

정량적인 해양환경패턴 분석을 위한 이변량 공간연관성 적용

황효정¹ · 최현우^{2*} · 김태림³

Application of Bivariate Spatial Association for the Quantitative Marine Environment Pattern Analysis

Hyo-Jung HWANG¹ · Hyun-Woo CHOI^{2*} · Tea-Rim KIM³

요 약

마산만의 해양 수질과 영양염에 대한 정량적인 이변량 공간패턴 분석을 수행하기 위하여 비공간 상관성 측정 방법으로 Pearson's r , 공간적 연관성 측정 방법으로 Moran's I 및 이 두 지수를 통합한 L 지수를 각각 적용하였다. L 지수에 내포된 비공간 상관성과 공간 연관성의 특성을 파악하기 위해 Pearson's r 와 Moran's I 지수를 각각 3가지 유형으로 구분한 후, 이들을 조합하여 9가지 유형으로 정의하였다. 또한 L 지수의 사분위수를 이용하여 9가지 유형에 대해 중복되지 않는 L 지수의 범위를 도출한 결과 9가지 유형이 5개의 그룹으로 분류되었다. 이러한 L 지수를 마산만 해양 환경패턴에 적용한 결과에 의하면 이변량의 해양수질과 영양염이 2월과 7월에는 공간적인 연관성과는 무관하게 비공간적으로 상관성이 없는 패턴을 보였지만, 5월과 11월에는 정적 또는 부적 상관성이 있으면서 공간적으로는 군집된 패턴을 보였다. L 지수로 이변량의 비공간 상관성과 공간적 연관성을 해석하기 위한 지침을 제시한 본 연구의 결과는 향후 정량적인 지수를 이용한 해양환경 패턴 분석에 도움을 줄 것으로 기대한다.

주요어 : 공간패턴, 공간연관성, L Index, Moran's I , Pearson's r

ABSTRACT

The quantitative bivariate spatial pattern analysis was applied for the water quality and nutrients data of Masan Bay, and for this analysis Pearson's r as aspatial correlation measurement, Moran's I as spatial association measurement and L index as integration of aspatial and spatial measurement methods were used. To understand the aspatial and spatial characteristics implicated in L index, Pearson's r as well as Moran's I were classified into 3 types respectively, and Pearson's r and Moran's I were combined with 9 types, and also quantile of L index value was used for each of those 9 types. Finally, these types were defined

2008년 2월 17일 접수 Received on February 17, 2008 / 2008년 3월 20일 심사완료 Accepted on March 20, 2008

1 군산대학교 해양산업공학과 Department of Ocean Science and Engineering, Kunsan National University

2 한국해양연구원 해양자료정보실 Ocean Data and Information Division, Korea Ocean Research & Development Institute

3 군산대학교 해양시스템공학과 Department of Ocean System Engineering, Kunsan National University

* 연락처 E-mail : hwchoi@kordi.re.kr

as 5 groups having not overlapped L index range. According to the application result of L index groups, bivariate water quality and nutrients showed no aspatial correlation regardless of spatial association in February and July, but they showed aspatial correlation having clustered spatial pattern in May and November. The result of this study providing the guideline for the interpretation of aspatial correlation and spatial association using L index is expected to be helpful for the marine environment pattern analysis using quantitative index for further study.

KEYWORDS : *Spatial Pattern, Spatial Association, L Index, Moran's I, Pearson's r*

서 론

해양환경은 해양생물을 둘러싼 해양의 환경을 말하며, 크게는 생물적 환경인 유기적 환경과 비 생물적 환경인 무기적 환경으로 구분된다. 이러한 유·무기적 환경을 구성하는 다양한 요소들은 서로 간의 관계성을 가지고 영향을 미치기도 하는데 각 요소들이 얼마나 관련되어 있는지를 알아보기 위해 일반적인 상관계수를 이용한다. 하지만 이러한 방법은 해양환경 요소가 공간상에서 무작위적으로 분포한다는 가정 하에서 속성만을 고려한 분석이기에 공간의 특성을 고려하지는 못한다. 해양환경 특성을 규명하는 연구에서 해양수질이나 해양생물 항목간의 계절변동에 따른 상관관계 분석(이무강 등, 1996; 박승윤 등, 1999; 양은진과 최중기, 2003; 장풍국 등, 2005)을 일반적으로 수행한다. 하지만 공간을 기반으로 한 공간분석은 공간현상 속에 숨겨진 공간패턴 및 공간관계를 찾거나 공간의사결정에 필요한 해법을 도출(김영표와 임은선, 2003)할 수 있으며, 이러한 방법은 공간상에서 서로 밀접한 상관을 이루는 여러 환경 요소들의 공간 분포양식이 군집적(clustered), 분산적(dispersed), 무작위적(random)인지 알 수 있게 해 준다.

또한 일반적인 공간패턴 분석은 환경 요소의 공간분포도를 이용한 가시화를 통해 서술적인 방법으로 해석하는데, 이러한 가시화 방법을 사용한 공간 분포패턴 분석 결과는 정량적이지 못하는 단점이 있으므로 공간적인 특성을 고려한 공간 통계학적 방법을 사용할 필

요가 있다. 공간 데이터가 비 공간 데이터와 구별되는 특성을 공간효과(spatial effects)라 하며, 공간적 분포패턴을 분석하는데 공간효과 중 “모든 것은 다른 모든 것과 관련을 맺지만, 가까운 것이 먼 것보다 더 밀접한 관련을 갖는다.”라는 Tobler의 제 1법칙(Tobler, 1970) 개념인 공간 종속성이 널리 사용된다(Anselin, 1988). 공간 종속성은 공간 단위들 사이에 존재하는 공간 연관성과 관련 되어 있으며 공간 종속성을 갖는 경우를 공간자기상관(spatial autocorrelation)이라 하는데, 공간 단위가 인접해 있을수록 공간자기상관이 더욱 강하게 나타난다(조대현, 2001).

국내에서 공간자기상관을 적용한 연구로 유은혜(1999)는 통계모듈과 GIS를 연계한 인터페이스를 설계하여 대기오염과 호흡기질환의 상관성을 분석하는 연구에서 천식환자의 공간패턴을 공간자기상관법으로 분석하였으며, 조대현(2001)은 제조업의 공간적 분포에 대해 GIS와 공간통계를 이용하여 공간적 연관패턴 분석을 한 바 있다. 신우람 등(2005)은 범죄사건의 시·공간적인 패턴 분석에, 김영 등(2005)은 공간자기상관 분석을 이용한 염담 도시권의 도시기능 분포패턴 분석을 수행하였다. 이러한 인문사회 분야 뿐 아니라 해양환경 분야에서도 공간패턴분석 연구가 최근 수행되었는데, 최현우 등(2007a)은 광양만 해양환경의 시공간적인 분포패턴을 정량적으로 분석하기 위해 전역적(global) 및 국지적(local) 공간자기상관 연구를 시도하였으며, 최현우 등(2007b)은 마산만을 대상으로 해양환경 요소들에 대

해 Moran's I 와 Pearson 상관계수 이용하여 공간분포패턴을 4가지 형식으로 개념화시켰다. 국외의 연구 사례로는 John 등(2003)이 플로리다 동부 해안에서 바다거북의 종류에 따른 서식지 분포패턴을 공간자기상관을 이용하여 분석하였으며, Frutos 등(2007) 등은 작은 황조롱이의 7월 공간패턴을 모델링하고 공간자기상관을 이용하여 분포 범위를 정량적으로 밝힌 바 있다.

이와 같이 국내외 여러 분야에서 공간자기상관을 이용해 공간상에서 측정된 자료의 공간연관성을 나타내는 공간분포패턴을 정량적인 지수로 분석하였지만, 공간 사이에 존재하는 연관성과 공간을 고려하지 않은 속성의 상관관계를 정의하는 것은 공간분석의 핵심적인 연구 주제가 될 것이다. 공간과 비공간의 두 가지 특성을 모두 고려하여 분석 할 경우 공간상에서 자료의 분포패턴이나 상관성 여부를 동시에 알 수 있는 장점이 있는데, Lee(2001)

는 이변량 연관성 측정에 대해 Pearson 상관계수와 Moran's I 를 통합한 새로운 지수로인 Lee's L 지수를 고안한 바 있다. 본 연구에서는 마산만의 해양환경자료에 대해 L 지수의 개념을 적용하여 해양환경 요소의 이변량 공간 연관성을 정량적으로 측정하고자 하였다.

연구지역 및 연구자료

본 연구 지역은 마산만, 진해만 및 외해 일부지역을 포함하는 남해 특별관리해역으로 하였으며, 진해만내 부도 안쪽 해역은 해군기지가 위치하여 접근이 제한되는 구역으로 인해 배제되었다(그림 1). 이와 같은 연구해역은 남-북 방향으로 길게 수로 형태로 이루어져 있으며 30m 이내의 수심 분포를 이루고 있고, 조석특성은 반일주조로 대조차는 1.90m, 소조차는 0.68m, 평균조차는 1.29m인 조석이 비교적 약한 해역이다.

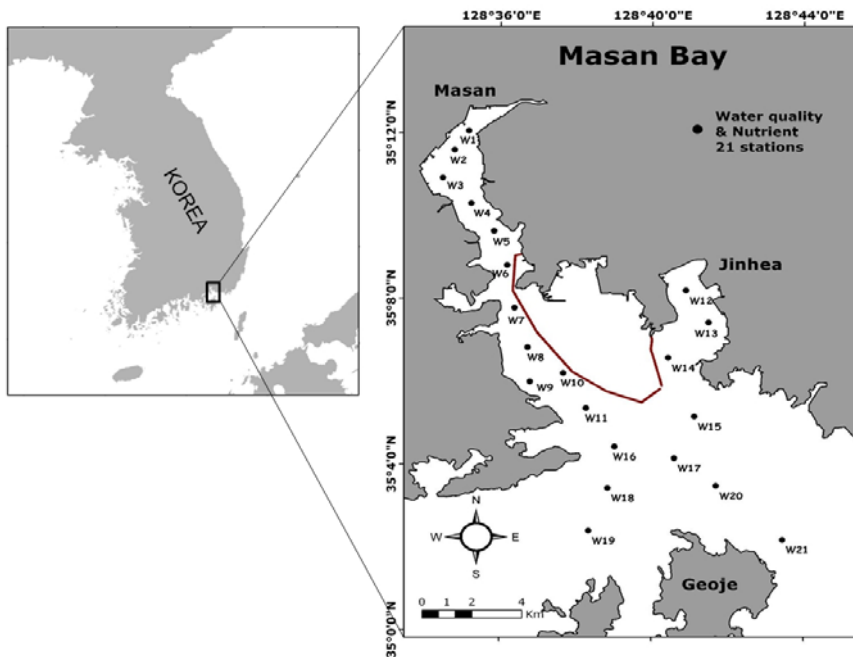


FIGURE 1. 연구 지역의 수질, 영양염의 관측 지점

연구자료는 한국해양연구원에서 2004년에 관측한 일반 해양수질(수온, 염분, DO, pH)과 영양염(규산염, 총 무기질산염) 자료를 이용하였다. ArcGIS를 이용하여 관측자료를 점 피처(point feature)로 제작하고, ArcGIS의 공간통계분석 기능을 이용하여 공간자기상관의 패턴 분석을 수행하였다.

연구 방법

1. 공간자기상관과 상관관계

공간상의 개체들은 무작위적으로 분포하지 않고 서로 영향을 주고받고 있으며 그 영향은 공간 개체 간의 거리나 인접성이 높을수록 더 커진다. 이러한 공간 개체들 간의 유사성(similarity)과 비유사성(dissimilarity)을 수치로 요약하여 나타내는 것을 공간자기상관이라고 한다(Lee와 Wong, 2001). 이러한 공간자기상관은 두 변수간의 관계가 아닌 하나의 변수가 갖는 여러 관측개체 또는 관측 값들 사이에서 존재하는 관계를 말한다는 점에서 일반적인 상관계수와는 다르다(김광구, 2003). 또한 공간자기상관은 공간 개체들이 서로 유사한 값을 가지며 군집적으로 분포하는 경우인 정적 공간자기상관 관계와 공간 개체들이 서로 상이한 값들을 가지며 군집적으로 분포하는 경우인 부적 공간자기상관 관계, 공간 개체들이 서로 상이한 값을 가지며 분산적으로 분포하는 무작위적인 관계가 있다(이희연, 1995).

공간자기상관 측정 방법 중 전역적 규모로써 Join count statistics, Moran's I , Geary's c 등이 있다. 본 연구에서는 지역의 공간 패턴을 하나의 지수로 산출하기 위해 Moran's I 를 사용하였으며, I 값은 변수 X 의 공분산을 변수 X 의 분산으로 나누는 것으로 식(1)과 같이 계산된다.

$$I_x = \frac{n \sum_i \sum_j w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

여기서, n 은 관측 개체의 수이며, w_{ij} 는 개체 i 와 j 사이의 가중치이다. i 와 j 가 서로 이웃하고 있으면 1, 그렇지 않으면 0의 값을 갖는 이진(binary) 가중 방법을 사용하였다. x_i 는 변수 X 의 대상 피처(target feature)이며, x_j 는 변수 X 의 이웃 피처(neighborhood feature)이고, \bar{x} 는 변수 X 의 전체 평균을 의미한다.

식 (1)의 분자에서 i 와 j 가 인접하는 경우에 이들의 변수 X 의 값들이 이 변수의 평균값 \bar{x} 와의 차이(deviation)가 계산된 후 서로 곱해지게 된다. x_i 와 x_j 가 모두 평균값 \bar{x} 보다 클 때와 모두 작을 때 이들의 곱은 양수가 되어 Moran's I 값의 범위는 0과 1사이의 값이 되는데, 이는 관측 값이 이웃하는 것끼리 공간적으로 유사한 것을 의미하며 정적관계 또는 군집적이라고 한다. x_i 가 평균값보다 크고 x_j 가 평균값보다 작을 때는 음수가 되어 Moran's I 값의 범위는 -1에서 0 사이의 값을 갖게 되는데 이는 관측 값이 상이한 값끼리 이웃한 것을 의미하며 부적관계 또는 분산적이라고 한다. 또한 관측 값이 임의적이면 0의 값을 갖고, 무작위적 관계라고 한다.

Moran's I 의 유의성 검정은 Z 검정법을 이용하는데, Z 값은 식(2)와 같이 관측치에서 기대치를 뺀 후, 기대치의 표준편차로 나눈 값으로 계산된다. 이러한 Z 값이 1.65, 1.96, 2.57이상이면 각각 유의수준 0.1, 0.05, 0.01에서 유의하다는 것을 의미한다.

$$Z_I = \frac{I_O - I_E}{SD_{I_E}}, \quad I_E = \frac{-1}{n-1} \quad (2)$$

여기서, I_O 는 I 의 관측치이며, I_E 는 I 의 기대치이다. SD_{I_E} 는 기대치의 표준편차이다.

한편 일반적으로 사용하는 비공간통계인 상관관계(correlation) 분석은 변수들 사이에 상관성 정도를 분석하는 통계적 기법이다. Pearson 상관계수는 측정에 사용된 척도가 등간, 혹은

비율 척도일 때 하나의 변수와 다른 변수와의 관련성을 분석하는 것으로, 변수 X 와 Y 의 각각에 대한 표준편차를 곱하고 변수 X 와 Y 의 두 변수가 동시에 변하는 정도인 공분산(covariance)으로 나누는 것으로 식(3)과 같이 계산된다.

$$r_{x,y} = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

x_i, y_i 는 변수 X, Y 의 대상 피처이며 \bar{x}, \bar{y} 는 변수 X, Y 의 전체 평균이다. 상관계수(r)는 $-1.0 \sim +1.0$ 의 범위에 분포한다.

2. Lee's L 지수

Lee(2001)는 두 가지 분석 방법을 이변량 공간 연관성 측정을 하기 위해 제안하였다. 첫 번째 분석 방법은 비공간의 상관계수인 Pearson's r 이며, 두 번째 분석방법은 공간자기상관 계수인 Moran's I 이다. 이 두 가지 분석 방법을 분해하고 다시 통합함으로써 비공간과 공간을 모두 고려하는 L 지수를 개발하였다. 다른 패턴들 사이의 L 지수 값을 비교함으로써 L 지수가 이변량의 공간 군집과 이변량 연관성에 의한 변수들 간의 유사성 또는 비유사성을 효과적으로 측정할 것이라고 하였으며, L 지수는 변수 X 와 Y 의 각각에 대한 표준편차를 곱하고 변수 X 와 Y 의 spatial lag distance(SLD)가 적용된 두 변수의 공분산으로 나누는 것으로 식(4)와 같이 계산된다.

$$L_{x,y} = \frac{\sum_i (\tilde{x}_i - \bar{x})(\tilde{y}_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (\tilde{x}_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_i (\tilde{y}_i - \bar{y})^2}} \quad (4)$$

\tilde{x}_i 는 SLD가 적용된 변수 X 의 대상 피처이고, \tilde{y}_i 는 SLD가 적용된 변수 Y 의 대상 피처이다. 여기서 SLD는 이웃 간의 최대 거리로 지정해야 멀리 떨어져 있는 점까지 포함하여 계

산할 수 있기 때문에 두 점 사이의 거리를 지름으로 할 때, 그 원 안에 다른 점이 없는 경우에 선을 그어 이웃을 정하는 Gabriel Network 방법을 이용하였다. 이 방법을 사용하여 산정한 이웃사이의 최소 거리는 1030m, 최대 거리는 3584m로 나타나 최대거리를 포함할 수 있는 3600m를 이웃의 범위로 정하였다. 그림 2는 Gabriel Network Line과 3600m를 이웃의 반경 범위로 정한 결과로써, SLD의 공간범위를 의미하는 것이다.

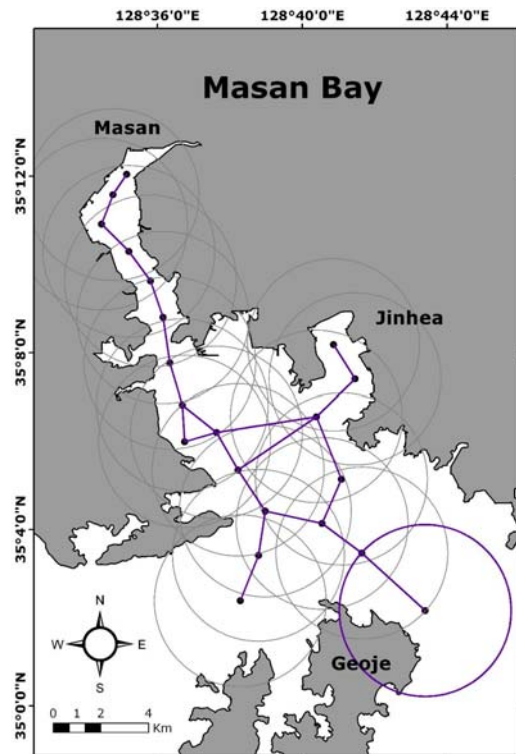


FIGURE 2. Spatial Lag 범위와 Gabriel Network

결과 및 고찰

1. 일반 수질과 영양염 자료의 특성

2004년 마산만의 표층 수질과 영양염에 대한 월별 범위 및 평균값은 표 1과 같다. 수온은 일사량 및 일조시간의 영향을 받는 계절적

인 변화를 하는 인자로서, 각종 이온 및 유기물의 변화를 유발하는 생화학적 변환 과정과 자정 작용 등에 영향을 미치고, 해양 수중 생물의 생육에 영향을 주게 된다. 연구 지역의 수온 변화 특성은 2월에 평균 6.8°C, 7월에 평균 25.05°C로 나타났다. 육상으로부터 담수의 영향을 직접적으로 표현할 수 있는 염분은 2월 평균 32.42psu로 높게 나타났고 7월 평균 27.96psu로 낮게 나타났다. 용존산소(DO)는 수산생물 특히 어패류의 산란과 성장에 있어 중요한 제한 인자로 작용할 뿐만 아니라 수괴의 이동이나 혼합 과정을 규명하는 중요한 요인이다. 연구해역에서 연 중 5.23~20.00mg/L로 나타났고, 2월에 평균 12.03mg/L로 높고 7월에 평균 8.21mg/L로 낮은 특성을 보였다. 수중의 수소이온농도(pH)는 해양생물의 생육과 밀접한 관계를 가지고 있으며, pH가 7이하로 내려가거나 9이상 상승할 경우 해양생물의 서식과 산란에 영향을 주게 되고 연안이나 내만의 해수는 담수의 영향으로 일시적인 조건하에서 쉽게 영향을 받을 수 있다. 11월에 평균 8.17, 7월에 평균 8.69로 7월에 높은 특성을 보였다.

무기질소계 영양염은 생화학적 작용에 의하

여 순환하지만 생물학적 인자들의 제한 인자로도 작용한다. 암모니아 질소는 동식물성 유기물의 분해 산물로서 생활하수 및 동식물의 배설물에 많이 함유되어 있고, 공장 폐수 및 비료 성분에 의한 부하도 많다. 질소 화합물은 유기태와 무기태로 존재하며, 이중 해양생물은 무기태 질소를 대사에 이용하며 순환시킨다. 무기태 질소가 과다하게 존재하면 부영양해역이 되어 적조 발생의 원인으로 작용하게 되고 이들은 호기성조건하에서 질산화과정을 통하여 질산 질소로 변환한다. 연구해역에서 연 중 값의 범위는 0.43~79.07 μ M로 특히 여름철에 지역에 따른 값의 차이가 크게 나타났으며, 전반적으로 5월에 낮고 11월에 높게 나타났다. 규소는 가장 풍부한 일차 생산자인 규조류의 골격 형성물질에 필수적인 요소이며, 방산층의 껍데기를 형성하는 중요한 성분이다. 규소는 보통 지각의 암석 풍화로부터 공급되지만, 연안 해역은 인근 육지로부터 하구에 의해 규소를 공급 받아 일반적으로 다른 해역에 비해 높은 규소 농도를 가지게 된다. 연구해역에서 5월과 7월에 높은 농도를 보였고, 2월에는 낮은 농도를 보였다.

TABLE 1. 마산만의 수질과 영양염의 범위와 평균

항목/ 월(2004년)		2	5	7	11
수온 (°C)	범위	5.66~7.94	16.95~19.83	22.42~28.29	14.49~16.14
	평균	6.75	17.88	25.05	15.41
DO (mg/L)	범위	10.30~12.91	8.59~15.50	6.55~11.57	6.03~9.12
	평균	12.03	11.36	8.21	8.01
염분 (psu)	범위	27.13~33.61	29.61~32.54	21.12~32.25	31.30~32.92
	평균	32.42	31.62	27.96	32.15
pH	범위	8.29~8.53	8.17~8.66	8.31~9.12	8.08~8.25
	평균	8.43	8.40	8.69	8.17
총 무기질산염 (μ M)	범위	2.64~32.31	1.29~52.85	0.43~79.07	2.63~37.68
	평균	8.88	7.39	9.92	13.25
규산염 (μ M)	범위	0.08~4.52	9.81~42.89	0.26~58.71	9.52~22.92
	평균	0.80	18.43	7.33	13.44

2. 공간 연관성 및 비공간 상관성 분석

연구해역에서 조사된 각 수질 인자들과 영양염 인자들에 대해 Lee's L 지수를 사용하여 이변량의 상관성과 공간분포패턴 분석을 하였다. Moran's I 와 Pearson's r 의 특징들을 결합하여 하나의 값으로서 산출할 수 있는 L 지수의 값은 $-1 \sim +1$ 사이에 존재하는데, 이는 Moran's I 와 Pearson's r 의 범위와도 같다. 이변량 공간연관성 측정방법인 Lee's L 지수는 다른 통계적인 방법들과 비교하여 상대적으로 통계적 특성이 충분히 연구되어 있지 않으며, 가상의

데이터 셋을 이용한 실험에서 이변량의 상관성(Pearson's r)이 0.9이고 일변량의 공간패턴(Moran's I)이 각각 -0.3 정도의 값을 가질 때, L 지수가 0.2로 계산되었다(Lee, 2001). 이러한 결과는 이변량이 비공간적으로 매우 강한 정적 상관임에도 불구하고 정적상관이 잘 표현되지 않을 뿐 아니라, 이변량에 내재된 부적 공간자기상관도 표현되지 않는다(Wong과 Lee, 2005)라고 지적하였다. 따라서 L 지수 자체만으로는 상관성과 공간자기상관성의 정도를 설명하기 어려운 점이 있다. 이는 기본 개념

TABLE 2. 이변량에 대한 Moran's I , Pearson's r 및 Lee's L 의 비교

항 목 (X, Y)	월	Moran's I		Pearson's r		Lee's L
		X	Y	r	\tilde{r}	
수온 vs DO	02	0.83	0.37	-0.36	-0.40	-0.24
	05	0.46	0.55	0.79	0.86	0.57
	07	0.51	0.56	0.28	0.22	0.12
	11	0.61	0.01	0.08	0.59	0.33
수온 vs 염분	02	0.83	-0.16	0.05	-0.03	-0.02
	05	0.46	0.93	0.23	0.29	0.23
	07	0.51	0.89	-0.39	-0.36	0.31
	11	0.61	0.80	0.80	0.93	0.78
DO vs 염분	02	0.37	-0.16	0.02	0.16	0.08
	05	0.55	0.93	0.36	0.41	0.32
	07	0.56	0.89	-0.39	-0.56	-0.37
	11	0.01	0.80	0.26	0.62	0.35
염분 vs pH	02	-0.16	0.27	0.00	0.15	0.07
	05	0.93	0.02	-0.10	-0.07	-0.02
	07	0.89	0.82	-0.87	-0.25	-0.22
	11	0.80	0.20	0.39	0.54	0.37
염분 vs 규산염	02	-0.16	0.44	0.04	0.11	0.05
	05	0.93	0.88	-0.96	-0.98	-0.85
	07	0.89	0.14	-0.31	-0.33	-0.15
	11	0.80	0.71	-0.73	-0.88	-0.69
염분 vs 총 무기질산염	02	-0.16	0.29	0.06	0.04	0.02
	05	0.93	0.58	-0.78	-0.90	-0.63
	07	0.89	0.46	-0.71	-0.86	-0.51
	11	0.80	0.70	-0.83	-0.93	-0.73
총 무기질산염 vs 규산염	02	0.01	0.29	0.60	0.64	0.30
	05	0.32	0.58	0.89	0.95	0.62
	07	0.32	0.46	0.83	0.69	0.22
	11	0.54	0.70	0.94	0.96	0.69

이 되는 Pearson's r 와 Moran's I 에 따른 L 지수 값이 특성별로 분류되어 있지 않기 때문이며, L 지수로는 이변량의 상관성이나 공간패턴 특성을 구분하기 모호하기 때문에 Pearson's r 값과 Moran's I 값을 L 지수와 함께 제시하여 살펴볼 필요가 있다. 그림 2는 이변량 항목별로 관측시기별 Moran's I , Pearson's r 및 Lee's L 의 결과를 비교한 결과이다.

이와 같은 분류표에 의하면 L 지수는 Pearson's r 의 부호를 따름을 알 수 있으며 L 지수를 통해 이변량이 군집성과 정적 또는 부적 상관성 등을 쉽게 파악할 수 있다. 하지만 Pearson's r 와 Moran's I 에 따라 다양하게 변하는 L 지수 값 자체만을 비교하기에는 어려움이 따른다.

3. L 지수 특성 분류

L 지수는 Pearson's r 와 Moran's I 의 특성을 내포하고 있으므로 L 지수의 의미를 보다 구조적으로 알아보기 위해 Pearson's r 의 상관성 정도와 Moran's I 의 공간군집 정도를 각각 3가지 형태로 표 3과 같이 분류하였다. Pearson's r 은 유의미한 상관계수를 고려하여 ± 0.4 를 기준으로 분류하여 3가지 형식(P1, P2, P3)으로 정의하였으며, Moran's I 도 $+0.4$ 를 군집패턴의 기준으로 삼아 X 와 Y 두 변수의 I 값이 모두 $+0.4$ 이상인 이변량 군집패턴을 M1, 두 변수 중 하나만 $+0.4$ 이상인 일변량 군집패턴을 M2, 두 변수 모두 $+0.4$ 미만인 경우를 M3로 각각 분류하였다. 이와 같이 Pearson's r 와 Moran's I 값의 유형을 각각 3가지로 단 순화시킨 유형을 서로 조합하여 9가지 경우의 수(P1M1, P1M2, P1M3, P2M1, P2M2, P2M3, P3M1, P3M2, P3M3)로 유형을 재분류하였다.

비공간 및 공간특성을 조합한 9가지 유형이 L 지수와는 어떤 관련이 있는지 알아보기 위해 먼저 L 지수 값의 기초 통계량(최대, 최소, 평균 및 표준편차)을 산출하였다(표 4).

P1M1 유형은 강한 군집패턴과 강한 상관성을 잘 반영하는 것으로 L 지수가 대부분 0.4

TABLE 3. 비공간 상관성과 및 공간패턴 분류

지수	범 위	의미	Type
r	0.4 이상	정적 상관성	P1
	-0.4 ~ 0.4	상관성 없음	P2
	-0.4 이하	부적 상관성	P3
I	두개 모두 0.4 이상	이변량 군집패턴	M1
	두개 중 하나만 0.4 이상	일변량 군집패턴	M2
	두 개 모두 0.4 미만	군집패턴 없음	M3

이상이고, P1M2, P1M3 유형의 평균은 0.35, 0.38로 비슷한 경향을 보였다. P2M1, P2M2, P2M3 유형의 평균값은 -0.03, 0.04, -0.02로 모두 0에 가까운 비슷한 특성을 보였으며, P3M1, P3M2, P3M3 유형의 평균값은 -0.56, -0.40, -0.27로 뚜렷한 음적 특징을 보였다. 이와 같은 9가지 분류 특징은 그림 3의 L 지수의 범위에 대한 Box Plot에서 잘 보여주고 있다.

이와 같이 평균값에 의해 유형을 4가지로 분류할 수도 있으나, 그림 3에서 보는 바와 같이 각 유형별 L 지수 값의 범위가 유형별로 겹쳐지는 부분이 있어 평균값만으로 분류하기

TABLE 4. 유형별 L 지수의 통계량

Types	자료 수	최소	최대	평균	표준 편차
P1M1	44	0.35	0.93	0.62	0.15
P1M2	11	0.17	0.54	0.35	0.13
P1M3	35	0.13	0.59	0.38	0.11
P2M1	16	-0.37	0.32	-0.03	0.22
P2M2	31	-0.24	0.37	0.04	0.17
P2M3	17	-0.30	0.25	-0.02	0.13
P3M1	22	-0.85	-0.22	-0.56	0.16
P3M2	11	-0.57	-0.12	-0.40	0.10
P3M3	9	-0.34	-0.11	-0.27	0.06

에는 무리가 있었다. 따라서 9가지 유형의 L 지수 값의 사분위수 범위를 기준으로 사분위수가 뚜렷이 구별되는 유형들을 표 5와 같이 5개 그룹(A~E)으로 재분류하였다. A 그룹(P1M1)은 0.5 이상, B 그룹(P1M2, P1M3)은 0.2~0.5, C 그룹(P2M1, P2M2, P2M3)은 -0.3~0.2, D 그룹(P3M2, P3M3)은 -0.5~-0.3, E 그룹(P3M1)은 -0.5 이하로써, 사분위수 범위에 따라 분류한 L 지수 그룹은 비교적 구별이 뚜렷하였다.

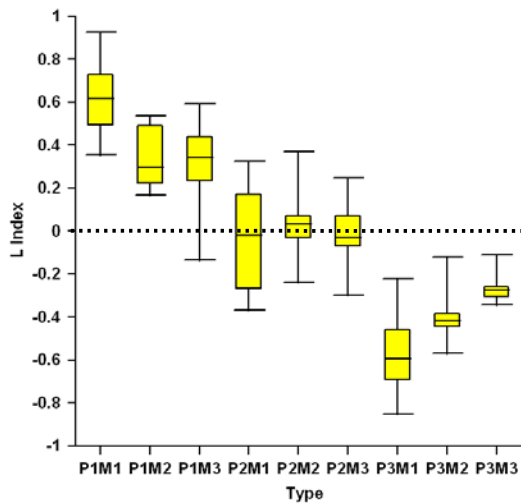


FIGURE 3. 유형별 L 지수 범위(Box-Whisker Plot)

TABLE 5. 유형별 L 지수의 사분위수 범위

Group	Type	L 지수의 사분위수
A	P1M1	0.5 ~ 0.7
B	P1M2	0.2 ~ 0.5
	P1M3	
C	P2M1	-0.3 ~ 0.2
	P2M2	
	P2M3	
D	P3M2	-0.5 ~ -0.3
	P3M3	
E	P3M1	-0.7 ~ -0.5

4. L 지수의 적용

이변량의 상관성과 공간 연관성을 판단할 수 있는 척도로 사용하기 위해 분류한 5개의 L 지수 그룹을 이변량의 일반수질과 영양염 자료에 적용하고자 표 6과 같이 이변량 항목의 월별 분포를 L 지수 그룹으로 분류하였다. L 지수 A와 E 그룹은 5월과 11월에, C와 D 그룹은 2월과 7월에, 그리고 B 그룹은 5월, 11월 및 7월에 주로 나타났다. 이것은 마산만 해양수질의 이변량 상관성이 계절별로 정적 혹은 부적인 상관성이 다양하게 나타나고, 공간 연관성이 있는 군집 패턴은 5월과 11월에 주로 나타남을 보여준다. 또한 비공간적 상관성이 없거나 약하면서 공간적 연관성도 없는 패턴은 2월과 7월에 주로 나타남을 보여준다.

수온과 다른 수질 항목(DO, 염분)과의 관계는 5월에 A 그룹, 11월에 B 그룹, 2월과 7월에 C 그룹으로 각각 나타나 수온과 관계된 L 지수가 계절에 따라 변함을 알 수 있다. 수온과 DO는 5월을 제외하고는 정적 상관이 약하거나 부적인 상관을 보인 반면, 공간적 연관성은 전 계절에 걸쳐 군집패턴을 보였다. 수온과 염분의 관계는 11월을 제외하고는 정적 상관이 약하거나 부적인 상관을 보인 반면, 공간적 연관성은 전 계절에 걸쳐 군집패턴을 보였다(표 3 참조). 이는 연구해역에서 하천수의 영향을 받는 염분과 수온, DO 등이 마산만 내측에서 작은 값을 갖고 외해역으로 갈수록 값이 점점 커지는 공간적인 영향을 반영한 것으로 판단된다. 즉, A 그룹의 환경은 두 변수가 공간적으로 같은 분포패턴을 가지고 공간적인 군집의 위치도 유사함을 의미하는 것이다.

염분과 영양염(규산염, 총 무기질산염)의 관계는 전반적으로 부적 상관성을 보였으며, 공간적 연관성은 2월을 제외하고 전 계절에 걸쳐 군집패턴을 보였다. 이는 염분이 외해역에서 높고 내만 해역에서 낮은 반면, 영양염은 이와 반대의 분포 패턴을 보이기 때문이다. 즉 영양염의 주요 공급원이 삼호천, 산호천, 양덕

천, 내동천, 창원천, 남천 등 내만 해역에 위치한 하천수질을 지시하는 결과로서 하천수가 연구해역의 영양염 분포에 상당한 영향을 미치는 것(해양수산부, 2007)으로 판단된다.

영양염인 규산염과 총 무기질산염의 관계는 5월과 11월에 A 그룹, 2월과 7월에 B 그룹을 형성하였다. 이는 비공간 상관성이나 공간 상관성이 모두 정적인 특성을 반영하는 것으로 질소와 규소가 비교적 뚜렷한 상관관계를 보인다는 연구 결과(김석희, 2007)와 일치하며, 규산염과 총 무기질산염은 연구해역에 위치한 여러 하천의 영향으로 마산만 내만에 높은 농도로 존재한다는 연구 결과(한국해양연구원, 2006)와도 일치한다.

이렇듯 해양수질과 영양염 항목을 대상으로 이변량의 비공간 상관성과 공간적 연관성의 특성을 하나의 수치로 파악할 수 있는 L 지수를 이용하여 마산만의 계절별 해양환경 분포 패턴을 정량적으로 분석 가능하였다.

결 론

본 연구에서는 마산만 해양환경의 비공간과 공간을 모두 고려한 분포패턴을 정량적으로 분석하기 위해 Pearson's r 와 Moran's I 의 특성을 통합한 L 지수를 이용한 적용연구를

시도하였다.

비공간과 공간적 특성이 결합된 L 지수 자체만으로는 지수에 내제된 상관성과 공간 연관성을 구분해 내기 어려워 이변량에 대한 Pearson's r 와 Moran's I 의 값을 구한 후, 이것을 각각 3가지 유형으로 분류하여 9가지 경우의 수로 재분류하였다. 일차적으로 분류된 9가지 유형에 해당하는 L 지수 통계량의 사분위수를 이용하여 5개 그룹으로 재분류 하였는데, 이변량의 정적 상관성과 이변량의 공간군집패턴은 A 그룹으로, 이변량의 정적 상관성과 일변량의 공간군집패턴 및 군집이 없는 패턴은 B 그룹으로, 공간군집패턴에 무관하게 이변량의 상관성이 없는 패턴은 C 그룹으로, 이변량의 부적 상관성과 일변량의 공간군집패턴 또는 군집이 없는 패턴은 D 그룹으로, 이변량의 부적 상관성과 이변량의 공간군집패턴은 E 그룹으로 정의하여 분류하였다.

이와 같은 분석과정을 거친 결과 L 지수에 내제된 이변량의 비공간 상관성과 공간 연관성의 유추가 가능하였다. 그룹화 된 L 지수를 이용하여 마산만 해양환경의 계절별 특성을 파악할 수 있었는데, 해양수질과 영양염 항목을 대상으로 한 이변량의 L 지수 그룹은 공간군집패턴에 무관하게 이변량의 상관성이 없는 패턴인 C 그룹이 2월과 7월에 가장 많이 나타


TABLE 6. 이변량 항목별 L 지수의 그룹별 월별 분포

항 목	L 지수 그룹				
	A	B	C	D	E
수온 vs DO	5월	11월	2월, 7월		
수온 vs 염분	11월	5월, 7월	2월		
DO vs 염분		5월, 11월	2월	7월	
염분 vs pH		11월	2월, 5월, 7월		
염분 vs 규산염			2월, 7월		5월, 11월
염분 vs 총 무기질산염			2월		5월, 7월, 11월
규산염 vs 총 무기질산염	5월, 11월	2월, 7월			

났으며, 5월과 11월은 정적 또는 부적 상관성이 있으면서 공간군집패턴을 보이는 A 그룹과 E 그룹이 주를 이루었다. 하지만 B 그룹은 전 계절에 걸쳐 고루 나타났고, D 그룹은 7월에 만 나타나는 특징을 보였다.

본 연구를 통해 L 지수 값만으로 이변량의 비공간 상관성과 공간 연관성을 동시에 파악할 수 있는 방법을 제시하였는데, 이러한 연구 결과는 향후 해양환경 패턴을 정량적으로 분석하여 해양과학 전문연구 뿐 아니라 해양환경관리를 위한 의사결정에도 활용될 수 있기를 기대한다.

사 사

본 연구는 한국해양연구원의 “항만환경 위해도 평가기술 개발 연구(PP08420)” 사업의 지원을 받아 수행된 연구임. 본 연구를 위해 자료수집에 도움을 주신 한국해양연구원 남해연구소 연구원들과 본 논문을 검토해 주신 심사위원님께 감사의 말씀을 드립니다. 

참고 문헌

- 김광구. 2003. 공간자기상관의 탐색과 공간회귀 분석의 활용. 정책분석평가학회보 13(1):273-294.
- 김석희. 2007. 새만금호 내 영양염류의 시·공간 변화: 해수-담수 혼합의 영향. 군산대 대학원 석사학위 논문. 64쪽.
- 김 영, 하창현, 안정근. 2005. 공간적 자기 상관 분석을 이용한 염담도시권의 공간 구조 분석. 대한국토도시계획학회지 39(6):7-22.
- 김영표, 임은선. 2003. GIS 기반 공간분석 방법론 개발 연구. 국토연구원. 183쪽
- 박승운, 박경수, 석규진, 오현주, 이영식, 김전풍. 1999. 경기만 수질의 시공간적 변동과 부영양화. 수진연구보고 56:51.
- 신우람, 황철수. 2005. GIS를 이용한 범죄의 시·공간적 패턴 연구. 2005년 대한지리학회 춘계 학술대회 논문집 35-36쪽.
- 양은진, 최중기. 2003. 경기만 수역에서 미세생물 군집의 계절적 변동 연구 II. 미소형 및 소형 동물플랑크톤. 한국해양학회지-바다- 8(2):78-93.
- 유은혜. 1999. GIS의 통계적 공간분석에 관한 연구. 1999년 대한지리학회 춘계학술대회 논문집 29-32쪽.
- 이무강, 황정옥, 최영광. 1996. 다변량 해석에 의한 마산만 저층수의 수질 평가. 한국환경과학회지 5(1):15-23.
- 이희연. 1995. 지리통계학. 범문사. 301-364쪽.
- 장풍국, 이원제, 장민철, 이재도, 이우진, 장만, 황근춘, 신경순. 2005. 광양만에서 무기 영양염의 시공간적 분포를 조절하는 요인. Ocean and Polar Research 27(4):359-379.
- 조대현. 2001. GIS와 공간 통계 분석을 이용한 공간적 연관 패턴 분석에 관한 연구-제조업의 분포를 사례로- 서울대학교 대학원 석사학위 논문. 75쪽.
- 최현우, 김계현, 이철용. 2007a. 해양환경 공간분포 패턴 분석을 위한 공간자기상관 적용 연구 - 광양만을 사례지역으로 -. 한국지리정보학회지 10(4):60-74.
- 최현우, 박재문, 김현욱, 김영옥. 2007b. 공간자기상관 지수와 Pearson 상관계수를 이용한 마산만 수질의 공간분포 패턴 규명. Ocean and Polar Research 29(4):391-400.
- 한국해양연구원. 2006. 남해 특별관리해역의 환경위해성평가 연구 (I) 마산연안 중심연구. 592쪽.
- 해양수산부. 2007. 연안오염총량관리 기본계획 수립 연구: 최종보고서, 1: 마산만 특별관리해역을 대상으로. 482쪽.

- Anselin, L. 1988. *Spatial Econometrics: Methods and models*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 8pp.
- Frutos, A., P.P. Olea and R. Vera. 2007. Analyzing and modelling spatial distribution of summering lesser kestrel: The role of spatial autocorrelation. *Ecological Modelling* 200:33-44.
- Lee, J. and D.W.S. Wong. 2001. *Statistical Analysis with ArcView GIS*. John Wiley & Sons, Inc. 192pp.
- Lee, S.I. 2001. Developing a bivariate spatial association measure: An integration of Pearson's r and Moran's I . *Journal of Geographical Systems* 3:369-385.
- Mitchell, A. 2005. *The ESRI Guide to GIS Analysis (Volume 2: Spatial Measurements & Statistics)*. ESRI Press. 238pp.
- Tobler, W.R. 1970. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. *Economic Geography* 46:234-240.
- Weishampel, J.F., D.A. Bagley, L.M. Ehrhart and B.L. Rodenbeck. 2003. Spatiotemporal patterns of annual sea turtle nesting behaviors along an East Central Florida beach. *Biological Conservation* 110:295-303.
- Wong, D.W.S. and J. Lee. 2005. Statistical analysis of geographic information with ArcView GIS and ArcGIS. pp.405-414. [KAGIS](#)