

GIS을 활용한 해양환경관리에 관한 연구 II

(해수면 수온분포의 정량화를 위한 선 밀도 알고리즘 개발)

이형민·박기학*

(주)그린텍환경컨설팅, 한국방송통신대학교 환경보건학과*

A Study on the GIS for The Sea Environmental Management II

(- Developing a Line Density Algorithm for The Quantification to the Sea Surface Temperature Distribution -)

Hyoung Min Lee·Gi Hark Park*

Greentech Environmental Consulting Co., LTD

*National Open University Dept. of Environmental Health**

Abstract

A Line Density algorithm was developed to quantify the sea surface temperature distribution using NOAA Sea Surface Temperature(SST) data and Geographic Information Systems(GIS). In addition, a GIS based automation model was designed to extract the Line Density Indices were determined by applying K-means Cluster. SST data in terms of March to May obtained on the coastal area of the Uljin from 2001 to 2004 in spring were used to make two data sets of average sea water temperature map in terms of year as well as month. From the result it was formed that water temperature gradient in April was the strongest among the other months. In particular very strong formation of oceanic front as well as temperature gradients were observed in front of the coastal area around Wonduk and Jukbyeon countries. Because those coastal area is a confront zone of two cold and a warm. It is expected that the development of a Line Density Algorithm would contribute to quantify of the SST for the research of Sea Surface Front(SSF) related to marine life management and the sea environmental conservation.

Key words : RS, GIS, Sea Surface Temperature, Line Density Algorithm, Sea Environmental Assessment

*Corresponding author E-mail : pkh@knou.ac.kr

I. 서론

최근 해양생태 보전과 간척으로 인한 경제적 가치 창출이라는 상반된 견해로 인해 많은 논란이 일어나고 있다. 한편 위성원격탐사(Satellite Remote Sensing)와 지리정보시스템(Geographic Information Systems, GIS) 기술은 해양정보의 수집, 관리, 해석의 중요성이 점차 증대함에 따라 그 필요성이 점차 커지고 있다(김영섭 외 1998 ; 최현용 외 1998 ; Anselin and Getis, 1992,).

특히 해양환경에서 정보축적과 논리적이고 체계적인 연구의 추진은 매우 시급한 과제임에도 불구하고 우리나라가 처한 지리적 특이성으로 인하여 주변해역에서 형성되는 수온전선에 관한 연구는 매우 제한적으로 이루어져 왔다(윤홍주 외 2003 ; 허영만·최영찬, 2004 ; Yang, 1998).

이에 본 연구에서는 시·공간에 따른 해수면 수온전선의 분포특성을 정량적으로 분석하기 위한 선 밀도(Line Density) 알고리즘을 개발하고 등온선 추출을 위한 GIS 공간분석처리 모델을 정립하여, 해수면 수온전선의 정량적 해석방법개발을 하고자 한다. 이를 위해, NOAA 위성의 해수면온도자료를 기초자료로 활용하였다. 또한 효율적인 작업처리를 위하여 ArcGIS의 Model Builder와 Visual Basic을 이용하였으며, 등온선 추출을 위한 GIS 공간분석 처리는 개발된 선밀도(Line Density Index)를 이용하여 선밀도 지표를 자동으로 산출하는 프로그램을 작성하였다. 산출한 Line Density Index의 등급화는 K - means Clustering 방법에 적용하였고, 그 결과를 이용하여 연구해역에서의 연도별(2001년~2004년) 수온전선공간분포도를 작성하였다.

II. 연구 방법

1. 연구대상지역 및 자료

본 연구의 연구대상지역은 위성자료의 습득과 활용편이성을 고려하여 동해 울진주변해역(36°50'N~37°20'N, 129°15'E~129°50'E)으로 설정하였다(Fig. 1). 동해 울진주변해역은 동한난류와 북한난류의 상충지역으로 불규칙한 동해순환체계에 의해 영향을 받고 있어 계절에 따라 수온전선의 양상이 다르게 나타난다. 이와 관련된 자료는 AVHRR(Advanced Very High Resolution Radiometer)영상과 국립해양조사원에서 발행한 해도를 위성영상분석과 GIS기법을 이용하여 수행하였으며, 국립해양조사원에서 실측 제작한 1/50,000의 축척을 가진 NO.172, 173 해도를 사용하였다. 또한 TeraScan System과 ArcGIS를 사용하여 위성영상자료와 지리정보데이터를 처리하였으며, Line Density Index의 통계적 공간분석을 위하여 XLSTAT-Pro를 사용하였다(EPA, 2006).

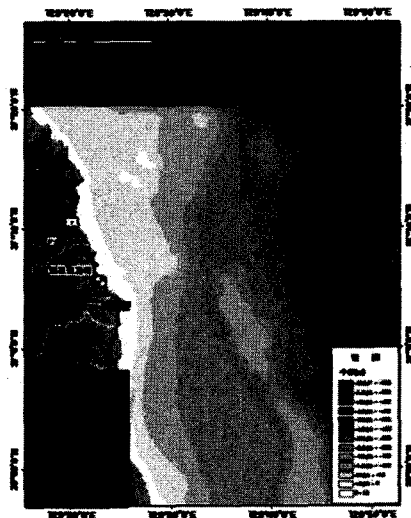


Fig. 1. Study area

이와 관련된 위성영상 자료는 한국해양연구원(KORDI)의 NOAA SST 자료 중 연도별 봄철(2001년부터 2004년까지) 영상을 사용하였으며(Table 1), 연구에 사용된 NOAA AVHRR영상의 해수표면 수온알고리즘은 채널 4, 5를 사용한 Multi Channel Sea Surface Temperature와 채널 3, 4를 사용하여 밤에만 사용 가능한 방법을 사용하였다.

$$SST = C + a T4 + b T5$$

(식 1)

위 식에서 T4와 T5는 채널 4와 5에서의 광도온도이며, a, b, c는 통계적으로 얻어지는 상수이다. 사용된 알고리즘은 NOAA 12호와 14호를 이용하여 밤·낮에 구분 없이 사용할 수 있는 MCSST 방법이며, Table 2은 한국해양연구원의 NOAA SST를 위한 TeraScan S/W에 사용하고 있는 상기 상수의 값을 나타내었다(Maclain et al., 1985).

Table 1. NOAA SST data

Year	Month	Day	Data
2001	Mar	3, 4, 12, 17, 18, 20, 21, 22, 25	9
	Apl.	3, 9, 12, 14, 16, 17, 22, 24, 25, 26, 27	11
	May	5, 10, 12, 13, 14, 16, 17, 27	8
2002	Mar	10, 11, 17, 18, 19, 22, 23, 24, 27, 31	10
	Apl.	1, 4, 9, 11, 12, 18, 20, 21, 25	9
	May	1, 20, 24, 29, 30, 31	6
2003	Mar	1, 19, 20, 22, 25, 27, 28	7
	Apl.	1, 5, 9, 12, 14, 16	6
	May	11, 18, 27	3
2004	Mar	4, 9, 12, 13, 18, 20, 26, 27, 30	9
	Apl.	1, 5, 8, 11, 14, 17, 19, 24, 28	9
	May	5, 6, 14, 17, 19, 21, 24, 25	8

TeraScan SW에 채택하고 있는 NOAA SST 알고리즘 공식은 아래와 같다.

$$- SST = A * T4 + B * (T4 - T5) + C * (T4 - T5) * (SEC(sza) - 1) + D * (SEC(sza) - 1) + E \dots (\text{식 2})$$

Table 2. Constant of SST

Method	Satellite	Time	A	B	C	D	E(K)	E(C)
MCSST	NOAA-15	D	0.959456	2.663579	0.570613	0.000	12.12	1.045
MCSST	NOAA-15	N	0.993892	2.752346	0.662999	0.000	1.753	0.084
MCSST	NOAA-14	D	1.017342	2.139588	0.779706	0.000	-5.280	-0.543
MCSST	NOAA-14	N	1.029088	2.275385	0.752567	0.000	-9.090	-0.145
MCSST	NOAA-12	D	1.013674	2.443474	0.314312	0.0	-4.647	-0.912
MCSST	NOAA-12	N	1.013674	2.443474	0.314312	0.0	-4.647	-0.912
MCSST	NOAA-11	D	1.01345	2.659762	0.526548	0.0	-4.592	-0.918
MCSST	NOAA-11	N	1.052	2.397089	0.959766	0.0	-15.52	-1.316
MCSST	NOAA-9	D	0.9994	2.7057	-0.27	0.73	0.1177	-0.046
MCSST	NOAA-9	N	0.9994	2.7057	-0.27	0.73	0.1177	-0.046
MCSST	NOAA-7	D	1.0346	2.5779	0.0	0.0	-10.05	-0.60
MCSST	NOAA-7	N	1.0346	2.5779	0.0	0.0	-10.05	-0.60
MCSST	NOAA-10	D	1.1	0.0	0.0	0.0	-27.316	0.0
MCSST	NOAA-10	N	1.1	0.0	0.0	0.0	-27.316	0.0

2. 등온선 추출

보간법 분석 후 ArcGIS Tool에서 제공하는 공간분석 기능중의 하나로서 표고의 형태, 표면해석 가시권분석, 표면의 방향성 분석을 할 수 있는 지표분석기능을 이용하여 레스터(raster) 자료에서 0.1℃, 0.2℃, 0.3℃, 0.5℃, 0.7℃, 1℃ 등온선을 추출하였다. 그 중 0.1℃의 등온선이 수온전선의 형태를 잘 표현하였고, 연구해역의 격자 폴리곤 레이어에서 고른 분포를 나타내었다. NOAA SST자료의 보간처리는 본 저자가 수행한 연구결과(이형민·박기학, 2006)를 통하여 선정된 클리핑(Kriging) 보간법과 지표분석 기능을 이용하여 추출된 0.1℃ 등온선이 본 연구에 사용되었다. NOAA SST로부터 추출된 등온선은 Fig. 2와 같다.

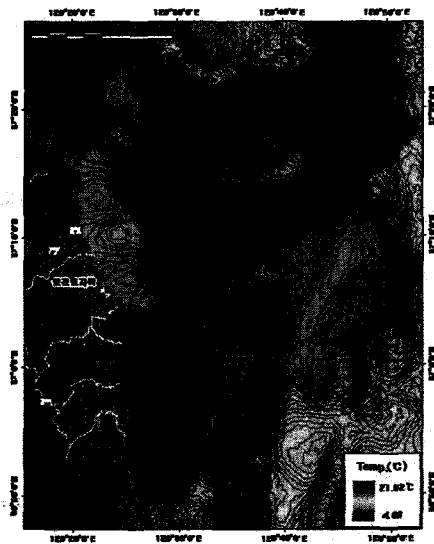


Fig. 2 . Extraction of isotherm by Kriging interpolation exponential model

3. 공간분석

본 연구에서는 연구지역의 선밀도자료를 계산하기 위하여 ArcGIS의 공간분석기법 중 서로 다른 레이어 간(등온선레이어와 격자폴리곤)의 속성정보를 합성하여 새로운 공간정보를 얻는 방법인 Intersect 중첩법과 지역 폴리곤 전체분석이 아닌 지역폴리곤을 구성하고 있는 각각의 폴리곤안에 포함되어 있는 공간객체(등온선)의 개수와 길이를 분석 하는 방법으로 각각의 폴리곤의 존재하는 등온선의 밀집도 비교·분석이 가능한 지역분석(Neighborhood Analysis)법을 사용하였다(Bailey, 1994 ; Burrough, 1998). 또한 연구지역의 지역분석을 위하여 6Km × 6Km 크기로 64개의 정방형 격자로 이루어진 폴리곤레이어를 설계·제작하였고, 좌상부분(A-1)부터 우하부분(J-8)까지 A~J Area와 1~8 Sector로 명명하였으며, 격자폴리곤레이어는 연구해역의 전반적인 수온전선의 형태, 출현위치 파악 및 분석을 용이하게 하였다(Fig. 3).

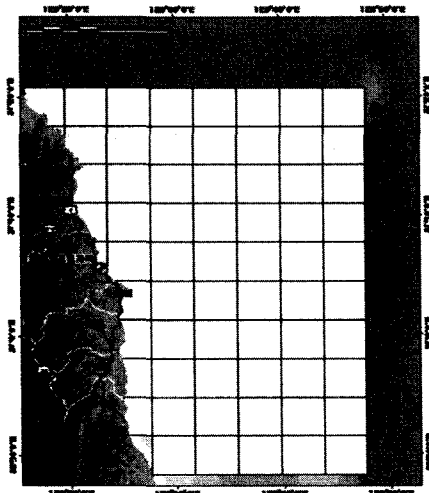


Fig.3 . Structure of lattice polygon

3.1 좌표변환 및 공간중첩

선밀도자료 계산은 도형데이터의 면적과 등온선의 길이에 의해 결정되기 때문에 투영방법에 따라 계산결과에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 대상 도형데이터들 간에 투영이 맞지 않거나 투영이 정의되지 않으면 선밀도자료 계산결과에 오차가 발생할 수 있기 때문에 ArcGIS Tool에서 중첩분석 기능을 이용할 때에는 작업대상 도형데이터의 투영에 유의해야 한다.

따라서 본 연구에서 사용된 도형데이터는 ArcGIS Tool을 이용하여 횡 메르카토르(TM: transverse mercator)좌표로서 동일하게 통일함으로써 선밀도자료 계산에 편리함을 도모 하였으며, 연구지역에서의 다양한 정보의 분석과 자료추출을 가능하게 하였다. 그리고 거리의 단위를 미터(meter)로서 통일하여 선밀도자료의 오차를 최소화하였다. 또한 NOAA SST에서 추출한 등온선은 좌표변환 단계를 거친 후, 구조화편집 단계에서는 자료변환, 위상구조생성, 공간자료와 속성자료의 연계, 편집 등을 통하여 등온선의 길이를 계산하였다.

또한 중첩은 서로 다른 레이어 간에 좌표값이 동일한 지역의 정보를 합성하거나 수학적 변환기능을 이용하여 변환하는 과정으로써, 일반적으로 하나의 레이어를 구성하는 도형정보와 속성정보는 중첩에 의하여 다른 레이어의 도형 및 속성정보와 그대로 합성되어 출력레이어에 나타내게 된다(김계현, 1998).

래스터의 자료의 벡터화 작업(vectorizing)으로 내삽(interpolation)된 래스터자료에서 온도가 같은 cell을 선으로 연결하여 등온선을 그리는 선형화작업을 통해 얻은 등온선레이어와 격자폴리곤레이어를 대상으로 Intersect 중첩을 하였으며, 입력레이어를 등온선레이어로 선택하여 두 개의 레이어가 Intersect 중첩이 되도록 하였다. Intetsect 중첩 결과 등온선레이어에는 'Area', 'Sector'라는 필드가 추가 되며, 필드의 속성이 같은 Area와 Sector에서 선밀도자료

를 계산 할 수 있도록 하였다(김영섭 외, 1998 ; Goodchild. et al., 1992)(Fig. 4). 또한 Intersect 중첩단계 후, 결과레이어(등온선레이어)의 속성테이블에서 Area와 Sector 필드의 속성이 모두 일치하는 각각의 격자 안에 존재하는 공간객체를 대상으

로 지역분석을 실시하였다. 이때 지역분석법의 Line-In-Polygon 방법을 이용하여 격자폴리곤레이어의 각각의 격자 안에 포함되어 있는 등온선의 개수와 길이를 파악하였다.

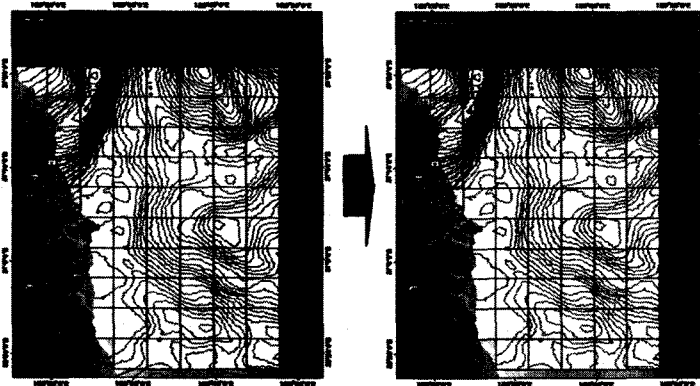


Fig. 4 . Intersect duplication

3.2 자동화처리 알고리즘

선밀도자료 계산을 위한 작업처리과정에서는 ArcGIS Tool에서 지원하는 Model-builder 기능을 사용하여 등온선의 자동추출 및 공간분석을 위한 자동화처리 알고리즘을 개발하였다. 자동화처리 알고리즘을 이용하여 등온선의 구조화편집 및 공간분석의 과정을 체계화, 자동화시켜 처리속도를 향상 시켰으며, 이를 위하여 객체 지향 언어인 Visual Basic과 Map Object 를 사용하였다.

3.2.1 공간분석처리 모델링

공간분석처리 알고리즘은 NOAA SST 자료의 클리징 보간, 등온선 추출, 구조화편집, Intersect 중첩의 4단계로 구성하였다. 또한 클리징 보간 단계에서는 NOAA SST 의 보간에 필요한 Z값 필드, 클리징 방법, Semivariogram Model, 검색반경유형, 대

상 셀 크기 등의 보간법 적용에 필요한 변수를 설정할 수 있다. 등온선 추출과정에서는 Z 인자, 기준등온선(base contour), 등온선 간격(contour interval)의 설정기능을 이용하여 기준등온선의 온도 및 등온선의 간격을 사용자가 직접 지정 할 수 있다. 그리고 구조화편집 단계에서는 등온선레이어의 자료형태가 자동으로 변환되어 등온선의 길이를 계산한다. Intersect 중첩단계에서는 등온선레이어와 격자폴리곤레이어의 중첩분석이 이루어지며, 공간분석처리가 완료된 결과 레이어는 사용자가 지정한 폴더에 저장된다.

또한 ESRI(Environmental System Research Institute)사의 Map Object 컴포넌트와 Microsoft사의 Visual Basic을 이용하여 선밀도자료를 자동으로 산출하였다 (Fig.5).

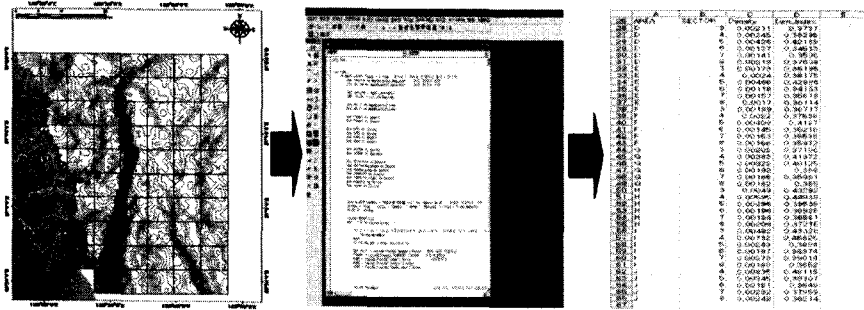


Fig. 5. Calculation method of line intensity data

4. 수온전선의 정량화

4.1. 선밀도 알고리즘의 개발

격자폴리곤레이어의 각각의 격자에 포함되는 선 형태의 공간객체의 총길이를 합하여 격자의 폴리곤 면적으로 나누면 선밀도가 계산되는데, 여기서 단순히 선 길이를 면적으로 나누게 되면 결과값의 가능범위는 0에서부터 ∞ 까지 이므로 등온선 분포 및 수온전선 지역을 정량화하여 표준지표로 사용하는 데에는 어려움이 있다. 따라서 등온선의 선 밀도값의 가능범위를 0에서 1까지 제한시킬 필요가 있어 다음과 같은 선밀도 자료를 계산하는 알고리즘을 개발하였다.

$$K = \frac{1}{f} = \frac{1}{|\log(LD)|} \quad (\text{식 3})$$

$LD = \text{Line Length(m)}/\text{Area(m}^2\text{)}$

Line Length(m) = 각각의 격자에 포함된 등온선 길이의 총합

Area(m²) = 격자 폴리곤의 면적

$$f = |\log(LD)|$$

$K = \text{Line Density Index}, 0 \leq K < 1$

위의 식을 사용하여 등온선의 선밀도지수를 구할 수 있다. 여기서 LD 는 선밀도를 의미하고, LD 는 각각의 격자에 포함되는 등온선의 길이를 총합하여, 해당 격자의 폴리곤 면적으로 나눈 값이다. 이를 상용로그 값으로 변환하고 분자 1을 로그 LD 의 절대값으로 나누었다. LD 의 계산값에 상용로그를 취하여, LD 값의 범위를 줄임으로써 LD 값의 변화에 영향을 받는 K 값을 지수화 및 계층화 하였다.

위의 식을 2001년 4월의 NOAA SST 자료를 대상으로 적용한 결과, $2.4 \times 10^{-1} \sim 1.2 \times 10^{-2}$ 의 범위를 갖는 LD 값에 상용로그를 취하여 K 값의 범위를 0.33~0.49로 줄여 지수화 하였다(Fig.6, Table3). 또한, 상용로그를 취하게 되면 LD 의 계산값이 반대로 되는데, 이를 방지하기 위하여 분자 1을 로그 LD 의 절대값으로 나누었다.

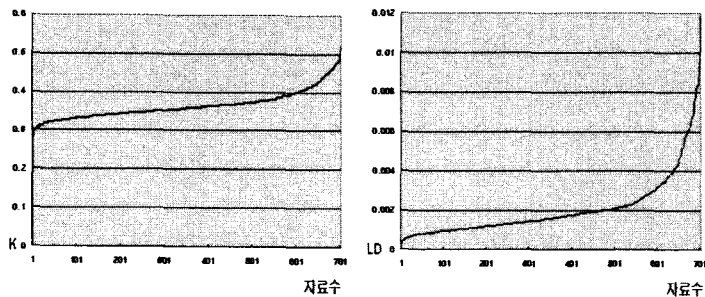


Fig. 6. Range of K(left) and LD(right)(Apr. 2001)

Table 3 . Range of K (left) and LD (right)(Apl. 2001)

Date (Apl. 2001)	Cell	K			LD		
		Mean	Min	Max	Mean	Min	Max
3	64	0.3656	0.3179	0.4133	0.00226	0.00072	0.00381
9	64	0.4204	0.3192	0.5215	0.00642	0.00074	0.01210
12	64	0.3993	0.3189	0.4797	0.00448	0.00073	0.00823
14	64	0.3624	0.3244	0.4005	0.00201	0.00083	0.00319
16	64	0.3638	0.2956	0.4319	0.00262	0.00041	0.00484
17	64	0.3386	0.2829	0.3943	0.00160	0.00029	0.00291
22	64	0.3570	0.2764	0.4375	0.00271	0.00024	0.00518
24	64	0.3958	0.3118	0.4799	0.00443	0.00062	0.00825
25	64	0.3784	0.3204	0.4365	0.00294	0.00076	0.00512
26	64	0.4047	0.3308	0.4786	0.00454	0.00095	0.00814
27	64	0.4127	0.3307	0.4947	0.00523	0.00095	0.00952

선밀도 알고리즘의 검증은 위하여, 가상 데이터를 입력하여 격자폴리곤레이어의 A-3~A-5, B-3~B-5 영역을 대상으로 실험을 실시하였다. 가상데이터는 1.1Km의 해상도를 가진 NOAA SST 점 자료에 각각 7℃의 온도차를 두어 온도를 입력하였고,

이후과정은 본 연구의 연구방법과 동일하게 적용하였다(Fig.7). 본 실험의 선밀도자료의 계산결과는 Table 4 와 같았으며, 실험 결과 해양환경에서는 일어날 수 없는 비현실적인 조건에서도 K 의 범위가 $0 \leq K < 1$ 임을 확인하였다.

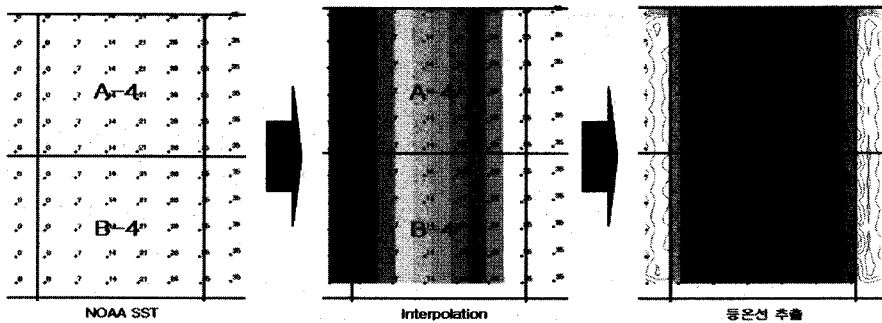


Fig. 7. Verification process of line intensity algorithm

Table 4. Verification process of line intensity algorithm data

Area	Sector	Density	Density Index(K)
A	3	0.00078	0.3215
A	4	0.05856	0.8114
A	5	0.00069	0.3163
B	3	0.00058	0.3090
B	4	0.05249	0.7813
B	5	0.00076	0.3206

K의 값은 0에서 1사이의 값을 가지게 되는데, K의 값이 1에 가까울수록 격자폴리곤레이어의 각각의 격자에 등온선이 조밀하게 분포되어 있음을 의미하며, 이는 등온

선의 수평구배가 높음으로 해석 할 수 있다. 선밀도 알고리즘을 이용하여 얻은 선밀도자료의 계산 결과는 Table 5와 같다.

Table 5. Calculation results of line intensity algorithm

Area	Sector	Density	Density Index	Area	Sector	Density	Density Index	
A	1	0.001617	0.358	E	6	0.002386	0.381	
	2	0.001567	0.356		7	0.002686	0.388	
	3	0.001273	0.345		8	0.000955	0.331	
	4	0.003201	0.400	F	3	0.000277	0.281	
	5	0.007827	0.474		4	0.001078	0.336	
	6	0.005283	0.439		5	0.002293	0.378	
	7	0.004226	0.421		6	0.001738	0.362	
	8	0.003984	0.416		7	0.002221	0.376	
B	2	0.000957	0.331		8	0.000770	0.321	
	3	0.001115	0.338		G	3	0.000531	0.305
	4	0.006508	0.457			4	0.000840	0.325
	5	0.009546	0.495	5		0.002369	0.380	
	6	0.003922	0.415	6		0.001850	0.365	
	7	0.004114	0.419	7		0.002015	0.370	
8	0.002160	0.375	8	0.000847		0.325		
C	2	0.000675	0.315	H		3	0.000709	0.317
	3	0.000783	0.321			4	0.001414	0.350
	4	0.003444	0.406		5	0.001969	0.339	
	5	0.003640	0.410		6	0.001612	0.358	
	6	0.001279	0.345		7	0.001383	0.349	
	7	0.001440	0.351		8	0.000853	0.325	
	8	0.002603	0.386		I	3	0.000482	0.301
	D	2	0.000493			0.302	4	0.001439
3		0.001127	0.339	5		0.001751	0.362	
4		0.000778	0.321	6		0.001943	0.368	
5		0.001308	0.346	7		0.002133	0.374	
6		0.002454	0.383	8		0.000694	0.316	
7		0.002654	0.388	J		4	0.000637	0.312
8		0.001858	0.366			5	0.001998	0.370
E		3	0.000596		0.310	6	0.002040	0.371
	4	0.000700	0.316		7	0.002127	0.374	
	5	0.001617	0.358		8	0.000446	0.298	

5. 공간해석

군집분석 된 선밀도자료를 Table 6을 기준으로 공간해석을 하였으며, 군집분석을

통하여 분류된 선밀도자료를 각각의 격자폴리곤레이어의 속성으로 입력한 후, 그 결과를 공간분포도로 작성하였다(Table 6, Fig.8).

Table 6. Space analysis

Group	Line Density Index	Degree	Space analysis
A	0.3874~0.4298	High	Very strong area of isotherm gradient
B	0.3652~0.3871	Little high	Strong area of isotherm gradient
C	0.3478~0.3648	Middle	Middle area of isotherm gradient
D	0.3251~0.3475	Little low	Weak area of isotherm gradient
E	0.2882~0.3244	Low	Very weak area of isotherm gradient

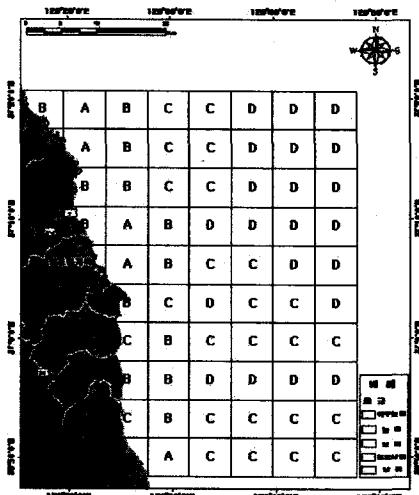


Fig. 8 . Map of structure analysis

III. 연구결과 및 고찰

1. NOAA SST 자료적용

1.1 월별 NOAA SST 자료적용('01~'04)

1.1.1 2001년

3월의 NOAA 위성영상 9개 Set을 분석한 결과, 구배가 매우 강한 지역(A등급)은 원덕읍 북부해역(D-2, E-2)으로 나타났으며, 비교적 높게 나타난 지역(B등급)은 원덕읍 북부해역의 15Km 해역(A-2, A-3, A-4)과 원덕읍에서 15Km 떨어진 해역(C-4, D-4, E-4) 그리고 울진읍에서 원남면 남부지역의

9Km 떨어진 해역(G-4, H-4, I-4, J-4)으로 'I'자 형태로 나타났다. 이 시기에는 등온선의 구배가 비교적 강하게 나타나지 않았고, 먼바다(遠海)로 갈수록 등온선의 구배가 약하게 나타났다(Fig.9). 4월의 NOAA 위성영상 11개 Set을 분석한 결과, 구배가 매우 강한 지역은 원덕읍 북부해역(A-1, A-2, B-2, C-2)과 울진 주변해역(D-3, E-3, F-3)으로 나타났으며, 비교적 높게 나타난 지역은 원덕읍 북부해역의 15Km해역(A-3, B-3, C-3)과 울진 측면에서 9Km 떨어진 해역(E-3, F-3)과 원남면 주변해역(G-3, H-3, I-3)에서 수괴(水塊)를 이루어 나타났다. 연안 6Km 해역에서 등온선의 구배가 강하게 나타났고, 먼바다(遠海)로 갈수록 등온선의 구배가 약하게 나타났다(Fig.10). 5월의 NOAA 위성영상 8개 Set을 분석한 결과, 구배가 매우 강한 지역(A등급)은 원덕읍 북부해역(A-1, A-2)에서 울진 측면 해역(E-3)까지의 지역으로 'I'자 형태로 나타났다. 등온선의 구배가 비교적 높게 나타난 지역은 울진 측면 남부해역(F-3)에서 원남읍 해역(I-3)까지 길게 형성되어 나타났으며, 육지에서 6~12Km 떨어진 연안해역에서 등온선의 구배가 강하게 나타났다(Fig.11).

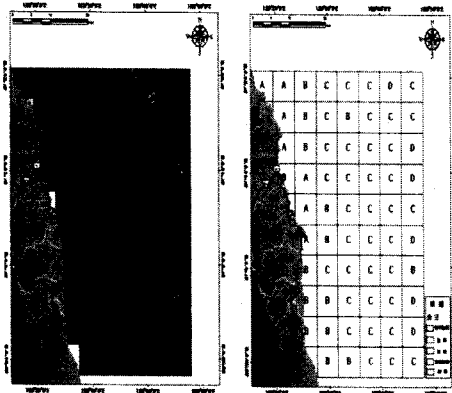


Fig. 9 . Isotherm and map of space analysis (Mar., 2001)

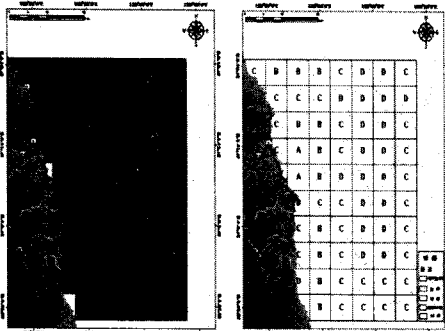


Fig. 10 . Isotherm and map of space analysis (Apr., 2001)

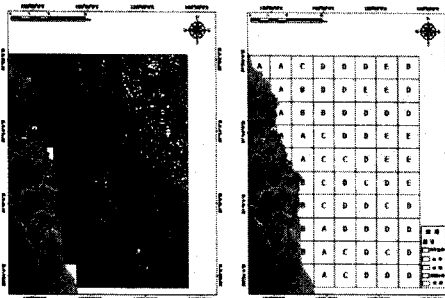


Fig. 11 . Isotherm and map of space analysis (May, 2001)

1.1.2 2002년

3월의 NOAA 위성영상 10개 Set을 분석한 결과, 원덕읍 북부해역(A-2, A-3, B-3)을 제외한 연구해역의 연안역에서 등온선의 구배가 강하게 나타났다(A등급). 울진 측면에서 6Km 떨어진 해역은 등온선의 구배가 비교적 약한 지역으로 나타났고, 먼바다(遠海)로 갈수록 등온선의 구배가 강해지는 것으로 나타났다(Fig. 12). 4월의 NOAA 위성영상 9개 Set을 분석한 결과, 등온선의 구배가 매우 강한 지역(A등급)은 울진 측면 연안(D-3, E-3)과 원남면 남부해역(J-4)에서 일부 나타났다. 비교적 높게 나타난 지역(B등급)은 원덕읍 북부해역의 12Km해역(A-2, B-2, C-3)과 근남면 연안(G-3, H-3, I-4)에서 나타났다. 등온선의 구배가 상대적으로 약한 지역(D, E 등급)은 원덕읍에서 21Km 떨어진 해역(C-5)에서부터 원남면에서 15Km 떨어진 해역(I-5)까지로 'I'자 형태로 나타났으며, 먼바다(遠海)로 갈수록 등온선의 구배가 약하게 나타났다(Fig. 13).

5월의 NOAA 위성영상 6개 Set을 분석한 결과, 연구지역의 연안과 근해에서 'Z'자 형태로 등온선의 구배가 비교적 약하게 나타났다. 그리고 먼바다(遠海)로 갈수록 등온선의 구배가 아주 약하게 나타났다(Fig.14).

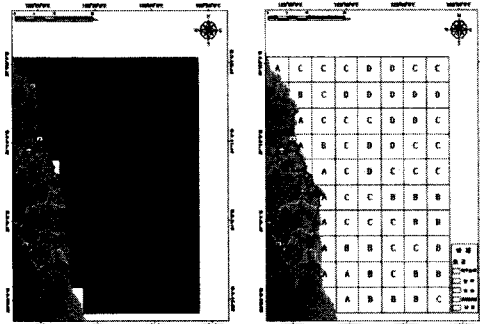


Fig. 12 . Isotherm and map of space analysis (Mar., 2002)

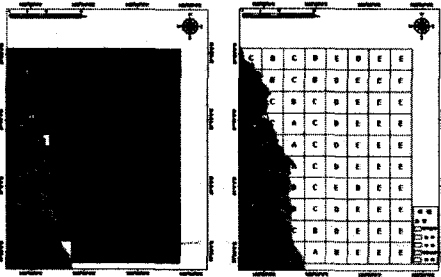


Fig. 13 . Isotherm and map of space analysis (Apl., 2002)

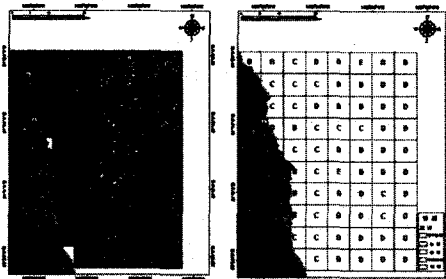


Fig. 14 . Isotherm and map of space analysis (May, 2002)

1.1.3 2003년

3월의 NOAA 위성영상 7개 Set을 분석한 결과, 원덕읍 북부해역(A-2, A-3, B-2, B-3)과 울진 죽변 북부해역(D-3, E-3)에서 등온선의 구배가 비교적 강하게 나타났고, 근남면(H-2)과 원남면(I-2)에서는 등온선의 구배가 상대적으로 약하게 나타났다. 이례적으로 먼바다(遠海)(I-7, I-8, J-8)에서 등온선의 구배가 비교적 강하게 나타났다(Fig. 15). 4월의 NOAA 위성영상 6개 Set을 분석한 결과, 연안 해역에서 등온선의 구배가 강하게 나타났다. 연안 전(全)지역에서 등온선의 구배가 매우 강하게 나타났으며(A등급), 비교적 높게 나타난 지역(B등급)은 등온선의 구배가 강하게 형성되었던 지역의 인근(A-4, B-4, C-4, D-4, E-4)에서 나타났다. 등온선의 구배가 보통인 지역(C등급)은 울진 죽변에서 15Km 떨어진 해역(F-5)에서 수괴를 이루어 나타

났으며, 등온선의 구배가 상대적으로 약한 지역(D, E 등급)은 거의 나타나지 않았다(Fig.6). 5월의 NOAA 위성영상 3개 Set을 분석한 결과, 연안 해역의 일부지역(D-3)을 제외한, 전체지역에서 등온선의 구배가 약하게 나타났다. 원덕읍 북부해역(A-3, A-4, B-3, B-4)은 등온선의 구배가 상대적으로 약한 지역으로 나타났으며, 울진 죽변에서 15Km 떨어진 해역에서는 비교적 강하게 나타났다. 원남면 남부해역(I-4~I-8, J-4~J-8)은 등온선의 구배가 약한 지역으로 나타났다(Fig. 17)

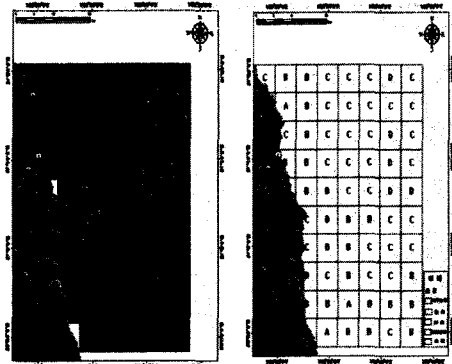


Fig. 15 . Isotherm and map of space analysis (Mar., 2003)

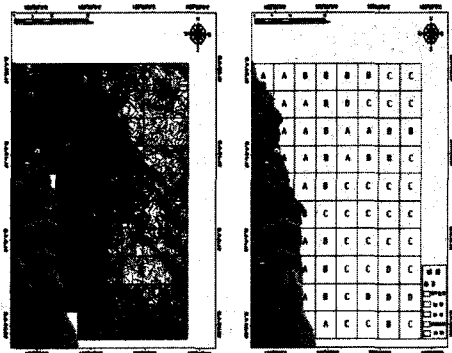


Fig. 16 . Isotherm and map of space analysis (Apl., 2003)

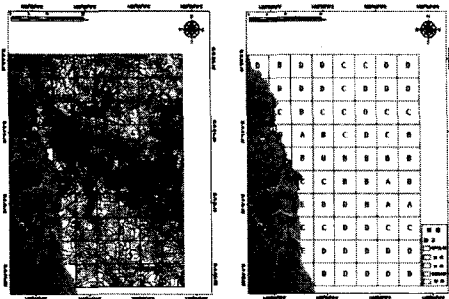


Fig. 17 . Isotherm and map of space analysis (May, 2003)

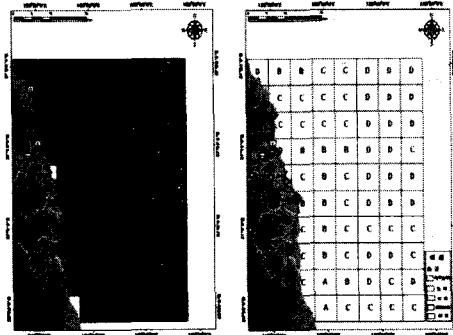


Fig. 18 . Isotherm and map of space analysis (Mar. 2004)

1.1.4 2004년

3월의 NOAA 위성영상 9개 Set을 분석한 결과, 연구해역의 연안에서 등온선의 구배가 비교적 약하게 나타났으며, 원남면에서 9Km 떨어진 해역(I-4, J-4)은 등온선의 구배가 비교적 강한 지역으로 나타났다. 죽변에서 15Km 떨어진 해역에서는 등온선의 구배가 보통인 지역이 'I'자 형태로 나타났으며, 먼바다(遠海)로 갈수록 등온선의 구배가 작아졌다(Fig.18). 4월의 NOAA 위성영상 9개 Set을 분석한 결과, 등온선의 구배가 매우 강한 지역(A등급)은 나타나지 않았다. 비교적 강한 지역(B등급)은 원덕읍 북부해역(A-2, B-2)과 울진 죽변 해역(E-3)에서 나타났으며, 등온선의 구배가 보통인 지역(C 등급)은 원덕읍 주변 해역(C-2, D-2)과 원덕읍에서 북쪽으로 15Km 떨어진 해역 그리고 울진 죽변에서 9Km 떨어진 해역으로 나타났다. 등온선의 구배가 상대적으로 약한 지역(D, E 등급)은 울진 죽변에서 21Km 떨어진 해역(E-6)을 중심으로 넓게 형성되어 나타났다(Fig.19). 5월의 NOAA 위성영상 8개 Set을 분석한 결과, 연구해역의 연안에서 15Km 떨어진 지역까지 등온선의 구배가 강하게 나타났다. 이 시기는 다른 시기와 비교 할 때, 연구해역의 전지역에서 등온선의 구배가 다른 연도의 같은 시기보다 1~2등급 이상 강하게 나타났다(Fig.20).

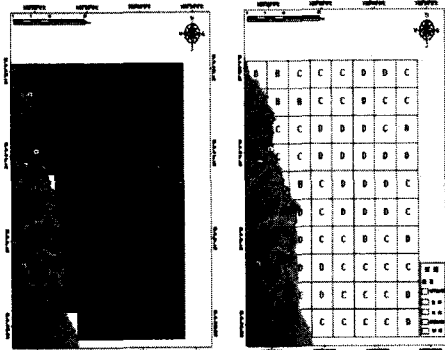


Fig. 19 . Isotherm and map of space analysis (Apr, 2004)

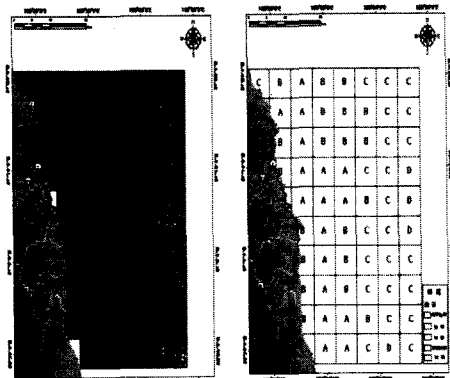


Fig. 20 . Isotherm and map of space analysis (May, 2004)

2. Line Density 알고리즘의 적용결과

2001년에는 원덕읍 북부해역과 울진 죽변 연안이 등온선의 구배가 매우 강한 지역으로 나타났고, 근남면과 원남면 연안은 등온선의 구배가 강한 지역으로 나타났다. 2002년에는 울진 죽변 연안이 등온선의 구배가 매우 강한 지역으로 나타났으며, 원덕읍 북부해역과 근남면 연안이 등온선의 구배가 강한 지역으로 나타났다. 근해에서 먼바다(遠海)로 갈수록 등온선의 구배가 작아졌다. 2003년에는 연구해역의 연안전체에서 등온선의 구배가 매우 강하거나, 강하게 나타났으며, 울진 죽변에서 15Km 떨어진 해역에서 C 등급과 경계를 이루

었다. 2004년에는 전체적으로 등온선의 구배가 작게 나타났다. A, B 등급은 2003년이 C 등급은 2001년, D 등급은 2004년, E 등급은 2000년이 가장 많이 나타났다(Table 7). 2001년, 2002년, 2003년은 주로 원덕읍 북부해역과 울진 죽변 연안에서 등온선의 구배가 강하게 나타났으며, 특히 2003년 4월에는 등온선의 구배가 강하게 나타나 해수면 수온전선의 형태를 뚜렷하게 파악 할 수 있었다. 원덕읍 북부해역과 울진 죽변 연안은 한류와 난류의 상충지역으로 수온의 차이가 크게 발생한 것으로 판단된다.

Table 7. Decision of degree of line intensity data('01.04~'04.04)

Group	Line density Index	Cases			
		2001	2002	2003	2004
A	0.3874 ~ 0.4298	7	4	16	-
B	0.3652 ~ 0.3871	15	7	18	4
C	0.3478 ~ 0.3648	36	12	26	32
D	0.3251 ~ 0.3475	6	11	4	28
E	0.2882 ~ 0.3244	-	30	-	-

IV. 결론

본 연구는 해양공간상의 수온전선 지역을 탐색하기 위하여 등온선을 정량적인 값으로 지수화 시키는 선밀도 알고리즘을 개발하고자 하였으며, GIS 공간분석처리 모델 정립을 통해 등온선의 선형화, 구조화 편집 및 공간분석처리 등 일련의 처리과정을 자동화 및 체계화를 목적으로 수행하였다. 본 연구에서 개발된

선밀도 알고리즘을 NOAA SST 자료에 적용해 본 결과, GIS를 통해 수치화된 등온선 분포를 체계적이고 빠르게 만들어 낼 수 있었으며, 수치화된 선밀도 지표값의 분포를 통해서는 절대적인 정량적 분석을, 군집분석을 통한 범주형 자료값의 분포를 통해서는 상대적인 정성적 분석을 하는데 효과적이라는 결론을 얻을 수 있었다. 또한, GIS 기법을 통한 공간분석처리에 대한 작업모델을 정립함으

로써, 시간·공간적 범위에 따른 작업처리 대상을 자료량에 관계없이 수온전선의 형성지역을 빠르고 정확하게 추출 할 수 있는 체계를 구현하였다. 해양자료의 공간분석 및 통계분석을 통하여 얻어진 본 연구의 연구 결과는 전선 해역의 생물·화학적 특성과 영양학적 구조를 밝히는데 논리적인 근거 자료로 사용 할 수 있으며, 나아가 연구해역의 전반적인 특성을 이해하는데 중요한 기초자료로 사용 할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 향후 해양의 수온전선과 관계된 해양요소, 특히 해양생물적요소와 수산자원 연구에 도움을 줄 것으로 생각되며, 어업자원의 효율적인 이용과 동해 해양생물자원의 생산력유지를 위한 해양환경의 보전 방안 수립에도 도움이 될 수 있을 것이다. 특히 새만금 호 간척사업과 같은 국토확장사업 시행 시 계획단계에서부터 해양오염으로 인한 해양생태 보전과 간척으로 인한 경제적 가치 창출이라는 상반된 견해로 인해 많은 논란을 겪었던 만큼 위성 원격탐사와 지리정보시스템의 활용사례라는 측면에서 중요한 기초자료로서의 이용이 기대된다.

참고문헌

1. 김계현, GIS개론, 대영사, 1999.
2. 김영섭, 서애숙, 조명희, 원격탐사개론, 동화기술, 1998.
3. 이형민, 박기학, 2006, GIS을 활용한 해양환경관리에 관한 연구 I (LDI 알고리즘 적용을 위한 보간법에 관한 연구), 환경영향평가학회지, 제15권6호, 443-452, 2006.
4. 윤홍주, 김상우, 황화정, 수산·해양 정보화를 위한 RS 및 GIS 기술의 활용”, 한국해양정보통신학회 논문지, 7권 5호, 1068-1075, 2003.
5. 최종근, 공간정보 모델링, 구미서관, 2002.
6. 최현용, 이상호, 오임상, 황해 중부 연안 수온전선역의 정량적 해석, 한국해양학회지 바다 3권 1호, 1-8, 1998.
7. 허영만, 최영찬, 제주도 서남방 동중국해역에서 하계 해양전선 형성과 수질특성, 한국해양환경공학회지 7권 2호, 64-69, 2004.
8. Anselin, L. and Getis, A., Spatial statistical analysis and geographical information system, The Annals of Regional Science 26, 19-33, 1992.
9. Bailey, T. C., A review of statistical spatial analysis in geographical information systems. (Eds) Spatial Analysis GIS. Stewart Forheringham and Peter Rogerson, Taylor & Francis, 1994.
10. Burrough, P. A & Mcdonnell, R. A., Principles of Geographical Information Systems, Chapter 5: Creating continuous surfaces from point data, Oxford Press, 1998.
11. Dean J. Wright., Undersea with GIS, ESRI Press, 2002.
12. EPA., Environmental Protection Agency. Geographic Information Systems Tools., Available from <http://www.epa.gov/epahome/gis.htm>, 2006.
13. Gong, Y. and S. J Son., A study of oceanic thermal fronts in the southwestern Japan Sea, Bull. Nat'l. Fish. Res. Dev. Agency, 28, 25-54(in Korean), 1982.
14. Goodchild, M.F., Haining, R.P. and Wise, S.M., Integrating GIS and Spatial Data Analysis : problems and possibilities”, Int. J. Geographical Information System, 6(5), 407-423, 1992.
15. McClain, E. P., W. G. Pichel, and C.

- C. Walton, Comparative performance of AVHRR-based multichannel sea surface temperature, *J. Geophys. Res.*, 90, 11587-11601, 1985.
16. Yang Y. J., Fronts and fishing conditions observed in the South-West Sea of Korea and the Northern sea area of East China Sea, M.S. Thesis, Cheju National Univ., 66, 1998.