

공간회귀모형을 이용한 산업 및 용도지역 특성과 환경 오염과의 상관관계 분석*

Correlates between Industries and Zoning Characteristics and Environmental Pollution Employing Spatial Regression Model

최열** · 이재송***

Choi, Yeol · Lee, Jae-song

Abstract

The aim of this study is to analyze the effects of industries and zoning characteristics on wastewater generation and discharging. The study is focusing on municipal levels of area in Korea. Also, it considered spatial autocorrelation because any space is related to neighboring space. Therefore, Moran's I statistics was estimated to examine spatial autocorrelation in dependent variables such as amount of wastewater generation and discharging. In a consequence of evaluating the suitability for spatial regression models, the spatial error model was employed as the empirical analysis for the study. It showed that if one unit was increased in intermediate goods manufacturing industry, industrial complex and areas of exclusive industrial, general industrial and semi industrial, average quantity of wastewater generation and discharging increased. However, if one unit was increased in capital goods manufacturing industry, average quantity of wastewater generation and discharging decreased.

키 워 드 ▪ 폐수, 산업, 용도지역, 공간자기상관, 공간회귀모형

Keywords ▪ Wastewater, Industries, Zoning, Spatial Autocorrelation, Spatial Regression Model

I. 서 론

1970년대부터 90년대까지 우리나라는 급격한 산업화를 이루어왔다. 그 과정에서 다른 개발도상국과 마찬가지로 경제 성장에 집중하여 산업화가 환경에 미치는 영향에 대해서는 상대적으로 고민이 적었다. 산업의 성장은 필연적으로 환경오염을 발생시킨다. 산업의 성장에 따른 대표적인 환경오염은 하수, 폐기물, 공해 등이다. 여기서 폐기물과 공해는 사람이 거주하는 공간이라면 발생하는 것으로 산업체에만

국한되는 환경오염은 아니다. 그러나 하수의 경우 오수와 폐수로 구분할 수 있는데, 오수는 흔히 생활하수라고 불리며 사람이 생활하면서 남는 더러워진 물을 의미하는데 반하여, 폐수는 공장에서 발생하는 불순물 및 화학물질로 더럽혀진 물을 의미한다. 즉, 폐수는 그 정의 자체가 공장에서 발생하는 오염된 물로 산업과 밀접한 연관이 있다고 할 수 있다. 물론, 세차장이나 자동차 정비소와 같은 곳에서도 소량의 폐수가 발생하기는 하지만 주로 발생하는 곳은 공장이라고 할 수 있다. 이러한 점에서 본 연구는 공장에서 주로 발생하는 환경오염인 폐

* 본 논문은 2013년 4월 대한국토·도시계획학회 춘계산학학술대회에서 발표한 논문을 수정·보완한 것임.

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

** 부산대학교 도시공학과 교수 (주저자: yeolchoi@pusan.ac.kr)

*** 부산대학교 도시공학과 석사 (교신저자: lee-jaesong@hanmail.net)

수에 초점을 맞추어 산업 특성과 환경오염 간의 상관관계를 분석하고자 한다.

공장에서 발생하는 폐수는 수질 오염의 주원인 중 하나다. 이러한 점에서 많은 연구들이 환경공학 적 측면에서 폐수에 포함된 화학물질 또는 수질 오염물질 및 그 지표의 변화를 강조하였다. 하지만 대부분 실제 측정을 통한 분석으로 산업의 종류와 도시계획적 특성이 환경오염 특성인 폐수의 발생 및 방류에 어떠한 영향을 미치고 있는지에 대한 연구는 거의 없는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 기존의 연구들과는 관점을 달리하여 산업 및 도시 계획적 특성을 고려하고자 한다. 특히, 산업 특성은 주로 폐수가 발생하는 제조업에 집중하고, 도시계획적 특성으로는 용도지역에 초점을 맞추고자 한다.

환경부에서는 폐수의 발생 및 방류에 관한 통계 조사를 매년 실시하여 지방자치단체를 공간적 최소 단위로 하여 공표하고 있다. 본 연구는 산업 및 도시계획적 특성을 고려하고, 이러한 특성들은 행정구역 단위로 나누어 분석할 수 있다. 따라서 전국의 모든 자치시·군·구에 초점을 맞추어 분석하는 것이 타당하다고 할 수 있다. 분석의 단위를 공간적 단위인 행정구역으로 하였기 때문에 본 연구는 공간적 측면의 분석이라고 할 수 있다. 공간을 대상으로 한 분석에서는 반드시 고려해야하는 것이 공간적 자기상관성(spatial autocorrelation)이다. 공간은 완전히 고립된 섬이 아니라면 경계를 공유하는 주변지역과 어떻게든 연관되어 있을 수밖에 없다. 따라서 공간 간의 연계성을 밝혀주는 공간적 자기상관성을 고려한 분석이 꼭 필요하다고 할 수 있다.

본 연구는 전국의 지자체를 대상으로 제조업을 중심으로 한 산업 특성과 용도지역에 초점을 맞춘 도시계획적 특성이 환경오염 특성인 폐수에 미치는 영향에 관하여 실증적으로 분석하는 것을 목적으로 한다. 아울러 공간적 차원에서 분석한다는 점에서 공간적 자기상관성을 고려하여 분석하고자 한다.

II. 선행연구

지금까지의 선행연구에서는 본 연구에서 분석하고자 하는 산업 및 용도지역별 폐수 발생 및 방류에 미치는 영향에 대한 연구가 거의 없었다. 대부분의 연구는 토지이용별로 방류되는 하수에 어떤 화학물질 및 수질 오염물질이 얼마만큼 포함되어 있는가와 그 하수가 주변 강에 방류되어 수질 오염에 어느 정도 발생하는지에 대하여 실제 측정을 통한 환경공학적인 연구가 대다수다. 일반적으로 도시적 토지이용이 증가하면 오염물질을 함유하고 있는 하수에 의해 강의 수질 오염의 척도로 사용되는 BOD 및 COD 지표가 변화한다(Charbonneau and Kondolf, 1993; Ha and Bae, 2001; Weller et al, 2003; Swartz et al, 2003; 정광옥·류성필, 2003; Ahearn et al, 2005). 더 구체적으로 Charbonneau and Kondolf(1993)는 도시적 토지이용을 주거, 상업, 공업으로 나누고 주변에서 채취된 강물의 시료를 유기물질 부하량을 분석하였는데, 주거지역보다는 상업지역이, 상업지역보다는 공업지역이 강의 유기물질 부하량을 증가시킨다는 결과를 도출하였다. 도시적 토지이용을 세분화하고 공업지역 주변의 강물이 가장 많이 오염되어 있다는 결론을 내었지만, 이는 시료 채취에 의한 실제 측정에 기반한 분석으로 환경공학적인 성격이 짙다. 게다가, 어떤 산업이 얼마만큼의 영향을 미치는 지에 대한 분석이 없고, 시료 채취에 의한 환경공학적인 측면의 분석이라는 점에서 한계가 있다고 할 수 있다. 국내에서는 정광옥·류성필(2004)이 제주도 서귀포시지역을 대상으로 토지이용별 하수발생량의 특성에 대하여 분석한 연구가 있다. 주거지역, 주거·상업복합지역, 관광단지로 토지이용을 구분하여 시간대별 하수발생량 변화를 앞선 연구와 마찬가지로 대표지점에서 시료를 채취하여 수질 오염 지표인 BOD, COD 등의 농

도 변화를 분석하였다. 다른 국외 연구와 마찬가지로 토지이용을 구분하여 분석하였지만, 여전히 강물 시료 채취에 의한 환경공학적 측면을 강조하였다는 점이 한계라고 할 수 있다. Su et al(2013)은 기존의 선행연구와 다른 측면으로 접근하여 도시지역과 비도시지역을 구분하고 하수에 포함된 오염 물질 각각에 대하여 여러 변수를 반영한 분석을 실시하였다. 기존의 연구들이 강물 시료 채취에 의한 실제 측정을 바탕으로 환경공학적으로 분석한 것에 반해 이 연구는 통계자료를 바탕으로 회귀분석을 통한 실증적 분석을 하였다. 게다가 회귀분석을 함에 있어 공간적 자기상관성까지 고려하였다는 점에서 의의가 있는 연구라고 할 수 있고 본 연구의 목적과도 일정부분 유사하다고 할 수 있다. 그러나 거시적인 측면에서 단순히 도시지역과 비도시지역만 나누어서 반영하여 다른 용도지역이나 산업적 특성 등은 결여되어 있다. 또한 오염 물질 각각의 농도를 종속변수로 두어 분석하였기 때문에 배출된 폐수의 총량적인 측면은 고려하지 못하였다는 점이 한계로 남는다.

선행연구는 대부분 도시적 토지이용이 강의 수질 오염을 증가시킨다는 공통적인 결론을 내고 있다. 그러나 대부분 환경공학적 측면에서 직접 강물을 채취하여 오염물질의 종류별 농도가 어떻게 변화하는가 등을 강조하였다. 따라서 본 연구는 관점을 달리하여 선행연구에서 고려하지 못한 폐수의 발생 및 방류량에 초점을 맞추고자 한다. 또한 산업 특성 중 폐수와 밀접한 연관이 있는 제조업을 중심으로 도시계획적 특성인 용도지역을 고려하여 각 요인들과 폐수의 발생 및 방류와의 상관관계를 분석하고자 한다. 그리고 시·군·구의 공간적 단위를 대상으로 하는 만큼 공간적 자기상관성도 고려한 실증적 분석을 실시하고자 한다.

III. 분석모형 및 분석자료

1. 분석모형

공간자료의 특별한 본질적 속성은 Tobler(1970)의 지리학 제1법칙으로 정의할 수 있다¹⁾. Tobler의 지학 제1법칙은 공간상의 모든 것은 인접해 있는 모든 것과 상관되어 있다는 점을 정의하고 있다. 공간자료 역시 공간상의 모든 것에 속한다고 할 수 있고, 이러한 공간자료의 속성 및 현상을 공간적 자기상관성(spatial autocorrelation)이라고 부른다. 전통적인 회귀모형인 OLS(ordinary least squares) 모형은 투입되는 모든 자료가 각각 독립된 것이라고 가정한다. 이 가정은 공간적 자기상관성을 배제하는데, 만약 변수에 유의한 공간적 자기상관성이 있을 경우 모형의 추정에 있어 오차가 발생할 수 있다(최열·이백호, 2006).

공간적 자기상관성은 일반적으로 자료의 집계 상의 오류나 공간상의 인접함으로 인해 나타나는 파급효과 때문에 나타나는데, 일반적인 회귀모형에서는 이를 무시해왔다. 이러한 공간자료가 가지고 있는 문제점들을 해결하기 위한 대안으로 공간 그 자체를 설명변수로 모형에 반영하여 공간적 자기상관을 추가적으로 고려할 수 있게 하는 공간회귀모형(spatial regression model)이 주목받게 되었다. 공간회귀모형은 대표적으로 공간자기회귀 종속변수를 활용하는 공간시차모형(spatial lag model; SLM)과 공간자기회귀 오차를 활용하는 공간오차모형(spatial error model; SEM)으로 구분할 수 있다(Anselin et al, 2004).

공간시차모형은 인접한 지역의 관측치에 대한 영향력을 통제하기 위하여 주변지역들이 종속변수에 미치는 영향력을 변수화하여 새로운 설명변수로 회귀모형에 추가하는 모형이다.

$$y = \rho Wy + \beta X + \epsilon \quad (1)$$

식 (1)에서 W 는 공간가중행렬로 대상지역 내 다수의 지점들이 서로 공간적으로 인접하고 있는가의 여부를 파악할 수 있도록 행렬로 나타낸 것으로, 모든 행의 합이 1이 되도록 행단표준화(row-standardized)된 것이다. Wy 는 공간적으로 시차된 종속변수이고, ρ 는 공간적으로 시차된 공간자기회귀계수이다.

공간오차모형은 오차들 사이에 존재하는 공간적 자기상관성을 통제하기 위하여 각각의 오차 공분산을 만들어서 회귀모형 내에서 고려한 모형이다.

$$y = \beta X + \lambda W\epsilon + \mu \quad (2)$$

식 (2)를 살펴보면, 오차의 공분산이 반영되어 오차항이 변화되어 있음을 알 수 있다. λ 는 오차의 공간자기회귀계수이고, μ 는 IID(independent and

identically distributed) 오차이다(Beron et al, 2004; Bivand and Portnov, 2004; Florax and Graaff, 2004; 최열·이백호, 2006; 이희연·노승철, 2012).

2. 변수의 구성 및 분석자료 구축

공간적 자기상관성을 고려한 산업과 용도지역 특성이 폐수 발생 및 방류에 미치는 영향을 분석하기 위하여 표 1과 같은 변수를 구성하였다. 첫 번째 종속변수인 폐수의 발생량은 공장에서 최초로 발생하는 폐수의 양이고, 두 번째 종속변수인 폐수의 방류량은 폐수가 발생한 공장에서 처리과정을 거쳐 공공수역 또는 폐수 및 하수종말처리시설로 방류하는 양을 의미한다. 폐수 발생량 및 방류량은 환경부에서 매년 공표하는 「공장폐수의 발생과 처리」의 통계자료를 이용하였다. 현재 공개된 최신 통계자료가 2010년이기 때문에 나머지 독립변수들의 자료 역시 2010년을 기준으로 수집하였다.

표 1. 변수의 구성 Table 1. Summary of dependent and independent variables

구분 Classification	변수 Variables	변수 설명 Explanation of variables
종속변수 Dependent variables	폐수 발생량 Wastewater generation (GEN)	m ³ /일 m ³ /day
	폐수 방류량 Wastewater discharging (DIS)	m ³ /일 m ³ /day
독립변수 Independent variables	인구 Population (POP)	명 Person
	세대수 Household (HOUSE)	세대 Unit
	소비재 제조업 사업체군 A group of consumer goods manufacturer (CON)	7종의 제조업으로 구성* Composition of seven kinds of manufacturer
	중간재 제조업 사업체군 A group of intermediate goods manufacturer (MID)	7종의 제조업으로 구성* Composition of seven kinds of manufacturer
	자본재 제조업 사업체군 A group of capital goods manufacturer (CAP)	7종의 제조업으로 구성* Composition of seven kinds of manufacturer
	기타 제조업 사업체군 A group of other goods manufacturer (ETC)	3종의 제조업으로 구성* Composition of three kinds of manufacturer
	산업단지 유무 Industrial Complex (COMP)	1: 있음, 0: 없음 1: existence, 0: non-existence
	전용공업지역 면적 Exclusive industrial areas (EXC_IND)	천m ² 1,000m ²
	일반공업지역 면적 General industrial areas (GEN_IND)	천m ² 1,000m ²
	준공업지역 면적 Semi Industrial areas (SEMI_IND)	천m ² 1,000m ²

주1. *: 표 2 참조 Note 1. *: Refer to Table 2

표 2. 제조업 특성별 분류 Table 2. Classification of manufacturing industries

구분 Classification	제조업 종류 Kinds of Manufacture
소비재 제조업 Consumer goods manufacturer	10. 식품품 제조업 Manufacture of food products
	11. 음료 제조업 Manufacture of beverages
	13. 섬유제품 제조업; 의복제외 Manufacture of textiles; except apparel
	14. 의복, 의복액세서리 및 모피제품 제조업 Manufacture of wearing apparel, clothing accessories and fur articles
	15. 가죽, 가방 및 신발 제조업 Tanning and dressing of leather, manufacture of luggage and footwear
	17. 펄프, 종이 및 종이제품 제조업 Manufacture of pulp, paper and paper products
중간재 제조업 Intermediate goods manufacturer	18. 인쇄 및 기록매체 복제업 Printing and reproduction of recorded media
	16. 목재 및 나무제품 제조업; 가구제외 Manufacture of wood products of wood and cork; except furniture
	19. 코크스, 연탄 및 석유정제품 제조업 Manufacture of coke, hard-coal and lignite fuel briquettes and Refined Petroleum Products
	20. 화학물질 및 화학제품 제조업; 의약품 제외 Manufacture of chemicals and chemical products; except pharmaceuticals, medicinal chemicals
	21. 의약품 물질 및 의약품 제조업 Manufacture of pharmaceuticals, medicinal chemicals and botanical products
	22. 고무제품 및 플라스틱제품 제조업 Manufacture of rubber and plastic products
자본재 제조업 Capital goods manufacturer	23. 비금속 광물제품 제조업 Manufacture of other non-metallic mineral products
	24. 1차 금속 제조업 Manufacture of basic metal products
	25. 금속가공제품 제조업; 기계 및 가구 제외 Manufacture of fabricated metal products; except machinery and furniture
	26. 전자부품, 컴퓨터, 영상, 음향 및 통신장비 제조업 Manufacture of electronic components, computer, radio, television and communication equipment and apparatuses
	27. 의료, 정밀, 광학기기 및 시계 제조업 Manufacture of medical, precision and optical instruments, watches and clocks
	28. 전기장비 제조업 Manufacture of electrical equipment
기타 제조업 Other goods manufacturer	29. 기타 기계 및 장비 제조업 Manufacture of other machinery and equipment
	30. 자동차 및 트레일러 제조업 Manufacture of motor vehicles, trailers and semitrailers
	31. 기타 운송장비 제조업 Manufacture of other transport equipment
	12. 담배 제조업 Manufacture of tobacco products
	32. 가구 제조업 Manufacture of furniture
기타 제조업 Other goods manufacturer	33. 기타 제품 제조업 Other manufacturing

주1. 서의택·최열(1998)을 재인용 Note 1. Requotation of Seo and Choi(1998)

산업 특성은 주로 폐수를 발생시키고 방류하는 2차 산업 중 제조업 사업체 수로 구성하였다. 우리나라에서는 「한국표준산업분류」를 통하여 산업을 종류별로 구분하고 코드화하여 관리하고 있다. 「한국표준산업분류」는 제조업을 총 24종류로 분류되어 있다. 서의택·최열(1998)은 「한국표준산업분류」에 따른 제조업을 그 특성에 따라 소비재, 중간재, 자본재, 기타 등 4가지로 분류하였는데, 본 연구에서는 4가지 분류를 재인용하여 가장 최근 개정된

「한국표준산업분류」(2008)를 바탕으로 표 2와 같이 제조업을 분류하였다. 제조업체 수와 관련한 통계자료는 일반적으로 각 지자체의 통계연보에서 공표되고 있다. 그러나 2010년의 경우에는 5년마다 실시되는 「경제총조사」로 인하여 제조업과 관련된 자료가 공표되지 않아 「경제총조사」의 통계자료를 이용하여 수집하였다.

산업단지 유무의 경우, 한국산업단지공단에서 분기별로 공표하는 「전국 산업단지 현황 통계」를 이

용하여 「산업입지 및 개발에 관한 법률」에서 정의하고 있는 국가산업단지, 일반산업단지, 도시첨단산업단지, 농공단지를 구분하지 않고 지자체에 조성 완료되거나 조성중이어도 가동 중인 공장이 있는 산업단지가 있으면 1, 없으면 0으로 집계한 더미변수(dummy variable)로 구성하였다. 산업단지 유무의 더미변수를 반영하게 된 이유는 도시첨단산업단지같은 경우에 2010년 당시 전국에 2곳에만 지정되어 있어 산업단지 종류 각각의 유무를 변수에 반영하게 되면 다른 산업단지와 편차가 너무 커져 분석에 오차가 발생할 수 있기 때문에 종류와 상관없이 해당 지자체의 산업단지의 유무를 반영하였다.

제조업 공장은 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에서 지정하고 있는 용도지역 중 공업지역에 주로 입지하게 된다. 그리고 입지하는 공업의 특성에 따라 전용공업지역, 일반공업지역, 준공업지역으로 구분되어 지정되어 있다. 일부 소규모 공장들이 다른 용도지역에 입지할 수는 있겠지만 그 수가 많지 않으며, 폐수의 발생 및 방류에 큰 영향을 끼치지 않을 것으로 판단된다. 따라서 용도지역 특성은 공업지역을 세분화한 전용공업지역, 일반공업지역, 준공업지역 각각의 면적을 반영하였다. 이 외에도 일반적인 특성으로 인구와 세대수를 변수로 구성하

여 반영하였다. 그리고 용도지역 특성과 일반적인 특성은 모두 지자체의 통계연보를 이용하여 수집하였다.

연구 대상지는 전국 230개의 지방자치단체 중 제주특별자치도의 지자체 2개와 울릉군 등 3개의 지자체를 제외한 227개의 지방자치단체를 대상으로 한다²⁾. 따라서 전국 시·군·구 행정구역도를 이용하여 연구 대상지인 227개의 지자체를 추출하여 GIS 지도를 작성하였다. 그리고 각 변수에 대하여 수집된 통계자료를 속성자료로 하여 작성된 GIS지도에 연계시켜 GIS자료를 구축하였다. 이렇게 구축된 GIS자료는 공간적 자기상관성을 분석하는데 사용되며, 아울러 공간회귀모형 분석에도 사용된다.

IV. 산업과 용도지역 특성이 폐수 발생 및 방류에 미치는 영향 분석

1. 변수의 기초통계량 분석

전국 227개의 지방자치단체를 대상으로 산업과 용도지역 특성이 폐수 발생 및 방류에 미치는 영향을 분석하기 위하여 선정된 12개의 변수 중 더미변수를 제외한 변수에 대하여 기초통계량 분석을 실

표 3. 변수의 기초통계량 Table 3. Descriptive statistics of variables

구분 Classification	변수 Variables	Mean	STD	Min	Max
종속변수 Dependent variables	폐수 발생량 (GEN)	22,998.59	55,217.37	59.73	456,670.65
	폐수 방류량 (DIS)	15,151.23	34,392.02	49.60	451,034.00
독립변수 Independent variables	인구 (POP)	219,972.29	211,137.94	18,451	1,090,181
	세대수 (HOUSE)	86,498.74	79,757.78	8,681	412,253
	소비재 제조업 사업체 (CON)	534.02	619.82	30	7,006
	중간재 제조업 사업체 (MID)	205.91	320.24	2	2,391
	자본재 제조업 사업체 (CAP)	575.35	1,095.60	2	6,784
	기타 제조업 사업체 (ETC)	115.35	146.09	1	964
	전용공업지역 면적 (EXC_IND)	363.95	2,093.52	0	23,071.41
	일반공업지역 면적 (GEN_IND)	3,463.87	6,763.29	0	51,052.86
	준공업지역 면적 (SEMI_IND)	769.95	1,473.09	0	11,132.17

시하였고, 그 결과는 표 3과 같다. 폐수는 일평균 $22,998.59\text{m}^3$ 가 발생하고, $15,151.23\text{m}^3$ 가 방류되고 있었다. 폐수 발생량과 방류량의 차이는 정화 처리된 양으로 일평균 약 $7,847.36\text{m}^3$ 로 나타났다. 제조업 사업체 수의 경우, 모든 지방자치단체에 최소 1개 이상의 사업체가 존재하고 있었다. 용도지역의 경우, 평균적으로 전용공업지역이 363.95천m^2 , 일반공업지역이 $3,463.87\text{천m}^2$, 준공업지역이 769.95천m^2 가 지정되어 있어 일반공업지역이 가장 흔하게 지정되어 있음을 알 수 있었고, 지역에 따라 공업지역이 지정되지 않은 지역도 있었다. 더미변수로 분석에 사용되는 산업단지 유무의 경우, 대상지 227개의 지자체 중 71.81%에 해당하는 163개의 지자체에 종류와 관계없이 1개 이상의 조건에 맞는 산업단지가 있는 것으로 나타났고, 28.19%에 해당하는 64개의 지자체에는 조건에 맞는 산업단지가 없는 것으로 나타났다.

2. 공간적 자기상관성 분석

공간적 자기상관성을 분석하기 위하여 선행되어야 할 과정은 공간적 근접성(spatial neighborhood)을 정의하고 공간가중행렬(spatial weight matrix)을 구축하는 것이다. 공간적 근접성을 어떻게 정의하고 공간가중행렬을 구축하는가에 따라 공간적 자기상관성이 다르게 나타날 수 있다. 대표적인 정의 방법으로는 공간 인접성(spatial contiguity)을 기준으로 하는 방법과 공간 거리(spatial distance)를 기준으로 하는 방법이 있다. 공간 인접성 기준은 두 지역의 모서리가 공유된 지역을 근접한 지역으로 정의한다. 그러나 이 방법은 모서리를 공유하고 있지 않은 섬을 독립된 지역으로 정의하기 때문에 섬이 포함된 지역에서는 적용하기 어렵다. 반면에 공간 거리 기준은 임계거리(threshold distance)

를 통하여 근접한 지역을 정의하는데, 여기서 임계 거리란, 지역 간 영향을 미치는 최대의 거리를 의미한다. 그러므로 공간 거리 기준을 이용하면 섬도 포함하여 공간가중행렬을 구축할 수 있는 것이다. 따라서 본 연구에서는 일부 도서지역이 포함되어 있다는 점을 감안하여 공간 거리 기준을 이용하여 공간가중행렬을 구축하였다.

구축된 공간가중행렬을 바탕으로 공간적 자기상관성을 측정하는 방법은 전역적 측정 방법과 국지적 측정 방법으로 구분할 수 있다. 전역적 측정 방법은 Moran(1950)이 고안한 Moran's I 통계량을 이용하여 측정하는 것이 대표적이다. Moran's I 통계량은 -1에서 +1까지의 값을 가지며, +1에 가까울수록 유사한 값을 가지는 지역들이 공간적으로 인접해 있는 상태이고, -1에 가까울수록 높은 값 및 낮은 값을 가지는 지역들이 규칙적으로 분포해 있는 상태이다. 만약, 임의적이고 독립적인 분포가 나타나면 통계량이 0에 가까워지고, 0에 가까워질수록 공간적 자기상관성이 약하다고 할 수 있다(최열·이백호, 2006; 최열 외, 2009; 이희연·노승철, 2012). 본 연구에서는 먼저 Moran's I 통계량을 산출하여 폐수 발생량 및 방류량의 전역적 자기상관성을 측정하였고, 그 결과는 그림 1과 그림 2와 같다. 폐수 발생량과 방류량의 Moran's I 통계량은 1% 유의수준에서 0.0815, 0.0957로 산출되었고, 폐수 발생량보다 방류량이 약간 더 공간적 자기상관성이 높은 것으로 나타났다. 폐수 발생량 및 방류량 모두 낮은 수준의 공간적 자기상관성을 가지고 있었다. 하지만 Moran's I 통계량이 통계적으로 유의하게 나타난다면, 공간적 자기상관성이 0은 아니므로 분석을 진행할 수 있다(김종원, 2000; Fischer and Griffith, 2008; Valcu and Kempenacers, 2010; Chun et al., 2012).

낮은 전역적 자기상관성을 보완하기 위하여 국지적 측정 방법을 이용한 공간적 자기상관성을 분석

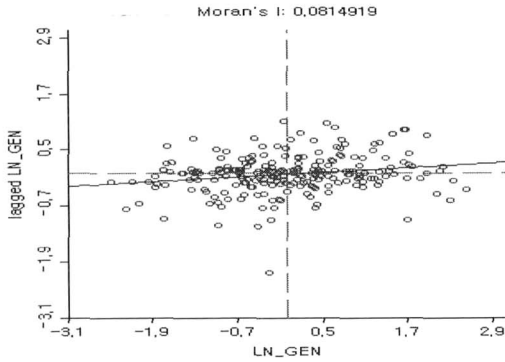


그림 1. 폐수 발생량의 Moran's I 통계량
Figure 1. Moran's I statistics of wastewater generation

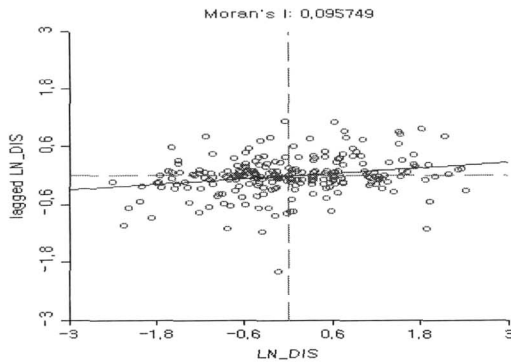


그림 2. 폐수 방류량의 Moran's I 통계량
Figure 2. Moran's I statistics of wastewater discharging

하였다. 국지적 측정 방법은 Anselin(1995)이 고안한 LISA(Local Indicators of Spatial Association) 지표가 대표적이다. 연구 대상지 전체의 공간적 자기상관성을 하나의 값으로 측정하는 전역적 측정 방법과 달리, 연구 대상지 내의 특정 지역들이 전체의 공간적 자기상관성에 얼마나 영향을 미치는지를 측정한다. 또한, 산포도로만 파악할 수 있는 전역적 측정 방법에 비해, 국지적 측정 방법은 GIS지도로 통한 시각화가 가능하다. 연구 대상지의 폐수 발생량 및 방류량의 국지적 자기상관성을 측정된 결과는 그림 3과 그림 4와 같다. 지역 전반적으로 공간적 자기상관성이 존재하지는 않지만 특정 지역에서는 나타나는 것을 볼 수 있으며, 군집한

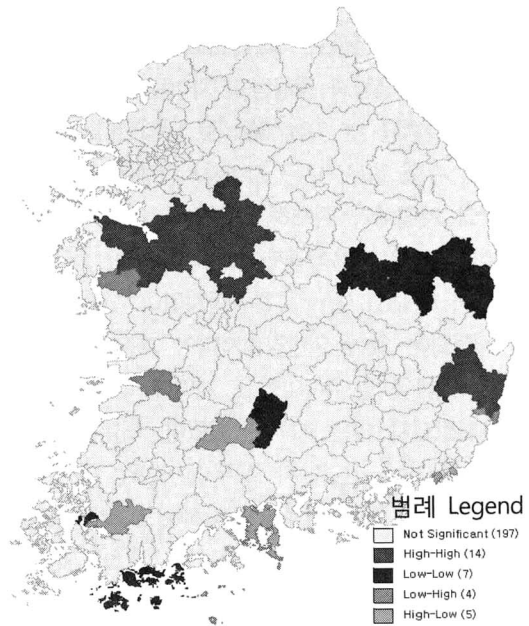


그림 3. 폐수 발생량의 LISA 군집도
Figure 3. LISA cluster map of wastewater generation

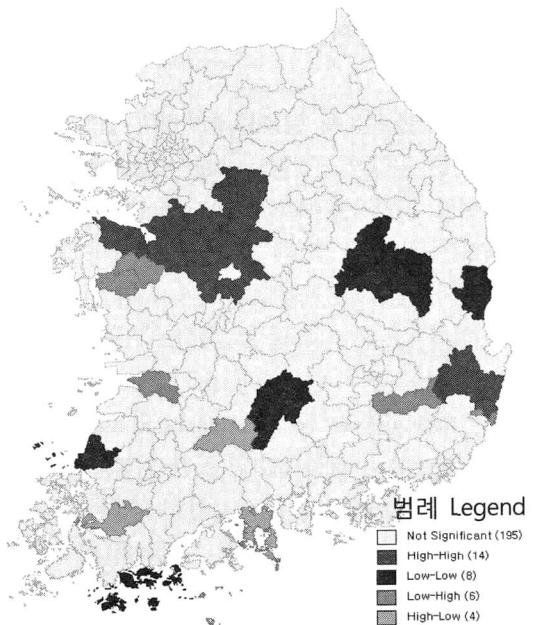


그림 4. 폐수 방류량의 LISA 군집도
Figure 4. LISA cluster map of wastewater discharging

지역들의 분포가 폐수 발생량과 방류량이 유사하게 나타났다. 특히, 높은 값들이 군집한 High-High지역이 수도권 남부 및 충청도 북측과 경주시 및 울산 북구에 나타났다. 이들 지역은 폐수의 발생도 많지만 방류 또한 많은 지역들이다. 즉, 폐수의 발생을 유발하는 시설이 밀집되어 있는데 폐수 처리가 잘 되지 않아 방류가 많은 지역이라고 할 수 있겠다. 반면에 낮은 값들이 군집한 Low-Low지역은 주로 안동시를 비롯한 경상북도의 중부지역에 나타났다. 이들 지역은 폐수의 발생과 방류가 모두 적은 지역이라고 할 수 있다. 폐수의 발생원 자체가 적기 때문에 방류도 적은 지역이라고 풀이할 수 있다.

3. 공간적 자기상관성을 고려한 산업 및 용도지역 특성이 폐수 발생 및 방류에 미치는 영향 분석

연구 대상지의 폐수 발생량과 방류량에 대한 지역적 및 국지적 자기상관성을 추정한 결과, 높지는 않았지만 공간적 자기상관성이 존재하고 있음이 밝혀졌다. 다음으로 일반회귀모형, 공간시차모형, 공간오차모형 중 가장 적절한 모형을 판단하는 과정이 필요하다. 3개의 모형 중, 가장 적절한 모형을 판단

표 4. Lagrange Multiplier(LM) 검증
Table 4. Lagrange Multiplier(LM) test

Test		MI/DF	Value	Prob
폐수 발생량 (GEN)	Moran's I(error)	0.1032	3.8084	0.0001
	LM(lag)	1	10.0688	0.0015
	Robust LM(lag)	1	0.6375	0.4246
	LM(error)	1	11.7239	0.0006
	Robust LM(error)	1	2.2926	0.1300
	LM(SARMA)	2	12.3613	0.0021
폐수 방류량 (DIS)	Moran's I(error)	0.1161	4.2502	0.0000
	LM(lag)	1	14.1055	0.0002
	Robust LM(lag)	1	1.7286	0.1886
	LM(error)	1	14.8341	0.0001
	Robust LM(error)	1	2.4571	0.1170
	LM(SARMA)	2	16.5626	0.0003

하기 위하여 Lagrange Multiplier(LM) 통계량을 이용하는데, 통계적으로 유의한 모형이 가장 적절한 모형이라고 판단한다. 공간시차 및 오차모형에 대하여 LM 통계량이 통계적으로 유의하지 않으면 일반회귀모형이 가장 적절한 모형이라고 할 수 있다. 반대로 두 모형이 모두 유의하게 나타나면, Robust LM 통계량을 이용하여 더 유의하게 나타나는 모형이 더 적절한 모형이라고 판단한다(최열·이백호, 2006; 이희연·노승철, 2012). 본 연구에서 LM 통계량을 산출한 결과는 표 4와 같다. 폐수 발생량 및 방류량에서 공간시차모형과 공간오차모형 모두 LM 통계량이 통계적으로 유의한 것으로 나타나 일반회귀모형보다는 적절한 모형인 것으로 나타났다. 그러나 Robust LM 통계량은 모두 유의하지 않게 나타났기 때문에 두 가지 공간회귀모형 중 더 적절한 모형의 판단은 다른 지표를 통하여 판단할 필요가 있다.

표 5는 일반회귀모형, 공간시차모형, 공간오차모형으로 폐수 발생량과 방류량을 추정한 결과이다. 구체적인 추정 결과를 분석하기 이전에 일반회귀모형을 통하여 다중공선성 문제, 오차항의 비정규성 및 이분산성, 모형의 설명력 및 적합성 등을 분석할 필요가 있다.

먼저, 다중공선성 문제는 Condition Number를 통하여 진단하는 데, Condition Number가 100보다 작으면 심각한 다중공선성의 문제는 없다고 추정한다(Montgomery and Peck, 1992). 본 연구에서는 폐수 발생량과 방류량 모두 Condition Number가 42.04으로 산출되어 심각한 다중공선성 문제는 없는 것으로 추정되었다.

오차항의 비정규성은 Jarque-Bera 통계량으로 진단하였다. 폐수 발생량에서는 16.89(p=0.0002)로 산출되어 오차항에 비정규성이 있는 것으로 추정되었으나, 폐수 방류량에서는 0.03(p=0.9861)로 산출되어 비정규성이 없는 것으로 추정되었다. 오차항의

이분산성은 Breusch-Pagan 및 Koenker-Bassett 통계량을 이용하여 진단하는데 폐수 발생량과 방류량 모두 통계적 유의성이 없어 오차항에 이분산성이 없는 것으로 추정되었다. 일반회귀모형에서 오차항의 비정규성 및 이분산성 문제가 발생되면, 일반적으로 공간회귀모형을 사용하여 해결할 수 있다 (Florax and Graaff, 2004; 최열·이백호, 2006; 이희연·노승철, 2012). 그러므로 본 연구에서는 폐수 발생량의 오차항에 대해서만 비정규성이 추정되었기 때문에 공간회귀모형을 이용하여 해결할 수 있을 것이라 사료된다. 폐수 방류량 오차항의 비정규성과 발생 및 방류량 오차항의 이분산성은 이미 일반회귀모형에서 진단되지 않았으므로, 공간회귀모형에서도 진단되지 않았다.

공간회귀모형에서의 설명력은 R^2 가 아닌 LL(Log

Likelihood), AIC(Akaike Information Cirterion), SC(Schwarz Criterion)로 진단한다. 왜냐하면 공간회귀모형에서 산출되는 R^2 는 일반회귀모형에서의 R^2 와 달리 pseudo- R^2 이기 때문에 절대 비교가 불가능하기 때문이다. 일반적으로 공간회귀모형에서 일반회귀모형보다 LL이 증가하고, AIC와 SC가 감소하면 모형의 설명력이 향상되었다고 판단한다 (Anselin, 2005; 최열·이백호, 2006; 이희연·노승철, 2012). 본 연구에서 일반회귀모형과 두 개의 공간회귀모형과의 각각의 수치를 비교한 결과, 폐수 발생량에서는 LL이 일반회귀모형의 -372.21에 비하여 공간시차모형은 -368.18로, 공간오차모형은 -367.02로 증가하였다. AIC는 766.42에서 760.36과 756.02로, SC는 804.06에서 801.46와 793.69로 감소하였다. 폐수 방류량에서는 LL이 -359.26에서

표 5. 모형 추정 결과 Table 5. Estimation summary of models

변수 Variables	LN_폐수 발생량 LN_GEN			LN_폐수 방류량 LN_DIS		
	일반회귀모형 OLS	공간시차모형 SLM	공간오차모형 SEM	일반회귀모형 OLS	공간시차모형 SLM	공간오차모형 SEM
R2	0.51	0.53	0.54	0.56	0.58	0.59
Log Likelihood	-372.21	-368.18	-367.01	-359.26	-353.38	-352.72
AIC	766.42	760.36	756.02	740.51	730.75	727.43
SC	804.06	801.46	793.69	778.19	771.85	765.11
Constant	6.754769***	4.409742***	6.845878***	6.172516***	3.539582***	6.239000***
POP	0.000003	0.000003	0.000003	0.000003	0.000003	0.000002
HOUSE	-0.000004	-0.000005	-0.000005	-0.000002	-0.000002	-0.000001
CON	-0.000025	-0.000040	-0.000043	0.000090	0.000070	0.000072
MID	0.002041***	0.001900***	0.001794***	0.001871***	0.001683***	0.001589***
CAP	-0.000329**	-0.000307**	-0.000280**	-0.000331**	-0.000303**	-0.000272**
ETC	0.000626	0.000834	0.000689	0.000536	0.000781	0.000615
COMP	0.939679***	0.922320***	0.926191***	1.006562***	1.010108***	1.013908***
EXC_IND	0.000104**	0.000099**	0.000097**	0.000094**	0.000090**	0.000087**
GEN_IND	0.000090***	0.000091***	0.000097***	0.000090***	0.000092***	0.000095***
SEMI_IND	0.000115*	0.000121*	0.000136**	0.000114*	0.000119*	0.000133**
p (Rho)	-	0.281371***	-	-	0.329207***	-
λ (Lambda)	-	-	0.411337***	-	-	0.455543***
Condition Number	42.04	-	-	42.04	-	-
Jarque-Bera	16.89***	-	-	0.03	-	-
Breusch-Pagan	14.48	15.78	14.93	4.55	3.27	3.62
Koenker-Bassett	8.92	-	-	4.64	-	-
Likelihood Ratio	-	8.06***	10.40***	-	11.76***	13.08***

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

-353.38과 -352.72로 증가하였다. AIC는 740.51에서 730.75와 727.43로, SC는 778.19에서 771.85와 765.11로 감소하였다. 폐수 발생량과 방류량 모두 일반회귀모형보다는 공간시차모형이, 공간시차모형보다는 공간오차모형의 적합도가 향상된 것을 확인할 수 있다. 따라서 앞서 LM 통계량을 통하여 두 개의 공간회귀모형 중 가장 적절한 모형을 도출하지는 못하였지만 LL, AIC, SC를 통하여 공간오차모형이 가장 적합한 모형이라고 판단할 수 있다. 공간회귀모형 회귀계수의 적합성을 진단하는 우도비(Likelihood Ratio) 역시 각각 $10.40(p=0.0012)$ 과 $13.08(p=0.0002)$ 로 산출되어 회귀계수가 적합하다고 추정되었다.

본 연구에서는 폐수 발생량과 방류량을 각각 종속변수로 두고 일반회귀모형, 공간시차모형, 공간오차모형 등 3가지의 모형을 이용하여 분석을 실시하였다. 앞서 LM 통계량과 LL, AIC, SC를 통하여 공간오차모형이 가장 적절한 모형으로 도출되었기 때문에, 공간오차모형의 추정 결과에 초점을 맞추어 분석하고자 한다. 먼저 폐수 발생량과 방류량의 공간오차모형에서 유의하게 추정된 변수는 중간재 제조업과 자본재 제조업, 산업단지의 지정 유무, 전용공업지역, 일반공업지역, 준공업지역으로 두 모형이 동일하였다. 유의한 6개의 변수 중 자본재 제조업을 제외한 나머지 변수들은 모두 양의 값으로 추정되었으며, 추정 계수 또한 크게 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 폐수의 발생량과 방류량에 유의하게 영향을 미치는 요인은 다르지 않다는 것을 의미한다. 폐수는 발생시키는 업체에서 정화 처리를 한 후에 방류시킨다. 즉, 발생과 방류가 동일한 장소에서 이루어지고 있기 때문에 영향을 미치는 요인도 동일하게 나타난 것으로 추측된다. 그러나 종속변수를 자연로그로 변환하여 추정하였기 때문에 추정 계수가 유사하게 도출되었어도 각 종속변수의 평균값이 다르기 때문에 추정 결과도 다르게 도출

되었다.

구체적으로 살펴보면, 산업 특성에서는 중간재 제조업 사업체군이 1단위 증가할 때, 일평균 폐수 발생량은 약 0.1794%(약 $41.2595\text{m}^3 \approx 41,259.50$), 일평균 폐수 방류량은 약 0.1589%(약 $24.0753\text{m}^3 \approx 24,075.30$)가 증가하는 것으로 추정되었다. 자본재 제조업 사업체군은 1단위 증가할 때, 일평균 폐수 발생량은 약 0.0280%(약 $6.4396\text{m}^3 \approx 6,439.60$), 일평균 폐수 방류량은 약 0.0272%(약 $4.1211\text{m}^3 \approx 4,121.10$)가 감소하는 것으로 추정되었다. 산업단지의 지정 유무의 경우 산업단지가 지정된 지자체가 지정되지 않은 지자체에 비하여 일평균 폐수 발생량과 폐수 방류량이 모두 증가하는 것으로 추정되었다³⁾. 용도지역 특성 중 전용공업지역의 면적이 1천 m^2 증가할 때, 일평균 폐수 발생량은 약 0.0097%(약 $2.2309\text{m}^3 \approx 2,230.90$), 일평균 폐수 방류량은 약 0.0087%(약 $1.3182\text{m}^3 \approx 1,318.20$)가 증가하는 것으로 추정되었다. 일반공업지역은 면적이 1천 m^2 증가할 때, 일평균 폐수 발생량은 약 0.0097%(약 $2.2309\text{m}^3 \approx 2,230.90$), 일평균 폐수 방류량은 약 0.0095%(약 $1.4394\text{m}^3 \approx 1,439.40$) 증가하는 것으로 추정되었다. 준공업지역의 경우, 면적이 1천 m^2 증가할 때, 일평균 폐수 발생량은 약 0.0136%(약 $3.1278\text{m}^3 \approx 3,127.80$), 일평균 폐수 방류량은 약 0.0133%(약 $2.0151\text{m}^3 \approx 2,015.10$) 증가하는 것으로 추정되었다.

V. 결 론

지금까지 공간적 자기상관성을 고려하여 폐수의 발생 및 방류량에 영향을 미치는 요인에 관하여 분석하였다. 기존에는 공장에서 방류되는 폐수가 수질에 어떠한 영향을 주는지에 대한 연구가 대부분이었다. 하지만 본 연구에서는 관점을 달리하여 공간

적 측면에서 공간적 자기상관성을 고려하여 공간회귀모형을 이용하면서, 기존의 연구에서 고려하지 못하였던 제조업의 특성별 분류와 용도지역, 산업단지 지정 유무 등을 변수로 반영하였다. 그리고 폐수의 발생량과 방류량을 각각 종속변수로 하는 모형으로 분석하여 폐수의 발생과 방류에 차이가 있는지 여부도 분석하였다. 폐수의 발생과 방류 모두 가장 적절한 모형은 공간오차모형으로 나타났으며, 일반회귀모형에 비해 LL이 높아지고 AIC와 SC는 낮아져 모형의 적합도가 개선되었다는 점을 확인하였다.

공간오차모형을 통하여 유의하게 도출된 변수는 6개로, 폐수의 발생과 방류에서 동일하게 나타났다. 폐수는 같은 공장에서 발생되고 방류되기 때문에 같은 요인이 영향을 미친 것이라고 추정되는 부분이다. 유의하게 도출된 변수는 제조업 중 중간재 제조업군과 자본재 제조업군, 산업단지 지정 유무, 전용·일반·준공업지역의 면적이었고, 자본재 제조업군을 제외한 나머지 변수들은 모두 양의 값으로 추정되어 이들 변수가 한 단위 증가할 때마다 폐수의 발생과 방류가 증가하는 것으로 추정되었다. 반면에 자본재 제조업의 경우, 한 단위 증가할 때마다 폐수의 발생과 방류는 감소하는 것으로 추정되었다.

제조업을 4가지 특성별로 분류한 산업 특성 변수는 중간재 제조업군과 자본재 제조업군이 유의한 변수로 도출되었다. 중간재 제조업군은 목재 및 나무제품 제조업, 코크스·연탄 및 석유정제품 제조업, 화학물질 및 화학제품 제조업, 의료용 물질 및 의약품 제조업, 고무제품 및 플라스틱제품 제조업, 비금속 광물제품 제조업, 1차 금속 제조업으로 구성되어 있는데 이 제조업들은 원자재를 가공하고 화학물질의 사용이 많은 제조업이다. 따라서 다른 제조업과 비교해볼 때 폐수의 발생 및 방류가 많은 것으로 풀이된다. 유일하게 음의 값으로 추정된 자본재 제조업군의 경우 금속가공제품 제조업, 전자부품·컴퓨터·영상·음향 및 통신장비 제조업, 의료·정

밀·광학기기 및 시계 제조업, 전기장비 제조업, 기타 기계 및 장비 제조업, 자동차 및 트레일러 제조업, 기타 운송장비 제조업으로 구성되어 있다. 이 제조업들도 폐수를 유발하는 제조업이라는 사실은 틀림이 없을 것이다. 그러나 추정결과가 음으로 도출된 것은 이 제조업들이 입지하면 폐수의 발생 및 방류가 감소한다는 의미가 아니라 폐수 발생 및 방류의 저감에 다른 제조업들에 비하여 많은 노력을 기울이기 때문일 것으로 추정된다. 산업단지 유무의 경우 지정되어 있는 지역이 지정되어 있지 않는 지역에 비하여 폐수 발생 및 방류가 대폭 증가하는 것으로 추정되었는데, 이는 산업단지가 공장이 밀집된 지역이라는 점에서 지정되지 않는 지역보다 폐수 발생 및 방류원이 많기 때문으로 풀이된다. 공업지역을 세분화된 용도지역의 경우에는 전용공업지역보다는 일반공업지역이, 일반공업지역보다는 준공업지역이 더 많은 영향을 미치는 것으로 나타났다. 전용공업지역의 경우에는 주로 대규모의 중·화학공업이 입지하게 되는데, 이런 제조업일수록 주로 환경부하를 심하게 유발할 수 있기 때문에 처음부터 폐수 등을 저감하기 위하여 각종 시설과 장비를 사용하게 된다. 그렇기 때문에 이러한 제조업이 주로 입지하게 되는 전용공업지역이 가장 적은 영향을 미치고 있는 것으로 추측할 수 있다. 반대로 준공업지역의 경우에는 입지하게 되는 공장이 주로 소규모인 경우가 많다. 소규모 공장은 주로 중소기업인 경우가 대부분인데 이러한 업체에서는 대규모 공장과 같은 처리시설이나 장비를 구비하여 가동하기가 현실적으로 어렵다고 할 수 있다. 이러한 측면에서 준공업지역이 폐수의 발생 및 방류에 가장 큰 영향을 미치고 있는 것으로 추측된다.

본 연구를 통하여 폐수의 발생과 방류에 영향을 미치는 요인을 분석하였다. 그리고 공간적 자기상관성을 고려한 공간회귀분석을 통하여 일반회귀모형보다 분석 결과가 향상되는 것을 확인하였다. 그러

나 통계자료 수집의 한계 때문에 폐수의 발생과 방류에 영향을 미치는 다양한 요인을 모두 고려하지 못하였다는 점은 한계로 남는다. 따라서 향후의 연구에서는 더욱 다양한 요인을 고려하고 더 적합한 변수를 반영한 분석이 되어야 할 것으로 사료된다. 또한 본 연구에서는 2010년 한 해를 대상으로 분석을 해보았지만, 추후의 연구에서는 시간의 변화에 따른 폐수 발생 및 방류의 변화 흐름을 추적하기 위한 시계열 분석을 시도해 볼 필요도 있을 것이다.

- 주1. Tobler's first law of geography : "Everything is related to everything else, but near things are more related than distant things".
- 주2. 본 연구에서는 제주도와 울릉도를 대상지에서 제외하였다. 제주도와 울릉도는 원거리에 떨어져 있어 다른 지역과 공간적 자기상관성이 나타나기 어렵다. 그리고 두 지역을 포함하게 될 경우, 그 거리로 인하여 공간가중행렬 구축에 있어 왜곡이 발생할 수 있다.
- 주3. 산업단지가 지정된 지자체(대상지 전체 227개 중 163개)를 대상으로 다른 변수와 조건을 동일하게 적용하여 산업단지의 면적을 변수로 투입하여 공간 오차모형을 추정하였을 때, 폐수 발생량과 방류량 모두 99% 통계적 유의수준에서 양의 값으로 추정되었다. 구체적으로 산업단지의 면적이 1천m² 증가할 때, 일평균 폐수 발생량은 약 0.0016%(약 0.4530m³ $\approx$ 453ℓ), 일평균 폐수 방류량은 약 0.0017%(약 0.3419m³ $\approx$ 341.9ℓ) 증가하는 것으로 추정되었다.

인용문헌

References

1. 김종원, 2000. "주택시장에서의 공간자기상관의 검증 및 회귀계수의 추정", 『경제학연구』 48(2): 155-173.
- Kim, J. W., 2000. "Test of Spatial Autocorrelation and Estimation of Regression Coefficient in Housing Market", *The Korean Journal of Economic Studies*, 48(2): 155-173.
2. 서의택·최열, 1998. "지역산업이 지방재정에 미치는 영향분석: 6대 대도시를 중심으로", 『한국지역개발학회지』 10(1): 1-16.
- Seo, E. T. and Choi, Y., 1998. "An Empirical Impact Analysis of Regional Industry on Local Finance: Centering on Six Metropolitan Cities", *Journal of the Korean Regional Development Association*, 10(1): 1-16.
3. 이희연·노승철, 2012. 고급통계분석론, 파주: 법문사.
- Lee, H. Y. and Noh, S. C., 2012. *Advanced Statistical Analysis*, Paju: Bobmunsa.
4. 정광욱·류성필, 2004. "제주도 서귀포시지역의 용도지역별 하수발생량 특성에 관한 연구", 『한국환경과학회지』 13(3): 252-262.
- Choung, K. O. and Ryu, S. P., 2004. "A Study of the Characteristic of Wastewater Flowrate in Land-use of Sogwipo-city in Cheju", *Journal of the Environmental Sciences*, 13(3): 252-262.
5. 최열·이백호, 2006. "공간자기상관과 주변 용도지역에서 접근성을 고려한 주거지 내 지가 추정에 관한 연구", 『국토계획』 41(5): 45-60.
- Choi Y. and Lee, B. H., 2006. "A Study on the Estimation of Land Price Considering Characteristic of the Adjacent Land Use and Spatial Autocorrelation in Residential Zone", *Journal of Korea Planners Association*, 41(5): 45-60.
6. 최열·이백호·김현, 2009. "대도시 생활권의 공간적 불균형과 공간 자기상관에 관한 시계열 분석", 『부동산학보』 36: 14-26.
- Choi, Y., Lee, B. H. and Kim, H., 2009. "A Time Series Analysis of Spatial Inequality and Spatial Autocorrelation in Metropolitan Living Sphere", *Korea Real Estate Academy Review*, 36: 14-26.
7. Ahearn, D. S., Sheibley R. W., Dahlgren, R. A., Anderson, M., Johnson, J. and Tate, K. W., 2005. "Land Use and Land Cover Influence on Water Quality in the Last Free-Flowing River Draining the Western Sierra Nevada, California", *Journal of Hydrology*, 313: 234-247.
8. Anselin, L., 1995. "Local Indicators of Spatial

- Association-LISA”, *Geographical Analysis*, 27:93-115.
9. Anselin, L., 2005. *Exploring Spatial Data with GeoDa™: A Workbook*, Spatial Analysis Laboratory: University of Illinois, Urbana-Champaign.
10. Anselin, L., Florax, R. J. G. M. and Rey, S. J., 2004. *Advances in Spatial Econometrics: Methodology, Tools and Applications*, Berlin: Springer.
11. Beron, K. J., Hanson, Y., Murdoch, J. C. and Thayer, M. A., 2004. “Hedonic Price Functions and Spatial Dependence: Implications for the Demand for Urban Air Quality” in *Advances in Spatial Econometrics: Methodology, Tools and Applications*, Berlin: Springer.
12. Binwand, R. S. and Portnov, B. A., 2004. “Exploring Spatial Data Analysis Techniques Using R: The Case of Observations with No Neighbors” in *Advances in Spatial Econometrics: Methodology, Tools and Applications*, Berlin: Springer.
13. Fischer, M. M. and Griffith, D. A., 2008. “Modeling Spatial Autocorrelation in Spatial Interaction Data: An Application to Patent Citation Data in the European Union”, *Journal of Regional Science*, 48(5): 969-989.
14. Fingleton, B., 2004. “Regional Economic Growth and Convergence: Insights from a Spatial Econometric Perspective” in *Advances in Spatial Econometrics: Methodology, Tools and Applications*, Berlin: Springer.
15. Florax, R. J. G. M. and de Graaff, T., 2004. “The Performance of Diagnostic Tests for Spatial Dependence in Linear Regression Models: A Meta-Analysis of Simulation Studies” in *Advances in Spatial Econometrics: Methodology, Tools and Applications*, Berlin: Springer.
16. Charbonneau, R. and Kondolf G. M., 1993. “Land Use Change in California, USA: Nonpoint Source Water Quality Impacts”, *Environmental Management*, 17(4): 453-460.
17. Chun, Y. W., Kim, Y. S. and Campbell, H., 2012. “Using Bayesian Methods to Control for Spatial Autocorrelation in Environmental Justice Research: An Illustration Using Toxics Release Inventory Data for a Sunbelt County”, *Journal of Urban Affairs*, 34(4): 419-439.
18. Ha, S. R. and Bae, M. S., 2001. “Effects of Land Use and Municipal Wastewater Treatment Changes on Stream Water Quality”, *Water, Air, and Soil Pollution*, 70: 135-151.
19. Montgomery, D. C. and Peck, E. A., 1992. *Introduction to Linear Regression Analysis Second Edition*, A Wiley-Interscience Publication: John Wiley & Sons, Inc.
20. Su, S., Xiao, R., Mi, X., Xu, X., Zhang, Z. and Wu, J., 2013. “Spatial Determinants of Hazardous Chemicals in Surface Water of Qiantang River, China”, *Ecological Indicators*, 24: 375-381.
21. Swartz, C. H., Rudel, R. A., Kachajian, J. R. and Brody, J. G., 2003. “Historical Reconstruction of Wastewater and Land Use Impacts to Groundwater Used for Public Drinking Water: Exposure Assessment Using Chemical Data and GIS”, *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 13: 403-416.
22. Tobler, W., 1970. “A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region”, *Economic Geography*, 46(2): 234-240.
23. Valcu, m. and Kempenaers, B., 2010. “Is Spatial Autocorrelating an Intrinsic Property of Territory Size?”, *Oecologia*, 16(2): 609-615.
24. Weller, D. E., Jordan, T. E., Correll, D. L. and Liu, Z. J., 2003. “Effects of Land-Use Change on Nutrient Discharges from the Patuxent River Watershed”, *Estuaries*, 26(2A): 244-266.
25. <http://kosis.kr/>
26. <http://stat.me.go.kr/>

27. <http://www.kicox.or.kr/>

28. <http://www.law.go.kr/>

논 문 투 고	2013-08-23
심 사 완 료	2013-09-23
수 정 일	2013-12-05
게 재 확 정 일	2013-09-23
최 종 본 접 수	2013-12-16