

## 공간분석 기법을 활용한 새만금 농업용지 토양 염도 분석

김영주<sup>1</sup> · 이근상<sup>1\*</sup>

### The Analysis of Soil Salinity in Saemangeum Agricultural Land using Spatial Analysis Method

Young-Joo KIM<sup>1</sup> · Geun-Sang LEE<sup>1\*</sup>

#### 요 약

본 연구에서는 GIS 기반 공간보간법을 적용하여 새만금 농업용지의 토양 염도를 분석하였다. 연구 대상지 공시토양은 하해혼성 충적층을 모재로 한 문포통 이었으며 토양 표토(0~20cm)와 심토(20~40cm)로 구분하여 토양 시료를 채취하였다. 먼저 142 지점의 샘플을 이용하여 공간보간에 따른 EC, ESP, SAR의 분포특성을 파악하였으며, 143 지점의 검증점에 대한 오차분석을 통해 EC와 SAR은 IDW 방법 그리고 ESP는 Kriging 보간법을 최적의 보간법으로 선정할 수 있었다. 최적의 보간법을 이용하여 EC, ESP, SAR 염분농도 항목별로 2014년에서 2016년 동안의 토양 염도 변화특성을 분석하였다. 분석 결과 EC, ESP, SAR는 강우발생에 따른 희석효과 등으로 각각 0.26mg/L, 5.97mg/L, 0.73mg/L 만큼 감소한 것으로 분석되었다.

주요어 : 공간보간, 오차분석, 토양 염도, 희석효과

#### ABSTRACT

In this study, we analyzed the soil salinity of Saemangeum agricultural land using GIS spatial interpolation method. Dominant soils series of experimental sites were Munpo (coarseloamy, mixed, non-acid, mesic, typically fluvaquents), which was based on the fluvio-marine deposit. Soil samples were periodically collected at 0~20cm and 20~40cm layer from each site. First, the distribution characteristics of EC, ESP, and SAR according to spatial interpolation were analyzed using 142 sample points. Through the error analysis of 143 validation points, the IDW method for EC and SAR, and the Kriging interpolation method for ESP were selected as the optimal interpolation method. Using the optimal interpolation method, the characteristics of EC, ESP, and SAR were analyzed for the change of soil salinity from 2014 to 2016. As a result, EC, ESP and

2019년 08월 19일 접수 Received on August 19, 2019 / 2019년 09월 23일 수정 Revised on September 23, 2019 / 2019년 09월 23일 심사완료 Accepted on September 23, 2019

<sup>1</sup> 전주비전대학교 지적토목학과 Dept. of Cadastre and Civil Engineering, Vision University of Jeonju

\* Corresponding Author E-mail : gslee@jvision.ac.kr

SAR were decreased by 0.26mg/L, 5.97mg/L and 0.73mg/L respectively due to the dilution effect caused by rainfall.

**KEYWORDS** : *Spatial Interpolation, Error Analysis, Soil Salinity, Dilution effect*

## 서 론

우리나라의 간척사업의 주된 목적은 대규모 농업용지를 확보하기 위하여 시행되었고 2000 년대에 시행된 새만금 간척사업도 전체 면적의 약 30%가 농지로 이용될 전망이다. 국가관리 대규모 간척농경지는 식량자급률을 증대시켜 안정적인 식량 수급을 위한 경지면적의 확보 차원에서 그 중요성이 크다고 할 수 있다. 그러나 최근 식량으로 이용되는 쌀 소비량 감소 및 농지면적의 감소 정책 등의 농업여건의 변화로 농업용지에서 벼 이외의 고소득 다른 작물생산의 필요성이 요구되고 있는 실정이다. 일반적으로 염분농도와 pH가 높은 간척농지는 점토함량과 유기물이 적어 염기성 치환용량이 적고, 나트륨과 마그네슘의 함량은 많지만 Ca 함량이 적어 발작물 재배시 생육에 어려움을 겪는다. 또한, 간척농지 토양은 배수가 불량하며 지하수위가 높아 토양의 입단 형성이 어려워서 지표면으로 수분 증발이 일어날 때 염분이 토양표면에 집적되어 염분농도가 높게 형성되어 간척초기에는 벼를 주로 재배하고 있다.

간척 농업용지에서 작물을 안정적으로 재배하기 위해서는 먼저 염분 농도의 공간적 분포도와 변이성의 검토가 우선적으로 필요하며 간척농지는 염분농도의 공간적인 변이가 다양하게 분포하고 있어 조사지점별로 작물의 성장상태에 큰 차이를 보이게 된다(Jung *et al.*, 2003). Han *et al.*(2011)은 간척지에서 염류 이동과 공간적 특성을 파악하기 위해 낙동강 간척지 하구를 대상으로 염분 농도 분포를 조사하기 위해 유입유량에 따른 조위조건과 ECOMSED 모형을 이용하여 염분 침투 길이의 변화를 분석하여 낙동강 강어귀 독 하류에서 상류 쪽으로 염수쟁기현상이 활발하고 염수와 담수의 층 분할 현상인 밀

도차가 발생하고 하천 유량의 차이에 의해 밀도 차의 혼합의 차이를 나타낸다고 하였다. 이와 같이 간척 농업용지에서 안정적인 작물 재배를 위해서는 간척농지를 대상으로 염분농도의 변화 특성을 분석하는 연구가 필요하며, 아울러 토양에 포함된 염류 현황 및 변화량을 예측하고 더 나아가 기후변화와 토양특성에 따라 작물의 염 피해 정도 및 양상을 파악하기 위한 토양 특성과 염분농도 공간적 패턴을 분석할 필요가 있다.

따라서 농지에서 쉽게 염분농도를 파악하기 위한 GIS(Geographic Information System)를 활용한 연구가 필요한 실정으로 GIS를 활용한 공간정보를 활용한 분석 지도 제작 및 오염 분석, 지리정보시스템을 활용한 해수침투분석, 지형공간정보 기반의 수자원 개발 및 지리정보시스템 연구 등이 수행되었다(Ministry of Construction & Transportation, 2000, 2003; Kim, 2001; Kim *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2001; Jo and Shon, 2004; Choi *et al.*, 2004). GIS 분야에서 관측점에 대한 샘플조사를 통해 미지점에 대한 예측 업무를 수행하는데 있어서 공간보간법(Spatial Interpolation Method)이 주로 이용된다(Lin *et al.*, 2017; Fang *et al.*, 2011). 이러한 공간보간법은 비교적 넓은 지역에 대한 토양오염 및 유체흐름 특성을 해석하는데 주로 이용되어진다(Gouri *et al.*, 2018; Jaroslav *et al.*, 2017).

본 연구에서는 공간보간법을 이용하여 새만금 간척지중 농업용지의 285지점을 대상으로 2014년부터 2016년까지 3개년 동안 토양 염분 농도를 분석하였다. 특히 새만금 농업용지의 염분농도 영향의 주 원인이 되는 해수의 Na 함량 성분으로 인한 영향 범위를 효율적으로 분석하여 미래 농업용지에서 작물재배시 염분피해를 최소화하기 위해, 농업용지의 각 관측점에서 측정된 염분농도를 기초로 지형공간정보 기반의

공간 보간법을 활용한 염분농도의 분포특성을 평가하였다. 특히 염분농도의 분포의 신뢰성을 평가하기 위해 염분농도 관측점 중에서 측점의 일부 점들을 검증점(Validation Point)으로 분류하여 스플라인, 역거리가중치(IDW; Inverse Distance Weight) 및 크리깅의 공간 보간법에 대한 오차특성을 파악하였으며 이를 통해 최적의 공간보간법을 선정하여 연도별 토양 염도의 변화특성을 함께 평가하였다.

## 연구 방법

### 1. 연구대상지

본 연구에서는 전라북도 부안군에 위치하고 있는 새만금 농업용지(35° 75' N, 126° 60' E)를 연구대상지로 선정하였다(그림 1). 새만금 농업용지의 토양 특성별 염분농도의 공간적 분포 및 경시적인 변화를 분석하고, 농업용지의 각 관측점에서 측정된 염분농도 자료를 기초로 GIS(Geographic Information System) 공간 보간법을 활용한 염분농도의 분포특성을 평가하고자 하였다. 시험 대상지인 농업용지는 2006년 물막이 공사가 완공된 후 나지로 관리되고 있으며 연구 대상지 공시토양은 하해혼성 충적층(Fluvio-marine deposit)을 모재로 한 문포통(coarse loamy, mixed, nonacid, Mesic, Typic, Fluvaquents)이었다. 공시 토양의 pH는 6.7로서 중성을 나타내었고, 점토함량이 10% 내외의 사양질 토성을 보였다. 연구대상지의 일반적인 기상 특성은 서해바다에 접해있어 해양성 기후특성을 보이며 연평균 풍속은 1.6 m/s로 다른 해안지역에 비해 낮으며 1981년부터 2010년까지 30년 연평균 대기 기온은 12.6℃로서 1월에 최저기온 -0.6℃와 8월에 최고기온 25.6℃를 보였으며, 연중 강우량은 1,250.4mm으로 이 중 66%(약 823mm)가 6~9월 사이에 집중되었다. 시험 기간 동안의 평균 기온 및 강우량은 2014년 13.1℃, 1,188.6mm이고, 2015년 13.5℃, 924.1mm이며, 2016년에는 13.8℃, 1,075.5mm로서 기온은 30년 평균 기온보다 높은 값을 나타내고 있었으나, 강우량은 30

년 평균 강우량보다 낮은 강우량을 기록하였다.



FIGURE 1. Saemangeum Agricultural Land and Sampling point position

### 2. 토양염분농도 측정 및 토양시료 채취

본 연구에서는 공간분석 기법을 활용한 토양 염분농도의 경시적 변화 및 공간적 특성을 분석하기 위하여 새만금 간척용지 중 전라북도 부안군 계화면 계화도 인근에 위치한 새만금 농업용지중에서 연구 대상 1,150ha를 200m 간격으로 GPS를 활용하여 시료 채취지점 285 지점을 선정하여 2014년부터 2016년까지 3개년 동안의 토양 표토(0~20cm)와 심토(20~40cm)에 대해 토양 시료를 채취하고 분석하였다. 분석 항목은 pH, EC, 치환성 및 수용성 이온 분석을 통한 나트륨흡착비율(Sodium Adsorption Ratio, SAR) 및 교환성나트륨율(Exchangeable Sodium Percent, ESP) 등을 분석하였고, 전기전도도(Electrical Conductivity, EC)를 측정하여 토양 염분농도의 수준을 알아보았으며, 토양 염분 농도의 측정하기 위해 토양 시료를 채취하여 시료봉투에 담아 밀봉하여 실험실로 운반하여 자연건조 후 2mm 체로 분석 시료를 조제하여 실험에 사용하

였다(USSL, 1954). 토양 특성을 분석하기 위하여 농촌진흥청 농업과학원 토양화학분석법(NIAST, 2000)에 준하였으며, pH(Orion 520+, Thermo)는 초자전극법(1:5), EC(Model 162A, Orion)는 측정기로 측정하였다. 또한, 토양 유기물은 CNS 원소분석기 또는 Tyurin 법, 치환성 양이온은 1 N-NH<sub>4</sub>OAC 으로 추출한 후 ICP(VISTA-MPX, Varian)로 분석하였다. 토양 염분 농도는 채취된 토양시료를 EC meter로 토양과 증류수를 1:5 비율로 하여 EC를 측정하였고, 이 측정값에 5배수를 하여 토양의 EC로 환산하였으며, 습식 체별법을 이용하여 토양 입단분석을 수행하였다.

### 3. 공간보간법

본 연구에서는 새만금 농업용지의 토양시료를 분석한 후 염분농도 자료인 EC, ESP 및 SAR 자료를 이용하여 GIS 공간 보간법 오차분석을 수행하였다. 공간보간법 오차분석에 사용된 매개변수는 총 285지점의 토양 염분농도 자료를 이용하여 오차분석을 위한 검정점으로 143지점을 선정하였고, 142지점은 샘플점으로 지정하여 공간보간법별로 염분농도 공간보간법 오차분석을 실시하였다.

공간보간법 오차분석에 활용한 GIS 공간 보간 방법은 IDW, 스플라인 및 선형, 원형, 구형, 지수형, 가우스형을 활용할 수 있는 크리깅 보간법을 적용하였다(Lin *et al.*, 2017).

GIS 공간 자료를 기반으로 적용되는 가장 보편적인 공간 보간법인 IDW 보간법은 인접한 지점들에서 이 점까지의 거리에 따른 비선형적인 가중치를 계산하여 적용하게 된다. IDW 보간 방법의 기본 가정은 각기 다른 지점들이 한 지점에 미치는 영향은 지점으로부터 떨어진 거리에 반비례한다는 것으로 식 1과 같이 표현된다.

$$Z(x) = \frac{\sum_{i=1}^n Z(x_i) d_i^{-m}}{\sum_{i=1}^n d_i^{-m}} \quad (1)$$

여기서,  $x$ 는 미지점,  $d_i$ 는 미지점에서 지지점  $i$ 까지의 거리,  $x_i$ 는 지지점에서의 값,  $m$ 은 가중치를 나타낸다. 한편, 식 1은 식 2와 같이 나타낼 수 있는데, 가중치  $m$ (선택값)과 인접 점들의 영향력 사이에는 연관성이 있음을 알 수 있다. 이 식에서 가중치  $m$ 의 값이 커질수록 더 멀리 위치하고 있는 점들의 영향은 감소되는 것을 알 수 있다.

$$Z(x) = \sum_{i=1}^n Z(x_i) \lambda_i \quad (2)$$

여기서 경중률( $\lambda_i$ ) =  $\frac{d_i^{-m}}{\sum_{i=1}^n d_i^{-m}}$ 이며  $m$ 은 가중

치를 의미한다.

IDW 보간법은 2차원적으로 순수하게 분포하고 있는 점 관측 자료에 의해 결정되며 추정하고자 하는 미지점의 추정값은 그 지점에서 가깝게 위치한 관측소(지지점)의 자료값들은 거리에 따라 반비례하여 추정되어진다.

스플라인 보간은 주어진 좌표점을 소구간으로 나누어 각 소구간에서 사용되는 다항식으로 차례로 이어가는 방법으로, 주어진 구간에서 연속이어야 하며 이 조건을 만족하는 최소의 차수가 3차이므로 3차 스플라인 함수가 일반적으로 사용된다. 그러므로 보간되어지는 함수의 첫번째 미분항들이 주어지지 않거나 계산될 수 없을 때 스플라인 보간법을 이용하는 것이 효과적이다.  $x_i$ 와  $x_{i+1}$  사이에 보간함수는 3차포물선으로 식 3과 같이 나타내어 진다.

$$y = \frac{f_i}{h_{i+1}^3} (x_{i+1} - x)^2 [2(x - x_i) + h_i] + \frac{f_{i+1}}{h_{i+1}^3} (x - x_i)^2 [2(x_{i+1} - x) + h_i] + \frac{f'_i}{h_{i+1}^2} (x_{i+1} - x)^2 (x - x_i) + \frac{f'_{i+1}}{h_{i+1}^2} (x - x_i)^2 (x - x_{i+1}) \quad (3)$$

여기서,  $h_{i+1} = x_{i+1} - x_i$ 로서  $h_i$ 는  $x$ 축의  $x_i$ 까지의 거리이다.

크리깅 보간법은 IDW 보간법과 같이 분석학자 하는 주변 지역의 관측값을 이용하여 미지점을 분석하는 방법이지만, 위의 식 1에서 경중률  $\lambda_i$ 를 결정함에 있어 크리깅 보간법은 IDW 보간법과 같이 단순히 기하학적 관점의 거리함수를 이용하기 보다는 통계학적인 의미의 거리인 반분산을 활용하는 특징이 있다. 따라서 경중률  $\lambda_i$ 를 계산하기 전에 점 관측 자료들의 공간적 구조 및 상호관련성을 검증하는 Semivariogram 모형을 이용하게 된다(Lin *et al.*, 2017; Paramasivam, 2019).

## 적용 및 분석 결과

### 1. 새만금 농업용지 공간보간법 오차분석

본 연구는 전라북도 부안군 계화면에 위치한 새만금 농업용지의 토양에서 시료를 채취하여 이화학적 특성을 분석한 후 염분농도 자료인 EC, ESP 및 SAR를 대상으로 총 285개의 토양시료 샘플점의 염분농도 자료를 이용하여 GIS 공간 보간법을 이용한 오차분석을 수행하였다.

먼저 총 285지점의 토양 염분농도 자료 중 오차분석을 위한 검증점으로 143지점을 선정하였으며, 나머지 142지점은 샘플점으로 선정하였다. 선정된 이 점들을 바탕으로 공간보간법별로 염분농도의 공간적 분포도 작성에 활용하였다. GIS 적용 공간 보간법을 위해 선정된 142지점 샘플점에 대해 IDW, 스플라인 및 크리깅 보간법을 실시하였으며, 크리깅 보간법은 선형, 원형, 구형, 지수형 및 가우스형을 이용하여 보간법을 수행하였다. IDW는 관측점별로 거리에 반비례해서 가중치를 부여하는 방법이며, 스플라인은 완화곡선을 적용하여 구간별로 서로 다른 다항식을 채택하여 적용하는 방식이다. 그리고 크리깅 보간법은 기하학적으로 거리에 의존하는 상관관계가 아니라 통계학적인 상관성을 이용하는 방식으로 반베리오그램의 형태별로 다양한

형태를 갖게 된다.

보간법 분석은 우선 샘플점 142지점을 이용하여 GIS 공간 보간을 위해 Point data로 먼저 지정한 후 격자망 분석을 위해 ArcGIS 프로그램의 『Spatial Analyst』를 사용하여 여러 보간법별로 공간 보간을 실시하였다. 격자 자료의 해상도를 10m로 지정하여 분석에 이용하였으며, 보간법 시행 후 연구 대상지역의 셰이프 파일 자료를 이용하여 Clipping을 수행하였다. 그림 2~4는 공간보간법에 따른 EC, ESP, SAR 분포도를 연도별로 나타낸 것이다.

142지점 샘플점을 기반으로 다양한 공간보간법에 따른 연도별 EC, ESP, SAR 통계특성을 표 1에 제시하였다. 먼저 EC의 평균값은 2014년 0.42mg/L에서 2015년과 2016년에 각각 0.33mg/L와 0.18mg/L로 감소하였다. 또한 ESP의 평균값은 2014년 22.59mg/L에서 2015년에 14.39mg/L로 감소하였다가 2016년에는 17.46mg/L로 약간 증가하였다. 그리고 SAR의 평균값도 2014년 3.59mg/L에서 2015년에 2.23mg/L로 감소하였다가 2016년에는 2.97mg/L로 약간 증가한 것으로 분석되었다.

각 보간법에 따른 오차특성을 분석하기 위해 그림 2~4에 제시된 142지점 샘플점을 활용하여 구축한 EC, ESP, SAR 공간보간 분포도와 143지점 검증점에 대한 EC, ESP, SAR 측정값을 공간중첩 하였다. 이를 통해 143지점 검증점 위치에 대한 실제 측정값과 보간한 값을 상호 비교하여 표 2와 같이 각 연도별 표준편차와 3년 평균 표준편차를 계산하였다. 분석 결과 EC와 SAR는 IDW 보간법을 적용한 3년 평균 표준편차가 각각 0.52mg/L와 1.97mg/L로 가장 낮게 나타났으며, ESP는 Kriging 보간법을 적용한 3년 평균 표준편차가 4.76mg/L로 가장 낮게 나타났다. 따라서 본 연구대상지의 경우 EC와 SAR는 IDW 방법이 가장 최적의 공간보간법으로 선정되었으며, ESP는 Kriging 보간법이 가장 우수한 것으로 나타났다.

TABLE 1. Statistical characteristics of soil salinity based on 142 sample points (Unit : mg/L)

Item		Min	Max	Average	StD.	
IDW	2014	EC	0.00	3.24	0.42	0.42
		ESP	0.69	79.94	22.59	9.94
		SAR	0.09	9.92	3.59	1.45
	2015	EC	0.00	4.09	0.33	0.48
		ESP	0.54	82.27	14.39	9.15
		SAR	0.06	10.87	2.23	1.37
	2016	EC	0.01	2.81	0.18	0.26
		ESP	0.41	56.43	17.46	8.04
		SAR	0.06	9.58	2.97	1.45
Spline	2014	EC	-0.59	3.28	0.43	0.57
		ESP	-5.74	80.02	22.79	13.30
		SAR	-1.60	11.48	3.62	2.07
	2015	EC	-0.65	4.24	0.33	0.65
		ESP	-11.35	82.59	14.72	12.64
		SAR	-1.64	10.95	2.28	1.91
	2016	EC	-1.78	2.96	0.18	0.40
		ESP	-20.01	63.57	17.40	11.95
		SAR	-2.94	11.29	2.96	2.14
Kriging	2014	EC	0.02	1.48	0.42	0.29
		ESP	10.10	47.89	22.57	6.99
		SAR	1.67	6.62	3.59	0.89
	2015	EC	0.01	1.48	0.33	0.32
		ESP	2.52	34.83	14.37	5.87
		SAR	0.38	5.05	2.22	0.85
	2016	EC	0.01	0.61	0.18	0.12
		ESP	6.99	30.95	17.69	4.55
		SAR	1.09	5.42	3.03	0.84

TABLE 2. Analysis of error characteristics of soil salinity using 143 validation points (Unit : mg/L)

Item	StD.				
	2014	2015	2016	3-year average StD.	
IDW	EC	0.59	0.54	0.43	0.52
	ESP	13.23	11.54	11.52	12.10
	SAR	2.08	1.75	2.07	1.97
Spline	EC	0.68	15.38	2.48	6.18
	ESP	0.65	12.94	1.99	5.19
	SAR	0.51	13.74	2.45	5.57
Kriging	EC	0.62	13.58	2.12	5.44
	ESP	0.56	11.92	1.80	4.76
	SAR	0.43	11.83	2.15	4.80



FIGURE 2. Distribution of EC, ESP, SAR using IDW interpolation method

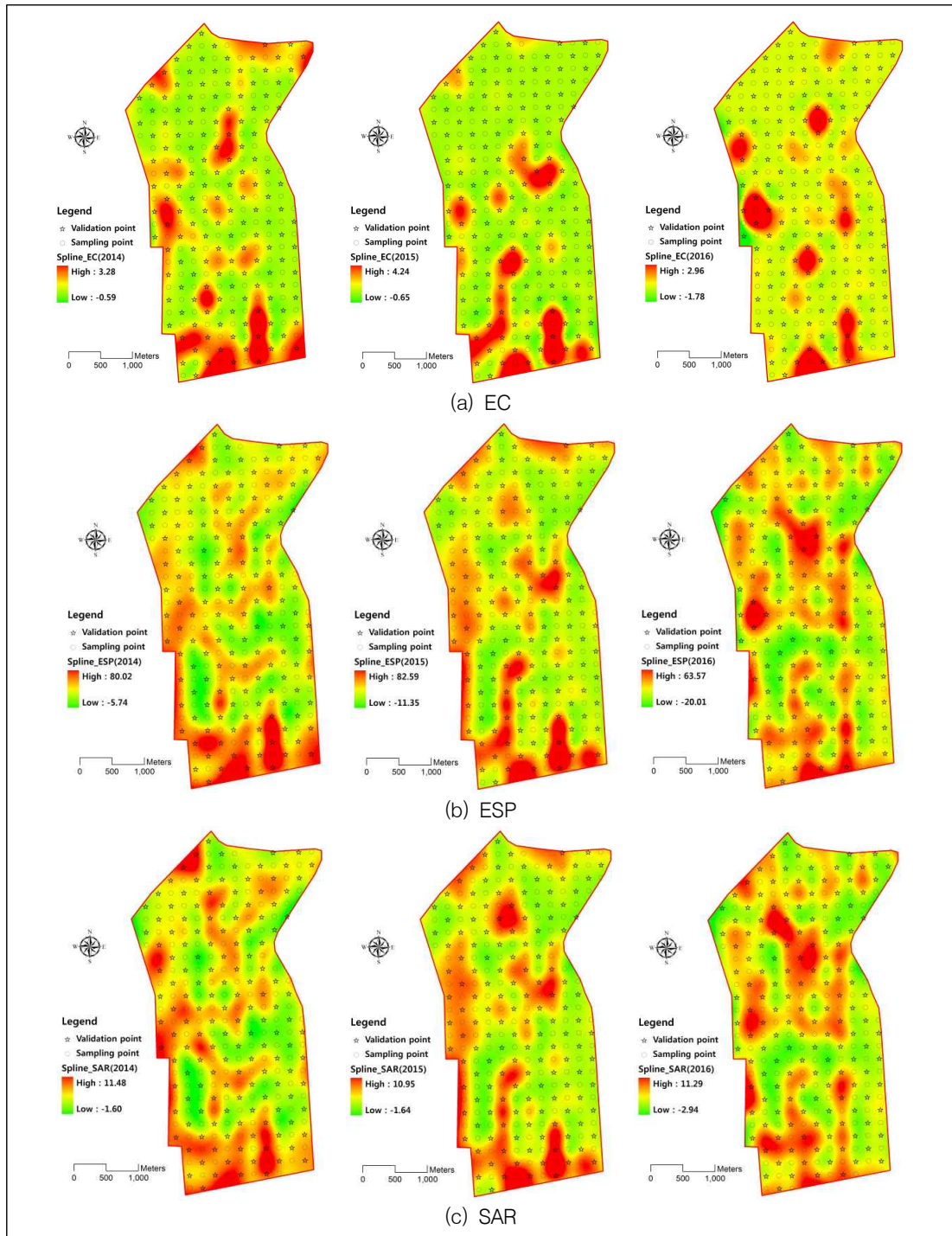


FIGURE 3. Distribution of EC, ESP, SAR using Spline interpolation method



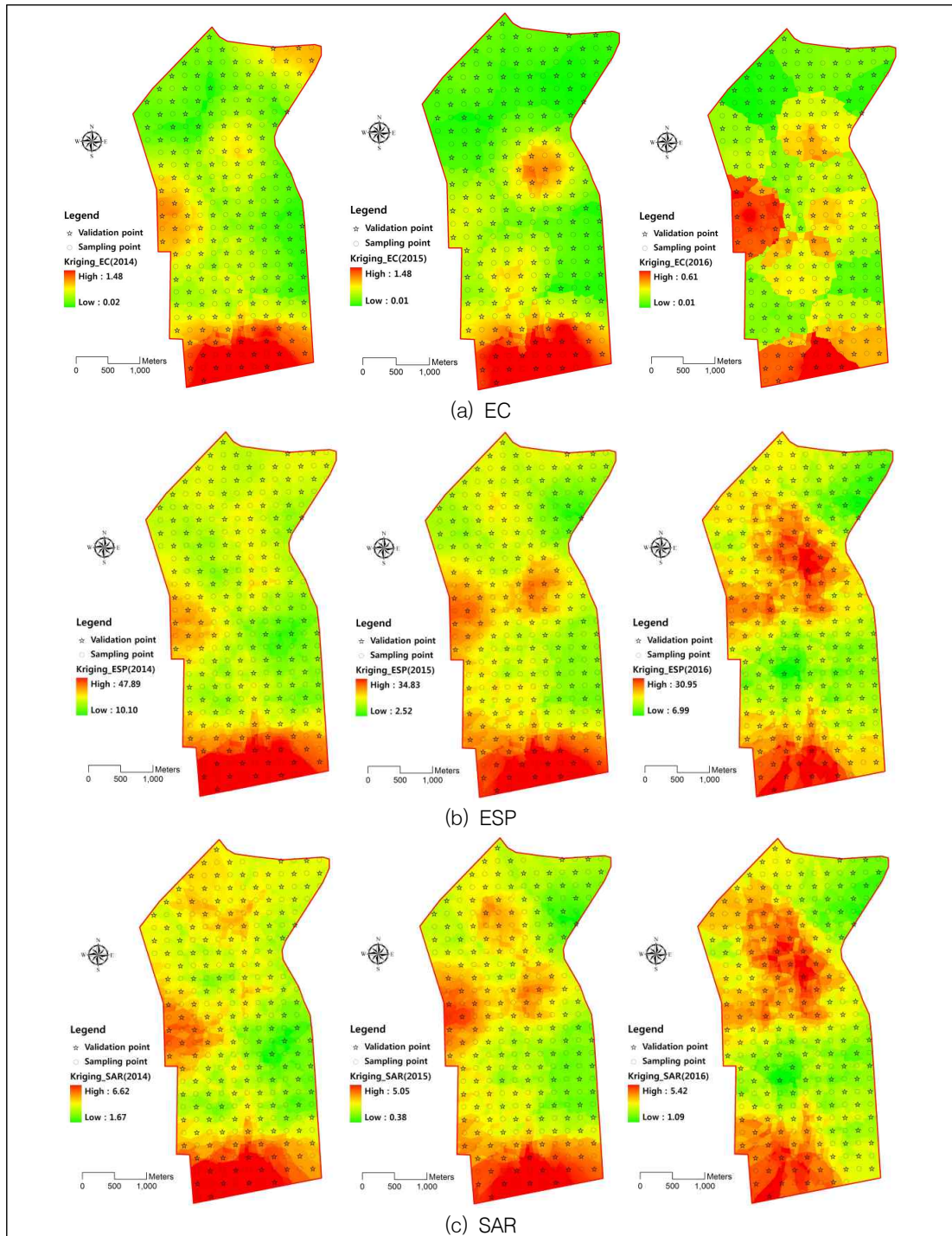


FIGURE 4. Distribution of EC, ESP, SAR using Kriging interpolation method

## 2. 새만금 농업용지 염분농도 특성 분석

본 연구에서는 새만금 농업용지를 대상으로 토양샘플을 측정된 후 토양의 이화학적 특성을 파악하여 해수에 대한 영향성 및 농업용지의 염분농도의 공간적 분포 특성을 파악하기 위해 조사 항목인 EC, ESP 및 SAR에 대한 IDW 보간법, Spline 보간법 및 Kriging 보간법 등을 이용하여 오차분석을 3.1과 같이 분석하였다. 이를 통해 EC와 SAR는 IDW 방법 그리고 ESP는 Kriging 방법을 최적의 보간법으로 선정하였다.

따라서 본 연구에서는 염분농도 항목에 따른 최적의 공간보간법 유형별로 총 285지점 관측점을 활용하여 2014~2016년까지의 염분농도 분포 특성을 분석하여 표 3과 같이 제시하였다. 분석 결과, 먼저 EC의 평균값은 2014년 0.45mg/L에서 2015년과 2016년에 각각 0.32mg/L와 0.19mg/L로 감소하는 추세를 보였다. 또한 ESP의 평균값은 2014년 22.28mg/L에서 2015년에 13.62mg/L로 감소하였다가 2016년에는 16.31mg/L로 약간 증가하는 추세를 보였다. 그리고 SAR의 평균값도 2014년 3.48mg/L에서 2015년에 2.11mg/L로 감소하였다가 2016년에는 2.74mg/L로 약간 증가한 것으로 분석되었다. 그림 5는 최적의 보간법을 활용하여 분석한 연도별 EC, ESP, SAR 분포도를 보여주고 있다.

본 연구에서는 2014년부터 2016년까지의 염분농도 항목별로 시간변화에 따른 공간적 변화 특성을 분석하였으며 분석결과는 표 4 및 그림 6과 같다. 먼저 EC의 최적 보간법으로 선정된 IDW 보간법을 활용하여 분석한 결과에서는 2014년에서 2016년으로 오면서 EC가 평균 0.26mg/L 만큼 감소한 것으로 분석되었다. EC

의 변화량은 공간적으로 최대 2.77mg/L 만큼 감소한 지역도 있었으며 반대로 최대 1.27mg/L 만큼 증가한 지역도 있는 것으로 분석되었다. 또한 ESP의 최적 보간법으로 선정된 Kriging 보간법을 활용하여 분석한 결과에서는 2014년에서 2016년으로 오면서 ESP가 평균 5.97mg/L 만큼 감소한 것으로 분석되었다. ESP의 변화량은 공간적으로 최대 63.68mg/L 만큼 감소한 지역도 있었으며 반대로 최대 39.05mg/L 만큼 증가한 지역도 있는 것으로 분석되어 지역별 편차가 매우 크게 나타났다. 그리고 SAR의 최적 보간법으로 선정된 IDW 보간법을 활용하여 분석한 결과에서는 2014년에서 2016년으로 오면서 SAR가 평균 0.73mg/L 만큼 감소한 것으로 분석되었다. SAR의 변화량은 공간적으로 최대 8.20mg/L 만큼 감소한 지역도 있었으며 반대로 최대 10.57mg/L 만큼 증가한 지역도 있는 것으로 분석되었다.

전체적으로 볼 때, EC, ESP, SAR 항목 모두 2014년에서 2016년으로 오면서 감소하는 특성을 나타내었다. 이는 강우발생에 따른 염분농도 희석효과로 해석되며, 이와 같이 새만금 농업용지 토양은 시간이 지날수록 자연 강우에 의한 염기 용탈로 자연제염 효과가 발생될 것이며 농업용지로 구획정리를 하는 과정에서 토성의 개량, 토양의 단립화 촉진, 토양내의 투수성, 통기성 및 배수성 개량 등의 토양 물리성 개량 효과에 의해 염분농도가 낮아질 것으로 예상된다.

TABLE 3. Yearly average soil salinity distribution using optimal spatial interpolation (Unit : mg/L)

Item	Optimal spatial interpolation	Yearly average salt concentration		
		2014	2015	2016
EC	IDW	0.45	0.32	0.19
ESP	Kriging	22.28	13.62	16.31
SAR	IDW	3.48	2.11	2.74

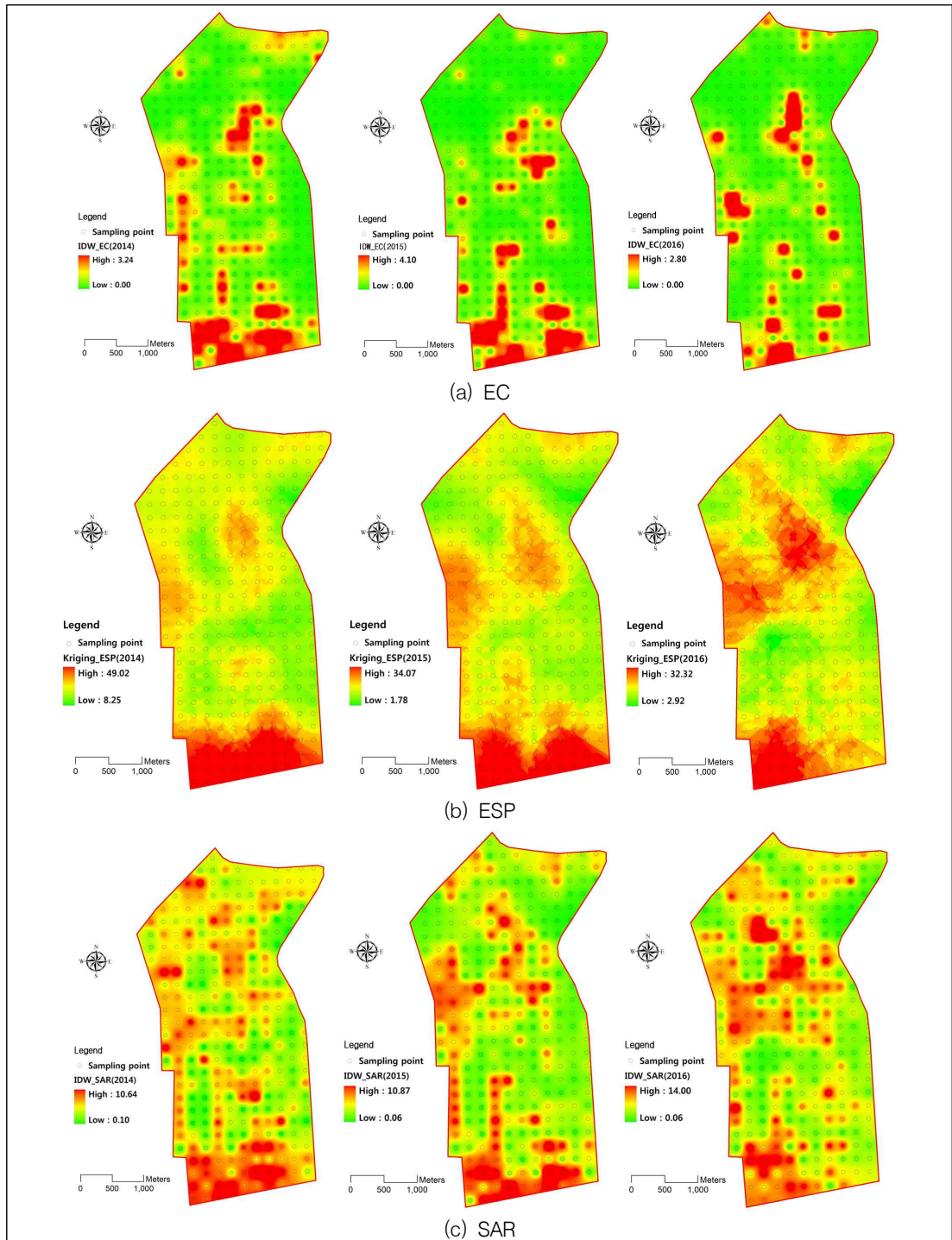


FIGURE 5. Distribution of EC, ESP, SAR using optimal interpolation method

TABLE 4. Characteristics of soil salinity variation from 2014 to 2016 (Unit : mg/L)

Item	Min	Max	Average	StD.
EC	-2.77	1.27	-0.26	0.37
ESP	-63.68	39.05	-5.97	8.75
SAR	-8.20	10.57	-0.73	1.52

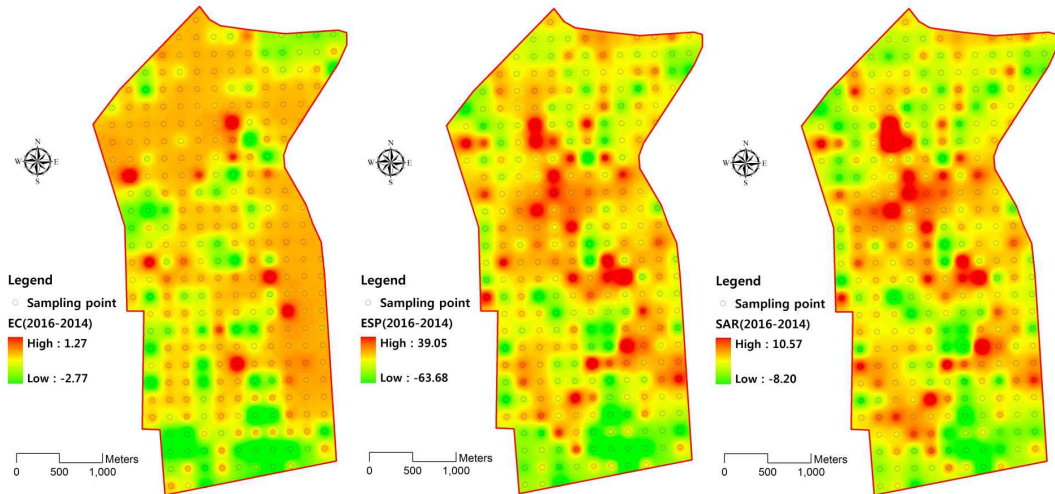


FIGURE 6. Distribution of soil salinity variation from 2014 to 2016

## 결론

본 연구에서는 GIS 공간보간법을 활용하여 새만금 농업용지의 해수에 의한 염분농도의 분포특성을 분석하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

첫째, 새만금 농업용지의 염분농도 추정을 위한 최적의 보간법을 선정하기 위해 142지점 샘플점을 이용하여 IDW, Spline, Kriging 방법별로 공간보간을 수행하였으며, 143지점 검증점에 대한 표준편차를 분석하였다. 이를 통해 EC와 SAR은 IDW 방법, ESP는 Kriging 보간법이 해수의 영향에 의한 염분농도 분포를 추정하는데 가장 적합한 보간법으로 나타내었다.

둘째, 최적의 보간법을 이용하여 EC, ESP, SAR 염분농도 항목별 분포특성을 분석한 결과 EC의 평균값은 2014년 0.45mg/L에서 2015년과 2016년에 각각 0.32mg/L와 0.19mg/L로 감소하는 것으로 분석되었다. 또한 ESP의 평균값은 2014년 22.28mg/L에서 2015년에 13.62

mg/L로 감소하였다가 2016년에는 16.31mg/L로 약간 증가하는 것으로 나타났다. 그리고 SAR의 평균값도 2014년 3.48mg/L에서 2015년에 2.11mg/L로 감소하였다가 2016년에는 2.74mg/L로 약간 증가한 것으로 분석되었다.

셋째, EC, ESP, SAR 항목별로 2014년에서 2016년 동안의 염분농도 변화특성을 분석하였다. 분석 결과 EC, ESP, SAR의 평균 변화량은 각각 0.26mg/L, 5.97mg/L, 0.73mg/L 만큼 감소한 것으로 나타났다. SAR의 변화량은 공간적으로 최대 8.20mg/L 만큼 감소한 지역도 있었으며 반대로 최대 10.57mg/L 만큼 증가한 지역도 있는 것으로 분석되었다. 따라서 EC, ESP, SAR 항목 모두 2014년에서 2016년으로 오면서 강우발생에 따른 토양층의 염기 용탈 및 희석효과 등으로 염분농도가 감소한 것을 알 수 있었다. 이렇듯 새만금 농업용지의 염분농도 분포 특성 결과는 향후 농업용지에서 원활한 농업활동을 위한 영농이 가능한 지역을 쉽게 파악할

수 있으며 작부체계를 신속히 설정하는데 필요한 정보를 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

**KAGIS**

## REFERENCES

- Choi, S.Y., S.H. Hwang, K.G. Park, J.H. Shin, and W.J. Yoon. 2004. Application of Geographic Information System for Synthetic Analysis of Multidisciplinary Data in Seawater Intrusion Assessment. *Journal of The Korean Society for Geospatial Information System* 12(3):49-60 (최선영, 황세호, 박권규, 신제현, 윤왕중. 2004. 해수침투 조사자료의 통합적 해석을 위한 GIS의 적용. *한국GIS학회지* 12(3):49-60).
- Fang Huang, Dingsheng Liu, Xicheng Tan, Jian Wang, Yunping Chen, Binbin He. 2011. Explorations of the implementation of a parallel IDW interpolation algorithm in a Linux cluster-based parallel GIS. *Computers & Geosciences* 37(4):426-434.
- Gouri Sankar Bhunia, Pravat Kumar Shit, Ramkrishna Maiti. 2018. Comparison of GIS-based interpolation methods for spatial distribution of soil organic carbon (SOC). *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 17(2):114-126.
- Han, C.S., S.K. Park, S.W. Jung, and T.Y. Roh. 2011. The Study of Salinity Distribution at Nakdong River Estuary. *The Korean Society of Ocean Engineers*. 23(1):101-108 (한중수, 박상길, 정상우, 노태영. 2011. 낙동강 하구 염분농도 분포에 관한 연구. *한국해양해양공학학회지* 23(1):101-108).
- Jaroslav Hofierka, Michal Lacko, Stanislav Zupal. 2017. Parallelization of interpolation, solar radiation and water flow simulation modules in GRASS GIS using OpenMP. *Computers & Geosciences* 107:20-27.
- Jo, S.B. and H.W. Shon. 2004. A Study on the Prediction of Groundwater Contamination using GIS. *Journal of the Korean Geophysical Society* 7(2):121-134 (조시범, 손호웅. 2004. 지하수오염 예측을 위한 GIS 활용연구. *지구물리* 7(2):121-134).
- Jung, Y.S., W.H. Lee, J.H. Joo, I.H. Yu, W.S. Shin, Y. Ahn, and S.H. Yoo. 2003. Use of Electromagnetic Inductance for Salinity Measurement in Reclaimed Saline Land. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer* 36(2):57-65 (정영상, 이원호, 주진호, 유일호, 신완식, 안열, 유순호. 2003. 전자장 유도 장치를 이용한 간척지 토양의 염분농도 측정. *한국토양비료학회지*, 36(2):57-65).
- Kim, G.B., Y.C. Son, J.W. Kim, D.H. Kim, C.W. Lee, and Y.H. Kim. 2006. Building of Integrated Web-GIS System for National Groundwater Data Management. *The Korean Association of Geographic Information Studies* 9(3):107-122 (김규범, 손용철, 김종욱, 김대호, 이창원, 김양희. 2006. 지하수 정보관리체계 고찰 및 Web-GIS 기반의 국가지하수정보지도 구축 모형. *한국지리정보학회지* 9(3):107-122).
- Kim, M.G. 2001. The Support System for Groundwater Development Design Using GIS. *Journal of The Korean Society for Geospatial Information System* 9(2):207-225 (김만규. 2001. GIS를 이용한 지하수 개발 설계지원시스템. *한국GIS학회지* 9(2):207-225).
- Lee, S.R., Y.S. Kim, and J.H. Won. 2006. Groundwater resources potential mapping and its verification using GIS and remote

- sensing in Pohang city. Journal of The Korean Society for Geospatial Information System 14(1):115-128 (이사로, 김용성, 원중호. 2006. GIS 및 원격탐사를 이용한 포항시 지하수 잠재가능성도 작성 및 검증. 한국GIS학회지 14(1):115-128).
- Lin Liu, Yaoyu Lin, Jing Liu, Lina Wang, Dan Wang, Taotao Shui, Xin Chen, Qing Wu. 2017. Analysis of local-scale urban heat island characteristics using an integrated method of mobile measurement and GIS-based spatial interpolation. Building and Environment 117(15):191-207.
- Ministry of Construction & Transportation. 2000. Groundwater Information Management System Maintenance Report, 162pp (건설교통부. 2000. 지하수 정보관리시스템 유지보수 보고서. 162쪽).
- Ministry of Construction & Transportation. 2003. National Groundwater Information Center Establishment and Operation Plan Report, 65pp (건설교통부. 2003. 국가지하수 정보센터 설치-운영 계획보고서. 65쪽).
- NIAST. 2000. Methods of Soil Crop Plant Analysis. National Institute of Agricultural Science and Technology.
- Paramasivam, C.R. 2019. Merits and Demerits of GIS and Geostatistical Techniques. GIS and Geostatistical Techniques for Groundwater Science Book, pp.17-21.
- US Salinity Laboratory Staff. 1954. Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils. USDA Handbook 60. 160pp.