 있다.

특히, 연안어장은 환경재해의 영향을 최소화 하기 위해 지형적으로 보호되는 내만해역에 주로 자리 잡고 있는데, 이 때문에 해수의 흐름이 원활하지 못해 생물의 사체, 배설물 등이 쌓이게 되고, 양식기간이 길어 질 경우 어장의 노후화가 진행되어 생산성이 떨어지게 된다. 이러한 현상의 극복을 위해 해역에서는 MGIS 와 HSI의 조합된 개념이 도입되었다.

양식장 적지선정을 위한 여러 가지 활용방안 중의 하나로 미 어류 및 야생동물 관리국 (U.S. Fish and Wildlife Service, 1980, 1981)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 개발되어졌는데, 종의 성장이나 생존의 항목에서 서식 적합도를 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.

미더덕은 전 세계적으로 우리나라에서만 양식이 되고 있고 국내에서도 경남 진해만 내로 국한되어 양식장이 개발되고 이용되며, 1990년대까지만 해도 각종 수산양식장의 시설물 또는 참굴 등의 수하 양식줄에 부착하여 서식경쟁을 유발하여 양식피해를 주는 해적생물로 취급되었다. 미더덕의 생산도 주로 일부 양식시설물에 자연부착된 것을 양식 부산물 형태로 채취하여 판매하였는데, 1990년 후반부터 지속적인 수요량 증대로 인하여 양식 필요성이 부각되었다. 2001년 15,084 M/T의 최대생산량 이후로 생산량이 감소하기 시

작하여 2006년에는 1,519 M/T의 생산량을 기록하였으며 2012년에는 2,484 M/T로 다소 증가하였으나 예년 수준의 생산량을 회복하지 못하는 추세이다 (MIFAFF, 2012).

이는 앞서 말한 환경악화에 따른 어장 노화와 관련이 있을 뿐만 아니라, 제한된 공간에서의 밀식에 의한 먹이 생물의 제한과도 관련이 있다. 이에 관한 환경 조사 및 환경정보와 양식생물의 성장자료는 다양하게 생산되고 있다. 대부분이 해역의 지형, 연안역의 개발 등에 초점이 맞춰있다. 그러나 양자에 관한 수많은 정보를 조합하고 분석할 수 있는 체계나 도구는 찾기 어렵고, 환경의 질과 생물 생산성과의 상관관계를 설명 할 수 있는 시스템구축에 대한 사례는 없었다.

양식장과 GIS의 활용사례는 굴 양식장에 대한 GIS 기반의 적지선정과 양식용량산정(조윤식, 2010), 스코틀랜드의 연어 가두리 양식장의 적지선정 (Ross *et al.*, 1993), 아프리카 육상 양식장의 어류 생산량 산정과 적지선정 (Aguilar-Manjarrez *et al.*, 1998), 카나리아 제도, Tenerife 섬 어류 가두리 양식장의 적지선정을 위하여 GIS 활용(Perez *et al.*, 2005), 베네주엘라, Margarita 섬 굴 양식장 적지선정(Buitrago *et al.*, 2005), 지속가능한 가두리 양식장 개발 시스템을 만들기 위해 GIS 활용(Halide *et al.*, 2009) 등이 있다. 그러나 해역의 환경정보, 생물 상관성과의 연계에 관한 연구는 찾아보기 힘들다.

따라서 본 연구에서는 진동만의 주 양식생물인 미더덕의 서식지적합도를 산정하여 지속적인 생산을 위한 GIS 기반의 어장관리시스템을 구축 하고자 하였다.

Ⅱ. 이론적 배경

1. 우리나라 미더덕 양식 산업의 현황

미더덕은 미더덕과(Styelidae) 척색동물문의 미색동물아문, 해초강, 측성해초목에 해당하는 해양생물이며 가늘고 긴 몸에 자루의 끝 부분 바위에 붙어 있다. 전체 길이는 5~10 cm로서 황갈색을 띠며 외피는 섬유질과 같은 물질로 되어 있으며 딱딱하다. 바닷물이 들어오고 나가는 구멍이 몸에 있어, 영어로는 멍게(우렁쉥이)와 같이 sea squirt로 불린다(Kim et al., 2005).

우리나라에 분포하고 있는 미더덕의 종류는 6종으로 대표적으로 미더덕(*Styela clava*)이 잘 알려져 있고, 두줄미더덕(*Styela. partita*), 긴자루미더덕(*Styela. longipedata*), 세줄미더덕, 상칭미더덕 그리고 오만둥이로 잘 알려진 주름미더덕(*Styela. plicata*)이 있다. 산업적인 양식은 주로 미더덕과 주름미더덕을 대상으로 하고 있다. 이러한 미더덕은 부착성 피낭류로 오호츠크해에서 상하이 남쪽까지 서식하며 주로 일본, 한국, 중국, 시베리아까지 북동 태평양지역에 국한되어 서식하였지만(Abbott and Johnson, 1972; Clarke and Therriault, 2007) 지금은 전 세계적으로 온대 수역에 침범하여 서식하고 있을 뿐만 아니라, 1953년 유럽에서 발견된 이후로 미더덕은 북해연안에서 덴마크 그리고 대서양 연안에서 포르투갈까지 퍼지고 있고(Davis et al., 2007) 남반구의 뉴질랜드에까지도 퍼져 있으며 각종 패류양식장의 위협이 되고 있다(Davis et al., 2009).

미더덕에 대한 연구는 지방성분, 유리아미노산, 스테롤 함량(이응호 등 1975; 이응호 등, 1985; 조용기, 1978) 등의 성분분석에 관한 연구들이 있고, 기능성 성분으로 껍질로부터 glycosaminoglycan을 추출한(안삼환, 2003) 연

구가 있다. 또한 국외의 연구로는 번식생태(kelly, 1974; davidson *et al*., 2005), 서식생태(Lambert and Lambert, 2003; Davis and Davis, 2005) 등의 연구들이 있는데 대부분의 연구결과는 해적생물로서 다른 패류양식의 피해를 줄이기 위한 연구들이며 최근들어 탄소 순환 특성을 이용한 미더덕양식장의 연구(박지혜 등, 2012)와 미더덕의 생리학적 에너지와 생화학구성(Jiang *et al*., 2008; Kang *et al*., 2011)의 연구가 있다.

전 세계적으로 우리나라에서만 양식이 되고 있고 국내에서도 경남 진해만 내로 국한되어 양식장이 개발되고 이용되며, 1990년대까지만 해도 각종 수산양식장의 시설물 또는 참굴 등의 수하 양식줄에 부착하여 서식경쟁을 유발하여 양식피해를 주는 해적생물로 취급되었다. 미더덕의 생산도 주로 일부 양식시설물에 자연부착된 것을 양식 부산물 형태로 채취하여 판매하였는데, 1990년 후반부터 지속적인 수요량 증대로 인하여 양식 필요성이 부각되었다.

우리나라 미더덕 양식의 연도별 생산량 추이를 살펴보면 2001년 15,084 M/T의 최대를 보인 이후 생산량이 급속히 감소하기 시작하여 2006년에 1,519 M/T의 생산량을 보였고, 최근 2012년에 2,484 M/T으로 생산량이 늘어났지만 아직까지 예년의 생산량을 회복하지 못하고 있는 실정이다(Fig. 2.1). 이에 따라 양식어업권과 양식면적도 점차 감소하여 2003년 556건에 8,03 4ha 이었으나 2010년에는 149건에 578 ha로 감소하였다(Table 2.1).

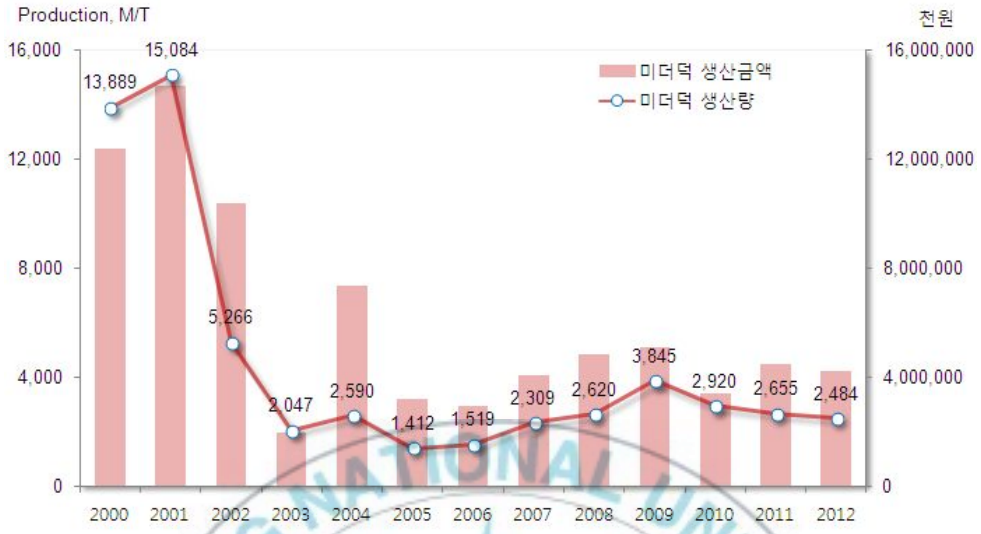

Fig. 2.1 Diagram of yield and price of *Styela Clava* in Korea

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

Table 2.1 Annual yield and price of *Styela. Clava*

year	Yield (M/T)	price	Licence (number)	area (ha)
2000	13,889	12,385,300,000		
2001	15,084	14,677,089,000		
2002	5,266	10,376,139,000		
2003	2,047	1,946,514,000	556	8,034
2004	2,590	7,352,031,000	165	649
2005	1,412	3,200,709,000	171	669
2006	1,519	2,908,851,000	161	623
2007	2,309	4,041,397,000	159	619
2008	2,620	4,818,276,000	154	608
2009	3,845	5,093,141,000	153	593
2010	2,920	3,393,607,000	149	578
2011	2,655	4,467,105,000		
2012	2,484	4,203,504,000		

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

2. 수산업에서의 지리정보시스템의 이용

가. 해양에서의 GIS 이용

지리정보시스템(Geographical information system, 이하 GIS)은 의사결정 지원을 위해 공간정보와 속성정보를 연결하여 처리하는 정보시스템이며 지리정보를 효율적으로 수집, 저장, 갱신, 처리, 분석, 출력하기 위해 사용되는 하드웨어, 소프트웨어, 지리자료, 인적자원의 통합적인 시스템이다 (Burrough, 1986).

지도는 중요지형, 시설물 등에 대한 정보가 기록되어져 각각 해당분야에 필요한 정보를 제공하는 자료원이다. 그러나 지도는 수시로 변하는 내용들을 수록하지 못함으로서 이용에 한계에 이르렀다. 이에 컴퓨터를 이용한 자료를 수집, 처리, 분석함으로써 효과적인 이용방안을 제시하게 되었으며, 방대하고 다양한 자료를 효율적으로 처리할 수 있는 종합적 공간처리 기술인 지리정보시스템이 발달하기 시작했다. GIS는 자연 및 사회·경제적 정보를 지리적 공간 위치에 맞추어 입력, 저장해서 여러 가지 목적에 맞게 활용, 분석하는 기술로서 각종 데이터의 수집과 처리작업에 대해 경제성과 능률성을 제공해 주며 컴퓨터의 이용으로 데이터 저장 및 공간 정보 이용에 획기적인 계기를 마련해 주었다. GIS는 실제 세계의 모델을 의미하며, 자료는 상호 관련되어 접근, 변화, 관리되기 때문에 환경변화의 분석, 경향분석 또는 의사결정과 결과의 예측 등을 실험할 수 있는 모델이다.

수치지형모델(DTM: digital terrain model)은 (x, y, z) 좌표를 갖고 있는 수많은 점들에 의해 형성된 연속적 표면을 통계적으로 표현하는 것인데, 수치지형데이터를 구축하는 방법과 과정을 나타내는 수치지형모델은 수치표고

모델(DEM: digital elevation model) 또는 수치지형표고모델(DTED: digital terrain elevation model) 이라고 불리우며 이들 중 수치표고모델이 GIS에서 가장 보편적으로 사용되고 있다. 흔히 해수면으로부터의 높이를 측정한다.

그러나 해양에서의 기본공간정보 구축은 수치해도 해안선, 수치지도 수심 데이터, 수치해도 수심선을 위성영상과 중첩하여 생성해낸다.

해양에서 GIS는 해안선, 해수면 온도, 수심측량술, 연안지형학, 해양재해, 선박용 GIS, GPS 시스템, 지진, 해양자원, 연안 보호지역에 대한 생태정보, 연안관리, 해양산업, 환경 및 연안자원관리, 연안역의 위험요소, 선박운항관제시스템, 해양문화 및 관광 그리고 해양기상에 까지 다양한 분야에 이르고 있고, GIS를 통한 해양정보관리는 해양정보수집 및 구축을 위한 자료체계의 관리를 통하여 기후변화와 어업환경 등 객관적 자료에 의한 신속한 의사결정을 가능하게 한다(정종철, 2005).

일반적인 GIS 개념과 해양이라는 커뮤니티 특성을 고려하여 해양 GIS를 정의하면 “해양 및 연안의 공간의사결정을 지원하기 위한 공간참조 정보를 수집, 생산, 관리, 유통하는데 필요한 하드웨어, 소프트웨어, 자료, 조직 등이 유기적으로 결합되어 나타나는 총체적 시스템 또는 서비스 체계”를 말한다(국립해양조사원, 2002). 해양지리정보체계 구축 사업은 해양에 있어서 공간정보화의 기반이 되는 토대를 마련하는데 있다. 국가 GIS 사업중에서 해양수산분야에 필요로 하는 공간정보기반을 구축하는 것이 해양 GIS 사업이며, 성공적인 해양 GIS 구축 이라는 추상적인 개념을 구체적으로 실행할 수 있도록 실체화한 것이 해양공간정보기반(MGII : Marine Geo-spatial Information Infrastructure)이다. 이에 대한 개념적 정의를 내려보면 “해양지리정보의 효과적이고 지속적인 이용과 활용을 통한 부가가치창출을 지원하는 표준, 기술, 유통, 조직의 상호 유기적 결합을 통한 서비스 기반”으로 내릴 수 있다(국립해양조사원, 2002).

또한 이제는 환경을 이해하고 보전하는데 있어서 중요한 도구로 인식되고 있고 특히 환경개발과 보전을 동시에 수행할 수 있는 계획을 수립하는데 도움을 주는 것으로 인지되고 있다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

나. 양식장에서의 GIS 활용

전 세계적으로 급격히 발달하는 수산양식은 국제적으로 기술적인 지원과 국가적인 단체들의 많은 관심을 자극시켰다. 그러나 수산업은 여전히 유아기며 각 국가마다 양식장의 지속가능성에 염려를 하고 있다. 각 나라 양식산업의 발달을 위한 촉진과 감시의 계획 활동은 고유의 공간구성요소를 가지고 있다. 왜냐하면 지역과 지역사이의 서로 다른 생물리학과 사회경제적인 성격 때문이다. 생물물리학 특성은 수질(수온, 용존산소, pH, 염분, 탁도, 오염도), 수량(수체, 계절적 프로파일), 퇴적물 유형, 기후 등이 있다. 사회경제적인 특성은 양식장 개발을 포함하는 행정상 규제, 자원경쟁사용, 시장상태(수산물생산 요구와 시장접근성), 지지기반 그리고 전문가 기술로서 간주된다. 공간정보는 양식장 계획의 일환으로 생물물리학과 사회경제적인 특성들을 평가하는 의사결정자들을 위해 필요하고 GIS는 잘 제공될 수가 있다(Kapetsky and Travaglia, 1995).

연안역의 황폐화로 인한 수산자원의 감소는 환경과의 조화를 고려하지 않은 무분별한 개발과 비과학적인 관리가 그 주된 원인이다. 연안 양식어장을 환경 친화적으로 지속가능하게 이용, 개발하기 위해서는 국가정책의 의사결정을 지원할 수 있는 과학적이고 체계적인 관리기법이 절실히 요구되고 있다. 지리정보시스템은 자원관리 활동의 통합 도구가 되며 공간결정을 위한 지원도구로서 효과적인 역할을 수행하고 있다(Nath *et al*., 2000). 또한 공간결정문제는 실행가능한 대안과 복잡성 그리고 출동과 불충분성을 포함하고 있고, 대안은 종종 몇몇(결정자, 관리자, 주주, 관심그룹)에 의해 평가된다. 따라서 공간결정문제는 GIS 기반의 다 기준 결정분석을 필요로 하게 되었다 (Malczewski, 2006).

GIS가 양식 산업의 공간결정에 많은 관심에도 불구하고 이러한 지원에 대한 GIS 도입 및 활용은 다른 분야 보다 수준이 낮다. 공간결정에 관한 양식산업에 대한 GIS의 사용은 GIS 시스템에 관한 의사결정자들의 이해도 부족,

GIS 이론과 관련 활용법에 관한 이해도 부족, GIS와의 연결을 위한 관리 지원의 부적절성, GIS 분석자, 관련 전문가, 최종사용자 사이의 상호작용의 부재에 의하여 방해를 받는다(Kapetaky and Travaglia, 1995; Nath *et al*., 2000). 또한 양식 산업에 관한 공간결정은 대상종에 대한 적지 선정, 환경부하 산정, 자원 사용과의 출동, 양식장의 잠재성 등 분석 방법의 복잡성에 따라 다르며 데이터의 획득 및 조작, 이용에 따라 GIS의 활용범위는 아주 넓다.

다음은 GIS 기반 다기준 의사결정에 관한 1990~2004년까지 논문들이 출판된 저널 목록이다(Table 2.2).

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

Table 2.2. The list of refereed journal that have published four or more articles on GIS-Multicriteria Decision Analysis(GIS-MCDA) in 1990~2004(from Malczewski, 2006)

Rank	Journal	# of articles	%
1	International Journal of GIS	21	6.6
2	Landscape and Urban Planning	14	4.4
3	Environment and Planning A/B	12	3.8
4	*Journal of Geographic Information and Decision Analysis*	11	3.4
5~6	*Computers, Environment and Urban Systems*	10	3.1
5~6	*Journal of Environment Management*	10	3.1
7~8	*Environmental Modelling and Software*	7	2.2
7~8	*Environmental Management*	7	2.2
9	*Transportation Research Record*	6	1.9
10~16	*Agricultural Systems*	5	1.6
10~16	*Annals of the Association of American Geographers*	5	1.6
10~16	*Ecological Modelling*	5	1.6
10~16	*Forest Ecology and Management*	5	1.6
10~16	*Journal of Environmental Engineering*	5	1.6
10~16	*Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*	5	1.6
10~16	*Transportation Research: Part A/B/C/D*	5	1.6
17~20	*Conservation Biology*	4	1.3
17~20	*Decision Support Systems*	4	1.3
17~20	*European Journal of Operational Research*	4	1.3
17~20	*Transactions in GIS*	4	1.3
	Other	170	53.3
	Total	319	100

GIS 기반 양식장 공간결정에 관한 예를 살펴보면 스코틀랜드의 Camas Bruaich Ruaidhe Bay에 있는 연어 가두리 양식장의 적지선정을 위한 GIS의 활용(Ross *et al.*, 1993), 아프리카 육상 양식장의 어류 생산량 산정과 적지 선정을 위한 GIS 활용(Aguilar-Manjarrez and Nath, 1998), 카나리아 제도의 Tenerife 섬의 가두리 양식장의 적지 선정을 위한 GIS(Perez *et al.*, 2005), 베네주엘라 Margarita 섬의 굴 양식장 적지 선정(Buitrgo *et al.*, 2005), 뉴질랜드 Plenty Bay 의 홍합 양식장의 적지 선정(Longdill *et al.*, 2008), 대합조개의 적지 선정과 예상 생산량 산정을 위한 GIS 기반 HS(Habitat Suitability) 모델(Vincenzi *et al.*, 2006) 등의 연구들이 있었으며 이들은 양식장의 적지 선정을 위해 GIS 기반의 MCDA(Multi-Creteria Decision Analysis)기법으로 다양한 기준들을 통합하였으며 기준들에 의한 가중치를 두어 간단한 중첩을 통해 모델의 결과를 산출하였다. 또한 다음은 양식장 적지선정에 관련하여 GIS 모델을 이용한 사례들이다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

스코틀랜드의 Cmas Bruaich Ruaidhe Bay의 연어 가두리 양식장의 적지 선정을 위하여 Table 2.?에 가중치를 나타내었으며, 4개의 레이어 속성에 가점시 6% 가 양식장에 적합한 것으로 나타났다.(Table 2.3)

Table 2.3 Processing sequence and scoring wywtem for layers in the site selection GIS (Ross *et al.*, 1993)

Source layer and resultant layer	Process step	Scoring criteria	Scores
BATHY BATHGRAD	Select depths over 6 m	Less than 6m 6m and above	0 1
WAVEDIST SAFEWAVE	Cross with BATHGRAD and score	Wave height < 60cm Wave height > 60cm	1 2
CURRINT BAWVCURR	Cross with SAFEWAVE and score	Waves < 60 cm Currents < 50 cm s^{-1} Currents > 50 cm s^{-1} Waves > 60 cm Currents < 50 cm s^{-1} Currents > 50 cm s^{-1}	 1 2 3 4
SALINT DO TEMO	Cross with BAWVCURR and Cross with BAWVCCURR and scroe	Salinity variation 8 ppt > 8 ppt DO < 6 mg l^{-1} DO < 6 mg l^{-1} 5 <℃ 5-10 10-15 > 15	 1 0 0 1 0 1 2 1
FINAL SUITABLE	Cover SITE with FINAL to show end result		

Vincenzi *et al.*, (2006)는 지중해 연안 대합조개의 적지 선정과 예상생산량 산정을 위해 GIS 기반 HS 모델 (Habitat Suitability Model)을 사용하였다. 대합조개 성장에 필요한 조건들에 가중기하평균을 통해 HS를 산출하였고, 이에 정의된 서식지 적합도는 현장 관측과 전문가를 통해 예상 생산량의 관계를 나타냈었다.(Fig. 2.2)

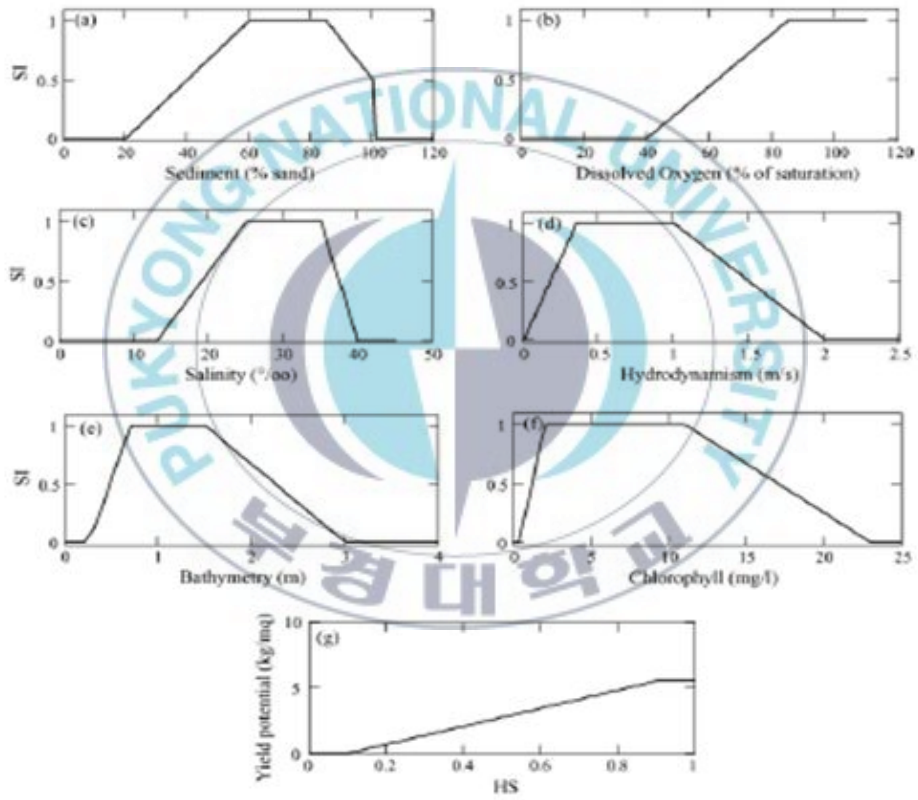

FIg. 2.2 The PSSF relationships between model variables and suitability for clam rearing. (Vincenzi *et al.*, 2006)

Radiarta *et al.*, (2008)는 홋카이도 섬의 Funka 만의 가리비양식장의 적지 선정을 위해 GIS를 활용하였으며, 11가지 다양한 조건들을 세 가지 서브모델로 분류 하였으며, 상대비교로 가중치 결정과, 선형가중치조합법에 의한 다기준평가로 결과를 조합하였다. 그 결과 수심 90m 이상의 지역을 제외한 1038 km^2 중 36%의 해역이 적합한 것으로 나타났다.(Fig. 2.3)

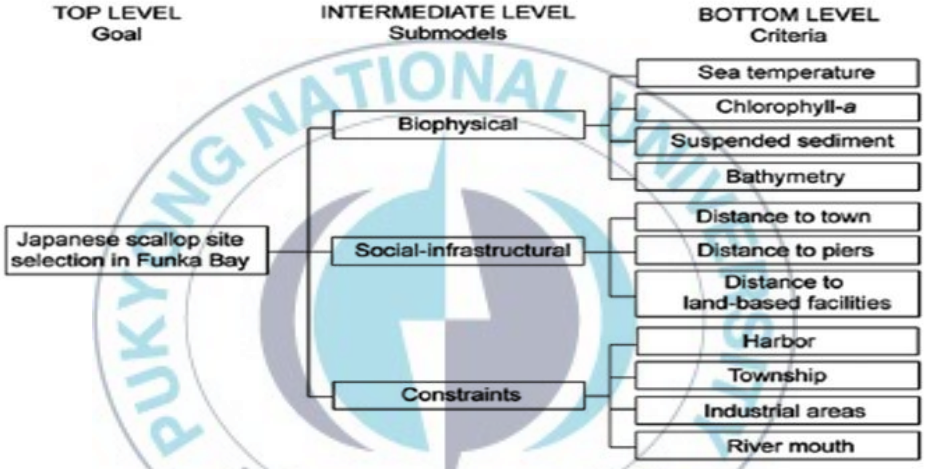

Fig. 2.3 A hierarchical modeling schme to identify suitable site for Japaneses scallop aquaculture in Funka Bay, southwestern Hokkaido. (Radiarta *et al.*, 2008)

또한 다음은 최근 10년간 환경분야에 관해 MCDA 기법을 활용한 표이다.(Table 2.4) 다기준 의사결정기법들이 다양한 분야에서 사용되고 있음을 알 수가 있고 특히나 공간GIS 분야에서 높은 비율을 볼 수가 있다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

Table 2.4 Distribution of MCDA papers by methods and applications.(A, Waste management; B, Water quality/management; C, Air Quality/emissions; D, Energy; E, Natural resources; F, Stakeholders; G, Strategy; H, Sustainable Manufacturing/engineering; I, Remediation/restoration; J, Spatial/GIS; K, Environmental impact assessment (Huang et al., 2011)

		AHP/ ANP	MAUT /MAVT	PROME THEE	ELECTRE	Topsis	Multiple	Review	Other	Total
Enviromental problem	A	15	5	4	0	0	1	1	4	30
	B	4	7	1	2	0	4	0	3	21
	C	0	1	6	0	0	1	1	1	10
	D	14	3	4	3	1	2	2	4	33
	E	7	1	0	0	0	1	3	2	14
Intervention type	F	16	5	1	2	0	3	6	0	33
	G	22	12	6	3	2	3	5	3	56
	H	18	2	0	1	2	2	1	2	28
	I	4	5	1	2	0	1	1	1	15
Complementary tools	J	24	5	0	0	0	0	1	0	30
	K	26	5	2	1	0	2	3	3	42
Total		150	51	25	14	5	20	24	23	312

AHP : Analytic Hierarchy Process
ANP : Analytic Network Process
MAUT : Multi-Attribute Utility Theory
PROMETHEE : Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation
ELECTRE : ELimination and Choice Expressing Reality
TOPSIS : Technique for Order Preference by Similarity

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

3. 미더덕의 HSI(Habitat Suitability Index)

서식지 적합 지수 (Habitat Suitability Index, 이하 HSI)는 한 종이 이용 가능한 서식지의 정량적, 정성적 특성을 규명하기 위해, 환경과의 상호작용에 관한 연구를 통해 미 어류 및 야생동물 관리국 (U.S. Fish and Wildlife Service, 1980, 1981)에 의해 개발되어졌다. HSI는 종의 성장이나 생존의 항목에서 서식 적합도를 등급화 한 것이다. 성장과 생존의 특성이 고려된 서식지의 특성을 이용하여 종의 발생과 풍부성을 예측하기 위해 종종 사용되었다(Pereira and Itami, 1991; Kliskey *et al*., 1999; Store and Kangas, 2001; Gibson *et al*., 2004). 종의 성장이나 생존의 항목에서 적합도를 등급화 하여 1.0은 최적지, 0.0은 부적합지를 나타낸다. 관리자는 양식어장 적지 선정에 있어, 주관적 판단이나 타당성이 결여된 가정을 배제하고 객관적인 방법을 사용하는 것이 중요하기 때문에 GIS를 이용한 HSI에 의한 적지선정 기법은 정책 의사결정에 효과적인 도구가 되고 있다(Gibson *et al*., 2004; Vincenzi *et al*., 2006).

그러나 서식지 각각의 환경인자(Temp, Chl.a, SS, hydro, Sal, DO, pH등)를 'score'로 변환하여 생물성장(growth) 및 생존(survival)에 적합한 공간을 추출해 내는 개념인데 이때 사용되어지는 'score'는 생물이 성장하는 환경에 초점을 두고 있어서 생물의 생리·생태적인 특성이 반영되기가 어렵고 설정과정의 과학적, 논리적 방법성과는 달리 지수선정이나 'score'의 모호성과 불명확성을 내포하여 문제점으로 지적되어 왔다. 그리고 양식어장의 적합지를 선정·판정하기 위해서는 무엇보다도 생물특성위주의 변별력이 필요하며, 생물의 성장과 생존에는 먹이의 공간적인 구배, 먹이에 대한 생물·생리대사 과정, 생물의 생리대사에 관여하는 환경 인자에 중점을 둔다.

따라서, 양식생물의 생산량을 초점으로 서식지의 적합성을 평가할 수 있는 양식생물의 생리인자를 정량화 및 수식화하고 에너지수지 분석을 통해 SFG(Scope for Growth, 이하 SFG)를 산정한다.

SFG는 양식생물의 생리 생태학적 연구 접근 방법이다. 미더덕을 대상으로 여수율, 섭이율, 호흡률, 배설률 등의 생리인자를 정량화 하고, 양식생물의 생리인자에 영향을 미치는 수온, 염분, 먹이량 등 제 인자들 중 염분과 먹이량 등의 요소들의 연간 변동은 비교적 크지 않아 생리에너지대사수지 변동에 큰 영향을 미치지 않고, 수온이 가장 큰 생리에너지대사 지배요인으로 알려져 있어, 수온의 변동에 따른 여수율, 섭이율, 호흡률, 배설률 등을 수식화하고 성장에 필요한 먹이에너지, 체내축적에너지, 생리대사를 통한 소모에너지 등을 정량화하여 에너지수지 분석을 통해 SFG를 산정한다(Kang *et al.*, 2011).

이는 어장환경과 양식생물 생산과의 상관성을 해석하기 위한 연구이며, SFG를 산출하면 어장의 최대 생산력에 기준한 지속가능한 어장환경용량을 과학적으로 도출해 낼 수가 있다. 또한 이와 같은 정보로부터 지속적인 양식생산 유지와 양식장 환경관리 방안을 마련하기 위한 과학적이고 구체적인 근거를 제시할 수가 있다.

Ⅲ 재료 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(Fig. 3.1). 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 199 ha를 차지하고 있다.

진동만의 계절별 해양환경특성을 파악하기 위하여 2011년 4월, 7월, 11월과 2012년 1월, 4월 10개 정점에 대하여 수질 및 퇴적물 조사를 수행하였다. 다기능 수질측정기(YSI-6000)를 이용하여 수온, 염분, 용존산소(DO), 수소이온농도(pH)등을 현장에서 관측하였고, CTD(Sea bird 19 plus)를 이용하여 수온과 염분의 수직 구조를 관측하였으며, 각 수질분석항목은 해양환경공정시험법(국토해양부, 2010)에 준하여 분석하였다.

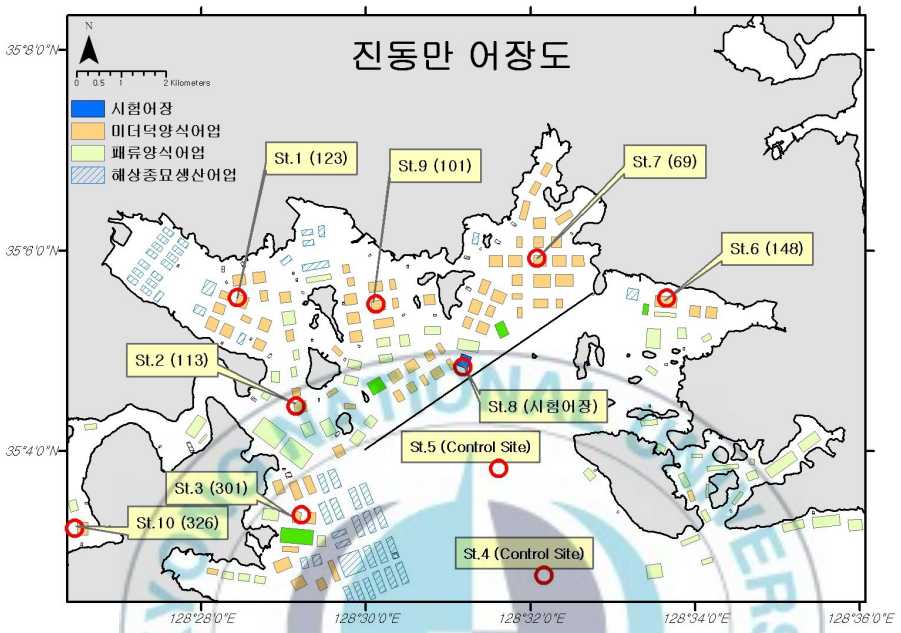

Fig. 3.1 Distribution of *Styela clava* farms and sampling stations in Jindong Bay.(St. number, Licence nubmer)

2. 적지선정을 위한 GIS 기법

진동만 해역의 GIS Base map 은 포인트, 라인, 폴리곤으로 구성되었다. 필드 데이터 수집은 조사관측에 의한 실측값으로 데이터베이스를 구축했으며, 미더덕의 먹이원에 직접적인 형향을 주는 Chl.a value를 계절별 평균화 하였다. 평균 Chl.a value는 진동만 해역에 IDW(Inverse Distance Weighted)법으로 보간하였으며, SI(suitability Index)를 나타내기 위해 vector data를 Rasterize 하여 진동만 해역에 분포 하였다. 진동만 해역에 나타난 raster 값은 10단계의 등간격(equal interval)으로 나누어 재분류(reclassify)하였다. 다음은 각 어장의 면적내에 분포하는 chl.a value를 나타내기 위해서 각 어장의 feature에 SFG 값의 분포를 나타내었으며, 어장에 분포된 SFG의 값을 이용하여 최종적인 서식지적합도(habitat suitability index)를 산정할 수 있으며, 이러한 결과는 양식장의 적지선정(site selection)에 활용될 수 있다.(Fig. 3.2)

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

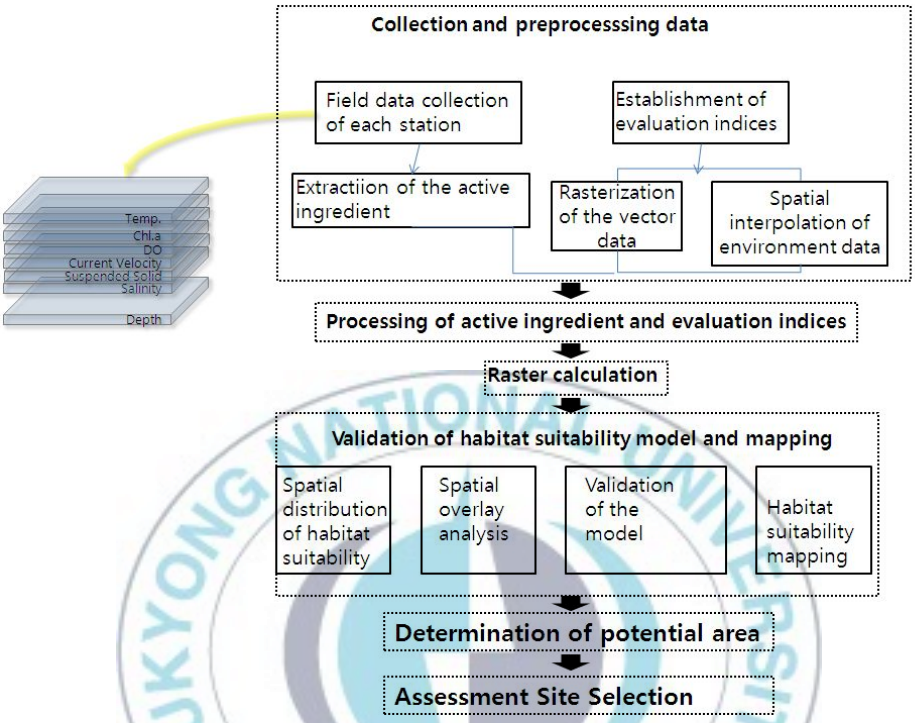

Fig. 3.2 Flow-chart of site selection.(from Chun Yan Lu(2012) modified)

3. 미더덕의 Scope for Growth 산정

SFG는 생물의 통합된 생리적 상태를 측정하는 것이다. 개체의 에너지 당량이며, 섭이된 음식물로부터 호흡과 배설,배출로부터 잃어버리는 에너지를 결정하는 것이다(Widdow, 1978; widdows and Johnson, 1988).

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

순 에너지 교환식 [C = F + U + R + P, C : 섭이에너지, F : 배출에너지, U : 배설에너지, R : 호흡에너지, P : 성장(생산)에너지] 으로부터 성장률을 계산하기 위해 섭이율과 배출율은 단백질, 탄수화물, 지질의 에너지 상당량인 24.0, 17.5 및 39.5 J/mg(Gnaiger, 1983)의 계수를 각각 곱하여 총 에너지량을 J로 계산하였고, 배설율의 경우는 암모니아 질소 값의 에너지 상당량인 24.83 J/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. Fig. 3.3은 계절적 수온변화에 따른 미더덕 SFG의 변화를 나타내고 있다.

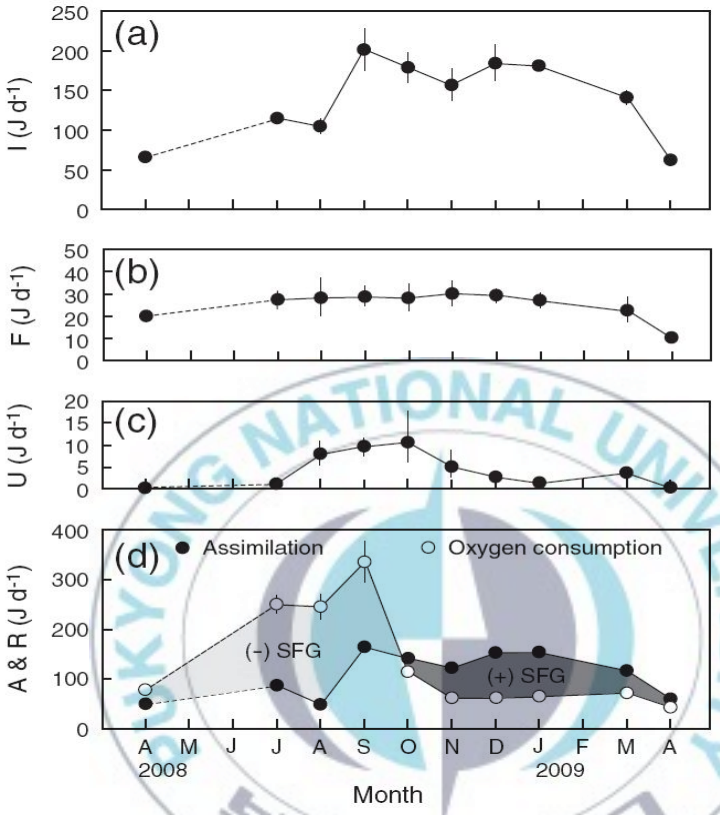

Fig. 3.3 (a) ingestion (I), (b) feces production (F), (c) ammoniaexcretion (U), and (d) assimilation (A) and oxygen consumption (R). Vertical bars represent 95% confidence interval. Shaded areas indicate negative (−) and positive (+) scope for growth (SFG)(adapted Kang et al. 2011)

Ⅳ 결과 및 고찰

1. 미더덕의 생리·생태특성

수온내성 실험결과로 미더덕에 미치는 저수온의 영향을 조사하기 위하여 14일 동안 수온 2, 4, 6, 8, 10℃에서 사육시키면서 생존율을 관찰한 결과 모든 시험구에서 96%~ 100%으로 저수온의 영향은 미치지 않았다(Fig. 4.1).

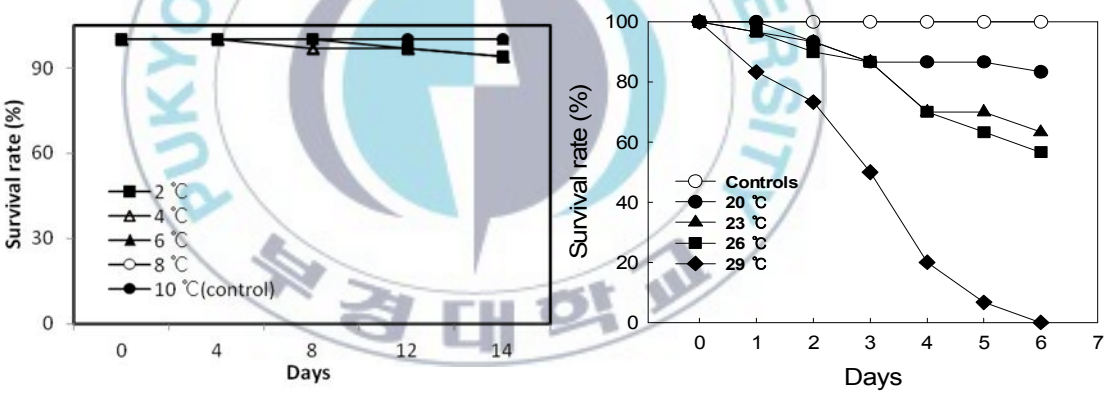

Fig. 4.1 Change in survival rate by temperature. (left) low, (right) high (by NFRDI)

고수온의 경우, 수온 20, 23, 26, 29℃에서 6일 동안 생존율은 29℃에서 6일째 모두 폐사하여 반수치사수온 (6일-LT50)은 24.58℃(19.48~35.48℃)였다(Fig. 4.2). 미더덕의 산소소비율은 수온 2-6℃에서 2.4~2.6 ㎎ O2/g DW /h. 였으며, 수온 8~12℃에서 1.5~1.8 ㎎ O2/g DW /h.으로 낮은 수온에서 산소

소비율이 다소 높았다.

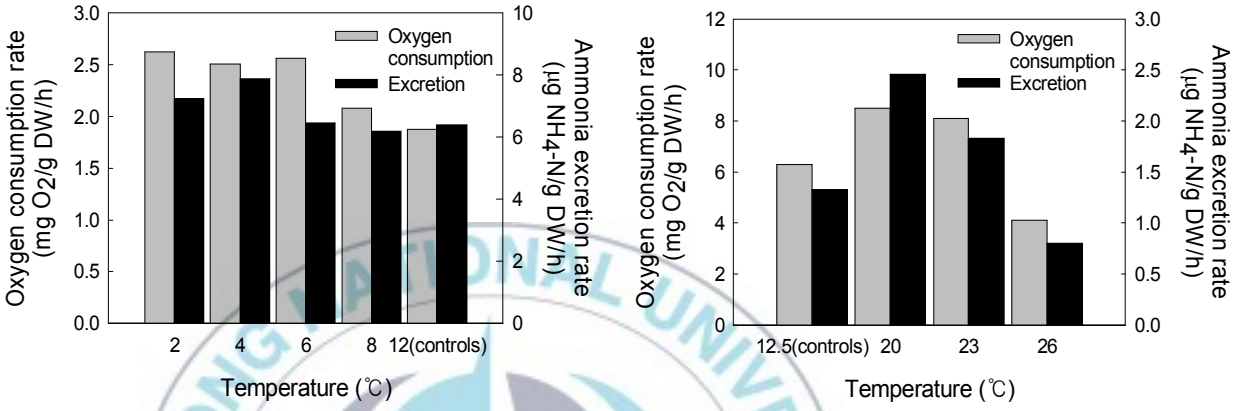

Fig. 4.2 Change in Oxygen consumption rate (left) low, (right) high (by NFRDI)

미더덕에 미치는 용존산소의 영향을 조사하기 위하여 용존산소 농도 2, 3, 4, 5 및 7.5 ㎎/L에서 11일 동안 노출시키면서 실험한 결과 노출 6일째부터 용존산소농도 4.0㎎/L이하에서 폐사하기 시작하여 노출 11일째 생존율 20%였으며, 2㎎/L에서 모두 폐사하여 반수치사농도(LC50)는 3.88㎎/L(3.29~4.57㎎/L)였다(Fig. 4.3).

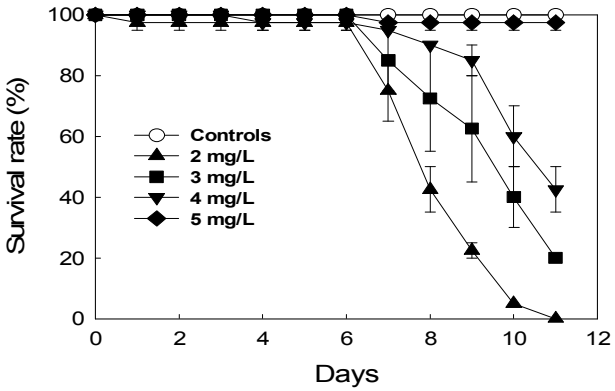

Fig. 4.3 Survival of *Styela clava* by decrease of DO(by NFRDI)

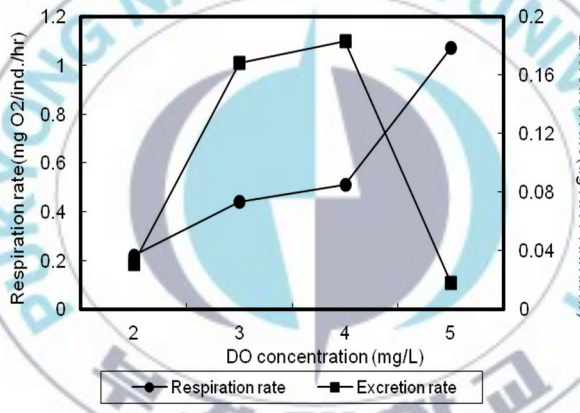

Fig. 4.4 Survival of *Styela clava* by decrease of DO consumption and Excretion rate

수중의 용존산소 농도의 감소에 따른 미더덕의 산소소비율은 각 실험농도에 노출 10일 후 측정하였으며, 수중의 용존산소 농도 감소에 따라 현저 감소하는 경향을 나타내어 용존산소 2 ㎎/ L이하의 저산소에 노출 시킨 경우에는 0.2 ㎎ O2/ind./hr으로 저산소에 생리적 장애가 발생하는 것으로 나타났다 (Fig. 4.4).

따라서, 본 해역의 미더덕은 고수온기에서는 성장이 둔화되고, 15~20에서

좋은 성장률을 보였다, 용존산소 4mg/L 이상에서 생존이 가능하여, 빈산소 수괴의 발생시(일반적으로 3 mg/L 미만의 경우)에는 폐사가 발생할 가능성이 높다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

2. 진동만 해역의 특성

진동만의 연간 수온변화의 측정자료는 2000년부터 2010 까지의 해양 환경 측정망의 계절평균값으로서, 수온, Chl.a 그리고 생산량을 Table 4.1 에 나타내었다. 수온의 연평균 값이 표층 16.47 ℃, 저층 14.38℃로 나타나 미더덕의 성장에 적합함을 나타내었다(Fig. 4.5). 미더덕의 먹이원인 클로로필의 값이 년 간 큰 변화량을 보이고 있는데 2000년의 클로로필 의 값이 16.31 ㎍/L로 10년간 최고값을 나타났을 때 2001년 미더덕의 생산량 또한 15,084 M/T으로 최대 생산량을 나타내었으며 (Fig. 4.6) 클로로필과 생산량의 상관성이 R=0.803, P<0.01로서 유사한 결과를 Fig. 4.7에서 보여주고 있다.

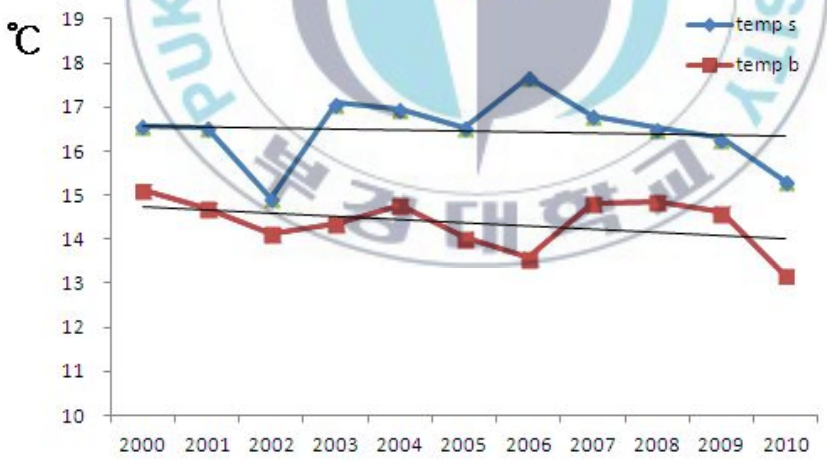

Fig. 4.5 Annual mean water temperature(℃) in Jindong Bay.

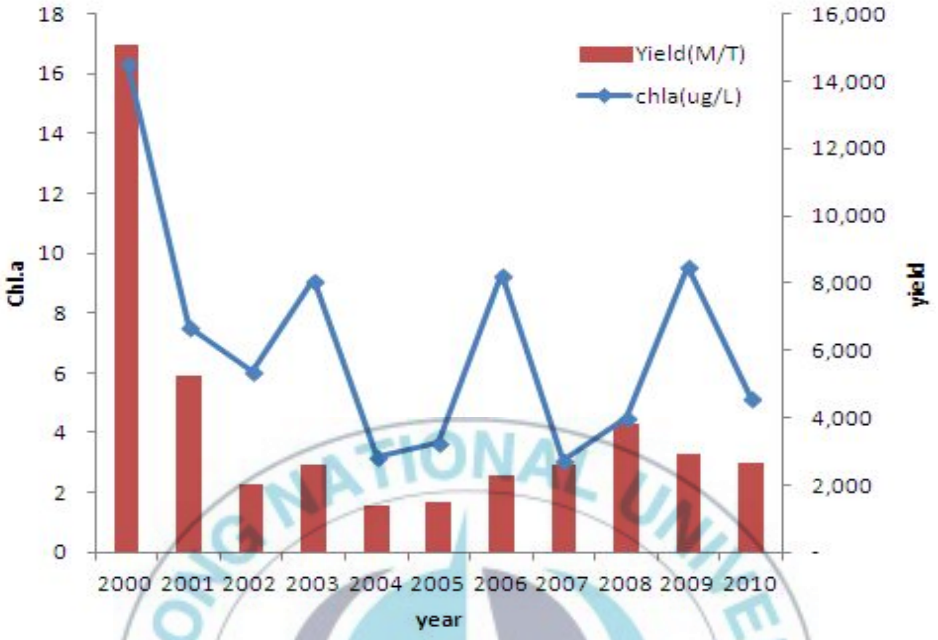

Fig. 4.6 Comparison of Chl.a with yearly yield(2000~2010)

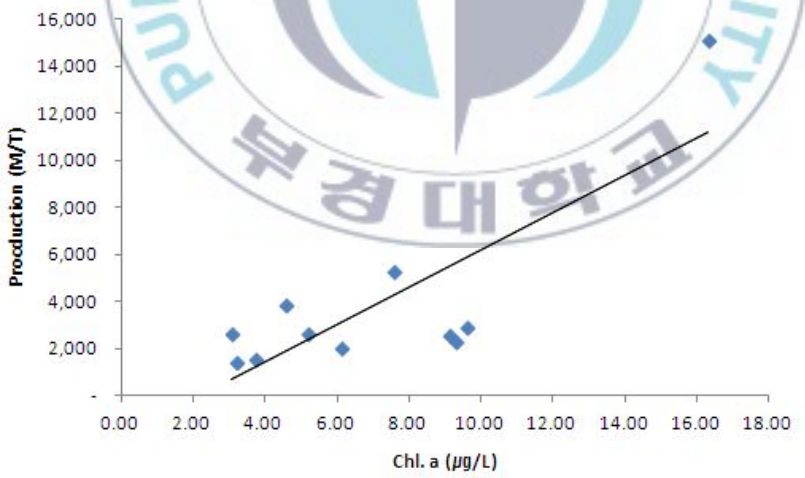

Fig. 4.7 Correlations between Chl.a values and *Styela clave* yield.(R=0.802, P<0.01)

Table 4.1 Annual mean water temperature, Chl.a and yield distribution in Jindong Bay.

년도	temperature (℃)	Chl.a (㎍/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
maximum	17.66	16.31	16.31
minimum	14.93	3.06	3.06

3. 지리정보시스템을 이용한 진동만의 적지선정

가. 클로로필 분포

진동만의 2011년 7월, 10월, 2012년 1월, 4월의 클로로필 데이터를 10개 조사정점별로 평균하여 GIS 상에서 IDW(Inverse Distance Weighted)법으로 보간하여 진동만 해역에 나타내었으며 (Fig. 4.8) 진동만내의 서쪽 해역이 1.14~1.6으로 나타났고 동쪽해역이 0.587~1.1.3으로 나타나 서쪽 해역이 상대적으로 높은 클로로필의 농도 분포를 보였다.

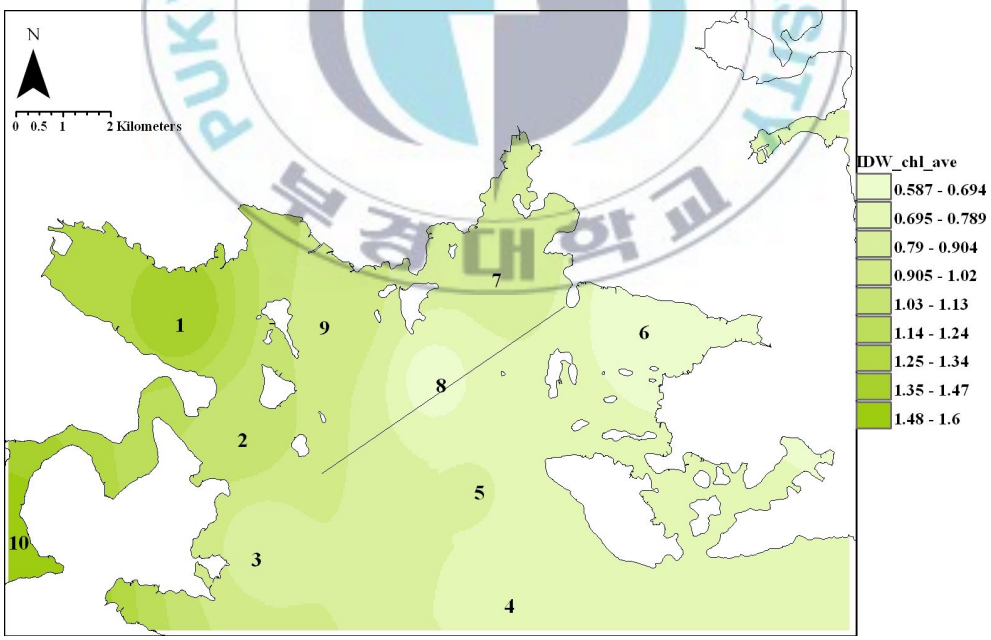

Fig. 4.8 Annual mean chlorophyll *a* (㎍/L) distribution in Jindong Bay.

나. 진동만의 SFG value 분포

미더덕의 성장은 수온과 가용한 먹이원 등의 상호작용에 의하며 진동만의 SFG의 분포를 나타내기 위하여 GIS 상에서 Raster Calculator tool을 사용하여 다음의 식을 이용하여 계산하였다.

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

여기서 FR 은 섭식 에너지, R 은 호흡 에너지, F 는 분(糞) 에너지, U 는 뇨(尿) 에너지이며 각 에너지 값은 $Y = aDW^b$ 의 계산식으로 구하였다. 클로로필의 연평균으로 계산되어진 진동만 해역에 분포된 SFG의 값은 0.054 ~ 0.57 로 계산 되어졌으며 (Fig. 4.9) 이를 다시 해역에 'Reclassify' tool을 사용하여 재분류를 하여 나타낸 결과는 (Fig. 4.10) 에 나타나 있다.

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

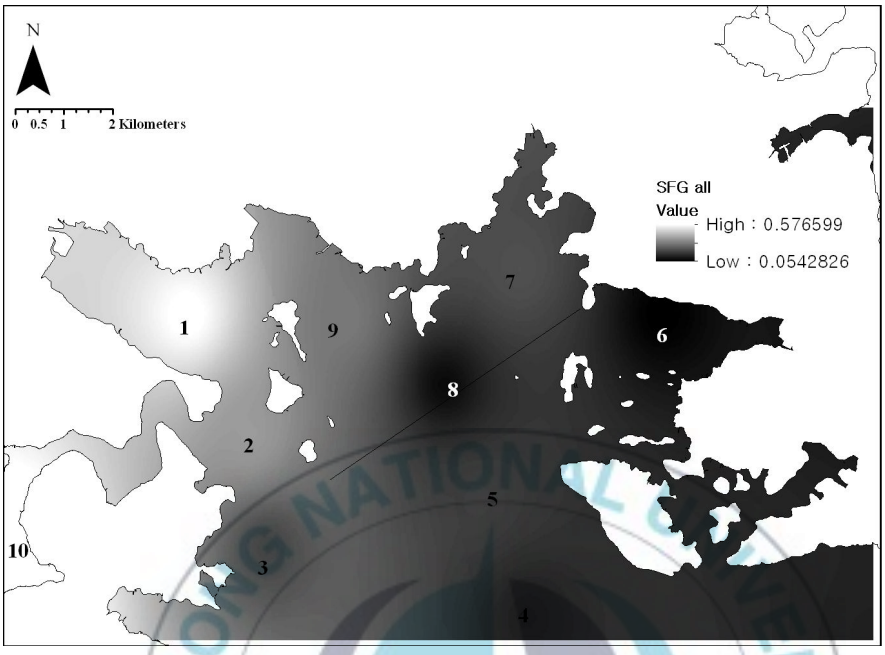

Fig. 4.9 SFG values scoring

Fig. 4.10 'Reclassify' of SFG values scoring

다. 양식장의 SFG value 분포

진동만 미더덕 양식장내에 포함하고 있는 SFG 값의 분포를 알아보기 위해 GIS 상에서 'Extract by Mask' tool을 사용하여 raster로 나타난 진동만의 해역과 feature로 나타난 진동만 미더덕 양식장을 (Fig. 4.11) 어장의 SFG 값을 추출해 내어 Fig. 4.12에 나타내었다. 이는 각 정점에 위치한 대표 어장들의 SFG 값을 나타내었으며, 고성관할의 양식장, 마산관할의 양식장 그리고 시험 양식장을 표시하였다.

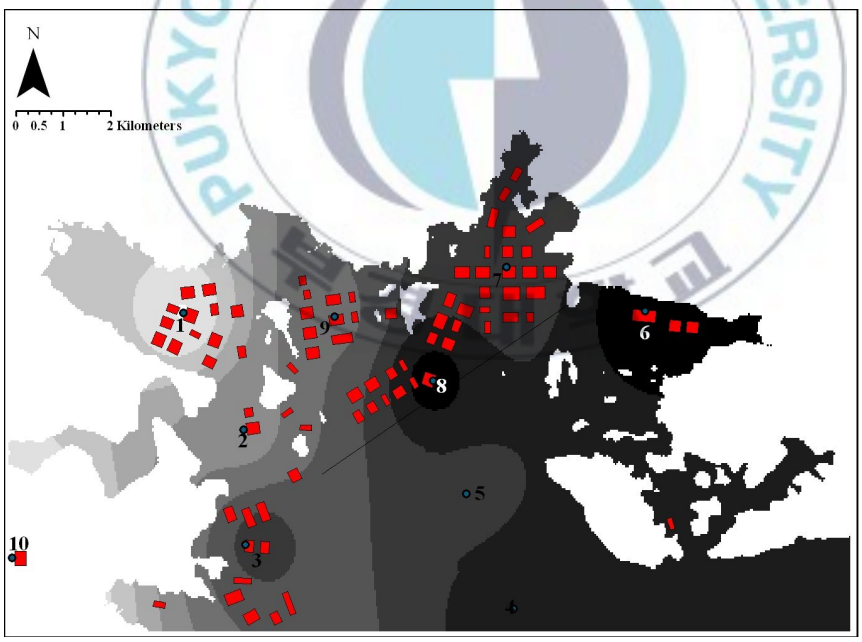

Fig. 4.11 Overlay of *Styela clava* farm in Jindong Bay.

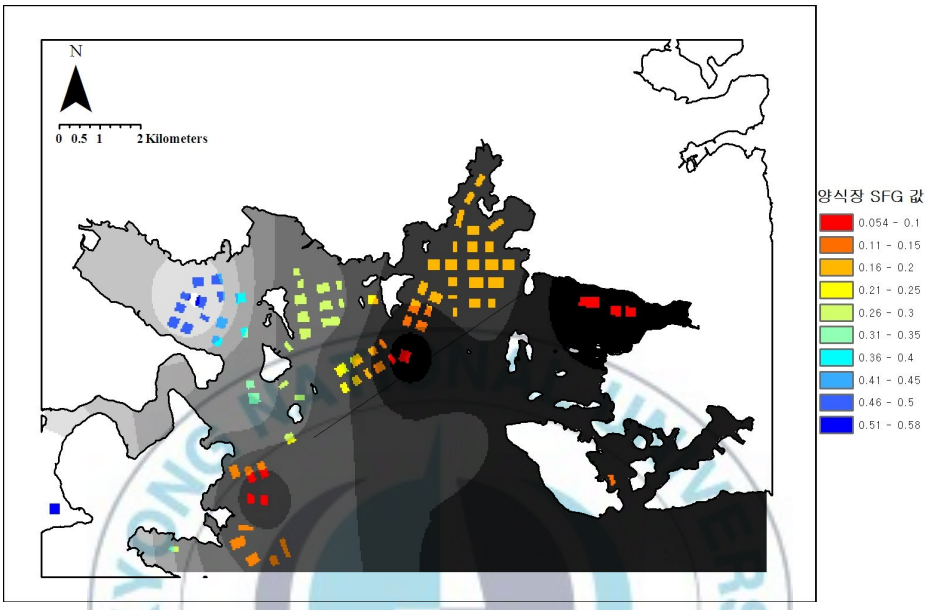

Fig. 4.12 Extracted SFG for *Styela clave* farms in Jindong Bay.

라. SFG value에 따른 진동만 미더덕양식장의 분포

진동만 내의 SFG 점수별로 대상해역의 면적 비율과 양식장 면적의 비율을 GIS 상에서 'Reclassify' tool을 사용하여 픽셀의 count 값을 이용하여 Equal Interval(SFG interval 0.5) 10개의 구역으로 분할하여 Fig. 4.13, Fig. 4.14에 나타내었다. (cell size : default, 3.23677784338003E-04)

진동만 내의 SFG 점수별로 대상해역의 면적 분포와 미더덕 양식장의 면적 분포를 살펴보면 다음 Table 4.2 와 같다. 진동만은 SFG 0.11~0.15 J/day에 해당하는 해역이 33.0%, SFG 0.16~0.2 J/day에 해당하는 해역이 21.5%로 전체 해역의 54.5%에 달하는 35.4 km^2에 해당하였다. 또한 진동만 내의 미더덕 양식장은 SFG 0.16~0.2 J/day에 해당하는 양식장이 31.8%로 가장 많은 비율이었으며, SFG 011~0.15 J/day에 해당하는 양식장의 비율이 18.4%를 나타내었다. 이러한 결과로 미더덕 양식장 면적에 대하여 산술적으로 고려하였을때, 미더덕양식장의 전체 면적은 64.9 km^2에 해당하고 SFG가 높은 곳의 해역면적은 2.9 km^2이며 SFG가 낮은 양식장의 면적은 1.3 km^2로 나타나 어장의 재배치가 가능하다.

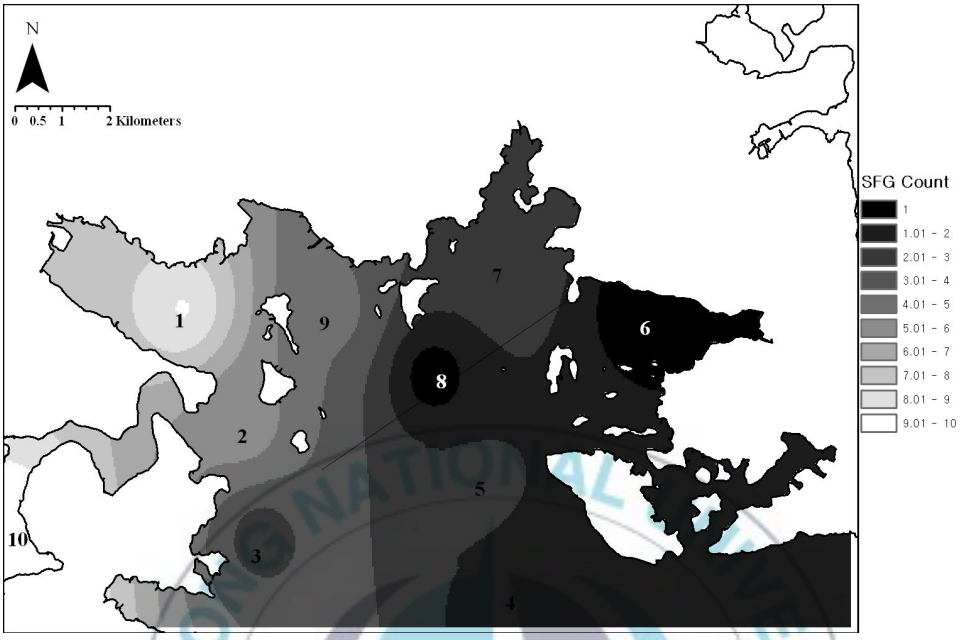

Fig. 4.13 SFG count distributioni in Jindong Bay.

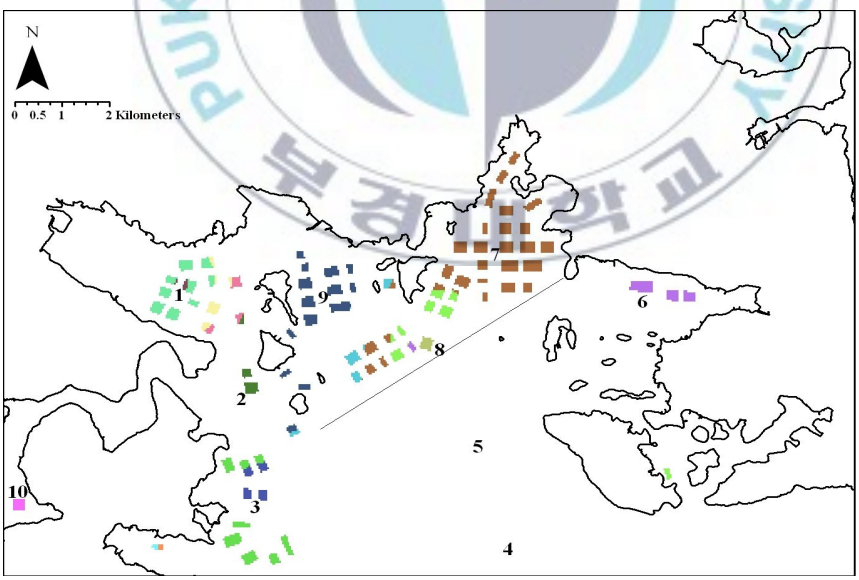

Fig. 4.14 SFG distribution according to *Styela clava* farms.

Table 4.2 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

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

4. Score for Growth 검증

진동만 해역에서 SFG 값과 미더덕의 생산량의 상관관계를 파악하기 위해 조사정점에 위치한 미더덕 양식장의 면허번호 및 면적과 생산량 그리고 한 라인당 연간 생산량을 Table 4.3에 나타내었다. SFG mean의 경우 zonal statistics를 사용하여 중첩시킨 어장의 평균값을 산출하였다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

Table 4.3 Yield of S.clava (2011~2012)

	St	SFG mean	area (ha)	1box/1line/yr	kg/line/yr	Ind. Total wt., g/ind	Ind., ea/line/yr
마산양식 제 123호	St.1	0.498	4.5	40	1,600	14	114,981
마산양식 제 113호	St.2	0.358	4.5	50	2,000	13	156,728
마산양식 제 301호	St.3	0.178	3.0	30	1,200	23	53,203
창원양식 제 148호	St.6	0.055	8.0	20	800	17	46,709
마산양식 제 069호	St.7	0.161	4.5	20	800	23	35,369
창원시험 어장	St.8	0.077	1.5	20	800	24	33,331
마산양식 제 101호	St.9	0.240	4.5	20	800	9	92,511

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

각 대표어장의 SFG 평균값(J/day)과 연간 정점별 라인당 생산량(kg/line/yr)을 비교해 보면(Fig. 4.15), 진동만 좌측의 높은 SFG값과 생산량, 우측의 낮은 SFG값과 생산량이 좋은 상관성을 보여주었다. 상관계수 역시 R=0.786, P<0.05로 양호한 결과를 보여주었다. 각 대표어장 SFG 평균값(J/day)과 연간 라인당 개체수(ind./line/yr)를 살펴보면 Fig. 4.16에서 알 수 있듯이 상관성이 R=0.825, P<0.05로 양호한 결과를 보여 미더덕 양식장의 SFG 값은 미더덕의 생산량과 좋은 상관성을 가지는 것으로 판단된다.

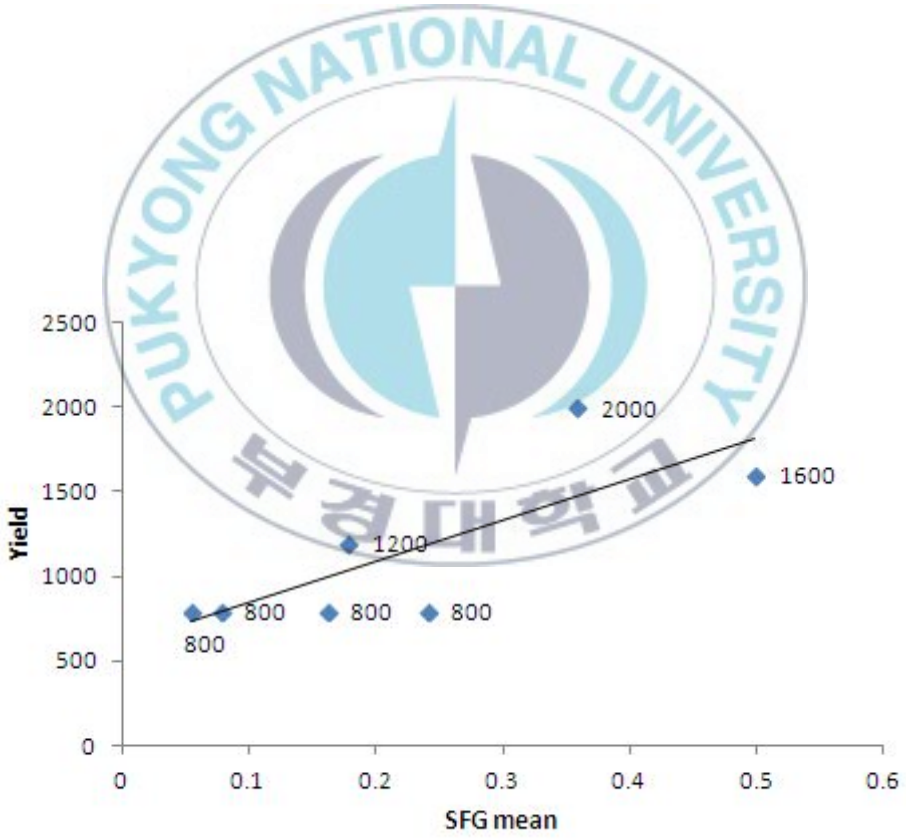

Fig. 4.15 Correlations between SFG mean value and *Styela clava* production.(R=0.786, P<0.05)

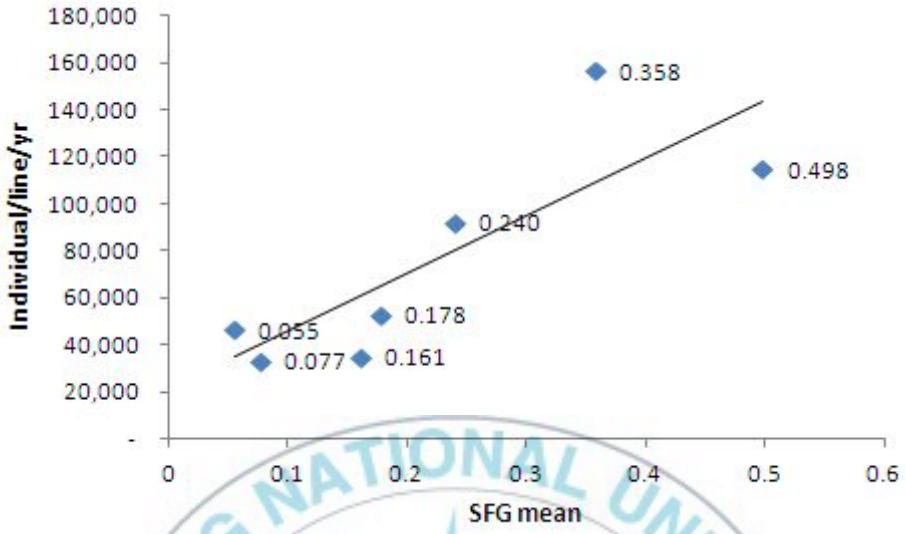

Fig. 4.16 Correlations between SFG mean value and *Styela clava* individual.(R=0.825, P<0.05)

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교

V. 결론

GIS 기반의 양식장 적지선정은 양식생물의 생산량과 대상해역의 서식환경 간의 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, 먹이생물 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 적지선정을 하여본 결과 해역 전체의 SFG 0.054~0.57 J/day의 범위를 보였으며, 대상해역과 중첩시킨 미더덕 양식장 역시 0.054~0.57 J/day로 넓게 분포하고 있었다. 미더덕 양식장의 SFG 결과와 실제 생산량과의 상관성은 $r=0.786$, $p<0.05$로 양호한 결과를 보였다. 현재 진동만 미더덕 양식장의 문제점인 생산량 감소를 해결하기 위한 방안으로 미더덕 양식장이 차지하고 있는 면적 1.9 km^2를 대상해역의 SFG 0.41 J/day 이상인 6.9 km^2로 모두 재배치할 수 있을 것으로 판단된다. 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 도입함으로서, 지속적인 어장관리를 위한 의사결정방안을 도출 할 수 있다.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY
부경대학교

참고문헌

국립해양조사원, 2002. 해양기본지리정보 구축을 위한 기반연구. p.215

안삼환, 정성훈, 강석중, 정태성, 최병대. 2003. 미더덕 껍질로부터 Glycosaminoglycans의 추출. 한국생물공학회지. 18(3): 180-185.

이응호, 정승용, 하진환, 성낙주, 조원옥. 1975. 미더덕, *Styela clava*, extract의 유리아미노산. 한국수산과학회지. 8(3): 177-180

이응호, 오과수, 이태헌, 안창범, 정영훈. 1985. 미더덕 및 우렁쉥이 지방성분. 한국수산과학회지. 18(3): 291.

정종철. 해양지리정보시스템 자료 구축 전략. The Journal of Namseoul Univ. Vol. 11-2

조용기. 1978. The Sterol Composition of *Styela clava* ornian waters. Bull South Calif Acad Sci 71, 95-105.

Abbott DP, Johnson JV (1972) The ascidian *Styela bnrnharti, S. Plicata, S. clava, and S. montereyensis* in CalifBuitrago, 2005, A single-use site selection technique, using GIS, for aquaculture planning: choosing locations for mangrove oyster laft culture in Margarita Island, Venezuela. Enviorn. Manage., 35:544-556.

Aguilar-Manjarrez J. and S.S. Nath, 1998, Astrategic reassessment of fish farming potential in Africa. CIFA Technical paper, 32, FAO, Rome.

Bonham-Carter, G. F. 1996. *Geographic Information Systems for Geoscientists: Modelling with GIS*. Computer Methods in the Geoscience Series, Vol. 13. Ontario, Canada: Pergamon Publishers.

Buitrago J., M. Rada, H. Hernandez and E. Buitrago, 2005, Asingle-use site selection technique, using GIS, for aquaculture planning: choosing locations for mangrove oyster raft culture in Margarita Island, Venzuela. Environ. Manage., 35:544-556.

Burrough, P.A (1986), *Principles of Geographical Information System for Land Resources Assessment*, Oxford, Clarendon Press.

Cho Y.S., W.C., Lee., S.J., Hong., H.C. Kim and J.B. Kim, 2012, Gis-based suitable site selection using habitat suitability index for oyster farms in Geoje-Hansan Bay, Korea. Ocean & Coastal Management. 56:10-16.

Clarke, K. C. (1995), *Analytical and Computer Cartography*(2nd ed.), Upper Saddle River, NJ., Prentice-Hall.

Clarke CL, Therriault TW (2007) Biological synopsis of the invasive thnicate *Styela clava*(Herdman 1881). Can Manus Report Fish Aquatic Sci 2807, vi + 2.

Davidson J, Arsenault G, MacNair N, Landry T, Bourque D (2005) Reproduction, epidemilolgy and control of the clubbed tunicate, Styelka clava. In:Prince Edward Island waters. Aquaculture and Fisheries Research Initiative Report Number 043AR15.

Davis MH, Davis ME (2005) *Styela clava* (Tunicata: Ascidiacea) a new addition to the fauna of the Portuguese coast. J Mar Biol Assoc UK 85, 403 - 404.

Davis MH, Davis ME (2007) The distribution of *Styela clava* (Tunicata, Ascidiacea) in European waters. J Exp Mar Biol Ecol 342, 182 - 184.

Davis MH, Davis Me (2009) *Styela clava*(Tunicata, Ascidiacea) -a new threat to the Mediterranean shellfish industry. Aquatic Invasions Vol 4, 1:283-289.

Elliot, J.M., Davison, W., 1975. Energy equivalents of oxygen consumption in animal energetics. Oecologia(Berl.) 19, 195-201.

Gibson L.A., B.A. wilson, D.M. Cahill and J. Hill, 2004, Modelling habitat suitability of the swamp antechinus (*Antechinus minimus maritimus*) in the coastal heathlands of southern Victoria. Austr. Biol. Conserv., 117:143-150.

Gnaiger, E., 1983. Calculation of energetic and biochemical equivalents

of respiratory oxygen consumption. In: Gnaiger, E., forstner, H. (Eds.). Polarographic Oxygen Sensors. Appendix C, Springer-Verlag, Belin, pp. 337-345.

Halide H., A. Strgebrandt, M. Rehbein and A.D. McKinnon, 2009, Developing a decision support system for sustainable cage aquaculture. Environmental Modelling & Software, 24:694-702.

Huang I.B., J. K and I. L, 2011, Multi-criteria decision analysis in environmental sciences: Ten years of applications and trends. Sciences of the Total Environment, 409:3578-3594.

Jiang, A.L., Yu, Z., Cai, W.G., Wang, C.H., 2008c. Feeding selectivity of the marine ascidian *Styela clava*. Aqualcul. Res. 39, 1190-1197.

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 compositiion of the ascidian *Styela clava* cultured in suspension in a temperate bay of Korea: Aqua. 319. 168-177.

Kapetsky J.M. and C. Travaglia, 1995, Geographical information systems and remote sensing: an overview of their present and potential applications in aquaculture. INFOFISH, Kuala Lumpur, 187-208.

Kelly DL (1974) Aspects of the reproductive ecology of three solitary ascidians: Ciona intestinalis (L.), *Styela plicata* (Les.), and *Styela clava* (H.) from southern California. MA thesis, California State University, Fullerton.

Kim, JJ., S.J. Kim, S.H. Park, H.R. Park and S.C. Lee. 2005. Antioxidant and anticancer activities of extracts form *styela plicata*. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr., 34, 937-941.

Kliskey A.D., E.C. Lofroth, W.A. Thompson, S. Brown and H. Schreier, 1999, Simulating and evaluation alternative resource-use strategies using GIS-based habitat suitability indices. Landscape Urban Plan., 45:163-175.

Lambert CC, Lambert G (2003) Persistence and differential distribution of nonindigenous ascidians in harbors of the Southern California

Bight. Mar Ecol Prog Ser 259, 145-161

Lockwood, M., and R. Li. 1995. Marine geographic information systems: What sets them apart? Marine Geodesy 18(3): 157-159.

Longdill P.C., T.R. Healy and K.P. Black, 2008, An integrated GIS approach for sustainable aquaculture management area site selection. Ocean & Coastal Management, 51:612-624.

Malczewski J., 2006, GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. International Journal of Geographical Information Science, 20(7):703-726.

Mayer, L., S. Dijkstra, J. H. Clarke, M. Paton, and C. Ware. 1997. Interactive tools for the exploration and analysis of multibeam and other seafloor acoustic data. SACLANTECEN *Conference Proceedings* CP-45, Italy, pp. 335-362.

MIFAFF. 2012. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries. Fisheries information service. [Online] Available.

Nath S.S., J.P. Bolte, L.G. Ross and J. Aguilar-Manjarrez, 2000, Applications of geographical information systems (GIS) for spatial decision support in aquaculture. Aquac. Eng., 23:233-278.

Paker, H. D. (1988). The unique qualities of a geographic information system: a commentary, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54(11), 1547-1549.

Pereira J.M.C and R.M. Itami, 1991, GIS-based habitat modeling using logistic multiple regression: a study of the Mt. Graham red squirrel. Photogramm. Eng. Rem. Sens., 57:1475-1486.

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.

Ross L.G., E.A. Mendoza and M.C.M. Beveridge, 1993, The application of geographical information systems to site selection for coastal aquaculture: an example based on salmonid cage culture.

Aquaculture, 112:165-178.

Stroe R. and J. Kangas, 2001, Integration spatial multi.criteria evaluation and expert knowledge for GIS-based habitat suitability modelling. Landscape Urban Plan., 55:79-93.

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.

Vincenzi S., G. Caramori, R. Rossi and G.A De Leo, 2006, A GIS based Habitat Suitability model for commercial yield estimation of *Tapes philippinarum* in a Mediterranean coastal lagoon (SaccadiGoro, Italy). Ecological Modelling, 193:90-104.

Wright, D. J., and M. F. goodchild. 1997. Data from the deep: Implications for the GIS community. *International Journal of Geographical Information Systems*. 11(6): 523-528.

PUKYONG NATIONAL UNIVERSITY 부경대학교