



지방정부의 지속가능도시를 위한 정책적 노력이 도시 내 CO₂ 배출량에 미치는 영향

- 미국 도시들을 사례로 -

Impact of municipal sustainability policy efforts on citywide CO₂ emissions

- Case study of cities in the USA -

박진한* · 김송이**

Park, Jin Han · Kim, Songyi

Abstract

The purpose of this study is to analyze the impact of municipal sustainability policy efforts on citywide CO₂ emissions. 25 cities in the U.S.A., which offer data on CO₂ emissions and are included in the top 50 largest cities in the U.S.A. according to its estimated population, were selected as study cities. This study utilizes the Sustainable Cities Seriously Index of Portney and selects data for the index at the city level. For analysis, this study employs correlation analysis, and OLS regression analysis. The results show that each city has around 30 sustainability policies and emits 12.76 tCO₂ per year on average. In addition, when the number of sustainability policies increases by one, the amount of CO₂ per capita decreases by 0.7 tCO₂. This means that the more cities employ sustainability policies, the less CO₂ those cities emit. The results of this study support the idea that active efforts on behalf of municipal governments toward the development of sustainability policies are needed to handle citywide CO₂ emissions.

키워드 ■ 도시계획, 환경계획, 환경정책, 감축정책, 지속가능한 도시 지표

Keywords ■ Urban Planning, Environmental Planning, Environmental Policy, Mitigation Policy, Sustainable Cities Seriously Index

I. 서론

지속적으로 CO₂ 배출량이 유의미하게 증가하고 있으며, 이는 지구의 자연 생태계와 기후변화에 큰 위협이 되고 있다(Riahi and Roehrl, 2000). 이에 CO₂ 감축의 필요성은 널리 알려지고, 강조되고 있으며, 많은 국가와 국제기구는 CO₂ 감축에 기여할 수 있는 정책을 개발하고 실행해 오고 있다(Gielen

and Changhong, 2001; Li, et al., 2011).

과거에는 지자체 단위에서 CO₂ 감축 문제를 접근하기에 너무 광범위하고, 다루기가 어렵다는 잘못된 인식으로 인하여 수동적으로 접근하는 경향이 있었다. 하지만 최근 기후변화로 인한 극한 기후현상 등으로 인하여 지역 단위에서의 위협이 증가하고, 지자체의 역할이 확장되면서, 지자체 스스로 CO₂ 감축을 위한 노력이 시작되었다(Portney,

* Department of Ecosystem Science and Management, Texas A&M University

** Tourism Industry Research Division, Korea Culture & Tourism Institute (Corresponding author: skimtheory@gmail.com)

2005; Portney, 2013a).

중앙정부에서 국가의 감축계획을 설계한다면, 이를 실행하는 것은 지자체 단위이다. 이러한 지자체 단위의 작은 노력들이 전 지구 차원에서의 CO₂ 감축 및 기후변화와 이로 인한 생태계의 부정적인 영향들을 완화시킬 수 있는데 기여를 할 수 있기 때문에 지자체 단위의 노력은 매우 중요하다(Portney, 2017).

본 연구의 목적은 지자체의 지속가능성을 위한 정책적 노력이 CO₂ 배출에 미치는 영향을 분석하는 것에 있다. CO₂는 정량적 분석이 가능한 지표 중의 하나로써 직접적인 지표 중의 하나이기 때문에 본 연구에서는 CO₂를 대상으로 연구를 진행하였다. 또한 지속가능성을 위한 도시의 노력은 각 지자체에서 실행하고 있는 정책의 수를 사용하였다.

II. 연구 방법

1. 연구의 흐름 및 범위

본 연구는 1)도시의 선정, 2)변수의 선정 및 데이터 수집, 3)지속가능한 도시를 위한 노력과 CO₂ 배출량과의 관계를 살펴보기 위한 통계 분석 진행 순으로 이루어지며, 전체적인 흐름은 다음 그림 1과 같다.

본 연구는 미국의 28개 도시를 대상으로 연구를 진행하였으며, 선행연구 및 공신력 있는 데이터 수집 가능성을 바탕으로 변수를 선정하였다. 이를 바탕으로 자료수집 및 조사를 진행하였으며, 각 도시의 지속가능한 도시를 위한 노력과 CO₂ 배출량과의 관계를 살펴보기 위해서 통계분석을 사용하였다. 본 연구에서 사용한 통계분석은 1인당 CO₂ 배출량과 이와 관련 있는 다양한 변수들 간의 관계를 분석하기 위해서 상관분석을 실시하였으며, 1인당 CO₂ 배출량을 종속변수로 설정하고, 지속가능한 도시 지표 및 CO₂ 배출량에 영향을 미치는 다른 변수들을 독립변수로 설정하여 회귀분석을 실시하였다.

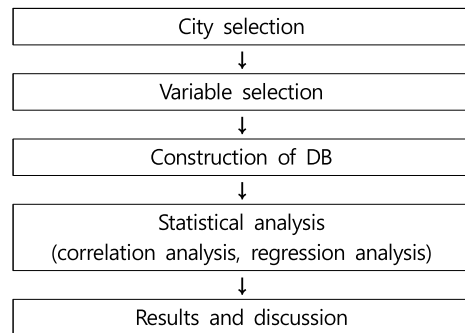


Figure 1. Study flow

2. 도시의 선정

도시별 CO₂ 배출량 자료를 수집하기 위하여 CDP(Carbon Disclosure Project)의 자료를 활용하였다. CDP에서는 전 세계 도시들의 CO₂ 배출량을 수집하여 데이터베이스를 제공하고 있으며, 미국의 63개 도시들에 대해서도 배출량 자료를 제공하고 있다.

본 연구에서는 미국 전체 도시 중에서 도시 간 규모의 차이를 고려하여, 인구수를 기준으로 상위 50개 도시를 우선 대상으로 하였으며, 그 중 CDP에서 CO₂ 자료를 제공하고 있는 28개 도시를 대상으로 연구를 진행하였다. 본 연구의 대상 도시는 표 1과 같다.

Table 1. Study cities

City	State	City	State
Atlanta	GA	Minneapolis	MN
Austin	TX	Nashville-Davidson	TN
Baltimore	MD	New York City	NY
Boston	MA	Oakland	CA
Chicago	IL	Philadelphia	PA
Cleveland	OH	Pittsburgh	PA
Columbus	OH	Portland	OR
Dallas	TX	San Antonio	TX
Denver	CO	San Diego	CA
Detroit	MI	San Francisco	CA
Houston	TX	Seattle	WA
Indianapolis	IN	St. Louis	MO
Las Vegas	NV	Tucson	AZ
Los Angeles	CA	New Orleans	LA

3. 변수의 선정 및 데이터 수집

본 연구에서 사용한 종속변수는 1인당 CO₂ 배출량이다. 본 연구에서 도시별 CO₂ 배출량 대신 1인당 CO₂ 배출량을 사용한 이유는 인구가 CO₂ 배출량에 영향을 미치는 주요 요인 중 하나이기 때문이다(Lantz and Feng, 2006; 유성필·황지욱, 2015). CO₂ 배출량 자료는 CDP 홈페이지를 통해 자료를 구축하였으며, 인구수는 US센서스 홈페이지를 통해 자료를 구축하였다. CDP에서 제공하는 CO₂ 배출량 자료는 각 지자체별로 측정한 CO₂ 배출량을 CDP에서 정리한 것이기 때문에, 지자체별 측정연도에 차이가 발생하는 한계가 있다. 다만 현재 수집가능한 지자체별 CO₂ 배출량 자료가 CDP 자료가 유일하기 때문에 이 같은 한계에도 불구하고 위 자료를 사용하였다.

한편 독립 변수의 선정은 연구에 적합하고, 공신력 있는 데이터를 수집가능성을 고려해 선정하였다. 이를 위해 US센서스에서 데이터를 제공하고 있는 변수들을 중 CO₂ 배출량과의 관계가 있는 변수들을 일차적으로 도출하였으며, 이후 선행연구 검토를 통해 변수 적용의 적합성을 확인하였다. 이에 지역 주민들의 평균 소득, 빈곤율, 도시 내 회사 개수, 제조업 매출액, 교육, 나이, 이동시간을 선정하였다.

지역 주민들의 평균 소득과 빈곤율은 도시 내 전반적인 에너지 소비와 그로인한 CO₂ 배출량과 밀접한 관련이 있는 도시 경제에 영향을 미치는 것으로 알려져 있으며(Lantz and Feng, 2006; Chen, et al., 2007; Alam et al., 2011; Li et al., 2011; Collins and Zheng 2015), 그에 따라 본 연구에서는 두 가지 변수를 모두 사용하였다.

또한 도시 내 기업체 개수는 그 도시가 얼마나 산업적으로, 경제적으로 발달하였는지를 보여주며, 이는 에너지 소비량과 CO₂ 배출량과 밀접한 관련이 있는 변수이다(장명준 외 2012; 유성필·황지욱, 2015).

제조업은 제품 생산을 위해 기계적, 화학적 혹은 생물학적 과정을 필요로 하며, 이는 다양한 산업 중에서 가장 큰 CO₂ 배출원 중의 하나이다. 따라서 본 연구에서는 도시 내 제조업의 규모를 반영하기 위해서 제조업의 매출액을 이용하였다(유성필·황지욱, 2015).

교육을 더 많이 받은 사람일수록 더욱 친환경적으로 행동하며, CO₂ 감축에 긍정적인 기여를 하는 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 24세 이상 인구 중에서 고등학교 이상의 교육을 받은 사람들에 대한 비율을 변수로 사용하였다(Wei et al., 2007; Sharp et al., 2009; Yang et al., 2014).

나이가 많은 사람일수록 환경을 생각하는 경향이 있으며, 젊은 사람과 비교하며 보면 활동량이 적다. 이는 CO₂의 배출이 더 적음을 의미하며, 이에 본 연구에서는 65세 이상 인구비율을 변수로 사용하였다(Yang et al., 2014; 유성필·황지욱, 2015).

도시 내 이동은 CO₂ 배출과 직접적인 관련이 있다. 개인차량 또는 대중교통 모두 이용할수록 CO₂ 배출이 늘어나기 때문이다. 본 연구에서는 도시 내에서 출근에 걸리는 이동시간을 변수로 사용하였다(Barla et al., 2011; Figliozzi, 2011; 김병석·문태훈, 2014). 한편, 차량 및 대중교통은 CO₂ 배출에 중요하게 작용하지만 US센서스에서 자료를 제공하지 않았다. 이에 이를 설명할 수 있고 공신력 있는 데이터 수집이 가능한 변수 중 지하철 노선 길이와 관련된 변수를 추가하였다(Andrade and D'Agosto, 2016).

또한 도시의 개발 밀도를 추가했다. 도시의 개발 밀도는 차량 의존도와 관련이 있으며, 고밀화된 도시일수록 CO₂의 배출량이 적기 때문이다(Tiwari et al., 2011; 김병석·문태훈, 2014).

마지막으로 지자체의 노력은 Portney(2013b)지속 가능한 도시 지표를 기준으로 하였다. Portney의 지표는 지속가능 종합계획, 녹색빌딩 프로그램, 브라운필드 정책, 카풀정책 등 지자체 단위에서 지속가능도모를 위해 추진가능한 정책을 38개의 리스트

Table 2. The overall elements of the taking the Sustainable Cities Seriously Index

Category and contents	
Sustainable indicators projects	
	1. Indicators projects active in last five years
	2. Indicators progress report in last five years
	3. Does indicators project include "action plan" of policies/programs?
"Smart Growth" activities	
	4. Eco-industrial park development
	5. Cluster of targeted economic development
	6. Ecovillage project or program
	7. Brownfield redevelopment (project or pilot project)
Land use planning programs, policies, and zoning	
	8. Comprehensive land use plan that includes environmental issues
	9. Zoning used to delineate environmentally sensitive growth areas
	10. Tax or fee incentives for environmentally friendly development
Transportation planning program and policies	
	11. Operation or sponsorship of public transit (buses and/or trains)
	12. Limits on downtown parking spaces
	13. Car pool lanes or high occupancy vehicle (HOV or diamond) lanes on city streets
	14. Alternatively fueled city vehicle (green fleet) program
	15. Bicycle ridership or bicycle sharing program
Pollution prevention, reduction, and remediation	
	16. Household solid waste recycling
	17. Industrial recycling
	18. Hazardous waste recycling
	19. Air pollution reduction program (i.e., VOC reduction) climate action plan
	20. Recycled product purchasing or preferred procurement by city government
	21. Superfund or other hazardous waste site (other than brownfields) remediation initiative
	22. Asbestos abatement with assistance to building owners
	23. Lead paint abatement with assistance available to building owners
	24. Pesticide reduction program
	25. Urban garden/sustainable food system or agriculture program
Energy and resource conservation/efficiency	
	26. Green building program
	27. Green affordable/low-income housing program
	28. Renewable energy use by city government
	29. Energy conservation effort (other than green building program)
	30. Alternative energy offered to consumers (solar, wind, biogas, etc.)
	31. Water conservation or protection program
Organization/administration/management/coordination/governance	
	32. Single government office of official, or nonprofit agency, responsible for implementing sustainability programs
	33. Sustainability an explicit part of a citywide comprehensive/general plan
	34. Involvement of city council
	35. Involvement of mayor or chief executive officer
	36. Involvement of metropolitan or county-wide planning council
	37. Involvement of the business community (e.g., Chamber of Commerce, sustainable business organization)
	38. General public involvement (public hearings, visioning process, neighborhood groups or associations, etc.)

(Source : Portney, 2013b)

Table 3. Variables

Variables		Description	Data year	Data source	References	
Dependent	CO ₂ emission per capita	Citywide CO ₂ emissions (metric tonnes CO ₂ e)	2016	CDP	-	
		Population (N)	2010	U.S. Census	Lantz and Feng (2006) 유성필·황지옥 (2015)	
Independent	Municipal effort		Number of sustainable policies (N)	2018	Portney	Portney (2013b)
	Economy	Income	Median household income (\$)	2012-2016	U.S. Census	Lantz and Feng (2006) Chen et al. (2007) Li et al. (2011)
		Poverty	Persons in poverty (%)	2010	U.S. Census	Alam et al. (2011) Collins and Zheng (2015)
		Firms	Number of firms (N)	2012	U.S. Census	장명준 외 (2012) 유성필·황지옥 (2015)
		Manufacturing	Net selling values of all manufacturing products (\$1,000)	2012	U.S. Census	유성필·황지옥 (2015)
	Demography	Education	High school graduate or higher among persons age 24 years and over (%)	2012-2016	U.S. Census	Wei et al. (2007) Sharp et al. (2009) Yang et al. (2014)
		Age	Persons 65 years and over (%)	2010	U.S. Census	Yang et al. (2014) 유성필·황지옥 (2015)
	Physical structure	Travel time	Mean travel time to work of workers age 16 years and over (minutes)	2012-2016	U.S. Census	Barla et al.(2011) Figliozzi (2011) 김병석·문태훈 (2014)
		Subway	Total length of the subway (include commuter rail) (km)	2016-2017	Transportation Authority of each City	Andrade and D'Agosto (2016)
		Urban density	Urban development density index ^a	2014	Smart Growth America	Ewing and Hamidi (2014)

a. Urban development density is measured by six major factors: 1) total density of the urban and suburban census tracts (D_i); 2) percent of the population living in low-density suburban areas(D_0); 3) percent of the population living in medium- to high-density areas(D_0); 4) urban density within total built-upon land(b); 5) the relative concentration of density around the center of the MSA(b); and 6) employment density(d_i) (Ewing and Hamidi, 2014). And the functions as follow.

$$D_i = D_0 e^{(-b \times d_i)}$$

로 만든 지표로, 지자체의 종합적인 노력을 검토할 수 있는 틀로 활용할 수 있으며, 구체적인 내용은 앞선 표 2와 같다. 2013년 당시에 Portney가 미국 50개 도시를 대상으로 추정된 지표 값이 이미 존재하고 있으며, 그는 이 지표가 실제로 지역사회 에너지 및 건강에 영향을 미친다는 것을 증명하기

도 했다(Portney, 2017). 단, 정책의 수가 정책의 질을 대변할 수 없고, 2013년 당시의 정책과 현재의 정책에는 변화가 있을 것으로 판단하여, 본 연구에서는 38개의 리스트를 기준으로 각 지자체별 정책들을 직접 조사하여 실제 대대적으로 실행되고 있는 정책들만을 실행 정책으로 판단하여 점수를

산정하였다. 이를 바탕으로 정리한 최종 변수 목록은 표 3과 같으며, 도시별 현황은 부록 표 A1과 같다.

4. 지속가능한 도시를 위한 정책적 노력과 CO₂ 배출량과의 관계

본 연구에서는 지속가능한 도시를 위한 정책적 노력과 CO₂ 배출량과의 관계를 밝히기 위하여 OLS 회귀분석을 사용하였다. 본 연구에서 사용한 기본적인 수식은 다음 식 1과 같다.

$$y = \alpha + \beta_i x_i + \epsilon \quad (1)$$

아울러, 이상치(Outliers)와 영향력 있는 사례(Influential point)에 대한 진단을 위해서 잔차 분석과 Cook's distance 분석을 실시하였다. 잔차 분석의 경우 표준잔차(Standardized residual)를 이용하였으며 표준잔차 값이 ± 3 보다 클 경우 이상치로 판단하였다(이희연·노승철, 2012). 또한 레버리지 값과 잔차를 종합한 지수로 Cook's distance를 활용하여 영향력 있는 사례를 제거하였다. Cook's distance를 도출하는 수식은 다음 식 2와 같으며, 점정적인 영향력 있는 사례는 다음 식 3과 같은 방법을 적용하여 변수에서 제외하였다(이희연·노승철, 2012).

$$C_i = \frac{\Sigma[\hat{Y}_i - \hat{Y}_i(i)]^2}{\hat{\sigma}_x^2(p+1)} \quad (2)$$

단, $\hat{Y}_j(i)$ 는 i 사례를 제거한 경우에 추정된 예측치($\hat{Y}_j$)이다.

$$C_i \geq \frac{4}{n - (p + 1)} \quad (3)$$

III. 연구결과 및 고찰

1. 데이터 기술통계

구축된 DB를 활용하여 1인당 CO₂ 배출량과 지속가능한 도시 지표와의 잔차분석 및 Cook's distance 분석을 시행하였으며, 이를 통해 이분산성을 개선하였고, 클리블랜드(Cleveland), 디트로이트(Detroit), 라스베이가스(Las Vegas) 등 3개 도시는 분석에서 제외하였다. 조사 결과 25개 도시의 지속가능한 도시를 위한 정책 개수는 평균 30.24개로 나타났으며, 세인트루이스는 19개로 최저로 나타났으며, 샌프란시스코는 37개의 정책을 시행중에 있는 것으로 나타났다. 또한 1인당 CO₂ 배출량은 약 12.76 tCO₂로 나타났으며, 평균 소득은 약 5.2만 달러, 빈곤율은 약 20%, 평균 기업체 수는 약 14.6만개, 제조업의 매출액은 약 1,250만 달러, 고등학교 이상 교육률은 약 85%, 65세 이상 인구 비율은 약 11%, 평균 출근시간은 약 27분, 각 도시들의 평균 지하철 길이는 약 396km, 도시 개발 밀도는 약 128로 나타났다(표 4).

2. 지속가능한 도시를 위한 정책적 노력과 CO₂ 배출량

1) 각 변수와 CO₂ 배출량과의 관계

지속가능한 도시를 위한 정책이 CO₂ 배출량에 미치는 영향을 살펴보기 위해서 우선 1인당 CO₂ 배출량과 통계적으로 관련이 있는 변수를 찾기 위해서 상관분석을 실시하였다. 상관분석 결과는 표 5와 같으며, 1인당 CO₂ 배출량은 지속가능한 도시를 위한 정책(-0.650), 소득(-0.406), 지하철(-0.723), 도시개발밀도(-0.453) 등의 변수가 밀접한 관련이 있는 것으로 나타났으며, 모두 음의 상관관계를 가지고 있는 것으로 나타났다. 이는 다른 연구에서도

Table 4. Description of variables

City name	CO ₂ (tCO ₂)	SI (N)	In (\$)	Po (%)	Fi (N)	Ma (\$1,000)	Ed (%)	Ag (%)	TT (m)	SB (km)	UD
Atlanta	21.49	25	49,398	24.0	64,593	3,609,685	89.5	10.8	25.8	81	97.80
Austin	17.33	29	60,939	16.7	96,048	11,413,406	88.0	7.9	23.8	51	100.42
Baltimore	12.21	31	44,262	23.1	50,735	5,043,278	83.5	12.3	30.5	103	115.97
Boston	9.82	34	58,516	21.1	59,268	3,334,504	85.7	10.7	30.3	767	126.90
Chicago	12.43	33	50,434	21.7	291,007	26,503,402	83.1	11.2	34.4	1,059	145.50
Columbus	13.96	32	47,156	21.2	67,994	9,829,717	88.8	9.4	21.5	N/A	94.45
Dallas	14.38	28	45,215	22.9	142,658	17,731,342	75.3	9.5	26.3	171	111.46
Denver	14.90	33	56,258	16.4	79,097	5,343,892	86.4	10.9	25.1	141	118.31
Houston	15.92	23	47,010	21.9	260,347	53,787,073	77.4	9.8	26.8	37	108.30
Indianapolis	2.63	27	43,101	20.9	69,366	N/A	85.5	11.1	23.0	N/A	98.11
Los Angeles	7.65	33	51,538	21.5	497,999	43,502,545	75.9	11.5	30.5	169	187.39
Minneapolis	12.53	31	52,611	21.3	44,702	3,944,223	89.0	8.8	22.7	99	105.92
Nashville-Davidson	20.42	29	49,891	18.0	68,228	6,201,147	87.2	10.8	24.3	52	91.54
New York City	6.04	34	55,191	20.3	1,050,911	14,816,322	80.8	13.0	40.3	3,795	384.29
Oakland	7.00	32	57,778	20.0	44,799	1,744,161	80.5	12.2	31.0	N/A	136.28
Philadelphia	12.59	31	39,770	25.9	104,439	19,718,568	82.6	12.5	32.7	1,221	141.01
Pittsburgh	15.71	21	42,450	22.3	24,792	2,054,597	92.0	14.0	23.5	42	96.16
Portland	11.95	36	58,423	16.9	75,583	8,768,477	91.6	11.6	25.6	132	111.14
San Antonio	11.85	32	48,183	19.5	117,546	14,068,085	81.6	11.4	23.9	N/A	100.67
San Diego	9.66	31	68,117	15.0	135,754	14,666,981	87.5	11.8	23.5	152	125.08
San Francisco	6.68	37	87,701	12.5	116,803	N/A	87.4	14.4	32.4	377	185.97
Seattle	8.58	36	74,458	13.0	83,323	5,200,165	93.9	11.9	26.9	177	121.27
St. Louis	27.26	19	36,809	26.7	30,040	10,736,982	84.5	11.4	24.1	74	97.68
Tucson	12.80	31	37,973	25.1	41,619	1,551,529	84.4	13.3	22.2	N/A	100.79
New Orleans	13.26	28	37,488	26.2	41,506	4,352,733	85.7	12.2	23.7	N/A	104.84
Mean	12.76	30.2	52,027	20.6	146,366	12,518,383	85.1	11.4	27.0	396	128.29
Std. Deviation	5.30	4.5	11,911	3.9	214,856	13,187,922	4.8	1.5	4.6	811	59.10

* CO₂: CO₂ emissions per capita, SI: Sustainable Cities Seriously Index, In: Income, Po: Poverty, Fi: Firms, Ma: Manufacturing, Ed: Education, Ag: Age, TT(minutes): Travel time, SB: Length of the subway, UD: Urban density

본 연구와 유사한 관계를 가지는 것으로 나타났다 (Lantz and Feng, 2006; Chen, et al., 2007; Alam et al., 2011; Li et al., 2011; Tiwari et al., 2011; Portney, 2013b; 김병석·문태훈, 2014; Collins and Zheng 2015). 즉, 지속가능한 위한 정책의 개수가 많을수록, 소득이 높을수록, 지하철 노선의 길이가 길수록, 도시개발밀도가 높을수록 1인당 CO₂ 배출량은 감소하는 것으로 볼 수 있다.

한편, 이동시간이 증가할수록 CO₂ 배출량은 감소하는 것으로 나타났다(-0.398). 상관분석 결과 인구가 많은 대도시일수록 이동시간이 증가하는 것으로 나타났는데(Pearson 상관계수: 0.706, sig.: 0.000),

뉴욕(New York City), 시카고(Chicago), 필라델피아(Philadelphia) 순으로 이동시간이 긴 것으로 나타났다. 이러한 이동시간이 긴 도시는 주로 지하철이 있는 도시로 나타났는데(ATPA, 2018), 이는 이동시간을 추정할 때 이동수단을 고려하지 못하였기 때문인 것으로 사료된다. 이를 지하철 관련 변수와의 상관분석 결과와 연관시켜 살펴보면, 지하철의 노선의 길이가 길수록 지하철 수요가 높다는 것을 의미할 수 있다. 이를 본 연구에 적용시켜 보면 이동시간이 긴 도시에서는 지하철을 주로 이용하였기 때문에 도보시간과 지하철 시간 등을 고려하면 차량을 이용하는 지역보다 시간이 더 걸린다고 추측

Table 5. The results of the correlation analysis (Pearson correlation)

	CO ₂ emission per capita		CO ₂ emission per capita
Policies	-.650**	Manufacturing	-.092
Income	-.406*		
Poverty	.374	Travel time	-.398*
Firms	-.336		
Education	-.317	Urban density	-.453*
Age	.138		
Subway	-.723**		

** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

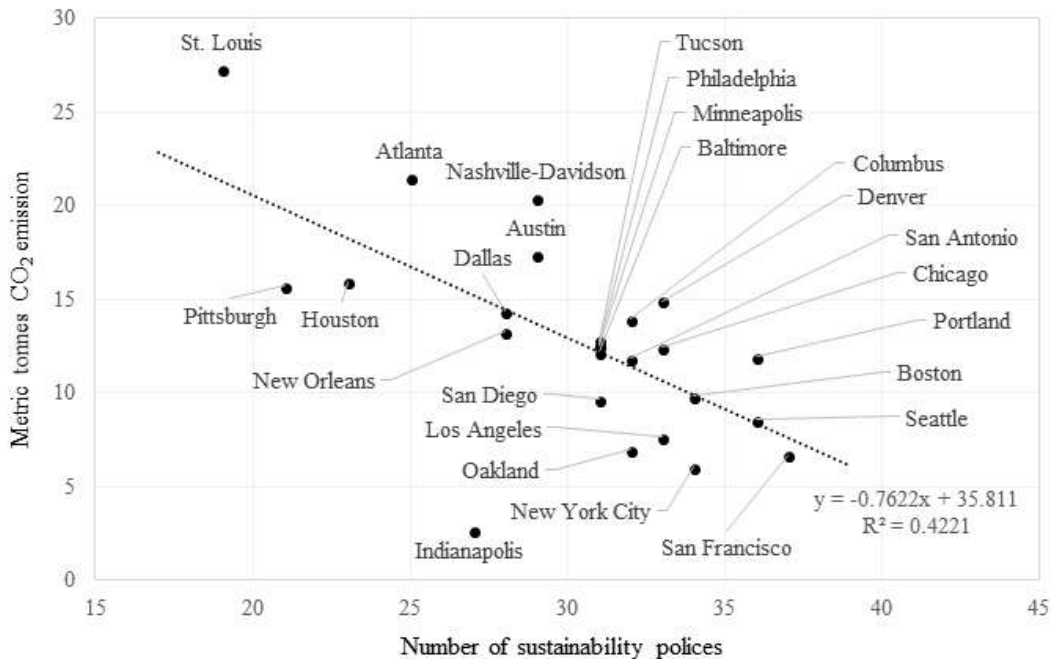
할 수 있으며, 또한 차량과 비교하여 단위거리 당 철도 및 도시철도의 CO₂ 배출량이 작기 때문에 본 연구결과 이동시간이 증가할수록 CO₂ 배출량은 감소하는 것으로 나타나는 현상을 추측할 수 있다 (Selvakkumaran and Limmeechokchai, 2015).

2) 지속가능한 도시를 위한 정책적 노력과 CO₂ 배출량과의 관계

앞서 선정된 28개 도시 중 3개 도시를 제외한 25개 도시를 대상으로 도출한 산포도는 그림 2와 같다. 1인당 CO₂ 배출량은 지속가능한 도시 지표가 높을수록 적은 것으로 나타났으며, 이는 본 연구에서 설정한 가설에 부합하는 것으로 나타났다.

산포도 및 상관분석 결과를 바탕으로 1인당 CO₂ 배출량을 종속변수로 설정하고, 지속가능한 도시를 위한 정책, 소득, 이동시간, 지하철, 도시개발밀도 등을 독립변수로 사용하여 다중회귀분석을 실시하였다. 다중회귀분석은 독립변수 간 자기상관 및 다중공선성 문제로 단계선택법(Stepwise)을 선택하였다.

다중회귀분석 결과는 다음 표 6과 같으며, 5개 변수 중 2개의 변수가 종분산의 65.7%를 설명하는 것으로 나타났으며, 모델의 적합도 검정결과 역시 통계적으로 유의미한 것으로 나타났다(F-value=19.

Figure 2. Scatterplot of CO₂ emissions per capita and the number of sustainability policies

127, $p=0.000$). 추정된 회귀계수들은 모두 $p=0.05$ 이내에서 유의미한 것으로 나타났으며 특히 지속가능한 도시를 위한 정책적 노력의 계수가 0.728로 CO₂ 배출에 미치는 영향력이 가장 크다는 것을 의미하고 있다. 또한 변수별 VIF 값은 모두 5 미만으로 변수 간 공선성이 없음을 말해주고 있다. 아울러 단계선택법에 의해 선택된 변수가 본 연구의 목적과 부합한 것으로 판단된다.

분석 결과 지속가능한 도시를 위한 정책 1개가 증가할 때마다 1인당 CO₂ 배출량은 0.728 tCO₂ 감소하는 것으로 나타났으며, 도시개발밀도가 1단위 증가할수록 1인당 CO₂ 배출량은 0.024 tCO₂ 감소하는 것으로 나타났다.

많은 연구에서 CO₂ 감축에 대한 정책의 효과를 논의할 때는 세금을 적용시켜 효과를 추정하거나(Nordhaus, 1993), 국가단위의 정책과 배출량과의 관계를 추정한다(Ponce de Leon Barido and Marshall, 2014). 또한 직접적으로 배출량과 관련이 있는 항목과 CO₂ 감축과의 관계에 대하여 연구를 진행하였다(Lantz and Feng, 2006; Alam et al., 2011; Andrade and D'Agosto, 2016). 하지만 본 연구에서는 기존 연구의 틀에서 벗어나 지자체 단위에서 실제 시행하고 있는 정책을 조사하였고, 이를 위한 지자체의 노력과 CO₂ 배출량과의 관계를 살펴보았으며, 연구결과 유의미한 결과를 가지는 것으로 나타났다.

IV. 결 론

본 연구의 목적은 시단위의 지속가능한 도시를 위한 정책적 노력이 CO₂ 배출량에 미치는 영향을 파악하는 것이다. 이를 위해서 상관분석 및 OLS 회귀 분석을 실시하였다. 연구 결과 지속가능한 도시를 위한 정책과 CO₂ 배출량 사이에는 유의미한 관계가 있는 것으로 나타났으며, 지속가능한 도시를 위한 정책적 노력이 많을수록 CO₂ 배출량이 감소하는 것으로 나타났다.

본 연구의 한계는 도시별 CO₂ 배출량 자료 지자체에서 개별 측정 후 수집된 자료를 이용했기 때문에 측정시기 및 측정 방법이 도시별로 상이할 수 있다는 점이다. 추후 이러한 한계점을 보완하기 위해서는 동일한 방법으로 CO₂ 배출량을 추정한 자료를 사용할 필요가 있을 것이다. 또한 본 연구에서 활용한 38개의 지속가능한 도시 지표 중 카폴치선과 같은 항목은 한국에 적용하기 어려운 항목도 있다.

그럼에도 불구하고 본 연구의 의의는 지속가능한 도시를 위한 지자체의 정책적 노력이 CO₂ 배출에 영향을 미친다는 사실을 통계적으로 확인하였으며, 도시 전체의 CO₂ 배출량을 관리하기 위해서는 지방 정부의 적극적인 정책이 필요하다는 사실을 지지할 수 있다. 또한 본 연구에서 활용한 38개 정책 중 가장 많은 지자체에서 적용중인 자전거 이용 활성화 정책, 가정에서의 재활용 쓰레기 정책, 그린

Table 6. The results of the regression analysis

Variables*	Unstandardized Coefficients		t	Sig.	Collinearity Statistics	
	B	Std. Error			Tolerance	VIF
(Constant)	38.411	4.380	8.770	.000	-	-
SI**	-.728	.153	-4.760	.000	.887	1.128
UD***	-.024	.011	-2.115	.047	.887	1.128

* Dependent Variable: CO₂ emissions per capita

** SI: Sustainable Cities Seriously Index

*** UD: Urban Density

Note) R²=0.657, F-value=19.127(Sig.=0.000)

빌딩 프로그램 정책 등은 국내에 적용 할 수 있을 것이며, 국내에서도 지속가능한 도시를 위한 정책적 노력에 대한 평가를 위해 본 연구의 결과를 활용할 수 있을 것으로 사료된다. 아울러, 전 지구적 관점에서는 지자체 단위에서의 작은 행동이 자연생태계와 기후변화 완화에 기여할 수 있는 전 지구 CO₂ 배출량을 감소시키는데 도움을 줄 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

인용문헌

References

1. 김병석·문태훈, 2011. “압축도시의 토지이용 특성이 이산화탄소 배출에 미치는 영향”, 「환경정책」, 19(2): 101-115.
Kim, Byung-Suk and Moon, Tae Hoon, 2011, “A Study on the Effects of Land Use Characteristics of Compact City on CO₂ Emission”, *Journal of Environmental Policy and Administration*, 19(2): 101-115.
2. 김병석·문태훈, 2014. “도시공간구조의 특성이 교통 부문 이산화탄소 배출에 미치는 영향에 대한 연구 -시스템다이나믹스 방법을 중심으로-”, 「한국지역 개발학회지」, 26(5): 75-94.
Kim, Byung-Suk and Moon, Tae Hoon, 2014, “A Study on the Effect of Urban Spatial Structure Characteristics on CO₂ Emission from Transport Sector -Using System Dynamics Simulation Method-”, *Journal of The Korean Regional Development Association*, 26(5): 75-94.
3. 유성필·황지욱, 2015. “지역별 도시특성이 이산화탄소 배출에 미치는 영향”, 「국토계획」, 50(2): 197-210.
Yoo, Sung-Phil and Hwang, Jee-Wook, 2015, “Effects of Urban Characteristics on CO₂ Emission by Region”, *Journal of Korea Planning Association*, 50(2): 197-210.
4. 이희연·노승철, 2012. 「고급통계분석론: 이론과 실습」, 고양: 문우사.
Lee, Huiyeon and No, Seungcheol, 2012. *Advanced Statistical Analysis*, Goyang: Moonwoosa.
5. 장명준·신예철·최형선·김태호, 2012. “도시규모를 고려한 탄소배출량과 도시특성요소와의 관계 연구”, 「도시행정학보」, 25(4): 57-87.
Jang, Myungjun, Shin, Yea-Cheol, Choi, Hyoun-Sun and Kim, Taeho, 2012. “The Analysis of Relationship Between Urban Size and CO₂ Emissions Considering Urban Characteristics”, *Journal of The Korean Urban Management Association*, 25(4): 57-87.
6. Alam, M. J., Begum, I. A., Buysse, J., Rahman, S., and Van Huylenbroeck, G., 2011. “Dynamic modeling of causal relationship between energy consumption, CO₂ emissions and economic growth in India”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(6): 3243-3251.
7. Andrade, Carlos Eduardo Sanches de, and Marcio de Almeida D’Agosto, 2016. “The Role of Rail Transit Systems in Reducing Energy and Carbon Dioxide Emissions: The Case of The City of Rio de Janeiro”. *Sustainability*, 8(2): 150.
8. ATPA (the American Public Transportation Association), 2018. *Transit Ridership Report Fourth Quarter 2017*, Washington DC.
9. Barla, P., Miranda-Moreno, L. F., and Lee-Gosselin, M., 2011. “Urban travel CO₂ emissions and land use: A case study for Quebec City”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 16(6): 423-428.
10. CDP (Carbon Disclosure Project) (<https://data.cdp.net/Cities/2016-Citywide-Emissions-Map/iqb-u-zjaj/>), Accessed May 03, 2018.
11. Chen, S. T., Kuo, H. I., and Chen, C. C., 2007. “The relationship between GDP and electricity consumption in 10 Asian countries”, *Energy Policy*, 35(4): 2611-2621.
12. Collins, D., and Zheng, C., 2015. “Managing the Poverty-CO₂ Reductions Paradox: The

- Case of China and the EU", *Organization and Environment*, 28(4): 355-373.
13. Ewing, R. H., and Hamidi, S., 2014. *Measuring Sprawl 2014*, Washington DC: Smart Growth America.
14. Figliozzi, M. A., 2011. "The impacts of congestion on time-definitive urban freight distribution networks CO₂ emission levels: Results from a case study in Portland, Oregon", *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 19(5): 766-778.
15. Gielen, D., and Changhong, C., 2001. "The CO₂ emission reduction benefits of Chinese energy policies and environmental policies: A case study for Shanghai, period 1995-2020", *Ecological Economics*, 39(2): 257-270.
16. Lantz, Van, and Q. Feng., 2006. "Assessing income, population, and technology impacts on CO₂ emissions in Canada: where's the EKC?", *Ecological Economics*, 57(2): 229-238.
17. Li, F., Dong, S., Li, X., Liang, Q., and Yang, W., 2011. "Energy consumption-economic growth relationship and carbon dioxide emissions in China". *Energy Policy*, 39(2): 568-574.
18. Portney, Kent E., 2005. "Civic engagement and sustainable cities in the United States". *Public Administration Review*, 65(5): 579-591.
19. Portney, Kent E., 2013a. "Local Sustainability Policies and Programs As Economic Development: Is the New Economic Development Sustainable Development?", *Cityscape*, 15(1): 45-62.
20. Portney, Kent E., 2013b. *Taking Sustainable cities seriously: economic development, the environment, and quality of life in American cities. 2nd ed.*, Cambridge, MA: MIT Press
21. Portney, Kent E., and Garrett Thomas Sansom, 2017. "Sustainable cities and healthy cities: are they the same?". *Urban Planning*, 2(3): 45-55.
22. Riahi K., and Roehrl R. A., 2000. "Greenhouse gas emissions in a dynamics-as-usual scenario of economic and energy development", *Technological Forecasting and Social Change*, 63(2-3): 175-205.
23. Selvakumaran, S., and Limmeechokchai, B., 2015. "Low carbon society scenario analysis of transport sector of an emerging economy—The AIM/Enduse modelling approach". *Energy Policy*, 81: 199-214.
24. Sharp, J. D., Jaccard, M. K., and Keith, D. W., 2009. "Anticipating public attitudes toward underground CO₂ storage". *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 3(5): 641-651.
25. Tiwari, R., Cervero, R., and Schipper, L., 2011. "Driving CO₂ reduction by Integrating Transport and Urban Design strategies". *Cities*, 28(5): 394-405.
26. U.S. Census (<https://www.census.gov/en.html/>) Accessed May 03, 2018.
27. Wei, Y. M., Liu, L. C., Fan, Y., and Wu, G., 2007. "The impact of lifestyle on energy use and CO₂ emission: An empirical analysis of China's residents". *Energy Policy*, 35(1): 247-257.
28. Yang, J., Zou, L., Lin, T., Wu, Y., and Wang, H., 2014. "Public willingness to pay for CO₂ mitigation and the determinants under climate change: A case study of Suzhou, China". *Journal of Environmental Management*, 146: 1-8.
29. Nordhaus, William D., 1993. "Optimal greenhouse-gas reductions and tax policy in the" DICE" model", *The American Economic Review*, 83.2: 313-317.
30. Ponce de Leon Barido, Diego, and Julian D. Marshall, 2014. "Relationship between urbanization and CO₂ emissions depends on income level and policy", *Environmental science & technology*, 48(7): 3632-3639.

Date Received 2018-07-17
Reviewed(1st) 2018-08-26
Date Revised 2018-09-27
Reviewed(2nd) 2018-10-15
Date Accepted 2018-10-15
Final Received 2018-10-22

지방정부의 지속가능도시를 위한 정책적 노력이 도시 내 CO₂ 배출량에 미치는 영향

부록

Table A1. Status of sustainable policies application by city.

City name	Sustainable Policies*																																						SUM		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	(SI)		
Atlanta	O	O	O	X	O	X	O	O	O	X	O	X	X	O	O	O	X	O	X	X	X	X	O	X	O	O	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	25	
Austin	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	X	O	O	O	O	O	X	O	X	X	X	X	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	29	
Baltimore	O	O	O	X	X	O	O	O	O	O	O	X	X	O	O	O	O	O	O	X	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	31	
Boston	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	34	
Chicago	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	X	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	33	
Columbus	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	X	O	O	O	X	O	O	X	X	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	32
Dallas	O	O	O	X	X	O	O	O	O	X	O	X	X	O	O	O	O	O	O	O	X	X	X	X	X	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	28
Denver	O	O	O	X	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	33
Houston	X	X	X	X	O	O	O	O	X	O	O	X	O	X	O	O	X	O	O	O	X	X	O	X	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	X	O	O	X	X	23	
Indianapolis	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	X	X	X	X	X	X	O	O	O	O	X	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	X	27
Los Angeles	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	33
Minneapolis	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	X	O	O	X	X	X	O	X	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	31
Nashville-Davidson	O	O	O	X	O	O	X	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	X	X	X	X	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	29
New York City	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	34
Oakland	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	X	X	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	32
Philadelphia	O	O	O	X	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	X	X	O	O	O	O	O	O	O	31
Pittsburgh	O	O	O	X	O	X	O	X	O	X	O	O	X	X	O	O	X	X	O	X	X	X	X	O	X	O	O	O	O	O	O	X	X	X	O	O	O	O	X	X	21
Portland	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	36
San Antonio	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	X	X	O	O	O	O	O	O	O	X	X	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	32
San Diego	O	O	O	X	X	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	X	O	X	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	31
San Francisco	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	37
Seattle	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	O	36	
St. Louis	O	O	O	X	O	X	X	X	X	X	X	X	X	O	O	X	O	X	X	X	X	X	X	O	X	O	X	X	O	X	X	X	X	O	O	O	O	O	O	O	19
Tucson	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	X	O	X	O	O	O	O	X	X	O	X	O	O	O	O	X	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	31
New Orleans	X	X	X	O	X	O	O	O	O	O	O	X	X	O	O	O	X	O	O	X	O	X	O	O	O	O	O	X	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	28
SUM	23	23	23	11	21	19	23	22	22	18	23	15	13	22	25	25	13	23	19	14	9	10	18	14	22	25	15	22	23	22	19	20	24	24	25	23	23	21			

* 1. Indicators projects active in last five years, 2. Indicators progress report in last five years, 3. Does indicators project include "action plan" of policies/programs?, 4. Eco-industrial park development, 5. Cluster of targeted economic development, 6. Ecovillage project or program, 7. Brownfield redevelopment (project or pilot project), 8. Comprehensive land use plan that includes environmental issues, 9. Zoning used to delineate environmentally sensitive growth areas, 10. Tax or fee incentives for environmentally friendly development, 11. Operation or sponsorship of public transit (buses and/or trains), 12. Limits on downtown parking spaces, 13. Car pool lanes or high occupancy vehicle (HOV or diamond) lanes on city streets, 14. Alternatively fueled city vehicle (green fleet) program, 15. Bicycle ridership or bicycle sharing program, 16. Household solid waste recycling, 17. Industrial recycling, 18. Hazardous waste recycling, 19. Air pollution reduction program (i.e., VOC reduction) climate action plan, 20. Recycled product purchasing or preferred procurement by city government, 21. Superfund or other hazardous waste site (other than brownfields) remediation initiative, 22. Asbestos abatement with assistance to building owners, 23. Lead paint abatement with assistance available to building owners, 24. Pesticide reduction program, 25. Urban garden/sustainable food system or agriculture program, 26. Green building program, 27. Green affordable/low-income housing program, 28. Renewable energy use by city government, 29. Energy conservation effort (other than green building program), 30. Alternative energy offered to consumers (solar, wind, biogas, etc.), 31. Water conservation or protection program, 32. Single government office of official, or nonprofit agency, responsible for implementing sustainability programs, 33. Sustainability an explicit part of a citywide comprehensive/general plan, 34. Involvement of city council, 35. Involvement of mayor or chief executive officer, 36. Involvement of metropolitan or county-wide planning council, 37. Involvement of the business community (eg, Chamber of Commerce, sustainable business organization), 38. General public involvement (public hearings, visioning process, neighborhood groups or associations, etc.)