

연구노트

GIS를 활용한 해양환경관리에 관한 연구 I
- LDI 알고리즘적용을 위한 보간법에 관한 연구 -

이형민 · 박기학*

(주)그린텍환경건설링, 한국방송통신대학교 환경보건학과*

(2006년 2월 27일 접수, 2006년 10월 30일 승인)

A Study on the GIS for The Sea Environmental Management I
- Focus on the Study of A Interpolation on The Application of LDI Algorithm -

Hyoung Min Lee · GI Hark Park*

GREENTECH ENVIRONMENTAL CONSULTING CO., LTD.,

National Open University Dept. of Environmental Health*

(Manuscript received 27 February 2006; accepted 30 October 2006)

Abstract

Today, satellite remote sensing (RS) and geographic information systems (GIS) plays an important role as an advanced science and technology. This study was developed a Line Density Algorithm which was clarify and describe the thermal front by using NOAA SST (sea surface temperature) and GIS spatial analysis for systemic and effective management of fish raising industry and sea environmental pollution by land reclamation program.

Before this, a study about a interpolation method was carry out which was very important for estimate the hidden value between a special point. For this study Inverse Distance Weighted interpolation, Spline interpolation, Kriging interpolation methods were choose and SST data from 2001 to 2004 in spring (March, April, May) were analyzed.

According to the study Kriging interpolation method was the very adaptive method from a practical point of view and excellent in description and precision then others.

Finally, the result of this study will be use for develop the Line Density Index Algorithm.

Key words : GIS, Satellite Remote Sensing, Line Density Algorithm, Sea surface temperature, Kriging interpolation method

1. 서론

지리정보시스템(Geographic Information System, 이하 GIS)은 X, Y, Z상의 공간적인 위치에 시간의 개념을 추가하여 과거에서부터 공간이 변화해 온 사항을 관리할 수 있도록 하며, 과거로부터의 변화를 기반으로 다양한 해석적, 통계적 기법을 이용해 미래를 예측할 수 있도록 지원한다(EPA, 1999). 최근 들어 이러한 GIS 기법은 위성원격탐사와 함께 연계하여 다양한 지구과학분야를 연구 및 조사하는데 첨단과학기술로서 매우 유용하게 활용되고 있다.

본 연구에서 접근하고자 하는 해양은 특성상 시간에 따른 변화가 매우 심하게 일어날 뿐만 아니라, 동일한 위치에서도 수심에 따라 해수면에서부터 해저에 이르기까지 서로 다른 정보를 가지기 때문에 육상에 비해 훨씬 복잡하고 독특한 시·공간적 특성을 가지고 있다.

이러한 이유로 해양에서 생성되는 다양한 정보를 신속·정확하게 수집한 후, 정보를 체계적으로 분석, 관리하고 이를 공간상의 분포현황 등 시각적으로 표현할 수 있는 GIS 관련정보기술에 대한 관심이 높아지고 있다.

특히 수온, 염분, 산소, 영양 염(鹽) 등의 해양환경요소들을 위성원격탐사자료와 GIS의 공간분석 기능을 연계하면 해석의 정보 주제별로 DB화하여 해양오염과 관련된 환경영향평가 및 어장과 양식장의 개발과 관리 등 해양·수산분야와 관련된 연구에 기초자료로서 활용할 수 있다.

특히 최근 들어 인공위성의 영상자료 기초로 작성한 해수표면온도분포는 수산물 양식 등과 같은 체계적인 어장관리뿐만 아니라 새만금 호, 시화호 등과 관련된 간척사업으로 인한 해양환경오염관리에 매우 효과적이기 때문에 이와 관련된 연구에 관심이 높아지고 있다(허영만·최영찬, 2004; Ross *et al.*, 1993; Ullman and Cornillon, 1999; Waluda and Pierce, 1998).

본 연구에서는 해양환경관리에 중요한 역할을 하는 해수면 온도의 효과적인 활용을 위하여 NOAA

SST(Sea Surface Temperature)자료와 GIS의 공간분석기법을 이용하여 해양환경과 연구지역의 지리적 특성에 적합한 최적의 보간법의 선택 방법에 대하여 연구하였다.

II. 연구자료

본 연구에서는 NOAA AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)영상과 국립해양조사원에서 발행한 해도를 위성영상분석과 GIS기법을 이용하여 수행하였고 TeraScan System과 ArcGIS를 사용하여 위성영상자료와 지리정보데이터를 가공 및 처리하였다(표 1).

표 1. 연구자료

	S/W 및 System	자 료	사용목적
공간자료 추출	TeraScan System	NOAA AVHRR	표층수온자료 추출
공간추정	ArcGIS	NOAA AVHRR	SST자료의 보간
공간분석	ArcGIS	NOAA AVHRR	등온선의 추출

II. 연구방법

1. 보간법의 선정

보간의 범주에는 결정론적 보간과 지구통계학적 보간이 있으며, 특히 결정론적 보간 기술은 측정치 또는 수학적 공식으로 표면을 생성한다. 본 연구에서는 그 중에서 비교적 널리 알려진 보간법으로써 IDW (Inverse Distance Weighted Interpolation: 가중이동평균법), Spline 보간법, Kriging 보간법 등의 3가지를 중심으로 그 적용타당성을 검증하였다(그림 1).

1) IDW (Inverse Distance Weighted Interpolation: 가중이동평균법)

IDW는 포인트들이 충분히 밀집된 경우에 적절한 방법이다. IDW는 샘플 포인트의 선형 가중 조합(Liner-Weighted Combination)으로 셀 값을 결정한다. 가중치는 산출할 셀 위치로부터 입력 포인

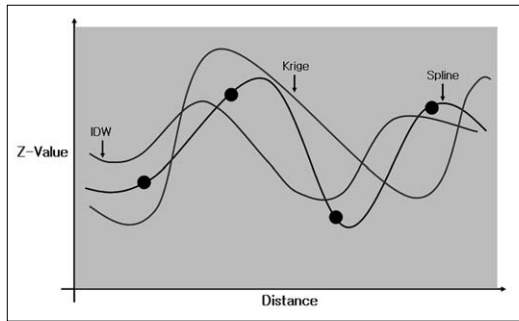


그림 1. 보간법의 특징

트까지의 거리를 연산하여 할당한다. 이때 부여하는 가중치는 격자점과 표본표고점간의 역수이다. 표본 표고점 거리가 멀수록, 셀이 결과에 미치는 영향력은 작아진다.

2) Spline 보간법

Spline은 전체 표면의 굴곡을 최소화하는 수학적 연산으로 값을 계산하며, 입력 포인트를 정확하게 통과하는 부드러운 표면을 산출한다. 고무판을 구부린 것처럼, 표면이 포인트를 통과하여 전체 굴곡을 최소화한다. Spline 표면에서 데이터의 능선과 계곡을 파악할 수 있다. 이것은 기온과 같은 다양한 현상을 부드럽게 나타낼 수 있는 최적의 방법이다. Spline에는 Regularized와 Tension이 있다.

Regularized Spline은 1차 도함수(경사도), 2차 도함수(경사도와 변화율), 3차 도함수(2차 도함수의 변화율)를 최소 연산으로 조합한다. Tension Spline은 1차와 2차 도함수만을 사용하지만, 연산 시에는 더 많은 포인트를 사용한다. 따라서 Tension Spline은 대개 부드러운 표면을 생성하지만 연산 시간이 길다.

3) Kriging 보간법

보간학, 지·화학, 오염 모델링과 같은 다양한 분야에서 사용되는 강력한 통계학적 보간 방법인 Kriging 보간법은 샘플 포인트들 간의 거리와 방향이 표면의 변화를 설명할 수 있는 공간 상관성을 반영한다고 전제한다. Kriging 보간법은 데이터에서 거리의 상관성 또는 방향성이 파악되는 경우에 가장 적합하며, 토양학과 지질학에서도 사용된다.

예측 값은 정교한 가중 평균 연산을 사용하여 샘플들의 관계성을 측정하여 산출된다. 또한 고정 또는 가변적일 수 있는 검색 반경을 사용한다. 생성된 셀 값은 샘플 값의 범위를 초과할 수 있고 표면은 샘플 포인트를 통과하지 않는다. Kriging은 샘플의 관계성에 의한 값을 예측하기 위해 강력한 통계 기술을 사용하는 지구통계학적 방법이다.

그림 1에서 나타난 바와 같이 IDW (Inverse Distance Weighted)와 같은 방법은 셀의 유사성에 기반하며, Trend와 같은 방법은 수학적 연산으로 부드러운 표면을 생성하는데 적합하다. Kriging과 같은 지구통계학적 보간 기술은 통계학에 기반하여 예측정확도 또는 확실성의 평가를 포함하는 고급의 표면 예측 모델링에 사용된다. IDW와 Spline은 유사성 또는 유연성을 기반으로 샘플에서 표면을 생성하는 결정론적 방법이다. 그러나, Spline의 표면은 정확하게 각 샘플 포인트를 지나는 반면에, IDW의 표면은 샘플 포인트를 지나지 않는다.

2. 위성자료

본 연구의 연구대상지역은 위성자료의 습득과 활용편이성을 고려하여 동해 울진주변해역(36° 50' N ~ 37° 20' N, 129° 15' E~129° 50' E)으로 설정하였다. 위성영상자료는 NOAA SST 자료로서 연도별 봄철(2001년부터 2004년까지) 영상을 사용하였다.

본 연구에서는 한국해양연구원(KORDI)의 NOAA SST 자료 중 연도별 봄철(2001년부터 2004

표 2. NOAA SST 자료

연 도	월	일	자료수(95개)
2001년	3월	3, 4, 12, 17, 18, 20, 21, 22, 25	9개
	4월	3, 9, 12, 14, 16, 17, 22, 24, 25, 26, 27	11개
	5월	5, 10, 12, 13, 14, 16, 17, 27	8개
2002년	3월	10, 11, 17, 18, 19, 22, 23, 24, 27, 31	10개
	4월	1, 4, 9, 11, 12, 18, 20, 21, 25	9개
	5월	1, 20, 24, 29, 30, 31	6개
2003년	3월	1, 19, 20, 22, 25, 27, 28	7개
	4월	1, 5, 9, 12, 14, 16	6개
	5월	11, 18, 27	3개
2004년	3월	4, 9, 12, 13, 18, 20, 26, 27, 30	9개
	4월	1, 5, 8, 11, 14, 17, 19, 24, 28	9개
	5월	5, 6, 14, 17, 19, 21, 24, 25	8개

표 3. SST 식에 사용되는 상수 값

방 법	위 성	시간	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

년까지 영상을 사용하였으며(표 2), 연구에 사용된 NOAA AVHRR영상의 해수표면 수온알고리즘은 채널 4, 5를 사용한 Multi Channel Sea Surface Temperature(MCSST; Maclain *et al.*, 1985)와 채널 3, 4를 사용하여 밤에만 사용 가능한 Bernstein (1982) 방법을 사용하였다.

$$SST = C + aT4 + bT5 \quad <식 3.1>$$

위 식(식 3.1)에서 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(식 3.2), 표 3은 한국해양연구원의 NOAA SST를 위한 TeraScan S/W에 사용하고 있는 상기 상수의 값을 나타내었다.

TeraScan SW에 채택하고 있는 NOAA SST 알고리즘 공식 ;

- Split window (MCSST):

$$SST = A * T4 + B * (T4 - T5) + C * (T4 - T5) * (SEC(sza) - 1) + D * (SEC(sza) - 1) + E \quad <식 3.2>$$

III. 연구결과

1. 등온선 추출 비교

공간보간은 공간상에 알려진 표고값이나 속성값을 이용하여 표고나 속성값이 알려지지 않은 지점에 대한 값을 추정하는 것으로 대상지역의 크기와 형태, 추정하려는 속성값의 특징 등 여러 조건에 따라 적합한 보간방식이 적용되어야 한다(김계현, 1998).

보간법은 여러 학자들에 의해 많은 연구가 있었으나, 어느 응용에도 가장 우수한 결과를 보이는 최적의 보간법은 찾지 못하였다. 본 연구에서는 본 연구에 적합한 보간법을 찾기 위하여 ArcGIS Tool에서 제공하는 보간법 중 비교적 널리 활용되고 있는 IDW (Inverse Distance Weighted Interpolation: 가중이동평균법), Spline 보간법, Kriging 보간법 등의 3가지를 중심으로 그 적용타당성을 검증하였다.

이를 위해 먼저 동일한 NOAA SST 자료를 선택한 후, 미리 정해진 값이나 조건을 자동으로 적용하여 IDW, Spline, Kriging 보간을 시행하였으며, 보간결과를 NOAA SST 자료와 비교·분석한 후, 분석결과를 표현력과 정확도로서 각각 상, 중, 하로서 구분하였다.

표 4. 보간법의 선정

보간법	표현력	정확도	문 제 점	판 정
Kriging	상	상	IDW보간법에 비해 표현력이 다소 떨어짐	적 합
IDW	상	중	SST의 자료가 없는 곳에서는 정확도가 떨어짐	부적합
Spline	중	하	여타의 보간법에 비해 SST의 오차가 크게 발생	부적합

분석결과 Kriging보간법은 IDW보간법에 비해 표현력이 다소 떨어지는 것으로 나타났으며, IDW 보간법은 SST의 자료가 없는 곳에서는 정확도가 떨어지는 지는 것으로 나타났다. 특히 Spline보간법은 여타의 보간법에 비해 SST의 오차가 크게 발생하는 것으로 나타났다(표 4).

1) IDW 보간법을 이용한 SST

IDW 보간은 전반적으로 등온선을 세밀하게 표현 하였지만, 보간법의 특징상 Point 데이터들이 밀집된 경우에 잘 표현하는 성질 있어 NOAA SST자료 중 구름의 영향에 의해 수신을 받지 못한 지점에서는 정확도가 떨어졌다(Burrough, 1998). 또한 수온 전선의 표현이 명확하지 않았다.

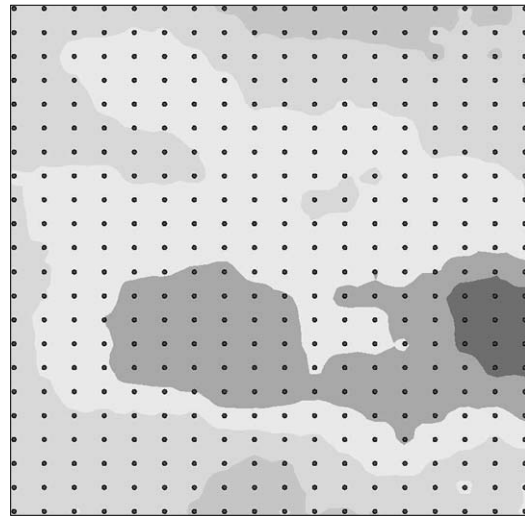


그림 2. IDW 보간 결과

2) Spline 보간법을 이용한 SST

Spline 보간은 다른 보간법에 비해 수온을 표현 하는데 오차가 크게 발생하여 적합하지 않다고 판단 되었다(표 6). Spline 보간법 적용에 따른 등온선 추출 결과는 그림 4~5와 같다. 그리고 수온전선의 표현이 명확하게 나타나지 않았다.

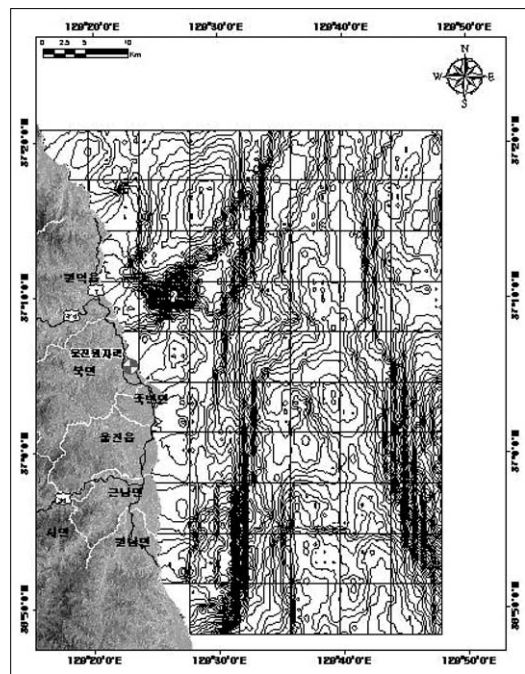
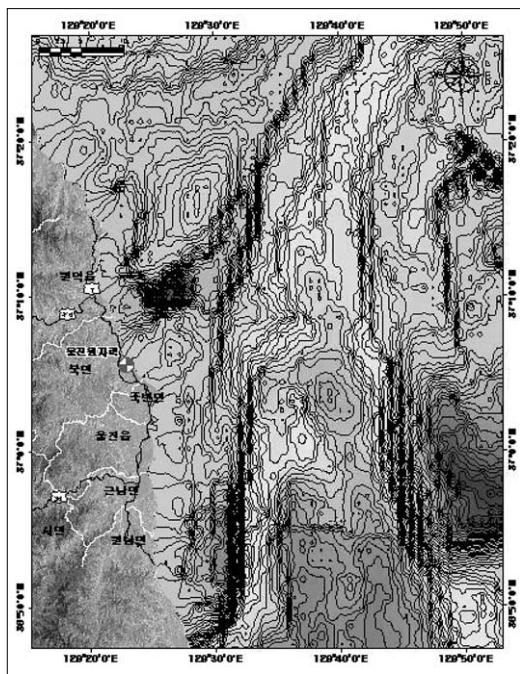


그림 3. IDW 보간법 적용과 등온선 추출

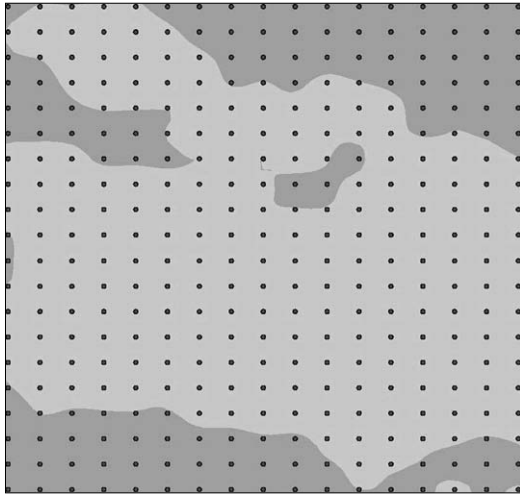


그림 4. Spline 보간 결과

표 6. 보간법 적용 전·후 SST 범위('04.03.09)

보간법	보간법 적용 전		보간법 적용 후	
	최소값	최대값	최소값	최대값
IDW	8.88	11.916	8.878	11.902
Spline	8.88	11.916	8.031	12.188
Kriging	8.88	11.916	8.880	11.907

3) Kriging 보간법을 이용한 SST

Kriging 보간은 IDW 보간에 비해 등온선의 표현은 다소 떨어졌지만, 분석결과 주변 SST의 영향을 최대한 반영하여 유연하면서도 체계적으로 등온선을 표현하였다(최종근, 2002). Kriging 보간법을 적용에 따른 등온선 추출 결과는 그림 6~7과 같다.

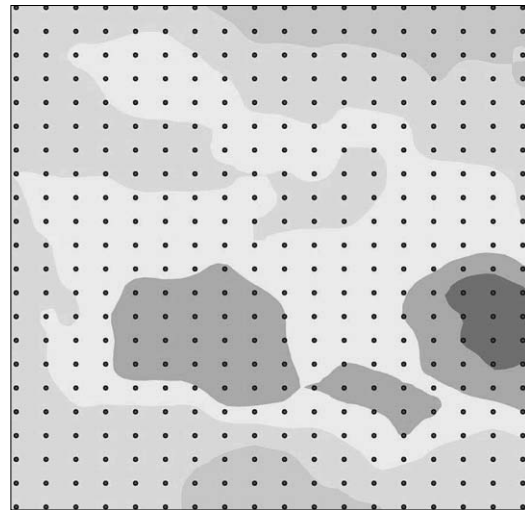


그림 6. Kriging 보간 결과

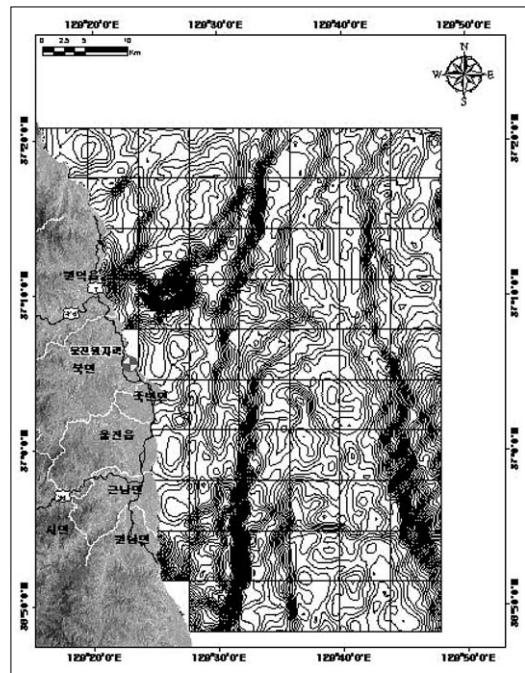
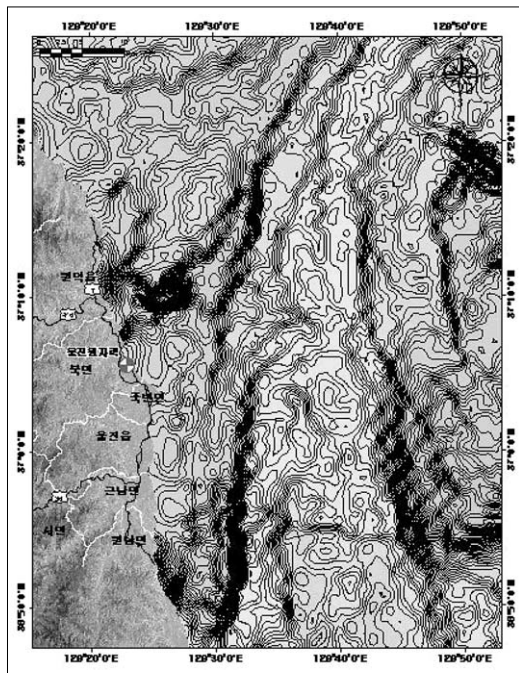


그림 5. Spline 보간법 적용과 등온선 추출

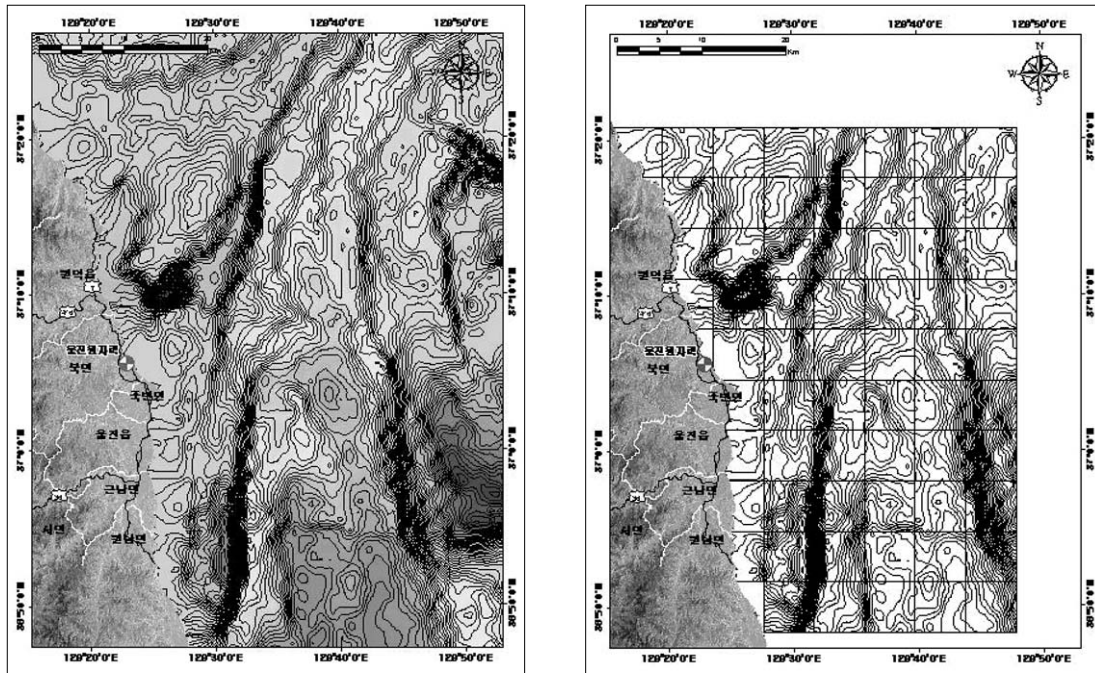


그림 7. Kriging 보간법 적용과 등온선 추출

4) Semivariogram 모델의 선정

Kriging 적용시 일반적인 Semivariogram 모델로는 Exponential 모델을 사용하였으며, 이는 각각의 모델을 적용한 후 그 결과를 비교·분석한 결과 그 중 Exponential 모델이 가장 적합하다고 판단되어 적용하였다(표 9). 또한 검색 반경 내 포인트 개수는 12개로 설정하였고, 출력대상의 셀 크기는 380m로 하였다(표 10, 그림 8).

표 10. Kriging 보간법의 적용 내용

Kriging Method	Ordinary
Semivariogram Model	Exponential
Z값 필드	Temperature
Power	2
검색반경유형	Variable
검색 반경(포인트 개수)	12
대상 셀 크기	380m

표 9. Semivariogram 모델의 비교

Model	Mean	Root Mean Square	Average Standard Error	Mean Standardized	Root Mean Square Standardized
Circular	0.0001486	0.1176	0.2211	0.0005186	0.5332
Spherical	0.0001482	0.1176	0.2271	0.0005036	0.5191
Tetraspherical	0.0001479	0.1176	0.2328	0.00049	0.5064
Penta spherical	0.0001476	0.1176	0.2382	0.0004777	0.4949
Exponential	0.0001262	0.1176	0.2994	0.0003205	0.3937
Gaussian	0.0005691	0.1453	0.2934	0.002089	0.4948
Rational Quadratic	0.0003839	0.127	0.05638	0.006201	2.25
Hole Effect	0.0005839	0.1448	0.2638	0.002385	0.5485
K-Bessel	0.0005641	0.1451	0.2836	0.002147	0.5111
J-Bessel	0.0005831	0.1447	0.2602	0.002416	0.5556
S표	0.000569	0.1453	0.2935	0.002088	0.4946

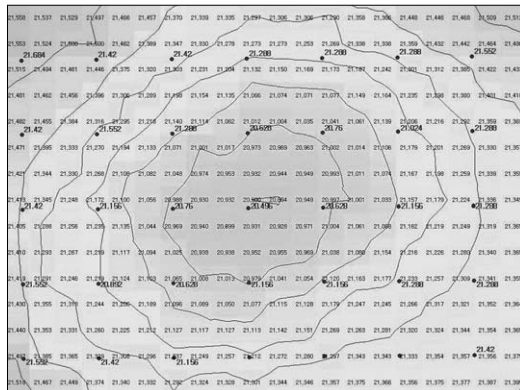


그림 8. Kriging 보간법의 Exponential 모델 적용

2. 등온선 추출

보간법 분석 후 ArcGIS Tool의 지표분석기능을 이용하여 Raster 자료에서 0.1℃, 0.2℃, 0.3℃, 0.5℃, 0.7℃, 1℃ 등온선을 추출한 결과 그 중 0.1℃의 등온선이 수온전선의 형태를 잘 표현하였고, 연구지역에서 고른 분포를 나타냈다. NOAA SST

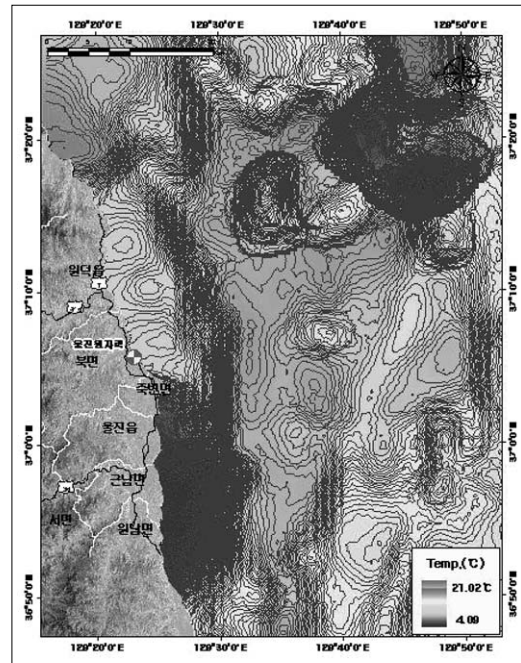


그림 10. Kriging 보간법의 Exponential 모델 적용에 따른 등온선 추출

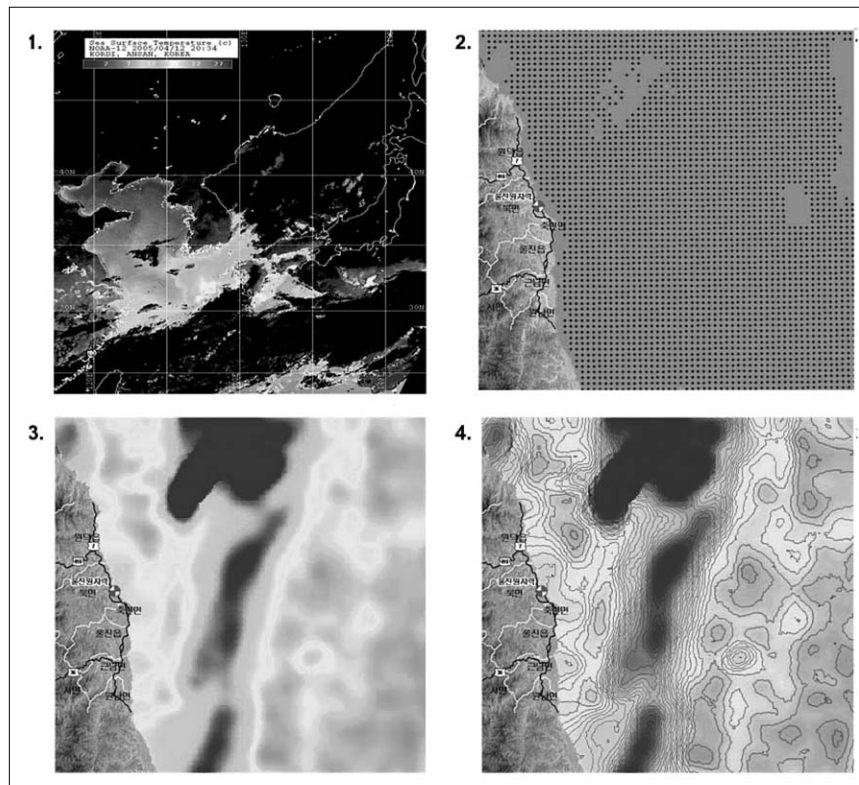


그림 9. NOAA SST 자료의 선형화 과정

로부터 등온선의 추출과정은(그림 9)과 같으며, 추출된 등온선은 그림 10와 같다.

IV. 결론 및 고찰

본 연구에서는 비교적 널리 알려진 보간법으로써 IDW (Inverse Distance Weighted Interpolation: 가중이동평균법), Spline 보간법, Kriging 보간법 등의 3가지를 중심으로 그 적용타당성을 검증하였다. 연구대상지역은 위성자료의 습득과 활용편이성을 고려하여 동해 울진주변해역(36° 50' N~37° 20' N, 129° 15' E~129° 50' E)으로 설정하였으며, 위성 영상자료는 NOAA SST 자료로서 연도별 봄철 (2001년부터 2004년까지) 영상을 사용하였다.

실험결과 Kriging 보간이 여타의 보간법에 비해 SST의 영향을 최대한으로 반영하여 등온선을 잘 표현하였으며, 정확도와 표현력에서도 우수하한 것으로 결론지었다.

참고문헌

김계현, 1998, GIS개론, 대영사
 김영섭, 서애숙, 조명희, 1998, 원격탐사개론, 동화기술.
 양영진, 김상현, 노홍길, 1998, 한국 남·서해 및 동중국해 북부해역에 출현하는 수온전선, 한국수산학회지논문집, 31(5), 695-706.
 윤홍주, 김상우, 황화정, 2003, 수산·해양 정보화를 위한 RS 및 GIS 기술의 활용, 한국해양정보통신학회논문지, 7(5), 1068-1075.
 최종근, 2002, 공간정보 모델링, 구미서관.
 최현용, 이상호, 오임상, 1998, 황해 중부 연안 수온전선역의 정량적 해석, 한국해양학회지, 바다3(1), 1-8.
 허영만, 최영찬, 2004, 제주도 서남방 동중국해역에서 하계 해양전선 형성과 수질특성, 한국해양환경공학회지, 7(2), 64-69.
 Bailey, T. C., 1994, A review of statistical

spatial analysis in geographical information systems. (Eds) Spatial Analysis GIS. Stewart Forheringham and Peter Rogerson, Taylor & Francis.
 Burrough, P. A. and McDonnell, R. A., 1998, Principles of Geographical Information Systems, Chapter 5: Creating continuous surfaces from point data, Oxford Press
 Dean J. Wright., 2002, UNDERSEA WITH GIS, ESRI PRESS.
 EPA., Environmental Protection Agency. Geographic Information Systems Tools., Available from <http://www.epa.gov/epahome/gis.htm>.
 Goodchild, M. F., Haining, R. P., and Wise, S. M., 1992, Integrating GIS and Spatial Data Analysis: problems and possibilities, Int. J. Geographical Information System, 6(5), 407-423
 Kapetsky, J. M., McGregor, L., and Nanne E. H., 1987, A geographical information system and satellite remote sensing to plan for aquaculture development, an FAO/UNDP/GRID cooperative study in Costa Rica., FAO Fish.Tech.Pap., 287, 51.
 Kirby, D. S., 1988, Remote Sensing and Fisheries Application: an overview. In: Science and Operational Applications of Remote Sensing and Integrated Information Systems for Coastal and Marine Fisheries, Coastal Region and Small Island Papers. J. Morales, ed. Paris: UNESCO.
 Ross, L. G., Mendoza, E. A. Q. M., and Beveridge, M. C. M., 1993, The application of Geographical Information Systems ot site selection for coastal

- aquaculture: an example based on salmonid cage culture, *Aquaculture*, 113, 165-178.
- Ullman, D. S. and P. C. Cornillon., 1999, Satellite-derived sea surface temperature fronts on the continental shelf off the northeast U.S. coast, *Journal of Geophysical Research*, 104, 23,459-78.
- Waluda, C. M. and Pierce, G. J., 1998, Temporal and spatial patterns in the distribution of squid *Loligo* spp. in United Kingdom waters. In: *Cephalopod Biodiversity, Ecology and Evolution*, A. Payne, M. Lipinski, M. Clarke and M. Compagno, eds. 20, 323-336.
- Yang S. K., 1994, Variations of the Sea Surface Temperature Distribution and the Shelf Fronts in the Cheju Strait and the Korea Strait, *J. Korean Env. Sci. Soc.*, 3(2), 111-128.

최종원고채택 06. 11. 06