

# 탄소저감정책 효과분석을 위한 공간통계기법 적용방안 연구

- 탄소포인트제도를 대상으로 -

## Study on Geostatistical Method for an Effectiveness Analysis on Carbon Reduction Policy - Focusing on the Carbon Point System

황해성\*      주용진\*\*      고준환\*\*\*  
Hae Seong Hwang      Yong Jin Joo      June Hwan Koh

**요약** 탄소포인트제도는 가정, 상업 시설의 전기, 가스, 수도 등 에너지 사용 절감량에 대한 인센티브를 제공하는 시민참여형 기후변화대응 프로그램이다. 현재, 기존 국가정책 및 연구는 사업자 위주의 온실가스 인벤토리 구축에 한정되어있고, 가정부문에 대한 탄소저감정책 시행효과에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 이에 본 연구에서는 탄소저감정책 중 탄소포인트제도를 중심으로 가정부문의 에너지 사용에 따른 탄소배출 저감에 관한 실증 분석을 목적으로 하였다. 우선, 성북구를 대상으로 가정부문의 전기, 가스 사용량 자료를 이용하여 탄소배출량을 산출하고, IPA 분석을 통해 행정동단위의 온실가스 배출변화의 공간패턴을 가시화하고 2007년부터 2009년까지 시계열 공간분석을 실시하였다. 또한 대응표본 t검정을 이용하여 사전-사후분석을 통해 탄소포인트제도의 효과 분석을 실시하였다. 특히, 공간통계기법과 핫스팟을 이용한 점사상의 국지적 분석을 통해 에너지 사용에 따른 탄소배출량의 공간적 분포 유형을 파악할 수 있었으며 실제 탄소배출저감 결과를 도출할 수 있었다. 향후 본 연구 결과는 지방자치단체 에너지 진단 등 온실가스 감축사업의 효과 평가와 녹색생활 개선 수립을 위한 다양한 영역에 활용될 것으로 기대한다.

**키워드** : 탄소포인트제도, 공간통계, 핫스팟(Hot Spot), IPA분석, 사전-사후분석

**Abstract** Carbon Point system is Climate Change Action Program by providing incentives in proportion to voluntary reduction of energy consumption such as electricity, gas and water for houses, commercial facilities. So far, existing researches have been limited to construction of GHG(Green House Gas) Inventory and have little attention to empirical impact analysis on carbon reduction policy regarding the residential section. Therefore, this paper is intended to provide convincing findings of impact analysis on carbon reduction, revolving around the carbon point system. For this, we firstly calculated the carbon emission by using electricity and gas usage data in household targeting to Seongbuk-Gu. Carrying out IPA and spatio-temporal analysis. Then, we are capable of visualizing spatial patterns from 2007 to 2009 as a macro analysis. Following that, we explored the effect on carbon point system through Ex ante-Ex post Analysis by paired t-test. To conclude, we can spatially identify the distribution with a significant difference between carbon emissions according to energy use as a micro analysis by Hot Spot to Analysis on point entities. It is to be hoped that this method will be utilized to establish various policies and to evaluate the effect of reduction of GHG.

**Keywords** : Carbon Point system, Geostatistics, Hot Spot, IPA(Importance-Performance Analysis), Ex ante-Ex post Analysis

† 이 논문은 공간정보 전문인력 양성사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

\* 서울시립대학교 공간정보공학과 석사과정 ilg2000@uos.ac.kr

\*\* 인하공업전문대학 항공지리정보과 조교수 jyj@inhac.ac.kr(교신저자)

\*\*\* 서울시립대학교 공간정보공학과 교수 jhkoh@uos.ac.kr

## 1. 서론

### 1.1 연구 배경과 목적

1997년 교토에서 열린 기후변화협약 제3차 당사국총회에서 Annex I(부속서 I)국가들의 온실가스 배출량 감축을 주요 내용으로 하는 교토의정서를 채택하였다. 이에 따라 의무감축이 시작된 국가들은 자국의 이익을 위하여 다양한 대응 정책을 펴고 있다[5, 9, 13]. 우리나라는 ‘기후변화협약’(United Nations Framework Convention in Climate Change, UNFCC)에서 비 부속서 I 국가로 분류되어 온실가스 감축의무를 지고 있지 않지만 OECD 회원국이라는 점에서, 2013년부터 시작되는 Post-Kyoto Protocol 의무감축국 포함 가능성에 대비하지 않으면 안 될 상황에 처해있다[15]. 이에 정부에서는 저탄소 녹색성장을 목표로 여러 가지 노력을 추진하고 있으나, 그 동안 환경문제 해결을 위해 산업적 측면을 중심으로한 온실가스 감축 시행만 있었을 뿐, 개인이 참여할 수 있는 구체적 제도가 미흡한 실정이었다. 온실가스 감축과 에너지 절약의 문제는 정치적, 법적, 기술적 측면만으로는 해결될 수 없으며, 각자의 환경문제 인식과 생활습관 및 가치관의 변화를 통해서 가능하다[20]. 환경문제에 대한 인식의 변화를 가져오기 위해 강압적 프로그램을 이용하는 것보다 자발적 참여를 유도하는 것이 올바른 방법이라 할 수 있다. 이를 위하여 정부는 2008년 9월 저탄소 녹색성장을 향후 새로운 국가비전으로 선포하여 관련 정책들을 쏟아내고 있으며[6, 8, 12], 그 중 온실가스 감축을 위한 방법으로 탄소포인트 제도를 도입 시행하고 있다. 그러나 기존의 관련 연구는 사업장 위주의 점, 선, 면 오염원에 대한 온실가스 인벤토리 구축과 탄소포인트 제도에 대한 인식도 파악을 위한 설문조사에 국한된 정성적 분석과 기초적 접근방법을 사용하고 있어, 에너지 사용량의 높고 낮은 분포를 국지적으로 정확히 파악하기 어려웠다[3, 4, 14, 21]. 이에 본 연구에서는 탄소저감정책 중 탄소포인트제도를 중심으로 가정부문의 에너지 사용에 따른 탄소배출 저감에 관한 실증분석을 목적으로 하였다. 이를 위한 연구내용으로 우선, 탄소포인트 제도에 대한 문헌 고찰을 통하여 제도에 관한 현황을 분석하였다. 다음으로, 성북구를 대상으로 가정부문의 전기, 가스 사용량 자료를 이용하여 탄소배출량을 산출하였다. 그 다음 IPA

(Importance-Performance Analysis) 분석을 위하여 공간패턴을 가시화하고 2007년부터 2009년까지 시계열 공간분석을 실시하였다. 다음으로 대응표본 t 검정을 이용하여 탄소포인트 제도의 사전-사후분석을 통해 제도의 효과를 분석하였다. 마지막으로, 에너지 사용에 따른 탄소배출량의 공간적 분포 유형을 파악하고 실제 높은 탄소배출을 나타내는 지역을 판별하기 위해 공간통계기법과 핫스팟을 이용한 점사상의 국지적 분석을 실시하였다.

### 1.2 연구 내용과 방법

연구의 공간적 범위는 서울특별시 성북구이며, 자연지리적 위치는 서울특별시 동북권(동북2생활권)에 속하며 위치상으로, 의정부 등 서울특별시 북부외곽지역과 도심을 연결하는 부도심권으로서, 동북부 지역을 연결하는 관문에 위치하며, 도심지역과 수도권으로 이어지는 주요 간선도로(내부순환도로, 북부간선도로)가 관통하는 교통의 결절지역이다. 비오톱(biotope)유형의 구성은 표 1과 같이 주거지와 산림지가 대부분을 차지하고 있으며, 현재 건설 중인 주거지를 포함하면 전체면적 대비 주거지 비율은 더욱 높아질 것으로 예상되고 있다[10].

표 1. 대상지역 비오톱 유형의 구성비

구분	면적(km <sup>2</sup> )	구성비(%)	구성
주거	6.30	25.6	
상업 및 업무	4.01	16.3	상업용 건물 30%이상 혼재
공업 및 기반시설	2.57	10.5	공업지, 건설현장지역 등
교통시설	1.48	6.0	도로, 주차장 등
조경녹지	0.46	1.9	조경수목식재지, 문화유적지 등
산림지	9.47	38.5	자연림, 인공조림지 등
기타	0.28	1.1	하천 및 습지, 유휴지 등
합계	24.57	100.0	

연구 대상 지역을 성북구로 선정된 이유는 탄소포인트 제도가 먼저 시행된 강남구의 경우, 타 지방자치단체에 비해 제도시행이 시범적으로 먼저 이루어

어졌으나 주거건물에 비하여 사무, 오피스 빌딩이 밀집하여 유동인구와 통행, 교통량 등 선 오염원의 영향력이 강하다. 이에 반해 성북구의 경우, 강북지역의 주거 밀집지역으로써 유동인구가 적고, 교통통행량과 같은 선 오염원의 영향력이 작기 때문에 연구하고자하는 가정부문의 측면에서 제도의 실증분석에 적합할 것으로 판단되어 대상으로 선택하였다. 연구의 전체적 흐름은 그림 1과 같으며, 연구를 위한 구체적 내용은 첫째, 탄소포인트 제도에 대한 관련 연구를 검토하고 연구 방향을 정립하였다. 둘째, 실증분석을 위한 자료 구축을 위해 가정부문의 전기, 가스 사용량의 속성자료와 이를 연속지적도 및 공간데이터와 연계하여 지오데이터베이스(GDB)를 구축하였다. 셋째, IPA 분석을 통한 에너지 사용에 따른 탄소배출량에 대한 동단위의 유형분류 및 시계열 공간분석을 실시하고, 대응표본 t검정을 통해 탄소포인트 제도 시행의 사전-사후분석을 실시하였다. 마지막으로 공간적 위치를 포함한 가스 에너지에 대한 핫스팟 분석을 통해 탄소배출의 공간적 군집특성을 분석하고 제시된 결과를 종합하여 결론을 제시하였다.



그림 1. 연구수행과정 흐름도

## 2. 이론고찰 및 관련연구

### 2.1 탄소포인트 제도

탄소포인트 제도는 온실가스 감축 활동에 자발적 참여를 유도하기 위한 인센티브 프로그램이다. 전기, 도시가스 등 에너지를 주요 대상으로 하며, 탄소포인트제도를 실시하고 있는 곳은 42개 지방자치단체이다[2].

탄소포인트 제도의 목적은 가정부문의 자발적인 탄소배출 저감을 활성화하여 지방자치단체의 기후변화대응 역량강화 및 국민의 기후변화에 대한 인



그림 2. 탄소포인트제도(<http://www.gihoo.or.kr>)

식제고 등으로 저탄소 생활문화를 확산하기 위한 것이다. 제도의 적용범위는 표 2와 같고, 참여방법은 제도에 참여중인 지방자치단체에 속한 개인 및 세대주, 시설소유자의 전기, 가스 요금에 관리비에 합산되어 청구되는 아파트세대 등 개별계량기를 사용하는 개인이 탄소포인트 운영프로그램에 접속하여 가입 절차를 거쳐 정식 참여자로 등록하면 된다 [22].

표 2. 탄소포인트제도 적용범위[22]

구분	적용범위
1단계 ('09-'10)	가정/상업부문의 전기, 가스, 수도 대상, 지역난방(열)은 배출계수 개발 후 2단계 시행
2단계 ('11-'12)	가정/상업부문의 전기, 가스, 수도, 지역난방, 산업체 참여방안 마련 및 희망 업체 대상으로 시범 실시
3단계 ('13 이후)	가정/상업부문 외 산업체 추가, 수송 및 폐기물, 비 에너지 부문으로 확대

### 2.2 공간통계분석 방법 고찰

다양한 공간분포 중에서도 가장 일반적으로 다루어지는 분포형태는 흔히 클러스터(군집)나 핫스팟으로 불리는 공간적인 집중이다. 이는 가깝게 위치한 사건일수록 더욱 연관되어 있다는 지리학 제1법칙이 적용되기 때문이다. 핫스팟 기법은 공간적 사상의 집단화에 대해 분석하는 공간군집분석(spatial clustering analysis)의 세부분야로 이해될 수 있다. 산업 집적지 분석, 생태학에서의 식생 분포, 의료분야에서 질병의 공간 분포를 판별하는데 주로 사용되나 지리적 프로파일링이라는 기법의 하나로 범죄 분석분야에서도 활발히 사용된다. 핫스팟 분석기법에서 점위방식(point location)은 직관적으로 이해할

수 있어 가장 보편적으로 사용되는 분석기법인데, 점으로 표현된 공간적 사상이 가장 많이 몰려있는 지역을 핫스팟으로 인식한다. 사건이 발생한 x,y 좌표를 기준으로 사건이 가장 많이 몰려있는 곳부터 서수적으로 핫스팟을 찾아내는 방법이다[1]. 핫스팟 분석은 연구 영역에 높은 속성값 또는 낮은 속성값 중 통계적으로 의미있는 군집(집중)을 확인하기 위해 데이터의 점들과 함께 수행된다. 그 외 분석방법은 아래의 표 3에 간단히 정리하여 나타냈다.

표 3. 분석방법 고찰

구분	의미	적용사례
핫스팟 분석	공간적 사상의 집단화에 대해 분석하는 공간군집분석(spatial clustering analysis)의 한 분야	산업적지, 질병의 공간분포, 범죄분석
공간중심 경향 분석	점들의 공간분포의 평균중심 위치와 방향적인 편향성을 판별	점형자료의 공간분포
IPA 분석	만족도와 중요도 간의 관계를 간단한 매트릭스 도표로 나타내어 개선방안 수립 시, 전략적 방향을 찾아낼 때 사용하는 기법	서비스, 제도 효과, 상품 이용자의 만족 측정 등
사전사후 분석	두 집단 이하의 평균 비교를 통해 사전사후의 효과를 검증하는 분석 기법	시약효과, 시험점수향상, 운동전후 맥박수 변화

### 2.3 탄소포인트 관련 연구

기존 연구에서는 설문조사와 일반통계를 이용한 탄소포인트 제도 도입방안에 관한 연구가 이루어져 왔다. 김경수 등[3]은 대학 캠퍼스의 에너지 소비 실태 조사를 통하여 탄소 인센티브 제도에 대해 연구하였다. 에너지 다소비 기관인 대학을 주제로 교내뿐만 아니라 자취지역 배출량 조사를 통하여 캠퍼스형 탄소 제도를 제시한 점에서 의의가 있으나, 자료의 속성값에 의한 결과만 알 수 있으며 가시화된 탄소배출의 공간 분포 현황을 파악할 수 없다. 김경희[4]는 대학의 탄소포인트 제도 도입과 활성화 방안에 관하여 연구를 하였으나 제도에 관한 인식도 파악을 위한 일반적인 설문조사 방법과 이를 통한 제도의 시나리오 제안에 그치고 있다.

### 2.4 온실가스 및 에너지저감 관련 연구

온실가스와 에너지 및 탄소배출에 관련된 연구로 천성문[21]은 도시공간에서의 점, 선, 면 오염원 중 선 오염원에 해당하는 도로 수송부문의 탄소배출량에 관하여 오염확산 모델링의 인벤토리를 구축하였다. 이임학[14]은 건물을 용도별로 분류하고 2000년대 이후 절대적으로 많이 사용하고 있는 전기와 가스량에 대하여 건물에너지 용도 분석이 가능한 온실가스 인벤토리를 구축하였다. 정창현 등[18]은 주거부문 에너지 소비량 저감 전략에 따른 효과를 분석하였다. 지역통계연보의 자료를 분석하여 주거부문의 에너지 소비량을 줄이는 것이 서울특별시의 에너지 효율성 향상을 위해 중요한 것으로 나타났다. 특히, 에너지 중에 있어서 건물 부분의 가스 소비량은 서울특별시 전체 에너지 소비량의 28.6%, 전기는 서울특별시 전체 에너지 소비량의 19%인 것으로 나타났다. 또한, 전기는 가전제품 및 냉방에 주로 사용되는 반면, 도시가스는 난방 및 급탕, 취사에 사용되는 에너지로써 각각 에너지 소비량의 비율을 고려할 때 난방 에너지의 소비량을 줄이는 것이 가장 중요한 것으로 나타났다. 저감 효과를 평가하기 위한 방법으로 5가지 시나리오를 설정하여, 각 시나리오별 건물 에너지 저감 효과를 검증하였는데 건물 성능을 향상시켜 건물에너지 소비량을 저감하는 것은 단기적으로 달성하기 어려운 일이며, 장기적 비전으로 거주자의 에너지 절약적인 삶이 필요함을 언급하고 있다. 이를 통해 볼 때 건물, 주거부문의 실제 거주자가 참여하는 제도나 방안이 필요함을 알 수 있으며, 따라서 본 연구에서는 거주자의 참여를 유도할 수 있는 자발적 감축 프로그램으로 도입된 탄소포인트 제도에 대한 분석을 실시하고자 하였다.

### 2.5 연구 착안점 도출

지금까지의 연구는 도시내 여러 부문 중 산업부문과 대학캠퍼스에 초점을 맞추어 진행된 연구로서 설문조사와 일반통계를 이용한 정성적 분석이 대부분을 차지했으며, 사업장 위주의 온실가스 소스 인벤토리 구축에 기초적 GIS방법을 활용하고 있음을 알 수 있다. 또한 본 연구의 분석방법중 하나인 핫스팟을 활용한 관련연구를 검토한 결과, 핫스팟이 탄소포인트 제도 분석에 적용된 연구는 나타나지

않았다. 따라서 본 연구에서는 앞서 언급된 정성적 접근방법에서 나아가 도시내 가정부문의 에너지 사용량 및 공간구조의 정량적 변화를 공간통계 및 핫스팟기법, IPA 분석을 통해 탄소포인트 제도 도입에 따른 탄소배출량의 보다 심층적인 공간구조 변화 분석과 시사점을 도출하고자 한다.

### 3. 탄소저감정책의 효과분석 및 고찰

본 장에서는 탄소포인트 제도 시행에 따른 성북구 가정부문 탄소배출량의 공간적 변화를 분석하였다. 즉, 표 4의 산출계수 및 방법에 의하여 에너지 사용에 의한 탄소배출량을 산출하여 제도 시행전후의 전역적 패턴분석과 위치값을 포함하고 있는 가스 에너지 사용에 따른 탄소배출량에 대한 국지적 분석으로 나누어 제도 도입을 통한 효과를 정량적으로 분석하였다.

표 4. 탄소배출량 산출계수 및 방법

구분		산출방법
전기	탄소배출계수	0.424kgCO <sub>2</sub> /kWh
	탄소배출량	전기사용량 x 배출계수
도시 가스	탄소배출계수	2.240kgCO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
	탄소배출량	가스사용량 x 배출계수

※ 탄소포인트제, <http://www.cpoint.or.kr>

#### 3.1 에너지 사용에 따른 탄소배출량의 전역적 분석

전기, 가스 에너지 사용에 따른 2007년-2009년의 전체 탄소배출량의 거시적 변화 패턴을 파악하기 위하여 IPA 분석과 제도 시행전후에 따른 사전-사후 분석을 통해 효과를 검증하는 대응표본 t검정을

실시하였다.

##### 3.1.1 IPA 분석

IPA(Importance-Performance Analysis) 분석은 만족도와 중요도 간의 관계를 매트릭스 도표로 나타내어, 개선방안 수립 시 우선순위를 정하고, 만족도 제고를 위한 전략적 활동방향을 찾아낼 때 사용하는 분석 방법이다[19]. 본 연구에서는 가정부문 전기와 가스 에너지의 2007년-2009년의 동별 사용량에 대하여, 그림 3과 같이 정도에 따라 에너지 절약 노력 지속, 전기 에너지 절약 요망, 절약 우수 영역, 가스 에너지 절약 요망영역 등 4가지로 나누어 분석하였다.

에너지 절약 노력 지속영역(1사분면)은 성북구내에서 가정부문 전기와 가스 사용량이 모두 높게 나타나는 영역으로, 지속적인 절감 노력이 필요한 영역으로 분류한다.

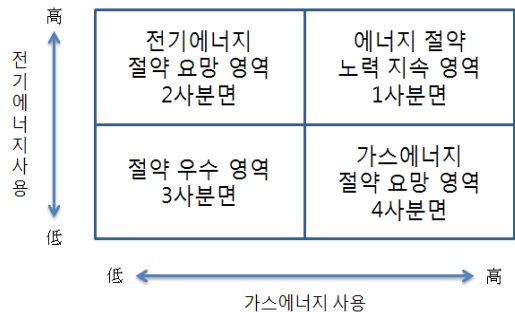


그림 3. IPA 영역

전기 에너지 절약 요망영역(2사분면)은 가스에 비해 전기 에너지 사용 정도가 높은 곳으로, 이 영역에 속한 성북구내의 동들은 전기 에너지 사용 절약 노력을 통해 전기 사용에 의한 탄소배출 저감을

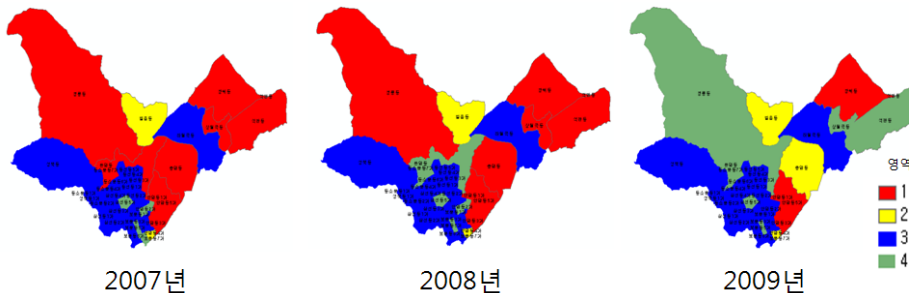


그림 4. IPA분석 결과 영역

표 5. 전기 및 가스에너지의 탄소배출에 대한 사전-사후분석 결과

부문별 탄소배출	대응차					t	자유도	유의확률
	평균	표준편차	평균의 표준오차	차이의 95% 신뢰구간				
				하한	상한			
전기 07~08	215295.185	423203.288	67766.761	78108.549	352481.821	3.177	38	0.003
전기 08~09	551903.309	1090673.956	174647.607	905458.905	1983471.712	3.160	38	0.003

표 6. 가스에너지의 탄소배출에 대한 사전-사후분석 결과

부문별 탄소배출	대응차					t	자유도	유의확률
	평균	표준편차	평균의 표준오차	차이의 95% 신뢰구간				
				하한	상한			
가스 07~08	219093.892	438573.600	70227.981	76924.777	361263.007	3.120	38	0.003
가스 08~09	274567.247	476024.159	76224.870	120258.066	428876.428	3.602	38	0.001

필요로 하는 영역이다. 절약 우수 영역(3사분면)은 2개의 에너지 사용정도가 전체 평균 사용량보다 낮으므로 절약 우수 영역으로 분류한다. 가스 에너지 절약 요망영역(4사분면)은 전기 에너지 절약수준은 높은 반면, 가스 에너지 절약수준이 낮은 편이므로 난방이나 급탕, 취사 등에 있어서 즉각적인 개선과 노력이 필요한 영역을 나타낸다. 실제 분석을 위하여 가로축에 가스에너지, 세로축에 전기에너지를 넣고, 4개의 권역으로 나누어 시계열 변화를 분석하였으며, 공간적인 측면에서 탄소배출량이 높고 낮은 지역을 시각화하였다. 공간적 측면의 분석 결과를 그림 4에서 살펴보면, 시계열별 성북구의 가정부문 탄소배출 평균값을 기준으로 전기와 가스 비율이 모두 높은 부분은 공동주택지역으로 주거 및 상주 인구가 밀집된 공간으로 나타났고, 모두 낮게 나타난 부분은 아직 주거개발이 진행중이거나 산림지의 비율이 높은 곳으로 볼 수 있다. IPA 분석결과, 2007년을 살펴보면 1사분면의 에너지 절약 노력지속 영역은 장위동, 석관동, 안암동, 돈암동 일대로 나타났다. 또한 건축물 대장과 중첩 분석한 결과, 이 일대의 용도지역은 일반주택, 대학교, 주거 및 교육연구시설, 근린생활시설로써 전기, 가스 에너지 사용에 따른 탄소배출이 모두 높게 나타난 것으로 분석되었다. 2008년은 전기, 가스 에너지 사용에

따른 탄소배출이 모두 높은 곳으로 2007년에 높게 나타난 곳 중에서 돈암동의 경우, 4사분면인 가스 절약 요망영역으로 분포가 변화하였다. 이는 2007년에 비하여 2008년에 돈암동 일대의 전기 사용에 따른 탄소배출이 저감되었음을 볼 수 있다. 또한 2007년에 보문동7가의 경우 가스 절약 요망영역(4사분면)에 포함되었으나 2008년에는 절약 우수영역(3사분면)으로 전기, 가스 에너지에 의한 탄소배출이 저감되었음을 알 수 있다. 2009년의 경우에 정릉동, 석관동, 상월곡동은 1사분면에서 4사분면으로 이동하여 전기 사용에 따른 탄소배출이 전년도에 비해 저감되었음을 알 수 있고 중암동의 경우, 1사분면에서 2사분면으로 변화하여 2008년 대비 가스 사용에 따른 탄소배출 저감이 이루어졌으며, 안암동2가는 4사분면에서 3사분면으로 패턴이 변화하였다. 이를 통해 탄소포인트 제도 시행전후의 탄소배출 저감 효과가 성북구 가정부문에서 나타남을 알 수 있다.

### 3.1.2 사전-사후분석

t검정(t-test)은 두 집단 이하의 평균 비교 분석에 사용하는 방법이다. 사전-사후 분석을 통한 효과를 검정하는 대응표본 t검정을 이용하여 탄소배출량의 사전-사후분석을 통한 탄소포인트 제도의 효과를 검정하여 표 5와 표 6에 나타내었다. 표에서 나타난

t계수는 검정통계량을 의미하며 대응표본 t검정에서 두 집단의 평균을 평균의 표준오차(분산)로 나누어 구하며 t값이 커질수록 유의미하다. 자유도는 표본집단에서 1을 뺀 값을 의미한다. 유의확률(p-value)은 실제 오류를 범할 확률이며 다시말해 t계수, 즉, 검정통계량이 귀무가설을 지지하는 정도를 의미한다. 전기 에너지 사용의 사전탄소배출량-사후탄소배출량 분석 결과, 대응표본 t검정을 통한 탄소포인트 제도 시행에 유의확률이 모두 0.003으로, 유의수준이 0.05이하이기 때문에 2007년과 2008년, 2008년과 2009년의 탄소배출량의 평균에 대한 유의적인 차이가 있으며, 이는 제도 시행전후의 분석에 의미를 찾을 수 있다. 가스 에너지 사용에 따른 탄소배출량의 사전-사후분석 결과는 유의확률이 각각 0.003 (2007년-2008년), 0.001 (2008년-2009년)로 유의수준 0.05보다 작으므로 전기 에너지와 같이, 제도시행 사전-사후의 탄소배출량 평균에 대한 유의적인 차이가 있으며 이는 제도 시행전후의 분석에 의미가 있음을 알 수 있다.

**4. 탄소저감정책의 국지적 분석**

가스 에너지는 연도별 사용량과 함께 주소, 지번 정보를 포함하고 있기에 지번을 PNU code화하고, 지오코딩을 통한 x,y 좌표를 생성하였다.

이를 기반으로 정리된 엑셀자료를 dBASE로 저장한 후 ArcGIS 상에서 각 지번 주소정보를 포함한 가스 에너지사용량을 점 형태의 공간데이터로 생성하였다.

점 사상의 형태로 구축된 가스 에너지 사용에 대한 국지적 분석에서 우선, 연구대상지역의 전체적 공간 현황 및 경향을 시각적으로 파악하기 위하여



그림 5. 공간중심경향성 분석

ArcGIS 10.0의 Spatial Analyst와 Spatial Statistics Tool을 통하여 탄소배출량을 가중치로 적용한 공간중심경향성 분석과 밀도분석을 실시하였다. 분석결과 그림 5와 같이 전체적으로 남동방향으로 대상지역의 탄소배출량에 대한 분포 패턴이 나타났고, 대상지역의 주거 데이터에 대한 분포는 그림 7과 같으며 그 밀도는 그림 6과 같이 나타났다.

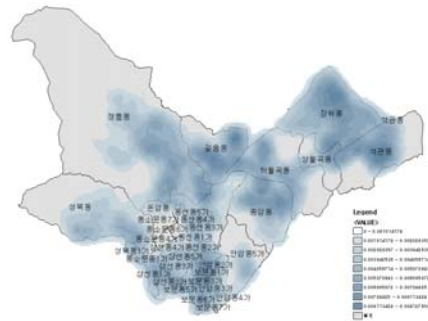


그림 6. 대상지역의 데이터 밀도 분석

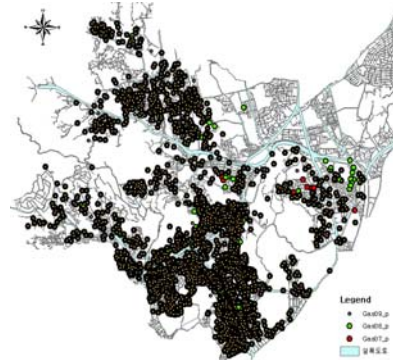


그림 7. 가스 point 분포 현황

전체적인 공간 경향 분석결과를 시각적으로 살펴본 후, 국지적 분석을 위하여 점으로 표현된 공간적 사상, 즉 에너지 사용량이 가장 많이 몰려있는 지역과 낮은 지역의 속성값 중 통계적으로 의미있는 군집을 확인하기 위해 데이터의 점형 자료를 기반으로 수행되는 핫스팟 분석을 실시하였으며 분석결과는 그림 8과 같다. 성북구 가정부문의 가스 사용량에 따른 탄소배출의 핫스팟을 구하기 위하여 0.01의 확률수준을 적용하였으며, 이는 우연에 의해 생성될 군집이 1%의 가능성을 가지고 있음을 의미한다. 분석 결과 그림 8과 같이 탄소배출 핫스팟이 생성되었다. 군집은 성북동과 동선동5가, 안암동5가에 각

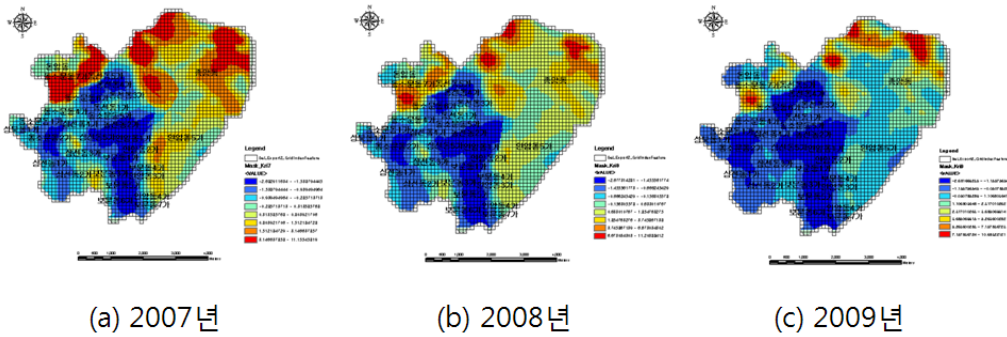


그림 8. 가스 사용량에 대한 핫스팟분석

각 1개씩 확인되었고, 돈암동과 정릉동 일대, 하월곡동과 중암동 일대를 포함하는 성북구 중앙에서 왼쪽 지역에 3개의 핫스팟이 확인되었다. 필지데이터와의 중첩분석을 통해 이 지역을 자세히 살펴본 결과, 가스 사용에 의한 탄소배출 핫스팟의 대부분이 제1종 근린시설과 공동주거시설, 판매상업지로서, 토지 용도가 밀집되어 있는 곳에서 발생하고 있는 것을 확인할 수 있다.

2007년 1월부터 2008년 10월까지 탄소포인트 시행전, 그리고 2008년 11월 이후 2009년 12월까지 제도 시행후의 핫스팟 지역 가스 사용량과 그에 대한 탄소배출량은 표 7, 8과 같으며, 이 결과를 토대로 탄소포인트 제도의 시행전후 기간에 대한 감축량을 비교하고 그에 상응하는 포인트 및 탄소 나무를 산정하였다. 산정방법은 포인트의 경우 10gCO<sub>2</sub> 감축

당 1포인트 제공, 탄소나무의 경우 5kgCO<sub>2</sub> 감축시 연간 소나무 1그루이다[22].

표 7과 8에서 구분된 H(High)-L(Low)은 제도 시행전보다 시행후에 에너지 사용량과 그에 대한 탄소배출량이 저감된 변화를 보인 핫스팟 지역을 의미하며, H(High)-H(High)의 경우는 제도 시행전보다 시행후에 오히려 에너지 사용량과 그에 따른 탄소배출량이 증가된 핫스팟 지역을 의미한다. 분석결과 감축 변화를 나타낸 핫스팟 지역은 돈암동 및 정릉동 일대, 안암동5가, 동선동5가, 성북동 일대로 나타남을 알 수 있다.

### 5. 결론

기존 국가정책 및 연구는 사업장 위주의 온실가

표 7. 제도 시행전후의 탄소배출량의 핫스팟 분석

구분		시행 전(2007.01-2008.10)		시행 후(2008.11-2009.12)	
		에너지 사용량(m <sup>3</sup> )	탄소배출량(kgCO <sub>2</sub> )	에너지 사용량(m <sup>3</sup> )	탄소배출량(kgCO <sub>2</sub> )
H(High)-L(Low)	중암동	30,881,804,638	69,175,242,388	24,773,091,227	55,491,724,350
	돈암동 & 정릉동 일대	9,928,866,595	22,240,661,173	5,932,285,927	13,288,320,477
	돈암동 & 안암동5가 일대	2,029,216,232	4,545,444,360	735,347,574.6	1,647,178,567
	동선동5가 & 정릉동 일대	5,561,353,148	12,457,431,052	3,689,857,409	8,265,280,596
	돈암동 & 성북동 일대	970,775,979.8	2,174,538,195	629,202,302.1	1,409,413,157
H(High)-H(High)	하월곡동 & 중암동 일대	1,982,694,013	4,441,234,590	3,524,430,050	7,894,723,313



표 8. 탄소배출량에 따른 감축량 및 포인트 산정

구분	감축량(kgCO <sub>2</sub> )	포인트(P)	탄소나무(그루)	증감률(%)	
H(High)- L(Low)	종암동	13,683,518,039	1,368,351,803,854	2,736,703,608	-19.781
	돈암동 & 정릉동 일대	8,952,340,696	895,234,069,592	1,790,468,139	-39.252
	돈암동 & 안암동5가 일대	2,898,265,792	289,826,579,245	579,653,158.5	-33.761
	동선동5가 & 정릉동 일대	4,192,150,457	419,215,045,684	838,430,091.4	-33.651
	돈암동 & 성북동 일대	765,125,038	76,512,503,799	153,025,007.6	-35.185

스 인벤토리 구축에 한정되어있고, 가정부문에 대한 탄소저감 정책 시행 효과에 대한 분석과 그에 대한 실증적 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 이에 본 연구에서는 탄소저감정책 중 탄소포인트 제도를 중심으로 가정부문의 에너지 사용에 따른 탄소배출 저감에 관한 실증 분석을 목적으로 하였다. 연구 결과로, 시계열 공간분석을 통한 탄소포인트 제도 시행 후의 전기, 가스 사용량은 시행 전 보다 전체적으로 감소 추세를 나타냈으며, 에너지 사용량에 대한 시공간 핫스팟 지역의 분포 특성과 탐색 영역을 도출할 수 있었다. 이를 통해 도시 내 탄소배출저감 계획에 있어 가정부문의 배출 변화를 그리드 단위로 가시화하고, 제도 시행전후의 효과에 대한 시공간적 변화 분석이 가능하였다. 특히, 핫스팟 지역으로 나타난 행정동의 제도 시행전후 탄소배출량을 비교해본 결과 종암동의 경우 감축량이 13,683,518,039(kgCO<sub>2</sub>), 돈암동과 정릉동 일대는 8,952,340,696(kgCO<sub>2</sub>), 안암동5가 일대는 2,898,265,792(kgCO<sub>2</sub>), 동선동과 정릉동 일대는 4,192,150,457(kgCO<sub>2</sub>), 성북동 일대는 765,125,038(kgCO<sub>2</sub>)의 결과를 보여 제도시행전후의 감축효과를 정량적으로 파악할 수 있었다. 또한 감축량에 따른 포인트 산정 결과, 종암동은 1,368,351,803,854, 돈암동과 정릉동 일대는 895,234,069,592, 안암동5가 일대는 289,826,579,245, 동선동과 정릉동 일대는 419,215,045,684, 성북동 일대는 76,512,503,799로 제도 시행전후의 감축량에 따라 포인트가 발생하여 탄소배출 감축량과 같이 제도의 시행효과를 정량적으로 파악할 수 있었다. 향후 본 연구 결과는 지방자치단체 에너지 진단 등 온실가스 감축 사업의 효

과 평가와 녹색 생활 개선 수립을 위한 다양한 영역에 활용될 것으로 기대한다.

## 참 고 문 헌

- [1] 강호제, 2008, “핫스팟 분석기법 : 공간분석의 기초, 최근린군집분석과 국지모란지수의 이해와 활용”, 국토연구원, 월간국토. 제324호, pp. 116-121.
- [2] 고재경, 2010, “탄소포인트제 평가 및 개선 방안”, 경기개발연구원, Policy Brief, 제40호, pp. 1-22.
- [3] 김경수, 신문수, 구자건, 2010, “대학 캠퍼스의 에너지 소비 실태 조사를 통한 탄소 인센티브 제도 연구”, The Environmental Education, 제23권, 제2호, pp. 65-81.
- [4] 김경희, 2009, “기후변화에 대응한 대학의 탄소 포인트제도 도입과 활성화 방안”, 중앙대학교 석사학위논문.
- [5] 김영오, 2011, “저탄소 녹색성장의 비전과 전략”, 한국지방자치연구원, 제13권, 제1호, pp. 109-133.
- [6] 김운수, 2010, “저탄소사회 실현을 위한 서울특별시 기후변화 대응 정책방향”, 에너지 포커스, 제7권, 제1호, pp. 124-144.
- [7] 김인현, 오규식, 정승현, 2011, “도시패턴과 탄소배출량의 관계 분석”, 한국공간정보학회지, 제19권, 제1호, pp. 61-72.
- [8] 김홍배, 김재구, 2010, “도시내 탄소발생량 산정과 저탄소도시 개발의 핵심부문에 관한 연구”, 대한국토·도시계획학회지, 제45권, 제1호, pp. 35-48.
- [9] 변종립, 2010, “기후변화대응정책의 정책네트워크 연구”, 에너지경제연구, 제9권, 제1호, pp. 151-180.

- [10] 성복구청, 2010, “2020성북비전”, 성복구청.
- [11] 손학기, 박기호, 2008, “부동산 가격변동 핫스팟 탐색을 위한 공간통계기법”, 대한지리학회지, 제43권, 제3호, pp. 392-411.
- [12] 신충식, 2010, “우리나라에서의 온실가스 배출권 거래제도 도입 방안에 관한 연구”, 계명대학교 박사학위논문.
- [13] 오용선, 최용재, 2009, “저탄소 녹색성장의 세계 동향과 한국의 특성”, 환경사회학연구 ECO, 제13권, 2호, pp. 69-97.
- [14] 이임학, 2011, “에너지사용모델을 이용한 도시 온실가스 인벤토리 구축 연구”, 서울시립대학교 박사학위논문.
- [15] 임형록, 이병희, 2011, “교토 의정서內 Annex B국가들의 탄소가스 감축 의무시행에 따른 경제적 손실과 국제공조의 지속가능성”, KAIBM & KASME 춘계학술대회 논문집, pp. 179-198.
- [16] 정경석, 문태현, 정재희, 허선영, 2009, “GIS와 공간통계기법을 이용한 시·공간적 도시범죄 패턴 및 범죄발생 영향요인 분석”, 한국지리정보학회지, 제12권, 제1호, pp. 12-25.
- [17] 정경석, 문태현, 정재희, 2010, “시공간검정통계량을 이용한 도시범죄의 핫스팟분석”, 한국지리정보학회지, 제13권, 제3호, pp. 14-28.
- [18] 정창현, 김지영, 김석기, 김태연, 이승복, 2009, “서울 주거부문 에너지 소비량 저감 전략에 따른 효과 분석”, 대한건축학회, 제25권, 제11호, pp. 323-331.
- [19] 주용진, 2011, “토지이용-교통 통합적 분석을 통한 도로기반 도시 형태학적 변화에 관한 연구”, 한국공간정보학회지, 제19권, 제3호, pp. 63-72.
- [20] 주형선, 김종욱, 2000, “대학생의 환경가치에 대한 연구”, 지리·환경교육, 제8권, 제1호, pp. 63-71.
- [21] 천성문, 2010, “서울지역 도로수송부문에서의 이산화탄소 배출량 추정 연구”, 서울시립대학교 석사학위논문.
- [22] 탄소포인트제, <http://www.cpoint.or.kr>
- [23] 황선영, 황철수, 2003, “GIS를 활용한 도시 범죄의 공간패턴분석”, 대한국토·도시계획학회지, 제38권, 제1호, pp. 53-66.

논문접수 : 2011.12.12

수정일 : 1차 2012.01.06 / 2차 2012.01.10

심사완료 : 2012.02.13



#### 황해성

2010년 부경대학교 위성정보 공학사  
2010년~현재 서울시립대학교 대학원  
공간정보공학 석사과정  
관심분야는 GIS, UIS, 공간분석



#### 주용진

2001년 인하대학교 지리정보 공학사  
2003년 인하대학교 지리정보 공학석사  
2004년 한국교통연구원 연구원  
2009년 인하대학교 지리정보 공학박사  
2009년~2012년 서울시립대 연구교수  
2012년~현재 인하공업전문대학 항공지리정보과 조교수  
관심분야는 LBS, 공간 DBMS, 공간추론 및 온톨로지



#### 고준환

1996년 서울시립대학교 대학원 공학박사  
1996년~현재 서울시립대학교 공간정보  
공학과 교수  
2010년 한국공간정보학회 회장  
2011년~현재 서울시립대학교 도시과학  
대학 학장  
관심분야는 Web GIS, 주민참여 공간정보, 지적정보