

국토공간에서의 수송에너지 변화요인에 관한 연구

(A Study on the Changing Factors of Transportation Energy in National Space)

이명훈 한양대학교 도시대학원 조교수

김선희 국토연구원 국토계획·환경연구실 연구위원

정진규 국토연구원 SOC·건설경제연구실 책임연구원

※ 주요단어 : 공간구조, 에너지절약, 도시분산

목 차

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적
2. 연구의 범위 및 방법
3. 선행연구 고찰

II. 도시분산과 에너지 소비와의 관계분석

1. 분석의 지표
2. 분석방법
3. 분석의 결과

III. 도시분산에 의한 교통량 감소 가능성 검토

IV. 결론

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

국토공간구조, 토지이용과 교통체계, 에너지소비는 밀접한 관계를 갖고 있다. 교통수송부문의 에너지 소비량은 1980년 4,905천TOE¹⁾에서 1990년 14,173천TOE, 2001년 32,190천TOE로 전체 에너지 소비량의 13%(1980)에서 22%(2001)로 증가하고 있어 교통시스템과 국토·도시공간 계획이 연계된 에너지절약적 국토발전방향 모색이 요구되고 있다. 국토공간구조의 변화는 교통수요와 공급의 변화를 유발하고 이는 곧 에너지 소비의 변화로 이어진다. 특히, 수도권에의 집중은 자동차밀도를 증가시키고 이는 만성적인 교통체증, 에너지소비증가, 대기오염 심화 등을 초래하고 있다.

따라서 국토 및 도시(지역)의 공간적 배치와 교통정책, 에너지소비와의 관계 등을 조사·분석하여 에너지절약형 국토공간구조를 위한 개편전략과, 토지이용과 교통정책간의 정합성 확보 등 실질적인 실천전략 등을 제시하여 우리 국토가 에너지절약형으로 발전하기 위한 모형 모색이 장기적으로 필요하다.

본 연구에서는 국토공간구조의 변화는 교통수요와 공급의 변화를 가져오며, 이에 따라 교통수송부문의 에너지소비의 변화가 발생한다고 전제한다. 이에 따라 국토공간상에서의 도시의 배치와 교통수송부문 에너지소비와의 관계 등을 조사하고, 인구분

산에 따른 수송에너지 절감효과를 분석하여, 에너지절약적 국토공간구조 개편논의의 토대를 제시하고자 한다.

2. 연구의 범위 및 방법

연구는, 먼저 에너지소비를 줄여야 하는 당위성 및 도시공간구조, 교통정책, 에너지소비 관계에 관한 선행연구를 검토하고, 에너지소비를 변화시키는 요인을 분석한다. 도시분산과 에너지소비의 관계에 관한 분석에서는, 도시분산에 영향을 주는 인자와 에너지 소비간의 관계를 추출하였다. 지역 및 도시의 공간적 배치에 의해 수송부문의 에너지절감효과가 있다는 전제 하에 수송에너지를 목적변수로, 도시분산도, 인구밀도, 도시화율 등을 설명변수로 하는 회귀분석을 통해 도시분산에 따른 수송에너지 절감가능성을 검토하였다. 각 모형에서의 변수 선정에 있어서는 다중공선성을 고려하여 상관계수 0.5미만인 변수들만을 선정하였다. 수송에너지는 자료수집에 어려움이 있어, 1인당 도로부문 에너지소비량(판매량)과 OD교통량 자료만을 사용하였다.

3. 선행연구 고찰

본 연구와 관련된 선행연구에는, 가상의 도시구조를 설정하고, 각각의 교통량이 최소가 되도록 조합하여 에너지 감소 효과를 측정하는 방식으로, 도시공간구조와 에너지 소비와의 관계를 규명하고자 한 연구²⁾가 있다.

1) TOE : 석유환산톤(Ton of Oil)

그러나 이론상의 도시에 대한 연구로는 현실의 도시현상을 설명하기 어렵다는 견해 하에, 1970년대 이후에는 실제도시를 대상으로 토지이용의 변경에 따라 교통량, 혹은 수송에너지를 어느 정도로 감소시킬 수 있을 것인가에 관한 문제들이 연구의 초점이 되고 있다³⁾.

선행연구 결과를 종합해 보면, 에너지 소비를 변화시키는 요인으로 인구밀도, 인구배치, 혼합토지이용, 도로시설정비, 도시형태, 도시배치 등을 들 수 있다. 그러나 과거의 연구는 주로 도시 내에서의 수송에너지의 소비구조를 도시구조의 관점에서 분석하고 있다. 이들 과거의 연구에서는 수송에너지의 절감을 위해 바람직한 도시구조가 무엇인지에 대해서는 어느 정도 방향을 제시해 주고 있으나, 이들 항목을 종합한 최적도시구조에 대한 연구는 여전히 미진한 실정이다.

또한 지금까지의 연구는 개별 도시에 대한 것은 많으나, 도시의 공간적 배치, 즉, 도시체계와 수송에너지 소비에 관한 연구는 거의 이루어지지 않았다. 도시의 공간적 배치에 의한 영향이 크리라고 예상되는 도시간 교통에 대해, 충분한 자료가 없고, 이를 에너지계수로 정량화하기 어렵다는 것이 그 원인의 하나라고 생각된다.

일본에서는 세계 도시 중 인구 10만 이상의 도시 3,532개를 추출하여, 간접적이거나 도시의 공간적 배치에 따른 수송에너지

소비의 차이점에 대해 분석한 연구는 있으나, 특정 국가에 있어 도시체계를 달리 하였을 경우, 어느 정도 에너지절감효과를 얻을 수 있는지에 대한 연구는 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서 시도하고자 하는 국토차원에서 도시의 공간적 재배치가 도시간 교통에 미치는 영향분석과 인구분산을 통한 지역(도시)의 공간 재배치에 따라 에너지 소비가 얼마나 감소할 수 있는지에 대한 분석은 선행연구결과를 토대로 공간범위를 확대하여 지역간 분석으로 확대가 가능하다는 증거를 제공해주고 있다고 할 수 있다.

II. 도시분산과 에너지 소비의 관계 분석

도시 내에서 인구밀도, 인구배치, 도시배치 등이 수송에너지에 영향을 주는 요소라고 한다면, 이들 요소는 국토공간 전체에 있어서의 수송에너지에 대해서도 영향을 줄 수 있다. 도시의 공간구조가 인구 및 토지이용(시설의 용도, 규모와 배치)에 의해 결정되듯이, 국토공간구조(도시체계)는 각 도시의 인구와 도시규모별 배치에 의해 결정되기 때문이다.

본 장에서는 수송부문에서의 에너지 효율적인 국토공간형태는 분산적 집중패턴(decentralized concentration 혹은 dispersed nucleated village)이라는 가정 하에, 국토공간 전체를 대상으로 하여 인구밀도, 인구배치, 도시규모, 도시배치 등이 도시간의

2) Hemmens(1967), Jamieson, Mackay, Latchford(1967), Gilbert, Dajani(1974) 등의 연구

3) 안건혁(2000), 황금희(2001), 中村, 吉田(1980), Sharpe(1980), Newman, P.W.G. and Kenworthy, J.R.(1989), Aten, Bettina and Hewings, Geoffrey(1995) 등의 연구

교통량과 에너지 소비에 어떠한 영향을 주는지에 대해 분석하기로 한다. 이를 위해 본 장에서는 우선 도시분산을 나타내는 지표를 검토하고, 회귀분석을 통해 도시분산과 그 밖의 지표가 수송에너지에 어떠한 영향을 미치는가를 실증적으로 검증한다. 본 장에서는 데이터의 구득상의 어려움으로 인해 도로, 철도, 해운, 항공의 수송부문 중에서 도로부문에 한정하여 도시분산과 도로부문 수송에너지의 소비관계에 대해서만 분석을 실시하였다.

1. 분석의 지표

도시의 분산을 나타내는 지표로서는 도시인구의 편중정도를 나타내는 엔트로피와 도시의 거리적 분산을 나타내는 도시분산도가 있다.

(1) 엔트로피

어느 권역의 도시인구 합계를 p , 권역의 도시 수가 N 개, 그 중 i 번째 도시의 인구를 p_i 로 하면, 다음 식이 성립된다.

$$\text{엔트로피} = - \sum_{i=1}^N (p_i/p) \text{LOG}_2 (p_i/p)$$

p : 어느 권역의 도시인구의 합계

N : 그 권역의 도시 수

p_i : 그 중 i 번째 도시의 인구

엔트로피가 최소가 되는 것은 권역에 도시가 하나밖에 없는 경우이며, 이 경우 엔트로피는 0이 된다. 또한 동일 권역 내에 있는 도시들의 인구규모가 균등하게 되

면 될 수록 엔트로피는 감소한다.

(2) 도시분산도

도시의 거리적인 분포를 나타내는 지표로서 도시분산도가 있다. 이 지표는 인구 분포로 본 권역의 중심(당해 권역에서 인구가 제일 많은 도시)을 구하고, 다음에 이 중심과 각 도시와의 거리를 r_i 로 하여 다음 식과 같이 2개의 도시분산도를 설정할 수 있다. 이 도시분산도의 값은 공간적인 분산을 나타내는 지표로써, 이 수치가 커질수록 도시가 권역 중심에서 벗어나 공간적으로 불균등하게 분산되었음을 나타내며, 도시가 권역의 외곽에 집중적으로 입지되어 있을 경우 도시분산도 값은 더욱 커지게 된다.

$$(\text{도시분산도1}) = \left(\sum_{i=1}^N p_i \times r_i^2 / p \right)^{1/2}$$

$$(\text{도시분산도2})^4 = \left\{ \left(\sum_{i=1}^N p_i \times r_i^2 / p \right) / A \right\}^{1/2}$$

A : 권역의 면적

r_i : 권역내에서 가장 인구가 많은 도시로부터 i 도시까지의 거리

(3) 에너지소비에 영향을 미치는 기타 지표

도시의 분산 이외에 1인당 에너지 소비에 영향을 주는 요인으로서, 1인당 지방세 납부액, 도시화율, 인구밀도, 권역의 면적 등을 들 수 있다.

① 1인당 지방세 납부액

4) 도시분산도 2는 면적이 큰 권역과 면적이 작은 권역이 갖는 거리편차를 줄이기 위해서 당해 권역의 면적을 고려한 지표이다.

생활의 풍요·활동도를 나타내는 지표로서 1인당 GDP를 사용하는 것이 합당하나 자료 구득이 어려워 1인당 지방세 납부액으로 대신하였다.

② 도시화율

생활 및 경제의 도시화 진행도를 나타내는 지표로서 도시연감에서 채택하고 있는 방식, 즉 총인구에 대한 도시화구역인구의 비율을 사용하였다.

③ 인구밀도 및 면적

제반 활동 간의 거리를 나타내는 지표로서 인구밀도를, 권역의 크기를 나타내는 지표로서 면적을 사용하였다.

분석을 위한 자료는 「인구 및 주택 총조사(2000)」에서 인구, 통근형태를, 「도시연감(2000)」에서 행정구역 면적 및 도시화율, 1인당 지방세 납부액, 산업자원부 내부자료에서 1인당 수송에너지 소비량을 교통량 자료는 한국개발연구원의 「예비타당성조사사업용 OD 및 Network(2000)」에서 추출하였다.

2. 분석방법

분석은 먼저, 1인당 도로부문 수송에너지 소비량을 목적변수, 도시화율과 1인당 지방세 납부액 등을 설명변수로 하여 실시하였다. 도시분산을 나타내는 각각의 설명변수를 여러 가지 경우의 수로 조합하여 회귀식에 대입, 회귀모델을 추출하였다. 엔트로피를 사용하는 경우에는 거리적인 크기를 고려하기 위해 각 권역의 면적도 설

명변수에 포함시켰다. 목적변수를 비롯한 설명변수에 대해 히스토그램을 그려보면, 엔트로피를 제외한 모든 변수가 한쪽으로 편중된 분포를 보이고 있어, 예측구간의 폭을 좁히고자 정규분포에 가깝도록 한 뒤 회귀식에 대입함으로써 예측치의 정밀도⁵⁾를 높이고자하였다.

표본의 크기라고 할 수 있는 권역의 수는, 우리나라 77개 도시⁶⁾를 인구규모에 따라 11개의 계급(권역)으로 분류하고, 각 권역의 중심도시는 모두 서울이라는 가정 하에 회귀모형을 추출하였다⁷⁾.

아울러, 설명변수는 그대로 둔 채, 목적변수만을 각 도시 간 OD교통량으로 하여 회귀모형을 도출하였다. 다음에서는 이와 같은 분석 결과 중 가장 설명력 있는 결과가 도출된 인구규모에 따른 분석결과를 제시하였다.

3. 분석의 결과

1) 1인당 에너지 소비를 목적변수로 하였을 때

<표 2-1> 전국 도로부문 승용차 OD교통량

(단위 :천인)

- 5) 예측구간의 폭이 커서 예측정밀도가 떨어지는 경우로서는, 표준편차가 클 경우, 표본의 크기가 작을 경우, X_0 가 X 의 평균치에서 멀리 떨어져 있을 경우 등이 있다.
- 6) 2000년 시점에서 행정구역상의 시는 79개이나, 외부 지역으로의 자동차 유출입 교통량의 데이터 구성이 이루어져 있지 않은 제주도의 2개 시(제주시, 서귀포시)는 분석에서 제외하였다.
- 7) 행정구역상의 권역분류로는 지역 내 교통과 지역간 교통의 구분이 어렵기 때문에, 전국을 서울을 중심으로 하는 폐쇄체계(closed system)로 다루기 위하여 이상과 같은 방법을 사용하여 계급을 분류하였다.

	서울	부산	대구	인천	광주	대전
서울		3.1	3.0	70.8	1.6	8.0
부산	3.3		3.9	0.3	0.3	0.9
대구	3.6	4.4		0.3	0.4	1.7
인천	69.4	0.3	0.3		0.4	0.7
광주	2.1	0.4	0.4	0.6		0.3
대전	11.4	1.2	2.0	1.0	0.3	
울산	1.1	45.5	2.0	0.1	0.2	0.2
경기	849.4	1.9	2.0	89.5	1.5	6.1
강원	25.7	1.7	1.5	1.6	0.1	0.9
충북	14.1	0.8	1.3	0.7	0.2	10.6
충남	28.5	0.9	1.0	3.6	0.9	29.2
전북	8.8	3.6	1.3	1.0	6.7	7.2
전남	6.7	5.7	1.0	0.6	24.6	1.1
경북	16.9	14.2	113.4	1.2	0.7	5.1
경남	6.1	162.1	12.8	0.5	0.6	1.7
총유입	1047.1	245.6	145.9	171.7	38.4	73.4

<표 2-1>은 제주도를 제외한 전국 15개 시도에서 특별시, 광역시로 유입되는 승용차 교통량이다. 특별시, 광역시 중에서 서울로 유입되는 교통량이 가장 많으며, 서울로 유입되는 교통량의 대부분은 여타의 수도권지역으로부터 발생한 교통량임을 알 수 있다. 특히 서울로의 유입교통량의 약90%가 경기도와 인천광역시에서 유입되고 있다.

버스여객의 경우 경기도에서 약 30%를, 트럭화물의 경우에도 경기도와 인천에서 약 84%를 점유하고 있는 것으로 나타났다.

위의 결과에 따라, 서울에 대한 경제적·사회적 의존도가 매우 높으므로 단순히 인구규모만으로 권역별 중심도시를 설정한다는 것에는 무리가 있다고 판단하여, 별도의 방법으로 도시분산도를 구했다.

전국 도시 중 데이터의 구득이 가능했던 77개 도시를 인구규모별로 11개 계급으로 구분하고, 1인당 수송에너지소비량을 목적변수, 도시화율, 도시분산도 등을 설명변수로 하여 회귀분석을 실시하였다. 인구규모별 계급은 5~10만명, 10~20만명, 300만명 이상 등으로 하여, 한 계급당 2

개~11개 도시가 포함되도록 하였다.

<표 2-2>에 의하면, 비교적 설명력이 높은 1, 4, 6~9의 모형에 있어, t값의 절대치가 2이상인 변수는 도시화율, 인구밀도, 도시분산도1, 도시분산도2 이다.

<표 2-2> 1인당 수송에너지에 대한 회귀모형

모형	도시화율(X ₁)	1인당 지방세(X ₂)	인구밀도(X ₃)	엔트로피(X ₄)	도시분산도1(X ₅)	도시분산도2(X ₆)	면적(X ₇)	1인당 자동차수(X ₈)	조정결정계수
1	0.05 0.17	-0.13 -0.73	-0.88 -3.14						0.66
2	-0.55 -2.04	-0.12 -0.45		0.27 1.01					0.32
3	-0.50 -1.90	-0.11 -0.44		-0.21 -0.48			0.59 1.31		0.38
4	-0.70 -4.37	-0.10 -0.61			0.60 3.83				0.73
5	-0.83 -3.31	-0.01 -0.04				0.44 1.77			0.45
6	-0.64 -3.44	0.09 0.38		-0.13 -0.60	0.54 2.86			0.33 1.19	0.71
7	-0.71 -3.04	0.06 0.23		0.07 0.15	0.67 2.09		-0.28 -0.54	0.27 0.88	0.67
8	-0.63 -3.23	0.12 0.53		0.10 0.25		0.55 2.45	0.29 0.90	0.32 1.14	0.72
9	-0.68 -3.69	0.10 0.47		0.39 1.52		0.62 3.03	0.29 1.05		0.73

상단 : 표준편회귀계수, 하단 : R

<표 2-2>를 회귀식으로 전개하면 다음과 같다.

$$\text{모형 1) } \log Y = 0.05X_1 - 0.13X_2 - 0.88X_3$$

:

$$\text{모형 9) } \log Y = -0.68X_1 + 0.10X_2 + 0.39X_4 + 0.62X_6 + 0.29X_8$$

(Y=1인당수송에너지량)

모형1에서는 인구밀도와 1인당 수송에너지와는 부(-)의 상관관계가 있음을 설명하고 있으며, 이를 통해 인구밀도가 높은 곳에서는 제반 활동 간의 거리가 짧아져 1인당 수송에너지가 적게 소비되고 있다는 추론을 할 수 있다. 모형4, 모형6~9에서는 1인당 수송에너지와 도시분산도는 정(+)의 상관관계, 도시화율과는 부(-)의 상관관계가 있음을 보여주고 있다. 이는 도시화율이 낮고 도시분산도가 높을수록 1인당 수송에너지가 증가

됨을 시사하는 것이다. 또한 도시분산도가 높으면 서울로부터 멀리 떨어지게 되어 지역간 교통량이 증가하여, 1인당 도로부문 수송에너지 역시 증가되고 있다. 이는 전국에 대한 서울의 종주도 및 지배력이 지나치게 크다는 것을 시사하는 것이다.

이상과 같이 전국을 인구규모에 따라 11개의 계급으로 구분하고, 각 계급별 중심지를 서울로 하였을 경우에 설명력이 있는 회귀모형이 도출된 것은, 모든 계급별(인구규모별) 권역에 있어서의 중심지를 서울로 함으로서, 도로부문 수송에너지 소비를 서울을 중심으로 하는 폐쇄체계 속에서 다루었기 때문이라고 판단된다. 즉, 행정구역이나 광역계획권으로 나누어서 에너지 소비량과 도시분산 등과의 관계를 분석할 때에는 도시 내 교통과 권역 밖으로의 교통에 의한 에너지 소비량이 분석의 대상에서 제외되었기 때문에 설명력이 있는 회귀모형의 도출이 어려웠었다.

<표 2-2>에서 제시된 회귀모형을 통해 아직까지 우리나라에서는 서울에 대한 경제적, 사회적 의존도가 매우 높다는 것을 추론할 수 있다.

2) 수송수단별 OD교통량(Trip)을 목적변수로 하였을 때

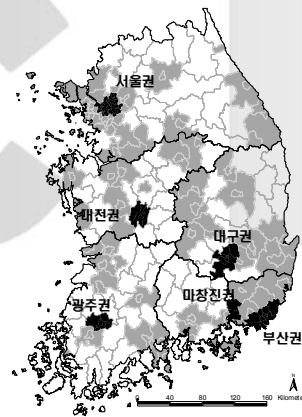
이상의 시사점을 고려하여, 전국 79개 도시 중 제주도의 2개시를 제외한 77개 도시에 대해 6개의 권역으로 나누어, 도로부문 교통수단별 통행량(Trip)⁸⁾을 목적변수로

8) 수송에너지는 교통수단의 종류 및 중량, 사용연료 등에 의해 차이가 날 것이나, 본 연구에서는 교통수단별 통행

하고, 인구밀도, 1인당 지방세, 도시분산도 등을 설명변수로 하여 회귀분석을 실시하였다.⁹⁾

또한 각 권역이 개방체계로 구성되어 있기 때문에 권역내의 OD교통량이 당해 권역내의 거주자만에 의해 발생한다고도 볼 수 없다. 이러한 이유에서 목적변수는 1인당 교통수단별 OD교통량으로 하지 않고, 교통수단별 전체 OD교통량으로 하였다.

분석대상 77개 도시가 차지하는 면적은 40,656km²로서 우리나라 전 국토 면적의 약 41%를 차지하며, 77개 도시의 인구는 46,136천명으로서 전국인구의 약 88%이다.



<그림 2-1> 통행행태(승용차)에 따른 권역구분도

량이 많으면 당해 교통수단이 사용하는 수송에너지도 많을 것이라는 전제 하에, 수송에너지의 대체변수로 교통수단별 통행량을 선정하였다.

9) 6개의 권역으로 나눈 기준은 특별시와 광역시를 중심으로 하는 대도시권으로 하였다. 이 중에서, 서울과 인천의 경우는 서로 인접해 있는 관계로, 인천을 서울대도시권에 포함시켰으며, 특별시와 광역시를 제외한 나머지 도시가 어느 도시권에 속할 것인가는 각 대도시권의 중심도시와 그 주변도시와의 승용차OD교통량의 많고 적음에 따라 정했다. 즉 어떤 도시가 부산 대도시권에 속할 것인지, 아니면 대구 대도시권에 속할 것인지에 대해서는 당해 도시와 부산간의 OD교통량이 당해 도시와 대구와의 OD교통량보다 많으면, 당해 도시를 부산 대도시권에 포함시켰다. 물론 6개 권역이 각각 독립된 폐쇄체계로 구성되어 있지 않고 권역간의 교통량도 상당수 있으나, 이에 대해서는 고려하지 않았다.

(1) 목적변수를 승용차 OD교통량으로 하였을 때

<표 2-3>에 의하면 대부분의 회귀모형에 있어, t값의 절대치가 2이상이며, 조정 결정계수도 0.7이상이어서 설명력이 높다.

주민 소득을 나타내는 지표인 1인당 지방세는, 모형4의 경우 유의하였고, 1인당 지방세를 대신하여 설정한 권역내 경제인구는 대부분의 모형에 있어 유의한 설명변수였다. 이를 통해 1인당 지방세 또는 권역내 경제인구가 많으면 많을수록 승용차의 총 Trip수가 증가하는 것을 알 수 있다.

<표 2-3> 승용차 총 통행량에 대한 회귀모형

모형	도시 화율	1인당 지방세	경제 활동 인구	인구 밀도	엔트로피	도시 분산도1	도시 분산도2	면적	1인당 자동차수	조정 결정계수
1	-0.26	0.95		0.17						0.52
	-0.31	1.97		0.20						
2	0.34	0.50			0.49					0.82
	0.92	1.33			1.90					
3	0.67	0.08			0.45			0.41		1.00
	12.28	1.34			13.81			11.26		
4	0.38	0.78				0.50				0.77
	0.84	2.30				1.54				
5	-0.10	1.06					0.12			0.52
	-0.20	1.71					0.21			
6	1.14				0.41	0.57			0.35	0.95
	6.89				2.86	2.89			2.93	
7	0.11				0.69		-0.84		-0.37	0.81
	0.19				3.43		-1.29		-0.77	
8	1.35					0.95			0.50	0.76
	4.17					2.97			2.20	
9	0.06						-0.75		-0.15	0.00
	0.04						-0.45		-0.13	
10	1.06			0.27		0.89			0.52	0.55
	0.98			0.29		1.85			1.65	
11	-3.75			2.45			-2.73		-1.21	0.86
	-3.49			3.96			-3.59		-2.46	
12	-0.14	0.32	0.75							0.79
	-0.44	0.64	1.61							
13	-0.04		0.99	-0.02						0.74
	-0.07		3.01	-0.03						
14	0.27		0.61		0.40					0.93
	1.29		2.74		2.32					
15	0.80		-0.09		0.49			0.49		0.99
	6.23		-0.53		9.07			4.70		
16	-0.47		1.25			-0.33				0.78
	-0.63		2.35			-0.60				
17	-0.13		0.92				-0.16			0.77
	-0.39		2.90				-0.50			

상단 : 표준회귀계수, 하단 : t값

도시화율도 결정계수가 높은 모형에서는 대부분 유의하였다. 이는 인구의 도시

화가 진행되면 도시내의 교통량(수송에너지소비)은 증가하며, 도시에서 많은 사람들이 통근, 통학, 쇼핑 등을 위해 이동하는 빈도와 거리가 증가한다는 것을 나타내는 것이다.

인구밀도를 설명변수로 설정한 모형 중 인구밀도가 설명력을 갖는 모형11의 경우, 인구밀도의 편회귀계수는 정(+)이다. 이를 통해 승용차교통량에 의해 구분된 6대 권역의 경우 인구밀도가 높은 지역은 승용차 교통량이 많아 승용차가 소비하는 수송에너지가 증가함을 알 수 있다. 이것은 인구밀도가 높은 지역은 여타의 중심기능도 많이 집중되어 있어 그 영향권의 범위가 크며, 이에 따라 승용차 교통량도 증가되었음을 시사하는 것이다. 모형 2, 3, 6, 7, 14, 15에서는 도시의 분산을 나타내는 지표로서, 엔트로피를 설명변수로 채택하였다. 이중 모형2를 제외한 모든 모형에서 엔트로피의 설명력은 높았으며, 편회귀계수는 정(+)이었다.

모형 4, 6, 8, 10, 16에서는 도시분산을 나타내는 지표로서 거리개념이 들어가 있는 도시분산도 1을 설명변수로 사용하였다. 모형 6과 모형 8의 경우, 도시분산도 1은 정(+)의 향으로서 유의하였다. 이것은 사람이 생활하기 위해서는 물자를 외부로부터 구득할 필요가 있는데, 도시가 공간적으로 거리를 두고 확산되어 있으면, 그 필요한 물자의 구득을 위해 도시간 교통, 장거리 교통이 늘어날 수 있음을 나타내는 것이다.

모형 5, 7, 9, 11, 17에서는 도시분산을

나타내는 지표로서 권역의 면적에 따른 거리편차를 줄인 도시분산도2를 설명변수로 사용하였다. 도시분산도 2가 설명력을 갖는 모형은 1개(모형11)만이 존재했으며, 이 모형에서 도시분산도 2는 부(-)의 향으로서 유의하였다. 이 모형에서는 도시화된 구역의 면적이 많으며, 인구밀도가 높고, 도시가 공간적으로 확산되어 배치되어 있지 않을 때, 즉, 복수의 자족도시권이 콤팩트하게 형성되어 있는 경우, 승용차 교통량이 감소하여 수송에너지가 절감될 수 있음을 나타내는 것으로, 모형 6과 모형 8의 경우와는 대조적이다.

모형 3과 모형 15의 경우, 수송거리를 나타내는 지표로서 면적을 설명변수로 사용하였다. 모형 3과 모형 15의 경우 면적을 설명변수로 사용하였음에도 불구하고, 엔트로피는 정(+)의 향으로서 유의하였다. 이것은 6대 권역의 경우 엔트로피가 큰 권역, 즉 도시인구가 분산되어 있는 권역에서는 교통량이 증가하여 수송에너지의 효율이 낮아짐을 나타내는 것이다. 아직 우리나라의 경우는, 면적이 큰 거대도시권에 있어서 복수의 비교적 작은 규모의 자족적 차하위 도시권이 형성되어 있지 못함을 시사하는 것이라고 판단된다.

모형 6~11의 경우는 1인당 자동차수를 설명변수로 사용하였다. 1인당 자동차수가 유의한 모형은 3개 있었으며, 그 중 하나(모형 11)는 편회귀계수가 부(-)로 나타나, 1인당 승용차 수가 많을수록 승용차 교통량이 적어짐을 나타내고 있다. 이 모형은 인구밀도의 영향에 의해 도시분산도가 부

(-)의 편회귀계수를 갖게 된 경우로서, 인구밀도가 높으면서도 저소득층이 많이 거주하는 도시가 많다는 것을 나타내고 있다.

(2) 목적변수를 버스 OD 교통량으로 하였을 경우

<표 2-4>에 의하면, 모형3~9에 있어, t값의 절대치가 2이상인 설명변수가 다수 존재하며, 조정결정계수도 0.8이상이어서 설명력이 높다

주민 소득을 나타내는 지표인 1인당 지방세는, 모형4의 경우 유의하였고, 1인당 지방세를 대신하여 설정한 권역 내 경제인구는 대부분의 모형에 있어 유의한 설명변수였다. 이를 통해 1인당 지방세 또는 권역 내 경제인구가 많으면 많을수록 승용차와 마찬가지로 버스의 총 Trip수가 증가하는 것을 알 수 있다(모형 5,6,8,9).

<표 2-4> 버스 총 통행량에 대한 회귀모형

모형	도시화율	1인당 지방세	경제 활동 인구	인구 밀도	엔트로피	도시 분산도 1	도시 분산도 2	면적	조정 결정 계수
1	.404	1.23		.400					.031
	.404	2.13		.409					
2	.400	.097			.021				.034
	.406	1.34			.042				
3	.025	0.16			.013			.080	.099
	.306	1.81			.209			.149	
4	.000	0.34				.017		.069	.088
	1.58	2.37				1.36		5.32	
5	.406		1.36	.401					.086
	.406		.007	.231					
6	.407		1.26		.401				.084
	.477		3.73		.404				
7	.022		.021		.013			.074	.088
	.105		.078		1.46			4.31	
8	.410		1.60			.408			.091
	.25		4.63			.419			
9	.401		1.11				.406		.088
	.402		.032				.338		

상단 : 표준편회귀계수, 하단 : R²

도시화율은 함께 사용된 설명변수에 따

라 정(+) 또는 부(-)의 편회귀계수를 가진다. 엔트로피나 권역면적을 설명변수로 사용하였을 때 도시화율은 정(+)의 편회귀계수를 가지는데 반하여, 경제인구 또는 도시분산도 2를 설명변수로 도시화율과 함께 사용한 모형에서는 도시화율이 부(-)의 편회귀계수를 가진다. 이것은 권역의 면적이 넓거나, 인구의 지역적 편중이 적은 권역에서는 도시화율이 높을수록 각 도시간의 의존도가 높아져 버스 통행량이 증가되며, 경제인구가 많고 도시화 구역으로 편입된 지역이 넓은데 자족적 경제권을 갖는 도시가 적은 지역에서는 버스타행량이 적음을 나타내는 것이다.

인구밀도를 설명변수로 설정한 모형 중 인구밀도가 설명력을 갖는 모형5의 경우, 인구밀도의 편회귀계수는 부(-)이다. 이것은 우리나라의 경우 경제인구가 많으면서 인구밀도가 높은 곳은 버스와 같은 대중교통수단이 갖는 혼잡과 쾌적성의 저하를 피해, 다른 교통수단, 이를테면 도보, 승용차 등으로 통근, 통학, 쇼핑 등의 행위가 이루어짐을 시사한다.

도시분산도 2가 설명력을 갖는 모형 9의 경우, 도시분산도 2의 편회귀계수는 부(-)의 항이다. 이것은 도시가 공간적으로 확산되어 있으나, 경제인구가 많으면서 도시화율이 적은 곳은, 대부분의 시설이 중심지에 편중되어 있기 때문에 장거리보다는 단거리 교통수요가 많아 버스의 교통량이 적음을 의미한다. 모형 3,4,7의 경우, 수송거리를 나타내는 지표로서 면적을 설명변수로 사용하였다. 모형 3의 경우 면적을

설명변수로 사용하였음에도 불구하고, 엔트로피는 정(+)의 설명력을 갖고 있다.

이것은 6대 권역의 경우 엔트로피가 큰 권역, 즉 도시인구가 분산되어 있으면서 도시화율이 높은 권역에서는 버스타행량이 증가하여 수송에너지의 효율이 낮아짐을 나타내는 것이다. 이것은 아직 우리나라의 경우는, 면적이 큰 거대도시권에 있어서 복수의 비교적 작은 규모의 자족적 차하위 도시권이 형성되어 있지 못함을 시사하는 것이라고 판단된다. 모형 7의 경우는 면적이 넓은 권역에서는 버스에 대한 의존도가 높음을 나타내는 것이다.

(3) 목적변수를 트럭 OD 교통량으로 하였을 경우

<표 2-5>에 의하면, 트럭의 경우에는 경제지표가 높고, 인구의 지역적 편중정도가 크며, 수송거리가 길면 총 교통량이 증가됨을 알 수 있다.

<표 2-5> 트럭 총 통행량에 대한 회귀모형

모형	도시화율	1인당 지방세	경제활동인구	인구밀도	엔트로피	도시분산도 1	도시분산도 2	면적	조정 결정계수
1	0.30	0.83		0.10					0.67
	0.05	2.10		0.14					
2	0.48	0.46			0.40				0.88
	1.58	1.46			1.84				
3	0.75	0.11			0.36			0.34	0.99
	9.01	1.22			7.26			6.05	
4	0.51	0.69				0.39			0.84
	1.31	2.38				1.42			
5	0.13	0.89					0.07		0.67
	0.32	1.75					0.14		
6	0.22		0.84	-0.05					0.80
	0.42		2.94	-0.09					
7	0.46		0.52		0.33				0.94
	2.23		2.42		2.03				
8	0.95		-0.14		0.42			0.46	0.99
	5.24		-0.59		5.52			3.12	
9	-0.25		1.11			-0.35			0.84
	-0.40		2.48			-0.74			

상단 : 표준편회귀계수, 하단 : 값

(4) 소결

이상과 같은 고찰을 통해 우리나라의 경우, 인구밀도가 높은 곳에서는, 인구밀도가 낮은 지역에 비해 1인당 수송에너지가 상대적으로 적게 들며, 버스 보다는 자동차 통행에 대한 의존도가 높음을 알 수 있었다. 아울러 극히 제약적인 조건 하에서의 분석결과이기도 하나, 우리나라의 국토 공간구조는 전국에 대한 서울의 종주도와 지배력이 지나치게 커서 수송에너지 소비측면에서 비효율성이 야기되고 있음을 확인할 수 있었다.

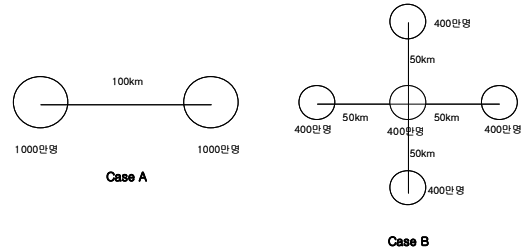
III. 도시분산에 의한 교통량 감소 가능성 검토

우리나라의 경우, 수도권과 같이 중추기능이 일극 집중된 곳이 있어 기능의 분산이 필요한 지역이 있는가 하면, 도시기능의 집중을 통해 성장거점을 육성하여 총체적 수송에너지를 절감할 필요성이 있는 지역이 있다.

이하에서는 도시를 분산시키는 것에 의해 어느 정도 권역내의 OD통행량을 감소시킬 수 있을 것인가를 검토해 보기로 한다. 이를 위해 도시가 공간적으로 분산되어 배치되어 있지 않을 때, 승용차 교통량이 감소하여 수송에너지가 절감될 수 있음을 나타내는 <표 2-3>의 모형 11을 사용하기로 한다.

우선, 면적 10,000km², 인구 2000만명의 권역이 있다고 가정하고, 2종류의 도시분산(배치)을 시도해보기로 한다. 먼저 인구 1000만의 도시가 100km 떨어져서 2개 존재

하는 경우를 Case A로 하고, 인구 400만의 도시가 5개 있으며, 이 들 도시는 하나의 도시를 중심으로 동서남북의 방향으로 50km씩 떨어져서 존재하는 경우를 Case B로 가정한다.



<그림 3-1> 도시배치에 관한 모식도

<표 2-3> 의 모형 11의 회귀계수¹⁰⁾를 사용한다고 하면 다음 식이 성립된다

$$\begin{aligned} \text{Log(OD)} &= -28.6208 - 73.7555\text{Log(UR)} + 3.7972\text{Log(PD)} \\ &\quad - 19.0027\text{Log(AUTO)} - 9.4253\text{Log(SD2)} \\ R^2 &= 0.9717, \text{ 조정}R^2 = 0.8583 \end{aligned}$$

단, OD = 권역내에서의 승용차 교통량
UR = 권역내 도시화율
PD = 인구밀도
AUTO = 1인당 승용차 보유대수
SD2 = 도시분산도 2

상기 식은 우리나라의 6대 대도시권을 표본으로 한 회귀모형이므로, 동일 권역에서는 도시화율, 인구밀도, 1인당 승용차 보유대수가 동일하다고 볼 수 있다. 따라서 도시분산도 2의 값에 따라 승용차통행량의 정도를 가늠할 수 있다.

Case A와 Case B의 도시분산도 2를 구해보면, Case A의 경우는 1이며, Case B의 경우는 0.4472이다. 따라서 Case A에서 Case B의 상태로 인구의 분산과 도시배치

10) <표2-3>에 제시된 것은 표준편회귀계수이므로, 여기서는 일반적인 회귀계수를 구해 이를 분석에 사용하기로 한다.

를 달리 하였을 경우에도 승용차의 OD교통량은 감소되지 않고 오히려 증가되어, 결국 도로부문에 대한 수송에너지의 증가를 가져온다.

이것은 우리나라의 경우 인구와 기능이 골고루 분산되어 있지 않고, 편중되어 있기 때문에 도시가 분산되면, 도시간 거리의 증대를 가져오고, 구매와 통근, 통학 등의 교통이 증가되기 때문인 것으로 추측된다.

IV. 결론

본 연구는 우리나라 국토공간을 대상으로 하여, 교통수송부문 에너지소비에 영향을 주는 요소에 관한 검토, 도시분산모형별 수송에너지 절감 가능성에 대한 검토 등을 통해 에너지절약형 국토공간구조를 위한 실천전략 방향을 제시하고자 하였다.

이를 위해, 우리나라 도시를 대상으로 위치, 인구, 에너지 소비 등의 데이터베이스를 구축하여 도시의 공간적 배치와 에너지 소비의 관계를 분석하였다. 특히 도시 분산과 에너지소비 관계를 분석하기 위해 엔트로피, 도시분산도, 도시화율, 인구밀도 및 권역면적 등을 설정하고, 1인당 수송에너지소비와의 관계, 인구규모별 에너지소비와의 관계 등을 분석하여 수송에너지와의 관계를 파악하고, 지방도시의 서울에 대한 의존도가 높다는 시사점을 도출하였다. 아울러 목적변수를 OD교통량으로 하여 국토공간을 서울을 중심으로 하는 폐쇄체계로 보고, 도시배치, 인구밀도 등에 따른

교통량의 변화관계를 살펴 본 결과, 도시의 분산을 나타내는 각종 지표와 OD교통량과는 밀접한 관계가 있음을 확인하였다. 승용차 교통량의 경우 우리나라는 도시분산이 이루어지면 질수록 교통량이 많이 발생한다는 것도 확인할 수 있었다.

이러한 분석결과를 바탕으로 도출된 정책적 시사점은 다음과 같다.

첫째, 인구의 지역적 편중이 높은 곳에서는 승용차, 버스, 트럭 모두 교통량이 증가하여, 결국 수송에너지의 증가를 가져온다. 따라서 수송에너지의 감소를 위해서는 각 권역에 있어 경제적, 문화적 자족성을 갖춘 도시를 규모별로 육성시키고, 이들 규모별·위계별 중심지의 연계성을 강화시키는 것이 필요하다. 이를 위해서는 권역 중심지에 국가 중추기능 및 업무기능을 과감히 이전시키고, 그 차하위 중심지에 이들 고차기능을 지지할 수 있는 기능과 시설을 입지시키는 것도 수송에너지의 감소를 위한 효율적인 정책이 될 수 있다고 판단된다. 도시의 규모 및 분산방법에 대해서는 중심지 이론에서의 교통의 원리를 원용하는 것도 하나의 방법이 될 수 있을 것이다. 아울러, 에너지 절약효과가 큰 국토공간구조를 형성하기 위해서는 콤팩트한 도시를 위계별로 국토에 적절하게 분산하는 것이 필요하다고 판단되나, 이에 대해서는 추후 상세히 연구할 필요성이 있다.

둘째, 현재까지 토지이용계획과 교통정책의 통합성의 내용은 주로 도시 레벨에서 다루어져 왔다. 그러나, 국토공간계획과 지역교통계획의 통합적인 접근방법을 마련하

여 실질적으로 국토 및 지역계획에 적용한다면, 지역간 교통량의 감소를 가져올 수 있고, 이 것은 결국 수송에너지의 감소와 유해한 대기가스의 방출량을 감소시키는데 크게 기여할 수 있을 것이다.

셋째, 에너지 절약적인 국토공간체계의 실현을 위해서는 도시차원에서의 에너지 절감효과에 대한 이론뿐만 아니라, 도시와 농촌, 농촌지역 내부, 도시와 도시, 농촌과 농촌사이의 수송에너지에 대한 정량적 파악과 더불어, 이들 지역간의 교통에 미치는 영향에 대한 분석 및 지역간 에너지 절감방안에 대한 이론적 체계의 정립이 선행되어야 할 것이다.

그러나 본 연구에서는 다음과 같은 점에서 연구의 한계성이 있으며, 이에 대해서는 추후 상세한 조사와 분석이 요구된다. 우선 분석의 과정에서 행정상의 도시 단위를 사용하여, 실제로는 하나의 도시로서 간주해야 될 지역을 복수의 독립된 도시로 나누어서 도시분산도를 산출한 경우가 있으며, 반대로 도농통합도시의 경우는 아직 중심도시와 배후지역이 하나의 도시로 보기에 어려운 경우에도 이들을 하나의 도시로 간주하여 도시분산도를 구한 경우가 있다. 또한, 분석에서 사용한 도시분산도는 도시간에 존재하는 산맥, 강, 호수 등에 의한 실질적인 거리의 증가를 고려하지 않고 있다. 또한 엔트로피에 있어서도 도시분산도와 마찬가지로 행정상의 단위를 도시로서 사용했기 때문에 문제가 있다.

본 연구에서는 도시내 교통에 대해서는

분석의 대상에서 제외시켰다. 도시의 규모와 도시화율, 인구밀도, 생활편익시설의 설치정도에 따라 도시내교통량이 달라질 수 있다는 것에 대해서는 고려하지 않았다. 또한, 인구의 집중에 의한 도시의 대규모화 또는 인구의 분산에 의한 소규모 도시화에 필요한 비용 및 인위적 도시규모조정 및 배치에 따른 역효과 등에 대해서는 고려하지 못하였다.

본 연구에서는 도로부문의 자동차 여객 교통 위주로 분석하였기 때문에, 실제 수송에너지소비비율이 큰 철도화물, 철도여객, 해운화물 부문 등이 고려되지 않았다. 화물교통 OD 등의 데이터베이스기반이 구축되면 최근 물류비용증대에 따른 수송비증대, 에너지소비증대 문제와 연관시켜 볼 때 물류센터의 교통결절점분포에 따른 물류비용감소, 에너지감소효과 등도 검증이 가능할 것으로 판단된다.

향후 에너지절약을 고려한 공간정책지원을 위해 지역 및 도시차원에서의 다각적인 분석모형개발 필요하고, 관련분야와의 협력연구기반조성이 필요하다. 이를테면, 지역간 분석의 경우 SOC투자효과 평가 모형을 개발하고, 토지이용과 교통균형의 해의 cost minimization principle과 연계하여 비선형최적화 모형 개발 등을 검토하여 보다 정교한 분석틀을 구축할 수 있을 것이다. 도시내 분석의 경우는 교통수단간 최적밀도와 거리분석, 대도시 통근실태조사, 직주균형을 위한 할당모형개발이 필요하다고 생각된다.

이와 함께 에너지소비는 사람들의 교통

행위 형태와 자동차와 도로에 의한 공급조건 등에 의해 영향을 받기 때문에 연구의 범위와 조건을 넓혀가면서 체계화하는 작업이 요구된다. 여객수송 외의 화물수송 포함 시 그 특성에 대한 분석이 요구되며, (인구, 중추기능, 교통·물류시설, SOC시설 등)을 지역균형발전전략과 연계하여 에너지소비를 최소화할 수 있는 최적분산, 입지대안 모색에 대한 연구, 에너지절약적 측면에서의 신도시개발과 내부충진식 개발

A B S T R A C T

A Study on the Changing Factors of Transportation Energy in National Space

Myeong-Hun Lee, Sun-Hee Kim, and Jin-Kyu Chung

※ keywords : Spatial Structure, Energy Saving,
City Distribution

Assuming that change of national spatial structure impacts on regional transportation demand, this study examines the relationship between urban dispersion and transportation energy consumption. Although previous studies verified that transportation energy consumption per person is lower in the cities with higher population density, studies which deal with quantitative analysis about the relationship between urban dispersion and transportation energy saving are not found. For the analysis, several factors are used, such as entropy, degree of urban dispersion, urbanization ratio, population density, and land size of region. Findings show that indicators of urban dispersion are closely related to trip volume. Unlike the cases of developed countries, larger urban dispersion is expected to generate more trips between cities. This study first suggests that economically and culturally self-sufficient cities should be developed to minimize regional trips. Second, integrated studies of transportation and land use should be expanded from urban to national level. Finally, discussions of transportation energy saving should include not only urban but also rural areas.

지역특성별(산업도시, 관광도시, 경유도시 등)로 사람들의 교통행위형태를 연구하고, 통근통행뿐만 아니라 비통근통행도 고려하면서, 대중교통서비스와의 접근성 등도 연구의 대상에 포함시켜야 될 것이다.

이 밖에도 국토·도시정책, 토지이용정책, 교통정책이 환경보전, 에너지절약관점에서 통합적으로 이루어질 수 있는 실질적인 수단과 실천 전략을 정량적으로 지원할 수 있는 조사분석틀과 모형 개발이 필요하다. 에너지소비를 유발할 수 있는 요소들

비교모형에 관한 연구 등 앞으로 수행해야 될 연구들이 산적해 있다. 이에 대한 효율적이면서 실질적인 연구를 수행하기 위해서는 정부관계부처간의 협의와 관련 연구기관간의 협조체계 구축이 선행되어야 할 것이다.

참고 문헌

1. 안건혁(2000), “도시형태와 에너지 활용과의 관계 연구”. 국토계획 35(2) : 9-18

2. 황금희 외. 2001. “교통에너지 절약형 도시성장패턴 구축을 위한 토지이용 전략: 수도권 인구·교통밀도를 대상으로 한 시론적 연구”. 경기개발연구원
3. 中村理, 吉田擊(1980), “都市の輸送エネルギーと省エネルギー性”, 日本都市計划學會學術研究發表論文集 No. 15 : 349-354
4. Hemmens, G.C.(1967), “Experiments in Urban Form and Structure”, Highway Research Record 207: 32-41
5. Jamieson, G. B., Mackay, W. K. and Latchford, J. C. R.(1967), “Transportation and Land Use Structure”, Urban Studies 4: 201-217
6. Gilbert, G. and Dajani, J.S.(1974), “Energy, Urban Form and Transportation Policy”, Transportation Research Vol.8: 367-276
7. Sharpe, R.(1980), “Improving Energy Efficiency in Community Land Use - Transportation Systems”, Environmental and Planning A, Vol.12: 203-216
8. Newman, P.W.G. and Kenworthy, J.R.(1989), “Cities and Automobile Dependence”, An International Sourcebook, Aldershot, U.K.
9. Aten, Bettina and Hewings, Geoffrey(1995), “Transportation and Energy. In The geography of urban transportation” Ed. by Susan Hanson. New York: The Guilford Press.