

도시 유형별 도시특성요소와 온실가스 배출량 간의 관계 분석

이건원

호서대학교 건축토목환경공학부

Analysis of the Relationship between Urban Characteristic Elements by Type of City and GHG Emissions

Gunwon Lee

Division of Architecture, Civil & Environmental Engineering, Hoseo University

요약 본 연구는 전국 도시를 도시특성에 따라 유형화하고, 유형별 대표 도시를 선정하여 도시 유형별 도시특성 요소와 탄소 배출량, 에너지 소비량 간의 상관관계를 도출하는 것을 목적으로 한다. 본 연구에서는 도시 유형화를 위해 우선적으로 도시의 특성을 나타내는 도시특성요소들을 도출하였다. 이를 위해 우선적으로 문헌고찰을 실시하였다. 다음으로 이러한 도시 특성요소들 중에서 변수를 축소하기 위해 요인분석을 실시하였고, 분석 결과 도출된 계수의 절대값을 기준으로 하였다. 이 변수들을 이용하여 전국의 도시들을 유형화하였으며, 각 유형별 특성을 비교하기 위해 유형별 대표도시를 선정하였다. 유형별 도시 특성과 온실가스-에너지 사용량 간의 관계를 분석하기 위해 온실가스 배출량, 전력 사용량, 석유 사용량을 기준으로 각 유형별 대표도시와 비교, 분석을 진행하기 위해 상관분석을 실시했다. 그 결과 유사한 배출량과 소비량을 보이더라도 유형별 대표도시의 특성요소에 따라 원인이 상이할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 본 연구의 결과는 기존의 온실가스와 도시특성 요소 간의 관계를 밝힘에 있어서, 우선적으로 도시 유형화를 실시할 필요가 있고, 그에 따라 상이한 결과가 도출될 수 있다는 점을 밝혀냈다는 점에서 의의를 지닌다.

Abstract This study classified cities across South Korea according to their urban characteristics, selecting representative cities for respective types, and drawing a relationship among urban characteristic elements, carbon emissions, and the energy consumption of cities. For the classification of cities, the elements of the urban characteristics were examined through a review of the related literature. Factor analysis was then carried out to select the variables from among these elements. The absolute coefficient value found in the analysis was set as a standard. A classification of cities across the country was performed using these variables, and representative cities were chosen for a comparison of the characteristics of each type. For an analysis of the relationships among the urban characteristics according to the type of city, the greenhouse gases, and the energy consumption of cities, emissions of greenhouse gases, electricity consumption, and oil consumption of the representative cities were compared and analyzed by correlation analysis. The analysis results indicated that the cause of greenhouse gas emissions and electricity consumption varies according to the elements of the characteristics of the representative cities, even when they show similar emissions and consumption.

Keywords : Energy Consumption, GHG(Greenhouse Gas), Urban Characteristics, Factor analysis, Cluster analysis

1. 서론

정부는 2009년 코펜하겐 총회에서 온실가스 배출량을 2020년 BAU(Business As Usual) 대비 30% 감축 목표를 발표하고 감축을 위해 노력을 기울였다. 하지만 오

1.1 연구의 배경 및 목적

본 논문은 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비지원(과제번호 17CTAP-C133102-01)에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Gunwon Lee(Hoseo Univ.)

Tel: +82-41-540-5785 email: gwlee@hoseo.edu

Received September 25, 2017

Revised November 2, 2017

Accepted November 3, 2017

Published November 30, 2017

히려 2015년 발간된 2015 국가 온실가스 인벤토리 보고서[1]에 따르면 그 배출량은 계속 증가하고 있는 실정이다. 특히, 2016년 발표된 새로운 온실가스 감축 목표치에서 산업 부문의 온실가스 감축률을 2020년 로드맵의 감축률 18.5% 보다 후퇴한 12%로 크게 낮췄다. 이에 따라 산업부문의 부담은 크게 줄고 가정과 상업 등 시민들의 생활과 밀접한 관련이 있는 타 부문이 산업부문의 배출량 감축분을 떠안게 되었다.[2]

이에 따라 도시민들의 생활과 밀접하게 관련이 있는 도시공간에서 각 도시별 특성에 맞는 새로운 감축방안 마련이 필요하게 되었다. 실제로, 도시는 다양한 도시특성요소로 구성되어 있다. 그러므로 각기 다른 특성을 갖는 도시들의 탄소배출량을 효과적으로 감축하기 위해서 도시의 특성에 따른 차별화된 계획이 필요하다.

이러한 배경에서 탄소 배출량 저감을 목적으로 도시 특성에 따라 도시를 유형화하는 연구가 최근 이루어지고 있다. 하지만 이들 연구들은 도시특성과 탄소 배출량, 에너지 소비량 간의 관계를 종합적으로 분석하기 보다는 통계 데이터 구득의 어려움으로 다양한 분야에 대한 특성분석 보다는 교통부문에 초점을 맞추고 있다. 즉, 이들은 교통 외의 도시계획요소들에 대해서는 충분히 다루고 있지 못하고 있는 것이다.

이러한 한계점을 극복하기 위해서 본 연구는 전국 도시를 그 특성에 따라 유형화하고 유형별 대표도시를 선정하여 도시 유형별 도시특성요소와 탄소 배출량, 에너지 소비량 간의 상관관계도출을 목적으로 한다. 방안을 위한 기초데이터 도출을 목적으로 한다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 도시 특성별 분석을 위해 도시 유형화를 진행했으며, 이를 위해 도시를 구성하는 도시특성요소에 대한 변수를 선정했다.

이를 바탕으로 요인분석(Factor Analysis)과 군집분석(Cluster Analysis)을 실시하였다. 변수는 국가통계포털에서 제공하는 자료와 한국전력공사, 한국석유공사의 내부자료를 바탕으로 이루어졌으며 시간적 범위는 2015년이다. 공간적 범위는 전국 시군구를 대상으로 하고 있으며 세부적으로는 232개 도시를 대상으로 진행하였다. 그러나 도시를 유형화하는 과정에서 군 단위의 도시가 하나의 군집으로 묶이고, 파편화되어 군집에 포함되지 않는 도시가 발생함에 따라 군을 제외한 특별시와 시급도

시 144개 도시를 대상으로 범위를 수정하여 재유형화를 진행하였다.

군집 별 도시특성을 분석하고 도시 유형별 특성 요소와 탄소배출량, 에너지 소비량 간의 관계를 비교, 분석하기 위해 대표도시를 선정했다. 또한 변수 간 상관관계를 분석하기 위해 상관분석을 진행했다. 이상의 본 연구과정을 도식화하면 그림1과 같다.

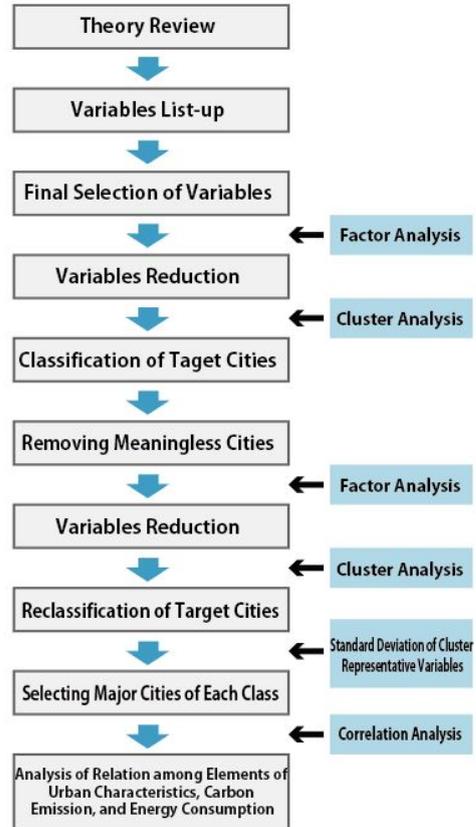


Fig. 1. Research Process

2. 선행연구 및 연구방법 고찰

2.1 관련 선행연구

도시 내 온실가스 저감을 목적으로 도시 유형화, 도시 구성요소와 에너지 소비량, 온실가스의 관계에 대한 선행연구가 지속적으로 진행되어 왔다. Nam et al.(2010)[3]은 시급 도시를 대상으로 도시특성 요소와 에너지소비량 간의 관계를 분석하고 4가지 요인을 중심으로 도시 유형

별 에너지 소비 특성을 살펴보았다. 그러나 유형별 에너지 소비 특성에 어떠한 도시 요소가 영향을 미쳤는지에 대한 분석은 이루어지지 않는 등 한계를 보였다. Song & Jang(2010)[4] 수도권 도시를 중심으로 군집분석을 진행하여 도시를 유형화 했으며, Oh et al.(2012)[5]은 요인분석과 군집분석을 통해 서남부 준공업지역에 대한 유형화를 진행한 후 유형별 관리방안을 제시하였다. Ahn(2000)[6]은 중소도시를 대상으로 회귀분석을 이용하여 도시 형태적 특성에 따른 교통부문의 에너지소량 변화를 살펴보았다. Lee & Oh(2013)[7]은 서울시를 중심으로 내부 공간적 특성을 계량화하여 에너지 효율 간의 상관관계 분석을 진행하였다. 이외의 다양한 연구들에서 활용한 도시 유형화 방법을 정리하면 아래 표1과 같다.

선행연구 분석 결과, 도시의 유형화 연구, 도시 특성 요소와 온실가스 배출량, 에너지 소비량 간의 관계를 분석한 연구는 각각 활발하게 이루어지고 있었지만, 도시 유형별 특성요소와 온실가스 배출량, 에너지 소비량 간의 상관관계를 분석한 연구는 부족한 것으로 판단된다.

Table 1. Method of Analyzing Advance Research

Method	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
K. Nam et al. (2010)	○	○	○				
M. Song & H. Jang (2010)	○	○					
K. Oh et al. (2012)	○	○					
G. Ahn (2005)							○
S. Lee & K. Oh (2013)						○	
J. Jung et al. (2010)[8]	○						
J. Cho (2010)[9]	○				○		
I. Kim et al. (2011)[10]							○
M. Seo & S. Kim (2011)[11]						○	○
Y. Choi et al. (2007)[12]				○			
K. Oh & J. Hong (2005)[13]						○	○
J. Jo et al. (2010)[14]							

①Cluster Analysis, ②Factor Analysis, ③Variance Analysis, ④ Panel Model, ⑤AHP Analysis, ⑥Correlation Analysis, ⑦ Regression Analysis

따라서 본 연구는 각기 상이한 특성을 보이는 도시에 대한 보다 정확한 분석을 위하여 도시 유형화를 진행하였다. 유형화 방법으로 다수의 연구들에서 채택하고 있는 군집분석을 선정하였으며, 군집분석과 연계하여 사용하고 있는 요인분석을 추가로 선정하였다. 특히, 많은 도시 특성변수들을 효과적으로 압축하기 위해서도 요인분석을 채택하였다. 또한 유형별 도시 특성요소와 온실가스 배출량-에너지 소비량 간의 관계를 분석하기 위해서

상관관계를 검토함으로써 유형별, 도시특성별 도시개발 방향을 제시했다.

3. 도시 유형화 및 대표도시 선정

3.1 도시 유형화

3.1.1 도시 특성지표 개발

도시 특성지표를 선정하기 위해 키워드를 세분화하여 선행연구의 변수를 분석하였다.

1차적으로 선행 연구에서 이용된 변수와 지표를 정리하여 31개 항목, 168개 변수를 도출하였다. 2차적으로 전문가 자문을 바탕으로 물리적 항목을 중심으로 변수를 추가 및 제거하여 6개의 항목 45개 변수를 최종 선정하였다. 전문가 자문은 10명의 도시계획 및 도시설계분야의 전문가에 대해서 서면으로 시행했으며, 2017년 6월 5일부터 30일까지의 기간 동안 서면으로 변수의 의미가 중복되거나 그 의미가 모호한 경우, 연구의 방향성과 어긋나는 변수를 제외하고 연구에 활용할 수 있는 변수를 자유롭게 선정하는 자유기입방식으로 진행하였다. 이에 최종적으로 선정된 45개 변수들은 아래 표2와 같다.

3.1.2 유형분류 및 유형별 특성 분석

군집분석을 통한 도시 유형화를 진행하기 앞서 6개 항목, 45개 변수들 간의 상관관계를 분석하고 변수를 축약하는 한편, 축약된 변수들의 요인점수(Factor Score)를 추출하여 군집분석에 활용하기 위해 요인분석을 실시하였다.

요인분석의 설명력을 높이기 위해 개수출력 절대 값을 0.5로 설정하였으며, 주성분 분석을 통한 요인추출 고유 값 기준은 1이다. 요인분석의 회전의 분석법으로는 직교회전인 베리맥스(Varimax) 회전을 이용했으며, 요인분석 결과 12개의 축약된 성분이 도출되었다. 모델추출 적재 값은 81.382%이었다. 사실 관련 연구들에서 직교회전이 다수 사용되고 있으나 직교회전은 요인들 간의 상관관계를 전제하지 않은 분석 방법이며, 사교회전은 요인들 간에 관계가 있을 수 있다는 가정 하에 분석하는 방법이다. 연구의 특성상 사교회전이 적절할 것으로 사료되나 기존 연구들에서 모두 직교회전을 채택한 이유로 본 연구에서도 직교회전 방식을 채택하였다.

요인분석을 통해 축약된 12개의 변수들을 바탕으로

도시 특성요소가 유사한 도시들 간의 군집을 묶어주기 위해 군집분석을 진행하였다.

Table 2. City Trait Index

Item	Variance
Population	Total population
	Density
	Number of households
	Economically active population
	Rate of elders
	Rate of daytime population
	Pure rate of moving
Energy	Petroleum
	Electric power
	Electric power (Industrial)
	Use of electric power (Home, Public, Services)
Emission of GHG	CO2 eq (ton)
Economy	Local tax
	Financial independence rate
	City budget
	Total establishments
	Employment density
	Establishments (over 300 workers)
	Financial and insurance business
	Proportion of 1st industry
	Proportion of 2nd industry
	Proportion of 3rd industry
	Commercial activeness index
Land use	Area of administrative district
	Residential area / ratio
	Commercial area / ratio
	Green area / ratio
	Industrial area / ratio
	Urban area
	Park area
	Natural type park area
	Urban type park area
	Number of houses
	Rate of housing supply
	Agricultural land
	Main arterial
	Minor Arterial
	Local distribution road
	Minor road
	Rate of parking lots
	Total area / ratio of permission of residential buildings
	Total area / ratio of permission of commercial buildings
	Total area / ratio of permission of industrial buildings
Transportation	Number of registered cars
	Number of registered public transportation

유의한 군집 형태를 도출하기 위해 대다수의 관련 연구들이 채택하는 Ward법에 의해 분석을 실시하였다. 군집분석을 통해 도출된 덴드로그램 통해 적정한 군집 수를 찾기를 위해 다양한 거리를 바탕으로 Case 도출을 시

도했으나 군 단위의 도시가 하나의 군집으로 묶이는 특성이 나타났으며 과편화되어 군집에 포함되지 않는 도시가 발생하는 등 설명력이 낮아지는 결과가 발생하였다. 따라서 군 단위 도시를 제외한 광역시, 특별시와 시급 도시를 중심으로 재유형화를 결정하였으며, 광역시와 특별시의 경우 시급 도시와 규모면에서 차이가 크기 때문에 자치구 단위로 유형화를 진행하였다.

최종 분석의 범위를 군 단위 제외 144개 도시로 축약하여 요인분석을 실시한 결과, 군 단위 도시를 제거한 후 진행한 요인분석의 결과 10개의 축약된 성분이 도출되었으며, 적재 값 82.801%로 232개 도시를 대상으로 분석을 실시했을 때보다 유의한 값이 도출되었다. 요인분석을 통해 도출된 요인점수와 10개의 변수를 바탕으로 계층적 군집분석을 진행하였다. 군집분석은 계층적 군집분석(Hierarchical Clustering)과 비계층적 군집분석(Nonhierarchical Clustering)으로 구분이 가능한데, 두 방법 간 가장 큰 차이는 사전에 군집의 수를 결정하느냐이다. 실제로 본 연구는 탐색적인 연구로 사전에 국내 도시들에 대해서 본 연구의 관점에서 군집을 나누었던 연구가 없었으므로 사전에 군집수를 정하고 이를 확인하는 확인적인 방법인 비계층적 군집분석의 활용이 곤란했다. 그러므로 본 연구에서는 사전에 군집수를 결정하지 않고 탐색적으로 그 군집의 수를 분석 결과를 이용하여 결정하는 계층적 군집분석을 실시하였다.

본 연구에서 144개 도시의 유의한 군집 수를 결정하기 위해 군집분석 결과로 도출된 덴드로그램의 거리를 서로 다르게 하여 4개의 Case를 도출하였다. Case 별 군집화 분석 결과 Case 1에서 과편화된 도시가 발생하지 않고 군집 별 설명력이 가장 높다고 판단하여 Case 1의 7개 군집으로 군집 수를 결정하였다. 이상의 내용을 정리하면 아래 표3-5와 같다.

Table 3. Value of Factor Analysis

	Model Abstract Factor Loading	Number of Factor Rotation
1st	81.382%	42
2nd	82.801%	23

Table 4. Setting of Cluster Analysis

		Setting	
Method	Method of Clustering	WARD Method	
	Measurement	Equal Interval - Square Euclidian Distance	

Table 5. Cluster Case of Each Distance

Case	Distance	Number of Cluster
1	10	7
2	9	8
3	7	11
4	4	14

3.1.3 변수 특성 분석

요인분석의 결과로 도출된 요인적재값(Factor Loading)을 바탕으로 성분 특성을 규정하는 변수를 도출하였고 그 결과는 아래 표6과 같다.

Table 6. Result of Variance Deduction

Component	Variance
1	Urban residential activation
2	Urban economy activation
3	Industry
4	City - Agriculture integration
5	Commercial vitality
6	Urban stability
7	Housing oriented development
8	Manufacture
9	Commercial
10	Attractive Old CBD

요인 1은 가구 수, 인구 수, 주택 수가 많으며 차량등록대수가 많은 특징이 도시 주거 활성화와 관련성이 높았다. 요인 2는 삼백인 이상 사업체, 지방세, 경제활동인구에서 가장 높은 적재값이 나타났으며, 요인 3은 석유, Co2eq 등 전체적으로 에너지 사용량과 관계있는 변수가 나타났다. 석유, Co2eq의 경우 산업, 공업에서 차지하는 부분이 많아서 요인 3과 같은 결과가 도출된 것으로 예

상된다. 요인 4는 녹지지역비율이 낮은 것이 특징이며 행정구역 면적, 농경지 같이 도농 통합 도시와 관련성이 높았다. 요인 5는 상업, 3차 산업의 비중이 높고 2차 산업 비중은 음(-)의 성향이 나타났다. 서비스업이 발달한 도시 특징을 보이고 있었다. 요인 6은 노령인구와 고용밀도가 높으며 오래된 도시지만 쇠퇴하지 않은 경우에 해당하는 도시 특성을 보이고 있다. 요인 7은 주거허가 면적·비율, 순 이동률이 높으며 상업에서 음(-)의 성향을 나타내며 주거지 중심 개발 지역의 성격을 보였다. 요인 8는 공업허가 면적 특성이 강하며, 요인 9는 상업지역비율과 인구밀도가 높았다. 요인 10은 1차 산업 비중이 낮으며, 순 이동률이 높고 주택 보급률에서 음(-)의 성향을 보이며 안정된 구도시의 성격을 보이고 있다.

3.1.4 유형별 대표도시 선정 및 특성분석

각 군집의 특성을 비교하기 위해 군집별 대표도시 선정을 진행하였다. 대표도시는 10개 변수의 요인점수를 바탕으로 군집별 표준편차를 계산하여 선정하였으며, 표준편차 값 오차 범위에 있는 도시를 군집별로 1-4곳을 선정하였다. 그 선정결과는 아래 표7, 표8과 같다. 대표도시 선정 결과를 살펴보면, 군집 1은 인천광역시 연수구와 서울특별시 성북구로 상업 활력 변수와 도시주거활성화 변수가 높아 근린 상업과 주거 중심 지역인 것을 알 수 있었다. 군집 2의 대표도시는 서울특별시 종로구로 도시경제 활성화변수, 상업 중심 관련 변수, 매력적인 오래된 CBD 관련 변수가 (+)요인으로 나타나 도심 상업 중심 지역의 특성이 나타났다. 군집 3은 경상북도 상주시와 강원도 강릉시로 도·농 통합 도시 관련 변수가 높아 도시와 농촌이 통합된 구 도시지역의 성격을 보이고 있

Table 7. Representative City of each Cluster

Cluster	Representative City			
	1	2	3	4
1	Incheon (yeonsu-gu)	Seoul (Seongbuk-gu)	-	-
2	Seoul (Jongro-gu)	-	-	-
3	Gyeongsangbuk-do (Sangju)	Gangwon-do (Wonju-si)	-	-
4	Gyeonggi-do (Seongnam-si)	Gyeonggi-do (Suwon-si)	Gyeonggi-do (Yongin-si)	-
5	Gwangju (Gwangsan-gu)	Gyeonggi-do (Hwaseong-si)	Gyeonggi-do (Ansan-si)	Chungcheongbuk-do (Asan-si)
6	Jeollanam-do (Gwangyang-si)	-	-	-
7	Gyeongsangnam-do (Changwon-si)	-	-	-

Table 8. Score of Variances of each Representative Cities

Representative City	Variance									
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩
Yeonsu-gu, Seongbuk-gu	-0.188	-0.300	-0.289	-0.836	0.813	-0.389	-0.319	-0.697	-0.102	0.521
Jongro-gu	-0.395	2.099	-0.21	-0.284	0.794	-1.109	-0.480	-1.368	2.634	-0.852
Sangju-si, Gangreung-si	-0.819	-0.794	-0.668	2.292	-0.157	0.837	-0.342	-0.544	-0.855	-0.845
Seongnam-si, Suwon-si, Yongin-si	2.792	1.099	-0.285	-0.710	0.469	-0.888	-0.796	1.093	0.227	0.461
Gwangsan-gu, Hwaseong-si, Ansan-si, Asan-si	0.193	-0.302	0.226	-0.684	-1.087	-0.075	-0.798	0.284	-0.526	1.611
Gwangyang-si	-0.729	-0.681	3.080	0.622	-0.778	1.783	-0.329	1.699	0.081	0.428
Changwon-si	4.084	1.252	0.197	0.313	-1.548	7.499	-0.031	3.783	0.615	-3.260

①Urban residential activation, ②Urban economy activation, ③Industry, ④City integration, ⑤Commercial vitality, ⑥Urban stability, ⑦Housing oriented development, ⑧Manufacture, ⑨Commercial, ⑩Attractive Housing

다. 군집 4는 경기도 성남시, 수원시, 용인시로 주거, 경제 관련 변수가 (+)요인으로 나타나 수도권의 대규모 주거-상업 지역의 특성을 나타내고 있었다. 군집 5는 광주광역시 광산구, 경기도 화성시, 안산시, 충청북도 아산시로 주거 중심으로 개발되었지만 산업이 발달된 지역으로 산업 관련변수와 도시주거활성화 변수 주거 중심개발 지역 변수 등이 (+)요인으로 나타났다. 군집 6의 대표도시는 전라남도 광양시로 산업, 공업 중심의 구 도시 특성을 나타내고 있었으며, 군집 7의 경상남도 통합 창원시의 경우도 유사한 성격을 나타내고 있었으나 창원, 마산, 진해시의 통합으로부터 영향을 받아 별도의 독특한 군집으로 분류된 것으로 생각되었다.

4. 결과분석

본 연구에서는 유형별 도시 특성과 온실가스-에너지 사용량 간의 관계를 분석하기 위해 온실가스 배출량, 전력 사용량, 석유 사용량을 기준으로 군집 별 대표도시와 비교, 분석을 진행하였으며, 유의한 비교를 위해 수치를 총량과 인구수 대비 사용량으로 분류하였다. 군집 별 비교를 위하여 표준편차 기준 대표도시 1을 대상으로 분석을 실시하였다. 각 군집별 대표도시 이외에 해당하는 도시들의 목록은 부록으로 정리하였다. 각 군집별 대표도시와 비교 결과를 그래프로 정리하면 아래 그림 2-7과 같다.

4.1 도시특성요소와 온실가스 배출량 · 관계분석

도시 특성요소와 온실가스 배출량 간의 관계를 분석하면 가정-상업 부문, 그리고 가정-산업 부문으로 분류된다. 가정 부문은 상관분석 시 상업과 산업과 모두 관련성이 높은 것으로 나타나는 반면 산업 부문과 상업 부문은

상호 관련성이 낮은 모습을 보이고 있다.

가정과 상업 간의 관련성이 높게 나타난 변수의 경우 휘발유 사용량과 상관 정도가 높은 것으로 나타나는 것을 확인할 수 있다. 도시 주거 활성화 변수는 요인분석 결과 인구수, 가구수, 주거지면적, 차량등록대수 등에서 높은 요인점수를 받았는데, Federation of Candian Municipalities에서 발표한 온실가스 배출원을 유발하는 활동에 의하면 휘발유는 자동차, 외부설비 등에서 온실가스 배출을 유발 시키며 가정부문과 높은 관계를 보이고 있다고 밝히고 있다. 요소별 특성을 분석하면 주거지역 면적이 넓어지면 가정 부문과 차량부문의 휘발유 소비량이 증가하여 온실가스 배출량과 상관관계를 갖는 것으로 판단된다.

가정에서 배출된 온실가스 배출량은 다수의 지역에서는 수송 부문의 온실가스 배출량과 유사한 수치를 보이고 있다. 가정과 수송의 온실가스 배출량 간 높은 관계가 있는 것을 확인할 수 있으며, 가정(인구)-휘발유-수송 간의 관계 분석을 통해 연관성을 유추할 수 있다. 그러나 연수구, 광양시, 통합창원시의 경우 수송 부문에서 상이한 특성을 보이고 있는데, 연수구는 수송부문의 온실가스 배출량과 가장 높은 상관관계를 보이는 도시 주거 활성화 변수의 영향으로 분석된다. 광양시와 통합창원시는 과거 70년대 공단 육성을 목적으로 개발된 공업 도시로 주거, 수송, 산업과 관련성이 높은 공업 중심관련 변수 영향으로 상대적으로 높은 수치를 보이는 것으로 판단된다. 이러한 점에서 수송 부문의 온실가스 배출량이 높은 동일한 현상에 대해 도시의 특성요소에 따라 영향을 미치는 변수가 다를 수 있다는 것을 확인 할 수 있었다.

상주시는 인구수 대비 주거와 수송의 온실가스 배출량에서 상대적으로 높은 수치를 보이고 있다. 도시특성으로 가정, 상업, 수송 부문의 온실가스 배출량과 높은 관련성을 보이고 있었다.

서울시 종로구는 상업·공공 부문의 온실가스 배출량에서 상대적으로 높은 모습을 보이고 있는데, 이는 상관관계에 있는 도시 경제 활성화 변수에 대해 양의 관계에 있기 때문인 것으로 해석된다. 또한 상업 부문의 전력 사용량이 상대적으로 높은 것을 확인 할 수 있었다. 상관분석의 결과 상업 관련 변수의 온실가스 배출량과 상업 부문의 전력 사용량 간에 높은 유의도와 관련성을 확인할 수 있었으며, 다른 변수 또한 전체적으로 같은 경향을 보이고 있었다. 2008년 한국도시통계에 의하면 서비스업을 비롯한 상업시설의 경우 용도별 전력사용량 중 30%를 차지하는 것으로 나타나 있다. 전기의 경우 조명, 가정설비, 실내난방, 기계 및 도구 등에서 주로 이용되며 온실가스 배출원을 유발하고 있었다. 이를 통하여 상업 부문의 온실가스 배출량의 경우 전력 사용량과의 관련성이 높은 것을 확인 할 수 있었다.

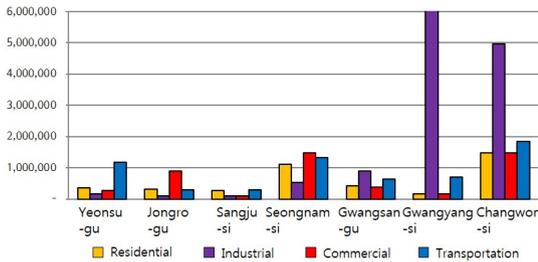


Fig. 2. Emission of GHG

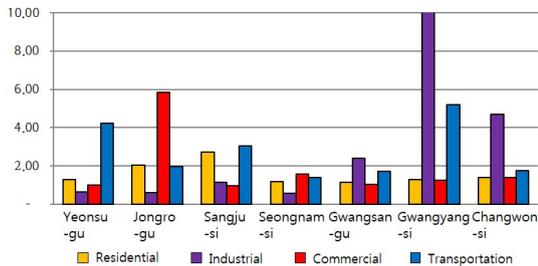


Fig. 3. Emission of GHG per Population

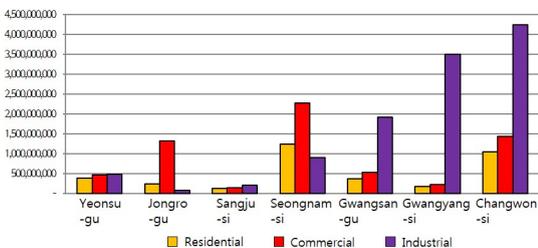


Fig. 4. Use of Petroleum

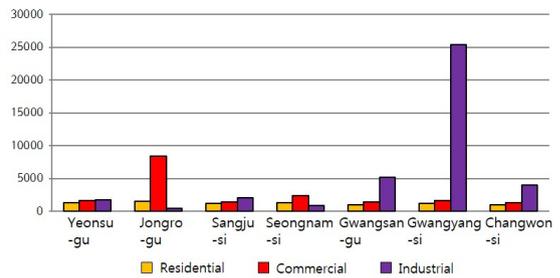


Fig. 5. Use of Petroleum per Population

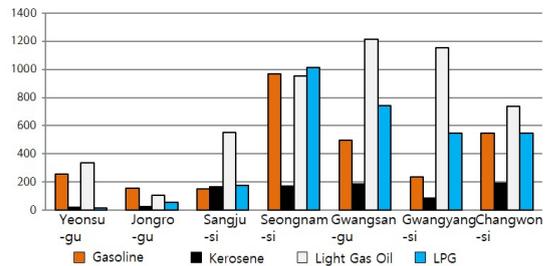


Fig. 6. Use of Electricity

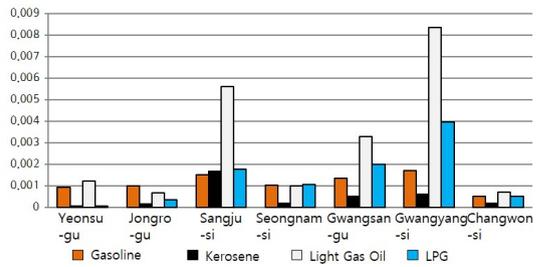


Fig. 7. Use of Electricity per Population

4.2 도시 특성요소와 에너지 소비량 관계분석

전라남도 광양시, 경상남도 통합창원시 같이 산업 관련 변수, 공업 중심 관련 변수를 특성으로 하는 대표도시에서 상대적으로 많은 온실가스 배출량과 에너지 사용량을 나타내고 있었다. 광양시의 전력과 석유 사용량의 총량 부문에서 성남시와 통합창원시와 크게 차이가 없거나 적었지만, 온실가스 배출량에서는 큰 차이를 보이는 것을 통해 도시의 온실가스 배출량과 에너지 소비량에는 주거보다 산업과 공업에서 미치는 영향이 더 크다는 것을 확인할 수 있었다.

도시 주거 활성화 변수가 높고 인구수가 많은 성남시와 통합창원시에서 주택 전력 사용량이 상대적으로 높게 나타났으며, 통합창원시는 성남시와 비교하여 산업용 전력에서 높은 수치를 보이고 있는데 이는 공업 중심 관련

변수와 관련성을 찾을 수 있다. 성남시는 도시 주거 활성화 변수, 도시 경제 활성화 변수와 양의 상관관계를 보이는 반면, 산업 부문은 상대적으로 낮은 수치를 보이며 산업과 관련성이 높은 전력과 등유 부분 또한 낮은 소비의 특성을 보이고 있다. 주목할 점은 에너지 소비 총량에서 상대적으로 높은 수치를 나타내고 있지만, 인구수 대비 에너지 사용량의 경우 큰 폭으로 감소하는 모습을 보이며 인구와 온실가스 배출량, 에너지 소비량 간의 높은 상관관계가 있음을 확인할 수 있었다.

광양시, 광산구, 상주시는 경유 사용량에서 동일하게 높은 수치를 보이는 반면, 상주시는 산업 부문의 전력 사용량에서 상대적으로 낮은 수치를 보이고 있다. 상주시는 산업과의 관련성이 낮은 반면, 광양시와 광산구는 산업용 전력, 경유 사용량과 상관관계가 높은 산업 관련 변수의 영향을 받아 상대적으로 높은 것으로 분석된다.

경유는 매력적인 오래된 CBD 관련 변수, 산업·공업 관련 변수와 높은 상관관계를 보이고 있으며, 통합창원시, 상주시, 광양시, 광산구의 상대적으로 높은 경유 사용량을 설명할 수 있으며, 성남시의 경우 도시 주거 활성화 변수의 영향으로 높은 소비 경향을 보이는 것으로 분석된다. 성남시와 통합창원시는 상대적으로 많은 인구수 때문에 총 전력, 석유 사용량이 높은 수치를 보이고 있으나 인구수 대비 소비량에서는 상주시, 광양시, 광산구에 비해 낮은 수치를 보임에 따라 인구수가 에너지소비 총량에 미치는 영향이 상당하며 휘발유가 가장 많은 영향을 받는 것을 알 수 있다.

반면, 등유는 인구수 대비 사용량에서 전반적으로 낮은 수치를 보이지만, 상주시에서 상대적으로 높은 수치를 나타내고 있다. 등유의 주요 용도는 난방으로 도시가스를 주용 난방 수단으로 이용하는 도시지역 보다는 비도시지역에서 주로 이용되고 있다. 상주시의 높은 등유 소비량은 도·농 통합 도시 관련 변수의 영향으로 그러한 수치를 보이는 것으로 사료된다.

5. 결론

이상의 연구결과를 바탕으로 시사점을 정리하자면 다음과 같다. 먼저, 유사한 배출량과 소비량을 보이더라도 군집별 대표도시의 특성요소에 따라 원인이 상이할 수 있다는 것을 알 수 있었다. 반면 상업 부문 온실가스 배출량, 일반 전력, 휘발유 사용량처럼 관련성이 높은 경우

도 있었다. 도시 주거 활성화 변수와 공원 조성 비 활성화 관련 변수에서 대부분의 온실가스 배출량과 에너지 소비량은 높은 상관관계를 보이고 있었으며, 주거·상업 온실가스 배출량, 일반 전력, 휘발유 사용량의 수치는 전반적으로 비례하는 것으로 나타났다. 하지만 도시 경제 활성화 변수를 보면 상업·공공 온실가스 배출량과 휘발유 사용량 간 상관계수와 유의확률이 낮게 나오에 따라 휘발유 사용량은 주거와 상관관계 높은 것을 알 수 있었다. 유형별 대표도시 연수구와 성남시는 가정용 전력 사용량에 대비하여 휘발유 사용량이 비례하는 경향을 보이고 있으며, 도시 주거 활성화 변수를 특성으로 하고 있다. 변수는 인구수, 가구수, 주거지역면적, 차량등록대수에 대해 높은 요인분석에서 높은 요인점수를 받음에 따라 주거와 휘발유 사용량 간 높은 상관관계를 설명하고 있다.

가정에서 배출된 온실가스 배출량은 수송 부문의 온실가스 배출량과 유사한 수치를 보이며 높은 관련성을 나타내며 휘발유 사용량과의 연관성도 높았다. 하지만 구 도시의 경우 등유, 경유와의 연관성이 더 높은 것으로 나타났다. 구 도시는 도·농 통합지역과 7, 80년대 신도시로 구분할 수 있다. 도·농 통합지역의 경우 난방용 등유의 소비량이 상대적으로 높은 반면, 7, 80년대 신도시는 공업 중심으로 발달한 공업도시로 공업의 발달과 함께 경유 소비량에서 높은 수치를 보이는 것으로 분석된다.

전라남도 광양시, 경상남도 통합창원시 같이 산업 관련 변수, 공업 중심 관련 변수를 특성으로 하는 대표도시에서는 상대적으로 온실가스 배출량과 에너지 사용량이 많은 것을 확인함에 따라 도시의 온실가스 배출량과 에너지 소비량에는 주거보다 산업과 공업에서 미치는 영향이 더 크다는 것을 확인할 수 있었다. 1996년 IPCC 가이드라인 중 연료제품별 탄소배출계수를 보면 휘발유 18.90KgC/GJ, 등유 19.60Kg, 경유 20.20Kg C/GJ, LPG 17.20KgC/GJ의 탄소배출계수를 보이며 경유의 탄소배출계수가 높은 것을 알 수 있다. 하지만 각 도시의 온실가스 배출량과 석유 사용량 간 비례하는 모습을 보이지는 않음에 따라 각 연료별 탄소배출계수보다는 석유 사용 총량이 미치는 영향이 더 크다는 것을 확인할 수 있다. 광양시의 전력과 석유 사용량의 총량 부문에서 성남시와 통합창원시와 크게 차이가 없나 적었지만, 온실가스 배출량에서는 큰 차이를 보이는 것으로 판단할 때 가정, 상업·공공, 수송 부문에 비해 산업 부문의 온실가스 배출 관리가 소홀 또는 미흡한 것으로 분석됨에 따라 추

후 산업 부문의 온실가스 배출량 관리와 관련하여 개선 방안이 필요하다.

성남시와 통합창원시의 경우 온실가스 배출량, 에너지 소비량의 총량에서 높은 수치를 보이고 있으나, 인구수 대비 비교 값에서는 상대적으로 큰 편차를 보임에 따라 인구수가 온실가스 배출량과 에너지 소비량에 영향이 상당하다는 것을 확인할 수 있었다.

분석의 결과, 문제와 현상에 대한 효율적인 해결책을 제시하기 위해서는 원인에 대한 정확한 분석이 선행되어야 하며, 도시별 특성요소를 분석하여 차별화된 도시계획 및 정책이 수립되어야 하며 체계적인 관리가 이루어져야 한다.

본 연구에서는 도시 유형별 도시 특성요소와 온실가스 배출량과 에너지 소비량 간의 상관관계를 분석했다면, 추가적인 연구에서는 변수 간의 인과관계를 연구하여 어떠한 도시 요소가 직·간접 적으로 온실가스 배출량과 에너지 소비량을 통제하고 영향을 미치는지 분석할 필요가 있다.

이 연구의 한계로는 동일한 통계 주제에 대해 기관별 구축된 값이 불일치한 경우가 발생하여 도시 특성요소 분석을 위해 구축된 자료에 한계가 있었다. 특히 온실가스 배출량의 경우 연도별로 체계적으로 데이터가 구축되지 않아 향후 보완이 필요한 실정이다. 군 단위 도시의 경우 1차 유형화 결과를 통해 연구범위에서 제외가 되었는데, 추가적인 연구를 통한 분석이 필요하다. 이를 바탕으로 연구의 발전과 보완이 이루어진다면 좀 더 유의한 결과를 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] GIR, 2015 National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea, pp. 38-42, 2015.
- [2] G. Lee, Developing Energy-Saving Form-based Urban Design Model for Climate Change Response, Korea University, p. 25, 2016.
- [3] K. Nam, B. Choi, M. Won, "A Study on the Energy Policy Guidelines for Korean Cities Based on Energy Consumption Characteristics", *Journal of The Korea Planners Association*, vol. 45, no. 1, pp. 237-250, February, 2010.
- [4] M. Song, H. Jang, "Charaterization of Cities in Seoul Metropolitan Area by Cluster Analysis", *Journal of the Korean Society for GeoSpatial Information System*, vol. 18, no. 1 pp. 83-88, March, 2010.
- [5] K. Oh, S. Kim, S. Jung, "Analysis and Classification of

Spatial Characteristics for Managing Semi-industrial Areas : focusing on the southwestern Area in Seoul", *Journal of The Korea Planners Association*, vol. 47, no. 5, pp. 35-51, October, 2012.

- [6] G. Ahn, "A Study on the Corelation Between Variables of Urban Form and Energy Consumption", *Journal of The Korea Planners Association*, vol. 35, no. 2, pp. 9-17, April, 2000.
- [7] S. Lee, K. Oh, "Analyzing the relationship between urban spatial form and energy efficiency - The case of Seoul, Korea -", *Journal of The Korea Planners Association*, vol. 48, no. 2, pp. 139-153, April, 2013.
- [8] J. Jung, Y. Ban, J. Baek, Y. Kim, N. Choi, "Classification of Cities according to Greenhouse Gas Emission Characteristics Using Cluster Analysis", *Proceedings of 2010 Winter Conference, Korean Regional Development Association*, vol. 49, pp. 261-273, November, 2010.
- [9] J. Cho, "Classification Analysis by Using the K-Means Clustering", *Graduate School of Chung-ang University*, 2010.
- [10] I. Kim, K. Oh, S. Jung,, "An Analysis of Relationship between Carbon Emission and Urban Spatial Patterns", *Journal of Korea Spatial Information Society*, vol. 19, no. 1, pp. 61-72, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.9708/jksoci.2011.16.2.061>
- [11] M. Seo, S. Kim, "An Analysis on the Relationship between Planning Elements of Urban Form and Travel Behavior Characteristics - Focused on Planning Policy for the Green City by Size and Locations", *Journal of The Korea Planners Association*, vol. 46, no. 2, pp. 223-244, August, 2011.
- [12] Y. Choi, S. Moon, H. Yim, "Assessing the Impact of the Factors of Urban Characteristics on Air Pollution Using Panel Model", *Journal of The Korea Planners Association*, vol. 42, no. 3, pp. 191-202, June, 2007.
- [13] K. Oh, J. Hong, "The Relationship between Urban Spatial Elements and the Urban Heat Island Effect", *Journal of Urban Design Institute of Korea*, vol. 6, no. 1, pp. 47-63, March, 2005.
- [14] J. Jo, D. Lee, H. Hwang, "Level of Depressed Cities and Classification of the Characteristics", *The Geographical Journal of Korea*, vol. 44, no. 1, pp. 35-50, 2010.

이 건 원(Gunwon Lee)

[종신회원]



- 2005년 2월 : 고려대학교 문과대학 한국사학과 (문학사)
- 2006년 2월 : 고려대학교 공과대학 건축공학과 (복수전공 수료)
- 2008년 2월 : 고려대학교 건축공학과 건축계획학 (공학석사)
- 2016년 8월 : 고려대학교 건축학과 도시계획및설계학 (공학박사)
- 2014년 3월 ~ 2017년 2월 : 목원대학교 건축학부 조교수
- 2017년 3월 ~ 현재 : 호서대학교 건축토목환경공학부 조교수

<관심분야>

공간분석, GIS, 녹색도시, 도시기후·환경설계, 도시재생

Appendix, Result of Clustering

Cluster	City	Characteristics
1	Busan(Suyoung-gu, Yeonjae-gu, Dong-rae-gu, Nam-gu, Seo-gu, Geumjung-gu, Haeundae-gu, Buk-gu, Jin-gu, Sasang-gu, Saha-gu, Youngdo-gu), Gangwon-do(Sokcho, Donghae), Gwangju(Dong-gu, Buk-gu, Seo-gu, Nam-gu), Jeollanam-do(Mokpo), Seoul(Nowon-gu, Gangseo-gu, Seongbuk-gu, mapo-gu, Gwanak-gu, Gangbuk-gu, Dobong-gu, Gangdong-gu, Jungnang-gu, Gwangjin-gu, Seodaemun-gu, Dongdaemun-gu, Yangcheon-gu, Dongjak-gu, Guro-gu, Seongdong-gu, Geumcheon-gu, Songpa-gu, Yeongdeungpo-gu, Yongsan-gu), Incheon(Yeonsu-gu, Gyeyang-gu, Jung-gu, Nam-gu, Dong-gu, Bupyeong-gu), Daegu(Suseong-gu, Dong-gu, Nam-gu, Seo-gu), Daejeon(Dong-gu, Jung-gu, Daedeok-gu), Gyeonggi-do(Uijeongbu, Guri, Dongducheon), Ulsan(Jung-gu), Chungcheongnam-do(Gyeryong)	Administrative districts in Metropolitan city and Capital city
2	Daegu(Jung-gu), Busan(Jung-gu, Dong-gu), Seoul(Jongro-gu, Gangnam-gu, Seocho-gu, Jung-gu)	Large scale Administrative districts in Metropolitan city and Capital city
3	Gyeongsangbuk-do(Sangju, Andong, Gumcheon, Yeongju, Mungyeong, Yeongcheon), Jeollanam-do(Naju, Suncheon), Gangwon-do(Gangneung, Wonju, Sancheok, Taebaek), Chungcheongnam-do(Gongju, Boryeong, Nonsan), Jeju-do(Jeju), Gyeongsangnam-do(Sacheon, Tongyeong, Milyang), Gyeonggi-do(Pocheon), Jeollabuk-do(ksan, Jeongeub, Gimjae, Namwon), Chungcheongbuk-do(Chungju, Jaecheon)	Administrative districts in small scale city
4	Gyeonggi-do(Suwon, Yongin, Seongnam, Goyang, Gwacheon), Jeollabuk-do(Jeonju), Chungcheongbuk-do(Cheongju)	Administrative districts in large scale city
5	Gyeonggi-do(Gwangmyeong, Uiwang, Gunpo, Osan, Hanam, Hwaseong, Bucheon, Anyang, Siheung, Ansan, Pyeontaek, Gimpo, Paju, icheon, Gwangju, Anseong, Yangju, Namyangju), Chungcheongnam-do(Cheonan), Daegu(Buk-gu, Dalseo-gu), Daejeon(Seo-gu, Yuseong-gu), Seoul(Eunpyeong-gu), Incheon(Namdong-gu, Seo-gu), Gyeongsangbuk-do(Gyeongsan, Gumi, Gyeongju), Jeollabuk-do(Gunsan), Chungcheongnam-do(Asan), Gyeongsangnam-do(Geojae, Gimhae, Yangsan, Jinju), Ulsan(Dong-gu, Buk-gu), Busan(Gangseo-gu), Gwangju(Gwangsan-gu), Gangwon-do(Chuncheon), Jeju(Seoguiipo)	Middle scale industrial districts
6	Ulsan(Nam-gu), Jeollanam-do(Yeosu, Gwangyang), Chungcheongnam-do(Seosan), Gyeongsangbuk-do(Pohang)	Industrial districts
7	Gyeongsangnam-do(Changwon-si)	Gyeongsangnam-do (Changwon-si)