

거제한산만 굴 양식장에 대한 GIS 기반 어장관리시스템 개발

조윤식* · 홍석진**† · 김형철** · 최우정** · 이원찬** · 이석모***

*, ** 국립수산물연구원 환경연구과, *** 부경대학교 생태공학과

Development of Bivalve Culture Management System based on GIS for Oyster Aquaculture in GeojeHansan Bay

Yoon-Sik Cho* · Sok-Jin Hong**† · Hyung-Chul Kim** ·

Woo-Jeung Choi** · Won-Chan Lee** · Suk-Mo Lee***

*, ** Division of Environmental Research, National Fisheries Research & Development Institute, Busan, 619-705, Korea

*** Major of Ecological Engineering, Pukyong National University, Busan, 608-737, Korea

요 약 : 굴 양식 산업은 우리나라의 대표적인 양식수산업으로서 중요한 역할을 수행하여 왔지만, 최근에는 수출 감소, 국내 내수시장 소비의 한계, 양식 환경 악화와 같은 여러 문제에 직면하여 있다. 적정하고 지속적인 굴 생산은 어장환경의 공간정보를 기반으로 하는 적지 선정 을 통하여 달성 가능하고, 양식장의 적지 선정은 양식장의 성공적 개발에 중요한 열쇠이며, 지속가능한 개발에 절대적 영향을 미친다. 이 연구는 GIS 기반의 다중 평가 방법을 이용하여 수하식 굴 양식장의 적지를 규명하고자 하였다. 대부분의 인자들은 GIS에서 보간법에 의해 추출되었고, 여덟 개의 환경 인자들이 두 가지 기본 서브모델로 그룹화 되었다. 이는 굴 성장에 관련된 인자(수온, 염분, 해수유동, 클로로필 a) 와 양식장 주변 환경에 관련된 인자(저층 DO, 총유기탄소, 퇴적물 산화발생 황화물, 저서군집 다양도) 등으로 구성되어 있다. 적합 점수는 가장 적지인 8점에서부터 가장 적합하지 못한 1점까지의 규모로 가점되었으며, 총 80.1%의 잠재 지역이 가장 높은 점수 5점과 6점으로 채점되었다. 이 지역들이 거제한산만에서 굴 양식을 위한 가장 최적의 조건을 가지는 것으로 나타났으며, 이러한 GIS 기반의 적지 선정 기법은 공간적인 의사 결정을 지원함으로써 어장관리시스템으로 활용될 수 있다.

핵심어 : 적지 선정, GIS, 지속적인 굴 생산, 어장관리시스템, 굴 양식장

Abstract : Oyster production is playing an important role in domestic aquaculture, but facing some problems such as exports decrease, a slowdown in domestic demand and marine environmental deterioration. In order to obtain the suitable and sustainable oyster production, suitable sites selection is an important step in oyster aquaculture. This study was conducted to identify the suitable sites for hanging culture of oyster using Geographic Information System(GIS)-based multi-criteria evaluation methods. Most of the parameters were extracted by Inverse Distance Weighted(IDW) methods in GIS and eight parameters were grouped into two basic sub-models for oyster aquaculture, namely oyster growth sub-model(Sea Temperature, Salinity, Hydrodynamics, Chlorophyll-a) and environment sub-model(Bottom DO, TOC, Sediment AVS, Benthic Diversity). Suitability scores were ranked on a scale from 1(least suitable) and 8(most suitable), and about 80.1% of the total potential area had the highest scores 5 and 6. These areas were shown to have the optimum condition for oyster culture in GeojeHansan Bay. This method to identify suitable sites for oyster culture may be used to develop bivalve culture management system for supporting a decision making.

Key words : Suitable site selection, GIS, Sustainable oyster production, Bivalve culture management system, Oyster aquaculture

1. 서 론

우리나라 굴 양식은 1960년대 말부터 연승수하식으로 본격화되기 시작하였으며, 1973년에는 미국과 ‘한미패류위생협

정’ 체결로 굴 양식업이 급속도로 성장하였다. 1980년대에 이르러서는 경남을 중심으로 한 남해안 일대가 세계적인 굴 생산지역으로 자리 잡아 2000년에는 굴이 단일 수산물 수출품 중으로는 최대인 약 1억 3천만 달러가 수출되었고 2008년 양식 수산물 생산 순위는 3위를 차지하는 등 우리나라의 대표적인 양식수산물로 자리매김하고 있다. 또한 2004년 세계의 굴 생산량은 약 429만 톤이었으며, 국가별로는 중국이 전체

* 대표저자 : 정희원, ysc@nfrdi.go.kr, 051-720-2526

† 교신저자 : 정희원, sj@nfrdi.go.kr, 051-720-2522

생산량의 81.5%인 375만 1천 톤, 우리나라는 5.2%인 23만 9천 톤, 일본이 5.1%인 23만 4천 톤으로 한·중·일 3국이 세계 굴 생산량의 90% 이상을 차지하고 있으며, 미국, 프랑스 등이 그 뒤를 잇고 있다(한국해양수산개발원, 2006).

그러나 최근 굴 양식업은 여러 문제에 직면하고 있다. 2000년대 초반에는 생산량의 절반 이상이 수출되었으나 자국 어민 보호를 위한 각국의 위생관리 강화, 중국산과의 가격경쟁, 우리나라 굴의 최대 수입국인 일본의 수입량 감소 등의 이유로 수출량은 2001년 이래 지속적으로 감소하여 2007년의 경우 2003년의 절반 수준에 머물렀고, 그에 따른 수출물량의 내수전환과 국내 생산량의 증가, 내수시장 소비의 한계로 산지가격 역시 최근 2년 연속 하락하였다(박과 김, 2008). 또한 반폐쇄성 내만에서의 환경을 고려하지 않은 어장의 배치, 해면의 지속적인 이용에 따른 자가 오염 부하의 증가 등에 의한 양식환경 악화도 안정적인 어업경영을 어렵게 만들고 있다(국립수산물과학원, 2008). 이처럼 수출량 감소, 내수시장 둔화 등 굴 산업의 현재 상황에 대하여 공급측면에서는 생산, 가공, 유통에 이르기까지 철저한 위생관리, 어민 보호를 위한 원산지표시제 강화, 생산원가 절감, 수요측면에서는 소비자 기호에 맞는 제품의 개발과 홍보, 수출시장의 다변화 등 여러 대안이 있겠으나, 일차적으로 양질의 굴을 적정하게, 안정적으로 생산하는 것이 가장 중요하다고 할 수 있다.

특히 연승수확식 굴양식의 경우, 고정되어 있는 부유어과 섭이 양식으로 수온, 염분, 먹이량, 해수유동과 같은 어장환경의 공간적 조건이 절대적으로 생산량에 영향을 미치고, 이러한 어장환경 조건은 양식장이 위치하는 내만의 공간적 특성에 주로 기인한다(Brown and Hartwick, 1988). 즉, 굴 생산의 고급화 및 안정화는 어장환경의 공간정보를 기반으로 하는 적지 선정을 통하여 달성 가능하고, 굴 양식장의 적지 선정은 성공적이며 지속적인 굴 양식장 개발에 아주 중요한 역할을 담당할 수 있다. 양식장의 적정한 위치선정은 환경 부하의 위험을 최소화하고, 경제적 보상을 극대화하며, 양식장의 다른 자원과의 중복적인 사용을 최소화할 것이다(Perez et al., 2005). 공간특성을 고려하지 못한, 부적절한 위치선정은 어장 생산성 감소, 개발의 오용과 자원사용에 대한 비지속성, 어장환경 악화 등을 야기할 수도 있다. 공간의 적합도 분석은 양식장 개발의 통제와 관리에 대한 의사결정 기반을 형성할 수 있으며, 이러한 공간적 기준은 어장의 휴식어기, 공간 재배치 등의 정책적 근거로도 활용될 수 있다. 양식장 개발은 연안 관리 계획과 어장관리법과 조화를 이루어야 하고, 기존 자원을 사용하는 중에 대해 양식장 도입에 따른 충돌 및 악영향을 감소시킬 필요가 있다(Stead et al., 2002).

이러한 공간적 특성 고려에 있어 GIS(Geographical Information System)는 아주 유용한 도구로 활용되며, 개발자 및 사용자들로 하여금 정보를 저장, 분석, 통합하는 능력을 개선시키고, 특정지점의 데이터와 속성을 비교분석하는 공간 분석 및 참조의 기능을 가진다(Burrough and McDonnell, 1998). 적지의 결정 및 분석에는 수많은 변수가

이용되기 때문에 다양한 요인의 분석이 요구되며, 이러한 다양한 요인들에는 계량화하여 파악이 가능한 정량적 요인과 계량화하기는 어렵지만 적지에 영향을 미치는 정성적 요인을 모두 포함한다. 그러나 수학적 모형에 근거를 둔 적지선정 기법은 경제적 측면만을 강조하여 공간정보의 중요성을 멀리하는 단일목적의 의사결정이며, 또한 이러한 이유로 대안이 분명치 못하다는 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 다양한 의사결정 이론이 GIS와 연계하여 적지분석에 많이 활용되고 있다(Malczewski, 1999). GIS는 모든 종류의 공간정보를 관리할 수 있기 때문에, 공간 다기준 의사결정과 연계하여 이용될 경우 공간자료의 입력, 저장, 분석, 편집, 출력 등을 수행하며, 합리적이고, 객관적이며, 유연성 있는 접근방법을 제공한다(황과 이, 2000). GIS를 이용한 양식어장 적지 선정 사례는 플로리다의 대합 양식(Arnold et al., 2000), 중국 Sungo Bay의 새우와 가리비 양식(Bacher et al., 2003), 방글라데시의 새우와 게 양식(Salam et al., 2003), Canary 섬, Tenerife에서 가두리 양식(Perez et al., 2005), 베네수엘라, Margarita 섬의 굴 수하 양식(Buitrago et al., 2005) 등과 같이 다양하게 활용되고 있다.

본 연구에서는 굴 양식장의 적지 선정을 위하여 공간 다기준 의사결정 방법 중의 하나인 계층분석법(Analytic hierarchy process)에 따라 굴 양식장의 생산성에 직접적으로 영향을 미치는 인자들로 구성된 성장(Growth)과 주변 환경의 오염도를 나타내는 인자들로 구성된 환경(Environment), 즉 성장과 환경의 계층 구조로 구성하였으며, 각 조건의 적합도에 따른 가점과 쌍대비교(Pairwise comparison method)를 통한 가중치에 따라 GIS를 이용하여 거제한산만의 굴 양식장의 적지를 선정하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1 대상 해역

거제한산만은 크고 작은 4개의 섬(거제도, 화도, 한산도, 봉암도)으로 둘러싸여 있고, 남동쪽과 북서쪽에 만구가 있는 반 폐쇄적 성격을 지닌 곳으로, 수면적은 58.8 km²이다. 해수 유동은 창조시에 만의 남단에서 유입하여 주류는 곧장 북서 방향으로 유출하고 일부는 만의 내측으로 유입하며, 낙조시는 반대 방향이다. 해저 지형은 거제도 남단에서 북서 방향으로 향하는 수로에서는 20~40m로 깊으나 산달도 부근의 만 내측에서는 10m 이내로 평탄한 곳이며, 전체 수용적은 1,402×106m³에 달한다. 양식어장의 배치는 굴 양식이 주류를 이루고, 내측의 소하천으로부터 담수가 유입되고 있다. 거제한산만의 어장환경 특성을 파악하기 위해 2008년 15개 정점에 대한 계절별 수질, 퇴적물 환경 및 저서생물을 조사하였다(Fig. 1).

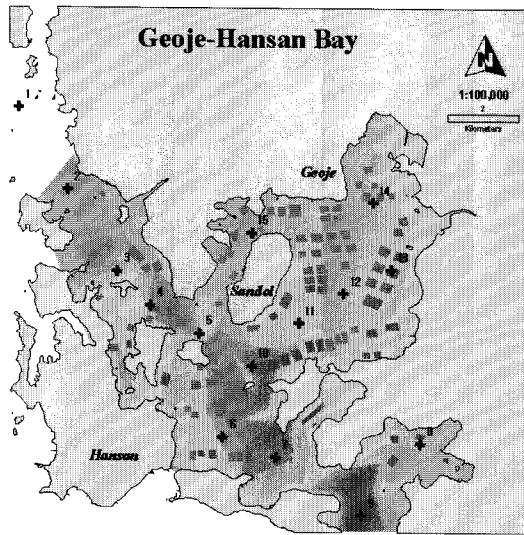


Fig. 1. Distribution of oyster farms, sampling stations and oyster farms group.

2.2 굴 양식장의 적지 선정 조건

수온의 적지 선정 조건은 Table 1과 같으며, 여름철에는 고수온시 패류 대량폐사의 위험이 있어 선정 조건에서 제외시키고, 높은 각성장을 보이는 추계와 높은 전중량 성장을 보이는 동계의 조사정점별 수온데이터를 GIS상에서 IDW(Inverse Distance Weighted)법으로 보간하여, 추·동계에서 높은 수온일수록 성장이 양호하다는 조건에 따라 점수를 부여하였다(배와 배, 1972; 배와 배, 1973; Brown and Hartwick, 1988; 최 등, 1997; 유, 2001; Chavez-Villalba, 2002).

염분은 농도가 20‰ 아래의 해역에서 성장이 낮아지는 것으로 알려져 있으나(Brown and Hartwick, 1988), 거제한산만에서 염분 농도 20‰ 아래의 해역은 발견되지 않았다. 염분의 급변은 이매패류의 환경인자에 대한 내성을 저하시킨다는 연구결과에 따라(Bernard, 1983), 연중 염분 변화폭이 적을수록 성장에 영향을 주지 않는다고 판단하여 점수를 부여하였다(배와 배, 1972; 배 등, 1978; Bernard, 1983; Brown and Hartwick, 1988; 최 등, 1997).

패류양식장의 생산량은 먹이 조우도(이류크기× 먹이량)가 클수록 높다는 연구결과에 따라(이, 1994), Inglis et al.(2000)의 지침을 참조하여 해수유동은 Table 1과 같이 점수를 부여하였으며, 일정 유속(20cm/s) 이상에서는 오히려 이상적인 유속이 아니라고 판단하였다(Pilditch and Grant, 1999; Inglis et al., 2000).

수온, 염분 및 먹이가 수하식 참굴의 성장에 미치는 영향에 관한 연구에서 수온과 염분이 적절하고 풍부한 먹이가 있는 곳에서 성장이나 비만이 가장 양호하다는 연구결과에 따라(Brown and Hartwick, 1988) 클로로필 a의 경우, 높은 농도에 대하여 높은 점수를 부여하였다(이 등, 1991; Inglis et al., 2000). 또한, 현 클로로필 a의 조사 데이터는 굴의 성장활동이 없는 5월의 실측 데이터를 활용하였다.

Table 1. Site selection conditions for oyster aquaculture in GeojeHansan Bay.

Submodels	Criteria	Score (1: least suitable ~ 8: most suitable)
Growth	Sea Temperature	optimum : 15~23℃ apposite : 10~28℃ no growth : below 5℃, above 30℃
	Salinity	low growth : below 20‰
	Hydrodynamics	Velocity <5 cm/s : very weak current Velocity 5~10 cm/s : weak current Velocity 10~20 cm/s : moderate-low depletion Velocity >20 cm/s : ideal growing cumulative effect possibility
	Chlorophyll-a	Chlorophyll <0.5 ug/l : very poor Chlorophyll 0.5~1 ug/l : generally poor Chlorophyll 1~2 ug/l : moderate Chlorophyll 2~4 ug/l : good growing Chlorophyll 4~8 ug/l : ideal growing Chlorophyll >8 ug/l : good growing, food handling difficulties
Environment	Bottom DO	If it is low, it would be in a bad environment, especially in summer
	TOC	If it is high, it would be in a bad environment
	Sediment AVS	If it is high, it would be in a bad environment
	Benthic Diversity	If it is low, it would be in a bad environment

2.3 가중치 결정

굴 양식장의 최적지 선정 시스템을 위하여 계층분석법 (Analytic Hierarchy Process)에 따라 굴 생산, 환경의 계층 구조로 시스템을 구성하였다(Fig. 2). AHP 의사결정 방법은 다요소 의사결정 방법 중에서 널리 쓰이는 방법으로, Saaty(1977)에 의해 개발되어 분석과정이 간단하고, 요소나 대안의 중요도 평가과정에서 쌍대비교(Pairwise comparison)를 함으로써 의사결정자의 선호정보를 얻기가 용이하며, 분석과정의 정량적 요소와 정성적 요소를 동시에 고려하기가 용이한 장점을 가지고 있다(김 등, 2002). 본 시스템의 계층구조는 적지 선정에 대한 기본 필수사항에 따라 두 가지 서브모델로 나뉘었으며(Nath et al., 2000), 다시 이는 세부적인 8개의 조건으로 나뉘었다. 성장(Growth)은 굴 양식장의 생산성에 직접적으로 영향을 미치는 인자들로 구성하였으며, 환경(Environment)은 굴의 생산에 직접적인 영향을 미치지 않는

지만, 주변 환경의 오염도를 나타내는 인자들로 구성하였다. 공간 DB에 통합되는 모든 데이터는 GIS에서 가점을 하기 위하여 약간의 재분류가 필요하였으며, 데이터의 점수화는 굴 생리생태에 관한 문헌조사, 연구결과, 전문가의 조언 등을 토대로 가점 방식을 채택하였다. 각 조건에 대한 적합도의 점수는 Perez et al.(2002)에 따라 1~8점까지의 점수시스템을 사용하여 만들어졌으며, 8점은 굴 양식장의 최적지로, 최적조건에서 멀어질수록 낮은 점수를 부여하였다.

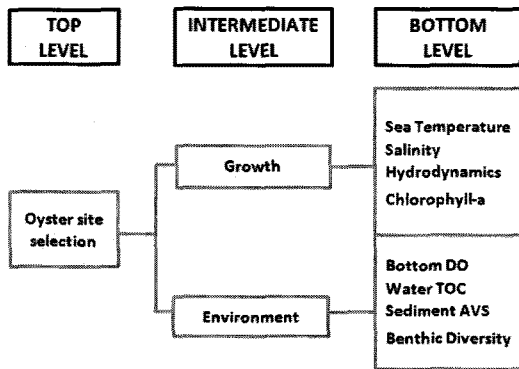


Fig. 2. A hierarchical scheme to identify suitable site for oyster aquaculture in GeojeHansan Bay.

다음 단계는 각 중간수준(Intermediate level)과 저층수준(Bottom level)에 대한 가중치를 만드는 것이다. 가중치의 목적은 각 조건에 대한 변화범위와, 이러한 변화에 덧붙여 관련되는 중요도를 설명하는 것이다(Perez et al., 2002). 이 단계에서 기존의 다양한 가중치 기술이 있지만, 쌍대비교법이 다중조건평가(Multi criteria evaluation)에서 각 인자에 대한 관련 가중치 세트를 만드는데 사용되었다. 결과적으로, 조건의 관련 중요도에 관한 정보가 필요하여, 이 단계에서 평가 조건에 관련된 굴 양식장 및 해양환경 분야의 전문가들의 설문 조사를 통한 선호도가 결정 모델에 고려되었다. 결정된 선호도는 고려하지 않은 다른 조건에 관련된 쌍방의 중요도를 나타내는 평가 조건에 할당된 값으로 정의되었다. 각 조건과 인자를 위한 쌍대비교를 함으로써, 관련 가중치 결정이 가능하고, 각 조건에 대한 변화와 변화범위에 따른 다른 중요도를 설명할 수 있다(Malczewski, 2000). 쌍대비교에서, 조건의 관련 중요도는 최소(1/9~1/2)에서 최대(1~9)까지 17개의 연속 스케일로 산정되었으며, 쌍대비교행렬의 고유벡터가 총합 1의 가중치를 생성하게끔 계산되었다. 계층분석법 사용의 이점은 가중치 과정의 결과 평가와 가중치 분포의 일관성 비율(Consistency ratio)을 계산하는 능력으로서, 이 값은 등급이 무작위로 할당되어질 가능성을 나타내는데, 일관성 비율 0.1 미만이 판단에 있어 좋은 일관성을 나타내고 이용에 타당성이 있는 것이다(Satty, 1977).

2.4 GIS 기반의 어장관리시스템 구축

적지선정 시스템은 ArcGIS를 사용해서 수행되었다. 가중 선형조합(Weighted linear combination method)으로 알려진 다중조건 평가(MCE) 기법을 기반으로 가점방법을 만들었고, 가중선형조합에서 관련 중요성의 가중치가 각각의 조건에 할당되고, 할당된 가중치와 조건에 대한 점수를 곱함으로써 평균가중치가 얻어지며, 식(1)에서 보듯이, 모든 조건에 대한 곱을 더함으로써 얻어진다.

$$V(x_i) = \sum_j W_j r_{ij} \quad (1)$$

가중치는 속성의 관련 중요도를 나타내며, W_j 는 정규화된 가중치이고, $\sum W_j=1$ 이다. r_{ij} 는 각각의 공간에 할당된 점수이다.

최종 적합도는 두 가지 다른 중간수준(Intermediate level)을 조합함으로써 만들어졌다. 이 모델들은 굴의 성장(Growth)과 환경(Environment) 조건에 대한 다른 가중치 시나리오를 사용해서 만들어졌다. 이 분석은 다른 조건의 중요도의 정의에 있어 불확실성이 존재할 때 유용하다. 또한, 가중치를 변화시킨다면 결과가 어떻게 변할지를 살펴보는 것도 중요하다(Malczewski, 2000).

3. 결 과

3.1 굴 성장 인자의 공간 분포

수온(Fig. 3)은 추·동계의 표층 데이터의 정점별 평균값에 대하여 AcrGIC상에서 IDW(Inverse Distance Weighted)법으로 보간하여 가장 높은 범위의 값을 8점으로, 가장 낮은 범위의 값을 0점으로 부여하였다. 그 결과 내만역으로 갈수록 수온이 낮아 점수가 낮았고, 대마난류의 영향으로 따뜻한 해수가 유입되는 남측 봉암도 수로 부근이 높은 점수를 받았다. 염분(Fig. 4)은 연중 표층 데이터의 정점별 변화폭에 대하여 IDW법으로 보간하여 가장 변화폭이 낮은 범위의 값을 8점으로, 가장 높은 범위의 값을 0점으로 부여하였다. 그 결과 내만의 동부면 전방의 해역이 염분의 계절별 변화폭이 가장 높아 가장 낮은 0점으로 하였다. 해수유동(Fig. 5)은 낙조류의 유속 중 가장 빠른 20cm/s 이상을 4점으로 하고, 그 이하부터 8점으로 하여, 유속이 낮아질수록 점점 낮은 점수를 부여하였다. 그 결과 남측 봉암도와 거제시 남부면 사이 협수로의 유속이 20cm/s 이상으로 가장 높아 4점을 부여하였고, 거제만 내만의 동부면 전방, 죽림포 전방, 산달도 북측, 울포리 전방, 화도앞 수로 등이 유속이 낮아 0점을 부여하였다. 클로로필 a(Fig. 6)의 경우 연중 표·저층 데이터의 정점별 평균값에 대하여 보간을 하였으며, 클로로필 a의 농도가 높을수록 높은 점수를 부여하였다. 그 결과 거제만 최 내측이 가장 높아 8점을 부여하고, 화도앞 수로, 봉암도 북측, 울포리 전방이 가장 낮아 0점을 부여하였다.

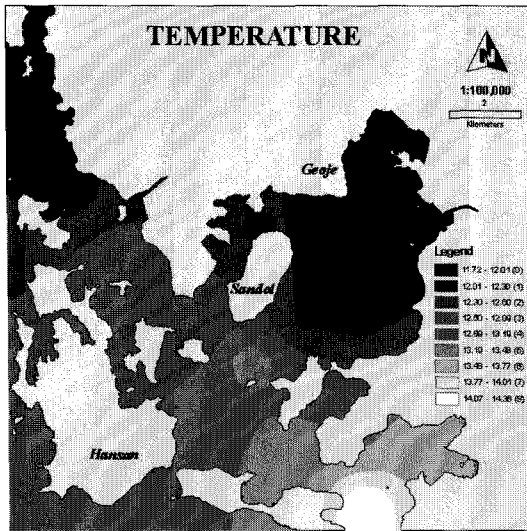


Fig. 3. Temperature(°C) distribution in GeojeHansan Bay.

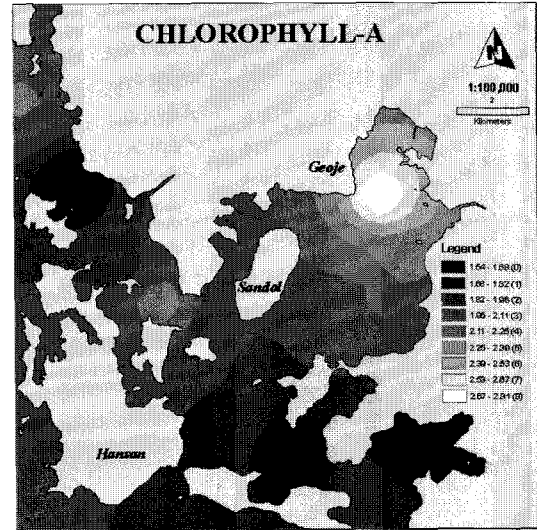


Fig. 6. Chlorophyll-a($\mu\text{g/L}$) distribution in Geoje-Hansan Bay.

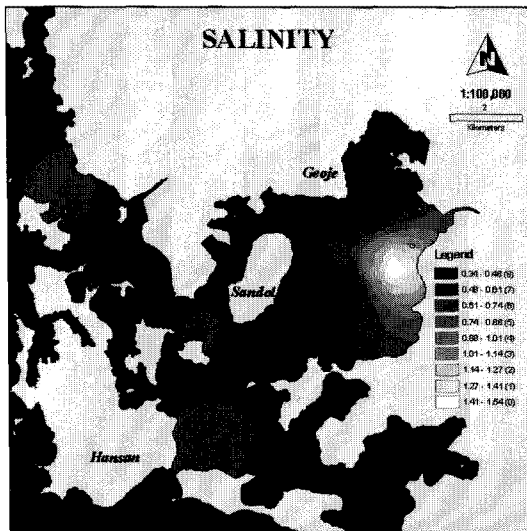


Fig. 4. Salinity(psu) variation distribution in Geoje-Hansan Bay.

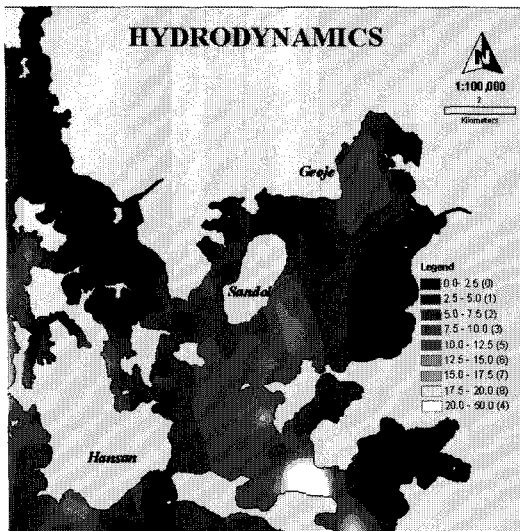


Fig. 5. Hydrodynamics(cm/s) distribution in Geoje-Hansan Bay.

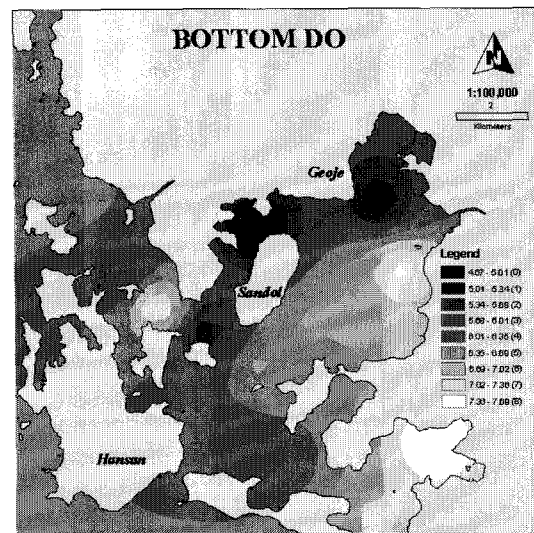


Fig. 7. Bottom Dissolved Oxygen(mg/L) distribution in GeojeHansan Bay.

3.2 환경 인자의 공간 분포

저층 DO(Fig. 7)는 하계 저층의 정점별 평균값에 대하여 보간하여 높을수록 저층 수질환경의 오염도가 낮다고 판단하여 높은 점수를 부여하였다. 그 결과 울포리 전방이 가장 높아 8점을 부여하였고, 죽림포 전방, 산달도 북측이 가장 낮은 0점이 부여되었다.

총유기탄소량(Fig. 8)은 연중 표·저층의 정점별 평균값에 대하여 보간하여 높을수록 수질의 오염도가 높다고 판단하여 낮은 점수를 부여하였다. 그 결과 산달도 북측이 가장 높은 값을 나타내어 0점을 부여하고, 울포리 전방, 봉암도 좌측북측, 화도앞 수로 등이 가장 낮은 값을 나타내어 8점을 부여하였다. 퇴적물 AVS(Fig. 9)는 연중 퇴적물의 정점별 평균값

에 대하여 보간하여 높을수록 퇴적물의 오염도가 높다고 판단하여 낮은 점수를 부여하였다. 그 결과 죽림포 전방, 산달도 북측이 퇴적물 AVS값이 가장 높아 0점을 부여하였다. 저서군집다양도(Fig. 10)는 연중 저서생물의 정점별 평균값에 대하여 보간하여 다양도가 낮을수록 저서 오염도가 높다고 판단하여 낮은 점수를 부여하였다. 그 결과 죽림포 전방, 송도 북측이 저서군집다양도가 낮아 0점을 부여하였다.

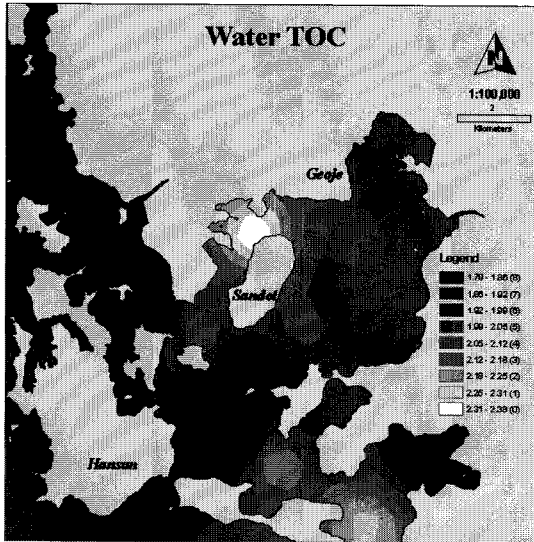


Fig. 8. Total Organic Carbon(mg/L) distribution in Geojehansan Bay.

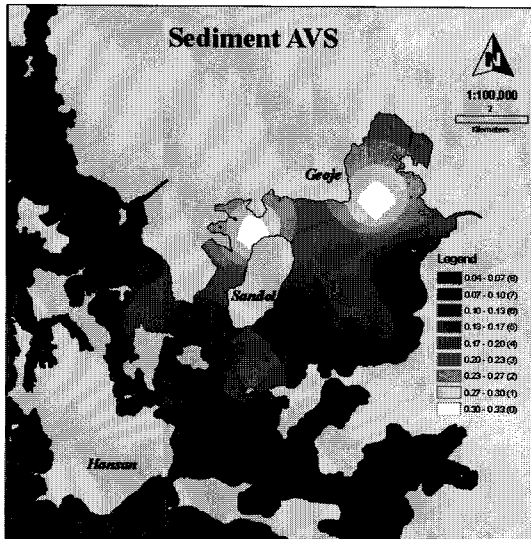


Fig. 9. Sediment Acid Volatile Sulfide(mg/L) distribution in Geojehansan Bay.

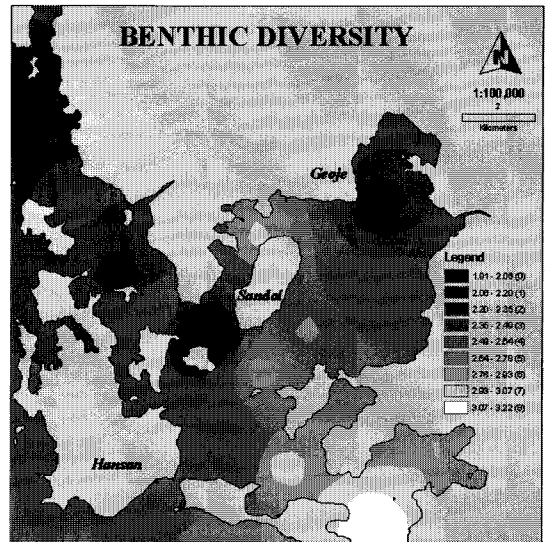


Fig. 10. Benthic Community Diversity distribution in Geojehansan Bay.

3.3 가중치 선정

거제한산만의 굴 양식장 최적지 선정에 있어 굴 성장에 관한 쌍대비교법의 가중치 결과(Table 2)를 살펴보면, 클로로필 a가 가장 높은 가중치를 나타내었는데, 이는 수온과 염분이 적절한 상태에서는 풍부한 먹이가 있는 곳에서 성장이나 비만이 가장 양호하다는 Brown and Hartwick(1988)의 연구결과와 일치하며, 해수유동, 수온, 염분의 순으로 가중치가 선정되었다. 네 가지 가중치에 따른 점수 분포는 Fig. 11과 같으며, 거제한 내측이 굴 생산성이 가장 높고, 화도 주변구역이 가장 생산성이 낮은 것으로 나타났다.

Table 2. A pairwise comparison matrix of growth factors for oyster aquaculture site selection in Geojehansan Bay

	Sea temp.	Salinity	Hydro-dynamics	Chloro-phyll-a	Weight
Sea temp.	1	4.1111	0.8438	0.3778	0.1993
Salinity	0.2432	1	0.2373	0.0972	0.0510
Hydro-dynamics	1.1852	4.2143	1	0.4348	0.2261
Chloro-phyll-a	2.6471	10.2857	2.3000	1	0.5237

Consistency ratio : 0.0663

거제한산만의 굴 양식장 최적지 선정에 있어 주변 환경에 관한 쌍대비교법의 가중치 결과(Table 3)를 살펴보면, 수질의 총유기탄소량이 가장 높은 가중치를 나타내었으며, 그 다음은 저층 용존산소량, 산화발성황화물, 저서군집 다양도의 순으로 나타났다. 점수 분포는 Fig. 12와 같으며, 굴 양식장의 주변 환경을 고려 시에는 거제한 내측보다 수로에 해당하는

화도 주변수역과 울포리 앞 수역의 환경이 양호한 것으로 나타났다.

Table 3. A pairwise comparison matrix of environment factors for oyster aquaculture site selection in GeojeHansan Bay

	Bottom DO	Water TOC	AVS	Benthic Diversity	Weight
Bottom DO	1	0.4231	2.2222	4.8000	0.2455
Water TOC	2.3636	1	6.0000	11.2000	0.5975
AVS	0.4500	0.1667	1	2.0000	0.1048
Benthic diversity	0.2083	0.0893	0.5000	1	0.0523

Consistency ratio : 0.0661

3.4 최종 적지 선정

거제한산만의 굴 양식장 최적지 선정에 있어 중간수준(Intermediate level)인 굴 성장과 환경에 관한 쌍대비교법의 가중치 결과(Table 4)를 살펴보면, 환경의 가중치가 63%, 굴 성장에 관한 가중치가 37%로서 환경이 굴 성장보다 더 큰 가중치를 나타내었다.

Table 4. A pairwise comparison matrix of final site selection for oyster aquaculture site selection in GeojeHansan Bay.

	Growth	Environment	Weight
Growth	1	0.5882	0.3704
Environment	1.7000	1	0.6296

Consistency ratio : 0.0000

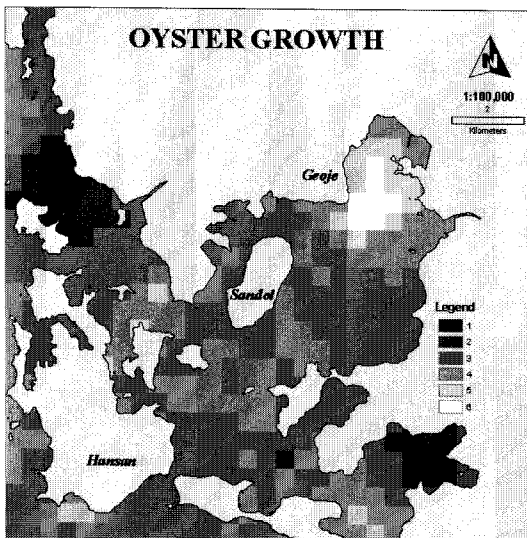


Fig. 11. Oyster Growth scoring distribution in GeojeHansan Bay.

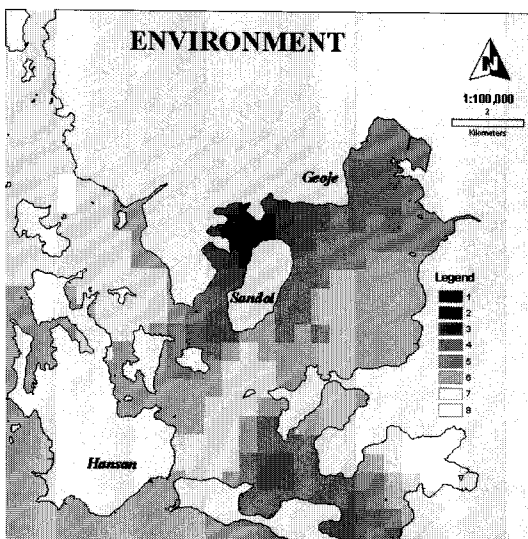


Fig. 12. Environment scoring distribution in GeojeHansan Bay.

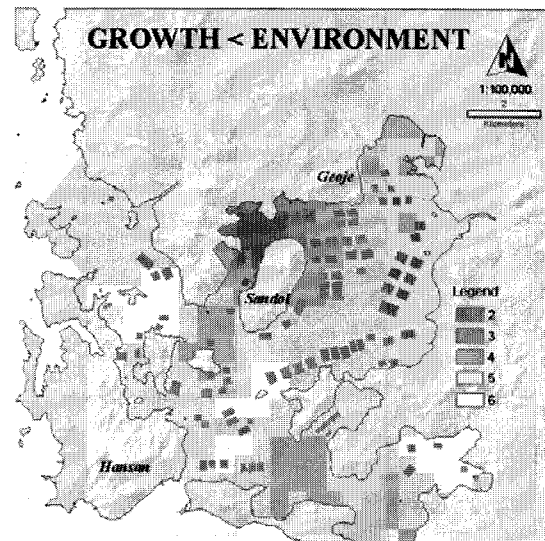


Fig. 13. Final scoring distribution in GeojeHansan Bay.

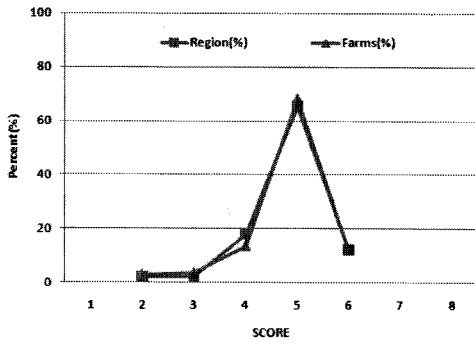


Fig. 14. Occupation percentage according to the final scoring distribution in GeojeHansan Bay.

4. 고찰

굴 양식장의 성장과 생존의 최적조건을 제공하기 위한 최적지 선정은 생물학적 서식지와 물리적 인자 둘 다를 포함하여 고려한다. 본 연구에서는 성장의 조건으로 수온, 염분, 해수유동, 클로로필 a를 고려하고, 환경의 조건으로 저층 용존 산소량, 해수 총유기탄소량, 퇴적물 산화발성 황화물, 저서군집 다양도 등을 고려하였으나, 추후 이들 인자보다 더욱 굴 성장과 주변환경에 영향을 미치는 인자가 있다면, 추가 혹은 교체를 통한 개선의 여지는 있다고 본다. 또한 본 연구에서는 중간수준(Intermediate level)으로 성장과 환경의 두 가지 요소만 고려하였으나, 추후 사회기반 인자들(Social-infrastructure)과 제약사항(Constraints) 등도 고려해야 한다. 즉, 선박 유류비와 노동력 확보를 고려한 어장에서 부두까지의 거리, 어장에서 공판장까지의 거리 등의 사회기반 인자들 또한 굴 양식장에 무형의 영향을 주며(Nath et al., 2000; Kingzet et al., 2002), 양식장이 들어서서는 안되는 선박 항로, 굴을 먹이원으로 하는 불가사리나 게와 같은 포식자의 영향을 배제하기 위한 수십 5m 이하의 지역, 도시의 오염부하를 직접적으로 받는 강 하구, 하수처리장 배출구 근처 등은 제약사항으로서 대상해역에서 배제시켜야 한다.

인자 가중치 결정은 GIS에 의한 적지선정 과정에서 중요한 단계로서, 가중치의 사소한 변화는 적지 분석의 결과에 대해 심각한 영향을 가질 수 있다. 본 연구에서는 각 인자에 대한 관련 가중치 설정방법으로 다중조건평가 기법중 하나인 쌍대비교법을 사용하였으며, 굴 양식장 및 해양환경 분야의 전문가들의 설문 조사를 통한 선호도가 결정 시스템에 고려되었는데, 이는 설문자 집단의 선호도에 따라 가중치는 가변의 가능성이 있는 것이 사실이다. 즉, 이번 설문에서는 환경의 가중치가 63%, 굴 성장에 관한 가중치가 37%로서 환경이 굴 성장보다 더 큰 가중치를 나타내었지만, 설문자 집단이 굴 생산성에 더욱 중요성을 두는 양식어민이나, 생산과 환경 둘 다를 고려하는 정책자 집단이라면 가중치는 달라질 수도 있는 것이다.

굴 성장에 관한 가중치를 63%, 환경의 가중치를 37%로

하였을 때의 계산결과(Fig. 15)와, 성장과 환경을 각각 50%로 고려하였을 때의 계산결과(Fig. 16)를 나타내었다. 결과에서 볼 수 있듯이, 가중치에 따라 적지가 달라지기 때문에 좀더 객관적인 방법, 주관적 판단이나 타당성이 없는 가정을 배제하는 가중치 결정방법이 선택되어야 한다.

적지 선정에 있어 의사결정에 이용 가능한 정보의 질과 양은 최신의 데이터와 양질의 데이터만이 정확한 산정을 가능하게 한다(Nath et al., 2000). 이 연구에서 사용된 데이터는 거제한산만의 15개 정점에서 실측한 데이터를 보간법을 사용하여 추출하였다. 클로로필 a의 농도나 수온의 경우, 최근 많이 연구 및 활용되고 있는 위성데이터의 사용도 고려하였으나, 이는 해수 표면의 색깔만을 반영하고 표층 아래의 저층 값을 나타내지 못하며, 절대치보다는 공간 기울기 규명에 집중하는 등 부정확성의 요인을 내포하고 있어 보간법을 사용하였다.

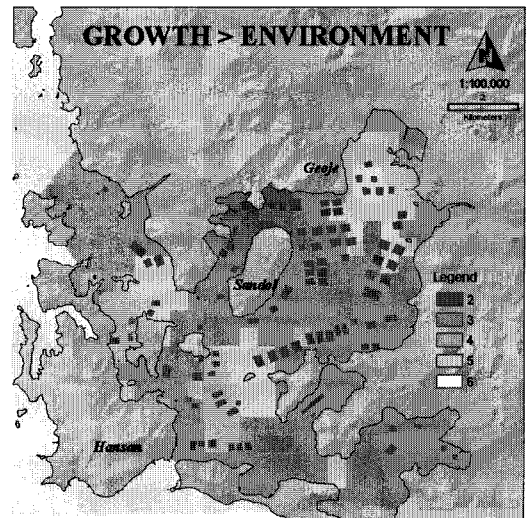


Fig. 15. Final scoring distribution in case of Growth>Environment.

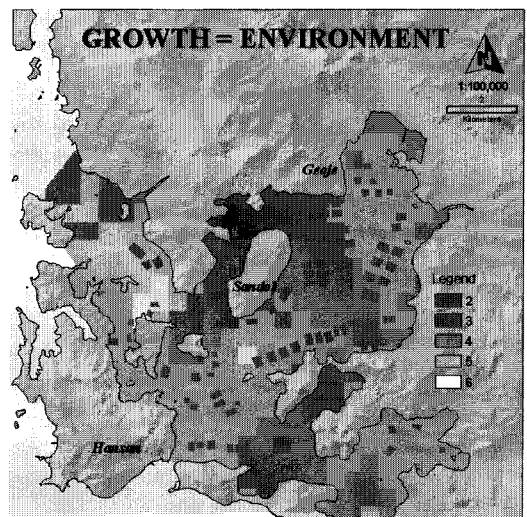


Fig. 16. Final scoring distribution in case of Growth=Environment.

양식 굴은 우리나라의 대표적인 양식수산물로 국내 양식 활동에 중요한 부분을 차지하고 있으며, 이를 증진, 관리하기 위해, 환경용량 측면이 고려될 필요가 있다(McKindsey et al., 2006). McKindsey et al.(2006)에 따르면 물리적 수용능력(Physical carrying capacity)은 유체역학모델과 물리적 정보의 조합으로 산정될 수 있고, GIS에서 이상적으로 구현 및 분석될 수 있으며, 생태학적 수용능력(Ecological carrying capacity) 산정 모델의 경우 여전히 초기단계에 있어서, 양식 기술과 민감한 서식지 사이의 상호작용을 고려하기 위하여 GIS가 하나의 대안이 될 수 있음을 시사하였다. 이 연구는 굴 양식을 위한 적지선정에 GIS의 사용을 모의하였고, 수락할 만한 결과를 보였다. GIS는 특히 자원의 최적사용을 위해 양식장 관련 연안 계획자를 위한 의사결정과정을 설립하는 유용한 툴로서, GIS의 이점은 새로운 데이터가 이용 가능할 때 쉽게 새로운 등급을 생성하기 위해 업데이트, 통합, 분석하는 능력이다(Nath et al., 2000).

감사의 글

이 연구는 국립수산물과학원의 사업과제(연안어장환경용량산정연구, RP-2009-ME-058)의 일환으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 국립수산물과학원(2008), 어장환경실태조사, pp. 3-6.
- [2] 김성희, 정병호, 김재경(2002), 의사결정분석 및 응용, 영지문화사, p. 488.
- [3] 박광서, 김효진(2008), 2008년산 굴 수급동향과 굴 양식업의 당면과제, 월간해양수산, 제287호, pp. 46-60.
- [4] 배경만, 배평암(1972), 참굴의 수하양식에 관한 연구(I), 수진연구보고, 제9권, pp. 71-84.
- [5] 배경만, 배평암(1973), 참굴의 수하양식에 관한 연구(II), 수진연구보고, 제11권, pp. 59-69.
- [6] 배평암, 변충규, 고창순, 김윤, 강필애(1978), 참굴의 수하양식에 관한 연구(IV), 수진연구보고, 제11권, pp. 109-119.
- [7] 유성규(2001), 양식개론, 구덕출판사, p. 360.
- [8] 이규형(1994), 가막만의 양식굴의 생산에 관한 수산해양학적 연구, 한국수산학회 1994년도 추계공동학술 심포지움, p. 59.
- [9] 이병돈, 강형구, 강용주(1991), 굴 양식장 수역의 기초생산 연구, 한국수산학회지, 제24권, 제1호, pp. 39-51.
- [10] 최우정, 전영열, 박정흠, 박영철(1997), 한산거제만의 환경특성이 양식 굴의 비만에 미치는 영향, 한국수산학회지, 제30권, 제5호, pp. 794-803.
- [11] 한국해양수산개발원(2006), 우리나라 굴 산업의 현황과 당면과제, 해양수산동향, 제1232호, pp. 1-11.
- [12] 황국웅, 이규완(2000), GIS와 다요소의사결정방법(MCE)에 의한 김해 대청공원 집단시설지구 적지분석, 한국지리정보학회지, 제3권, 제3호, pp. 45-53.
- [13] Arnold, W. S., M. W. White, H.A. Norris and M. E. Berrigan(2000), Hard clam(*Mercenaria* spp.) aquaculture in Florida, U.S.A. - geographic information system applications to lease site selection, *Aquac. Eng.*, Vol. 23, pp. 203-231.
- [14] Bacher, C., J. Grant, A. J. S. Hawkins, J. Fang, M. Zhu and M. Besnard(2003), Modelling the effect of food depletion on scallop growth in Sungo Bay(China), *Aquat. Living Resour.*, Vol. 16, pp. 10-24.
- [15] Bernard, R. F.(1983), Physiology and the mariculture of some Northeastern Pacific bivalve molluscs, *Can. Spec. Publ. Bull.*, Vol. 70, pp. 1121-1126.
- [16] Brown, J. R. and E. B. Hartwick(1988), Influences of Temperature, salinity and available food upon suspended culture of the pacific oyster, *Crassostrea gigas*: II. Condition index and survival, *Aquaculture*, Vol. 70, No. 3, pp. 253-267.
- [17] Buitrago, J., M. Rada, H. Hernandez 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. *Environ. Manage.* Vol. 35, pp. 544-556.
- [18] Burrough, P. A. and R. A. McDonnell(1998), Principle of Geographical Information Systems, Oxford University Press. p. 327.
- [19] Chavez-Villalba, J.(2002), Broodstock conditioning of the oyster *Crassostrea gigas*: origin and temperature effect, *Aquaculture*, Vol. 214, pp. 115-130.
- [20] Inglis, G. J., B. J. Hayden and A. H. Ross(2000), An Overview of Factors Affecting the Carrying Capacity of Coastal Embayments for Mussel Culture. NIWA, Christchurch, Client Report CHC00/69, pp. 1-31.
- [21] Kingzet, B., R. Salmon and R. Canessa(2002), First nations shellfish aquaculture regional business strategy, BC central and northern coast, Aboriginal relations and economic measures, Land and Water British Columbia Inc, p. 256.
- [22] Malczewski, J.(1999), GIS and Multi criteria Decision Analysis, John Wiley & Sons, New York, pp. 392.
- [23] Malczewski, J.(2000), On the use of weighted linear combination method in GIS: common and best practice approach, *Trans. GIS*, Vol. 4, pp. 5-22.
- [24] McKindsey, C.W., H. Thetmeyer, T. Landry and W. Silvert(2006), Review of recent carrying capacity

- models for bivalve culture and recommendations for research and management, *Aquaculture*, Vol. 261, pp. 451-462.
- [25] 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.*, Vol. 23, pp. 233-278.
- [26] Perez, O. M., T. C. Telfer, M. C. M. Beveridge and L. G. Ross(2002), Geographical Information Systems(GIS) as a simple tool to aid modelling of particulate waste distribution at marine fish cage sites, *Estuar. Coast. Shelf Sci*, Vol. 54, pp. 761-768.
- [27] Perez, O. M., T. C. Telfer and L. G. Ross(2005), Geographical information system-based models for offshore floating marine fish cage aquaculture site selection in Tenerife, Canary Islands, *Aquac. Res.*, Vol. 36, pp. 946-961.
- [28] Pilditch, C. A. and J. Grant(1999), Effect of variations in flow velocity and phytoplankton concentration on sea scallop(*Placopecten magellanicus*) grazing rates, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, Vol. 240, pp. 111-136.
- [29] Saaty, T. L.(1977), A scaling method for priorities in hierarchical structures, *J. Math. Psychol.*, Vol. 15, pp. 234-281.
- [30] Salam, M. A., G. R. Lindsay and M. C. M. Beveridge(2003), A comparison of development opportunities for crab and shrimp aquaculture in south-western Bangladesh, using GIS modeling, *Aquaculture*, Vol. 220, pp. 477-494.
- [31] Stead, S. M., G. Burnell and P. Gouilletquer(2002), Aquaculture and its role in integrated coastal zone management, *Aquac. Int.*, Vol. 10, pp. 447-468.

원고접수일 : 2009년 12월 07일

원고수정일 : 2010년 02월 11일 (1차)

: 2010년 03월 22일 (2차)

게재확정일 : 2010년 03월 24일