

교통수단의 토지소모 효율성 비교분석

Evaluation and Comparison of Land Consumption Efficiencies of Transportation Modes

신용은*

Shin, Yong Eun

Abstract

This study attempts to evaluate and compare the land consumption efficiencies of various urban transport modes, utilizing the time-area method. With the careful considerations of travel conditions and modal characteristics, equations for the computation of time-area for various different modes are derived. With the appropriate assumed values of parameters, time-area consumptions per person per km for each mode both for peak and off-peak situations are computed and evaluated. The relationships between the time-area consumed and operating speed for each mode are graphically demonstrated and discussed. An example of the time-area consumed for a hypothetical commuter round-trip using various modes are also presented in order to clearly show the consumption of parking requirements by specific modes. It shows that regardless of facilities used, auto users are by far the worst in terms of area efficiency and that transit, especially rail rapid transit, is a superior mode. Pedestrian and bicycle, though consuming more than expected, also demonstrate the advantage in case of a short-distance trip in terms of area efficiency compared with the bus transit modes.

Keywords : transportation modes, time-area method, land consumption, transit, parking

요 지

본 연구는 시간-면적 방법론을 적용하여 도시교통수단의 토지소모 효율성을 비교분석하고자 하였다. 도시의 주요 교통수단을 대상으로 그간의 연구와 달리 각 수단에 적합한 교통조건과 운행여건을 고려한 토지소모효율성 산정식을 도출하였고, 도출된 식을 이용하여 각 수단별 1km 통행시의 인당 시간-면적 소모량을 계산하여 비교하였다. 또한 산정식을 이용하여 소모량과 운행속도와의 관계를 분석하여 각 수단의 소모량의 범위를 비교하였으며, 주차에 의한 시간-면적 소모량을 명확히 제시하기 위해 외곽으로부터 도심으로 통행하는 통근자의 가상 왕복통행을 가정하여 수단별 통행에 따른 총 시간-면적소모량을 비교분석하였다. 연구의 결과, 이용시설에 상관없이 승용차 이용자가 가장 소모량이 많은 것으로 나타났고, 도시철도를 포함한 대중교통수단의 효율성이 우수한 것으로 나타났다. 예상과는 달리 도보와 자전거는 높은 소모량을 보였다. 그럼에도 불구하고 단거리 통행시 버스를 대체할 수 있는 수단으로 나타났다.

핵심용어 : 교통수단, 시간-면적 방법론, 토지소모량, 대중교통, 주차

1. 서 론

교통에 의한 토지소모 개념의 시초는 1950년대 교통혼잡의 근원적 원인을 찾고자하는 일부 학자들의 노력에서 찾을 수 있다. 이들은 교통혼잡을 교통수요가 요구하는 토지면적이 교통시설에 의해 점유된 토지면적을 초과하는 현상으로 인식하고, 제한된 토지면적의 도시에서 토지소모 효율성이 낮은 개인승용차 통행량의 급증을 도시교통 문제의 주원인으로 간주하였다.

교통수단의 토지소모 효율성을 파악하고자하는 그간의 연구들은 이용수단에 따라 토지소모량이 큰 차이가 있으며, 특히 승용차 이용시의 토지요구량이 타 수단에 비해 월등

히 많음을 보였다. 따라서 교통에 의해 요구되는 토지량은 교통량 뿐 아니라 그 도시의 교통수단 분담율에 따라서도 크게 달라지게 된다. 현재 심각한 교통문제로 고통받는 대표적인 도시들의 대부분은 승용차 이용의 지속적 증가와 대중교통이용객의 감소 현상으로 승용차 분담율 역시 가파르게 증가하고 있다. 그 결과 교통이 요구하는 부가적 토지수요로 인해 시민의 다양한 활동과 지속적 성장을 위해 이용되어야할 고귀한 도시공간이 축소되어야하는 곤경에 처해있다.

그간 수단별 토지소모량을 파악하기 위한 연구가 꾸준히 진행되어왔음에도 불구하고, 현재까지 제한적인 몇몇 수단에 한정되어 있거나, 다양한 운행여건과 상황이 고려되지 못하

*정회원 · 동의대학교 도시공학과 부교수 (E-mail : yshin@deu.ac.kr)

고 주어진 운행여건과 일정속도를 가정한 값에 한정되어 온 단점이 있다. 또한 지역 혹은 국가에 따라 교통시설의 설계 기준과 운행여건의 차이로 인한 한계로 그간 연구의 결과는 우리나라에 그대로 적용하기에는 어려움이 있다.

본 연구는 시간-면적 개념을 적용하여 우리나라의 교통시설 설계기준과 수단별 운행여건, 특성을 고려하여 도시교통수단의 토지소모량을 산정하고 각 수단별 효율성을 비교분석함에 목적을 둔다. 이를 위해 그간 진행되어 온 선행연구를 검토하고, 토지소모량 산정방법인 시간-면적 개념을 살펴본다. 이어서 우리나라에서 운행 중인 일반적인 도시교통수단을 선정하여 각 수단의 시간-면적 방법론에 의한 토지소모량 산정식을 도출하여 수단별 소모량을 계산한다. 본 연구에서는 실제 이용수단의 운행여건에 따라 각 수단의 소모량 편차가 크을 고려하여 서비스수준의 가장 중요한 척도인 속도변화에 따른 수단별 토지소모량의 범위를 파악하고, 수단 간의 현실적 소모량 비교를 위해 가상적인 통근통행에 의한 수단별 소모량을 계산하여 비교한다. 본 연구의 결과는 정책가, 교통계획가로 하여금 도시교통계획 수립과 평가 시 유용한 정책적 지침과 근거가 될 것으로 기대한다.

2. 선행연구

교통수단의 토지소모(Land consumption)에 관한 연구는 Hicker(1951)가 승용차와 버스 이용자의 인당 요구되는 도로 길이를 비교한 논문이 최초라고 할 수 있고, 면적에 기반을 둔 최초 개념은 1957년과 1959년에 the Union of Internationale des Transport Publics(UITP) 팸플릿에서 찾을 수 있다. 이후 Smeed(1961, 1963, 1965, 1967)에 의해 소모량 산정식으로 표현되고 Leibbrand(1970), Pushkarev와 Zupan(1975) 등에 의해 여러 수단의 토지소모량 계산에 적용되었다.

Smeed의 면적기반 산정식은 다음과 같다.

$$A_e = \frac{1000 \cdot W \cdot D_e}{C \cdot T} \quad (1)$$

여기서, A_e 는 통행단위당 토지소모량이며, W 는 통행로의 폭, D_e 는 통행단위의 통행거리, C 는 통행로의 통행량 그리고 T 는 분석시간을 말한다. 위 식에 통행단위의 재차인원을 나누면 인당 소모량이 계산된다.

위 식을 적용하여 Smeed는 승용차, 버스, 노면전차의 면적소모량을 산정하였으며, Leibbrand(1970)도 주어진 면적의 가상도시에 교통시스템을 위한 토지량과 오피스빌딩이 점유하는 토지량 간의 관계분석을 위하여 대중교통(버스, 지하철)과 승용차의 면적소모량을 계산하였고, Pushkarev와 Zupan(1970)은 도시교통수단인 도보와 자전거 외에 비행기를 포함한 다양한 수단에 위 개념을 적용하였다. 위 연구들의 공통의 목적은 승용차 이용자에 의한 대규모 토지요구량이 도시에 미치는 악영향을 강조함에 있다. 그러나 일률적으로 속도와 재차인원의 일정 값만 적용하였고, 순간면적소모량만을 계산하는 면적기반 산정법의 단점으로 인해 경과시간의 함수인 주차에 의한 토지소모량을 적절히 감안하지

못하였다.

면적기반 산정법의 약점을 보완한 시간-면적이론의 개념이 1977년 Marchand에 의해 소개되었으며, Schmider(1977)는 4km의 통행거리와 2, 4, 6시간 동안의 주차시간을 가정한 자전거, 승용차, 버스 이용자의 인당 시간-면적 소모량을 비교하였고, Marchand(1985)은 일정한 거리와 주차시간을 가정하여 승용차, 버스, 보행자의 소모량을 비교하였다. Fruin과 Benz(1980, 1986) 등은 위 개념을 보행공간의 설계에 적용하였고, Bruun(1992, 1994)¹⁾은 시간-면적 개념을 일반화된 수식으로 정립하여 모든 수단에 적용될 수 있는 방법론임을 증명하였으며, 침투와 비침투로 구분하여 승용차, 버스, 도시철도, 도보의 소모량을 비교분석하였다.

그러나 이러한 연구들은 연구목적에 적합한 제한된 수단에 한정하고, 일정한 주행속도와 운행여건을 고려한 특정 결과값만을 제시함으로써, 연구결과를 다양한 여건과 상황에 일반화시키기엔 한계가 있다.

3. 시간-면적 방법론의 개념

시간-면적 방법론(Time-area method)에 의한 소모량은 차량의 주행시간과 주행시간 동안 점유면적의 곱으로 단순히 정의할 수 있다. 점유면적의 개념 이해를 위해 순간시간 t 에 속도 $v(t)$ 로 폭 W 의 도로를 주행하는 길이 l_e 인 통행단위 e 가 점유하는 순간면적($A(t)$)의 구성요소가 그림 1에 제시되어 있다.

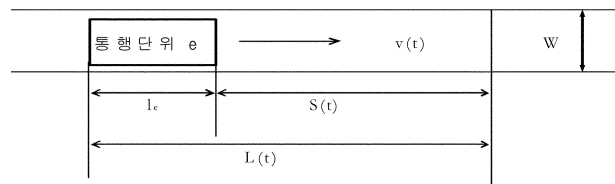


그림 1. 통행단위 e의 순간점유면적 구성요소

통행단위 e 에 의한 순간시간 t 동안의 점유면적은 앞차와의 안전거리²⁾ $S(t)$ 와 차량길이 l_e 의 합인 $L(t)$ 와 도로폭 W 의 곱으로 결정되며, 이를 순간점유면적(Instantaneous area occupancy)이라 한다.

일반적으로 단속류 주행 시는 도로와 교통조건에 따라 주행과 정지를 반복하게 되고, 차량 속도 역시 변화한다. 이에 따라 순간점유면적 역시 변화하게 되며, 속도가 0인 정지 상태에서는 차량의 정지를 위한 면적만큼 점유하게 된다. 엄밀히 정의하면 차량이 교차로 등에서 일시 정지할 시의 순간점유면적은 차량길이와 정지 상태에서 요구되는 앞차와의 안전거리를 합한 길이와 도로의 폭의 곱에 의해 결정되고, 주차면에 주차할 시는 주차면의 면적이 순간점유면적에 해당된다.

- 1) 일부 연구는 시간-공간(Time-space)이란 용어를 사용하나 Bruun은 도시교통의 경우는 2차원의 개념이 적용된다는 이유로 Space 대신 Area를 사용하였다.
- 2) 선행차량이 정지할 시 충돌이 발생치 않은 정도의 거리로서 Bruun은 안전거리원칙(Safety regime)에 따라 달라지는 Shadow length라 한다.

시간의 흐름에 따른 통행단위 e의 가상적인 움직임이 그림 2의 시간-면적 좌표 상에 제시되어 있다.

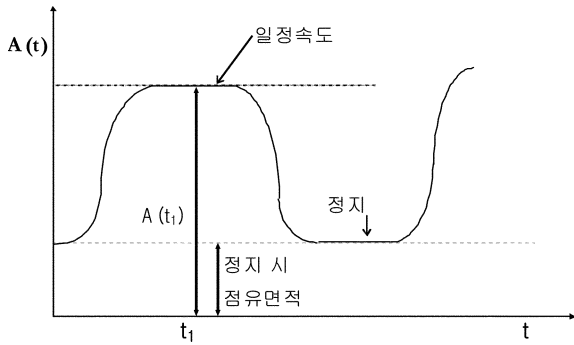


그림 2. 통행단위 e의 시간-면적 좌표상의 이동

통행단위 e가 주행하는 전체시간(t_e)동안 소모되는 시간-면적소모량은 통행단위 e의 순간점유면적을 주행시간에 관하여 적분함수로 표현할 수 있다. 즉,

$$TA_e = \int_{t_e} A_e(t)dt = \int_{t_e} WL(t)dt. \quad (2)$$

만약 교통흐름이 동일 수단에 의한 연속류에 해당된다면, 즉 정지상태가 전무하고 동일한 수단 교통량 q가 분석시간 T 동안 분석대상 구간의 거리 D를 통과하는 경우의 통행단위 당 시간-면적 소모량은 다음의 단순화 된 식으로 표현할 수 있다.

$$\overline{TA}_e = \frac{TA}{q} = \frac{TWD}{q}. \quad (3)$$

마지막으로 주차 혹은 정지상태 차량의 시간-면적 소모량은 주차 혹은 정지상태하의 점유면적에 주차시간 혹은 정지시간의 곱으로 구할 수 있다.

시간-면적 방법은 종래의 면적기반 산정방법과 비교하여 다음과 같은 장점이 있다.

첫째, 교통의 중요 2가지 변수인 시간과 면적을 단일지수로 통합할 수 있으며, 둘째, 수단이 이용할 수 있는 다양한 시설들에 의한 소모량의 산정과 비교를 가능케 하는 공통지표를 제공하고, 마지막으로 이동과 정지상태 시의 토지소모량에 대한 공통척도를 제공한다(Bruun 1994, Shin 1997).

4. 수단별 시간-면적 소모량 산정식

본 연구에서는 도시지역에 일반적으로 존재하는 도시교통 수단을 선정하고, 각 수단의 특성과 여건을 고려한 시간-면적 산정식을 도출하여 각 수단의 소모량을 산출한다.

4.1 대상 교통수단

본 연구를 위해 선정된 도시교통수단은 다음과 같다.

- 도보
- 자전거: 자전거 전용도로(양방향통행)
- 승용차: 고속도로, 간선도로
- 버스: 간선도로, 버스전용도로
- 도시철도: 지상이용철도

수단별로 요구되는 시설의 규모와 제원이 상이하고, 동일 수단도 시설의 종류와 운행여건에 따라 순간점유면적에 상당한 편차가 발생한다. 이 같은 여건과 산정의 편의를 동시에 감안하되 가급적 현실적인 시간-면적 소모량 산정을 위해 도보, 자전거, 고속도로 승용차 이용을 제외한 나머지 수단은 모두 단속류로 가정하였고, 도로용량편람(2004) 등 우리나라의 법적 혹은 제도적인 계획기준을 적극 활용하였다.

본 연구에서는 연속류에 해당하는 도보, 자전거 그리고 고속도로 이용 승용차는 각각 별도의 산정식을 도출하고, 단속류 해당 수단에 일률적 적용을 위한 단속류 산정식을 도출한다.

4.2 보행자 산정식

도보 산정식은 Fruin(1970)이 직장 통근자의 보행패턴 연구를 통해 도출한 도보에 의한 면적점유량과 도보속도의 관계식을 이용하였다.

$$A = \frac{1.226}{4.884 - v}, [A: \text{km}^2, v: \text{km/h}]. \quad (4)$$

위 관계식의 기반은 양방향통행 흐름이며, A와 v값은 평균값이다. 위 식으로부터 시간-면적 산정식을 다음과 같이 도출할 수 있다.

$$TA_p = A \frac{D}{v} = \frac{1.226D}{4.884v - v^2}, [TA: \text{m}^2\text{-hr/p}; D: \text{km}]. \quad (5)$$

4.3 자전거 산정식

자전거 산정식 도출을 위해 도로용량편람(2004)상에 제시된 자전거전용도로의 양방향통행로에 제시된 다음 관계식을 이용하였다.

$$F = Q_{bike} \left[1 + \left(\frac{2\sigma}{U_{bike}\sqrt{\pi}} - 1 \right) \cdot p \right]. \quad (6)$$

여기서 F는 상충횟수, Q_{bike} 는 양방향 자전거교통량(vph), U_{bike} 는 자전거 평균속도(vph), 그리고 s는 속도의 표준편차이며, p는 양방향 교통류에서 진행방향 교통류의 비율이다.

자전거전용도로 양방향통행 서비스수준 D에 해당되는 상충회수의 한계치인 $F=300$ 과 양방향 비율 $p=0.5$ 를 적용하고, 동일한 속도의 교통류를 가정할 경우(즉, 표준편차를 고려치 않고), 위 식으로부터 자전거이용자의 시간-면적 소모량 산정식은 다음과 같이 도출할 수 있다.

$$TA_p = \frac{WD}{Q_{bike}} = \frac{1000WD}{159.48 \cdot U_{bike}}, [W: \text{m}]. \quad (7)$$

4.4 연속류 산정식(고속도로 이용 승용차)

연속류에 해당되는 고속도로를 이용하는 승용차는 다음 Greenshield 속도-교통량 관계식을 적용하였다.

$$q = 44u - 0.22u^2, [q: \text{대/시}; k: \text{대/km}; v: \text{km/시}]. \quad (8)$$

위 식은 도로용량편람(2004)에서 제시한 설계속도 100kph, 최대교통량이 2,200대/시의 고속도로 기본구간에 적용 가능한 관계식이며, 식 (8)로 부터 시간-면적 산정식을 다음과

같이 도출할 수 있다.

$$TA_e = \frac{WD}{q} = \frac{100WD}{44u - 0.22u^2}. \quad (9)$$

4.5 단속류 산정식

단속류는 주행과 정지가 반복되는 교통흐름으로서 시간-면적 소모량은 주행과 정지 시 소모량의 합으로 계산할 수 있다. 본 연구에서는 분석의 편의를 위해 정지지점에서의 움직임 그림 3과 같이 단순화 하였다. 즉, 정지지점에서의 차량 움직임을 일정속도 v_1 로 주행하던 차량이 정지지점 부근에서 일정한 감속도 b 로 감속하여 정지한 후 일정시간 t_s 정지 후 다시 일정가속도 a 로 가속을 하여 속도 v_1 에 이르는 과정으로 가정하고, 단속류에 의한 시간-면적 산정식을 도출하였다.

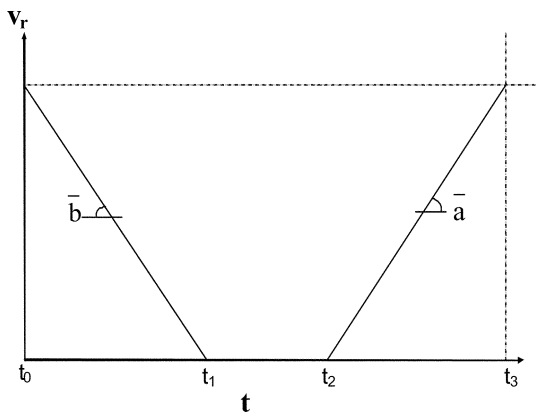


그림 3. 정지지점에서의 시간-거리 좌표상 차량의 가상 움직임

우선, 위 과정에서 발생하는 소모량은 감속과정, 정지과정, 그리고 가속과정에서 발생하는 소모량의 총합으로 표현할 수 있다.

$$TA_{es} = \frac{W}{3600} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right) \left(\frac{lv_t}{7.2} + \frac{t_r v_r^2}{25.92} + \frac{v_r^3}{279.9 b_{ef}} \right) + \frac{A_{st} t_s}{3600}, \quad (10)$$

[l: m, b_{ef} : m/s^2 , t_r : s, v_r : km/hr, a, b : m/s^2 , A_{st} : m^2].

여기서 t_r 은 운전자 반응시간, 그리고 $b_{ef} = (b_2 - b_1)/b_1 b_2$ 는 안전거리를 결정하는 계수로서 car-following rule 혹은 안전거리원칙(safety regime)에 따라 변하는 값으로 b_1 은 후미차의 감속도, b_2 는 선두차의 감속도이다. A_{st} 는 정지시의 차량의 점유면적을 나타낸다.

위 정지 과정동안 차량의 총 주행거리 즉, 감속이 시작되는 지점부터 가속이 끝나는 지점까지의 거리는 다음 식에 의해 계산될 수 있다.

$$d_l = \frac{1}{2} a^2 t_1 + \frac{1}{2} b^2 (t_3 - t_2) = \frac{v_r^2}{2} \left(\frac{1}{a} + \frac{1}{b} \right). \quad (11)$$

따라서 거리 D-km를 주행하는 차량이 주행 중 n_s 번의 정지한다고 가정할 시의 시간-면적 산정식은 다음과 같다.

$$TA_e = W(D - n_s d) \left(\frac{1}{v_r} + t_r + \frac{v_r}{2b_{ef}} \right) + n_s TA_{es}. \quad (12)$$

5. 시간-면적 소모량의 수단별 산정

5.1 파라미터 값 결정

도출된 수단별 산정식을 이용하여 각 수단의 시간-면적 소모량 계산을 위해서 각 식의 파라미터 값이 필요하다. 표 1에 각 수단 산정식에 적용될 파라미터 값이 제시되어 있다.

지면 관계상 모든 파라미터 값에 대한 설명이 불가능하나, 예를 들면, 자전거의 경우 통행로 폭은 도로용량편람(2004)의 양방향 자전거전용도로 폭인 3m를 적용하고, 주차면은 자전거 이용시설 정비기준에서 제시한 1.33 m^2 를 적용하였다. 고속도로의 경우 4차로 고속도로의 중앙분리대와 길어깨 등의 폭을 포함한 1개차로의 평균값을 적용하였다.

도시철도는 궤도가 지상면을 이용한다고 가정하고 서울시의 설계기준에 따라 10량 열차를 위한 통로폭과 플랫폼의 폭과 길이를 고려한 평균 역사 면적을 적용하였다. 또한 수단별 평균재차인원은 침두시와 비침두시의 평균값으로 국가교통센서스 자료를 활용하였고, 도시철도의 재차인원은 서울시 자료를 적용하여 1량 160명 정원 차량에 침두시간 225%,

표 1. 수단별 적용 파라미터 값

수단	통행로 폭(m)	재차인원 (인/대,량)	정류장/주차장 (m^2)	가속 (m/s^2)	감속 (m/s^2)	km당정지 횟수	정지시간 (초)
자전거(BIC)	2.0	-	1.33	-	-	-	-
승용차 간선도로(AS)	3.75	침두:1.55	18	1.5	2.4	1.41	30
		비침두:2.88					
승용차 고속도로(AF)	5.375	침두:1.55	-	1.5	2.4	-	-
		비침두:2.88					
버스 일반도로(BS)	3.75	침두:63	120	0.9	1.4	2.5+ (1.41)*	30+ (30)**
		비침두:45					
버스 전용도로(BB)	5.0	침두:63	320	0.9	1.4	2.0	30
		비침두:45					
도시철도(RRT)	5.0	침두:360	1,517	1.0	1.0	1	20
		비침두:160					

* 신호교차로에 의한 정지수

** 신호교차로에 의한 정지시간(초)

자료: 도로용량편람(2004), 도로구조, 시설기준에 관한규칙 해설 및 지침(2001), 자전거 이용시설 정비기준(1997), 서울시 도시기반시설 본부-지하철주요설계기준, 국가교통센서스(2005), 주차장법시행규칙 (2008) 등

비침두 100% 혼잡율을 적용하였으며, 도시철도의 역정차시 정지시간은 20초를 가정하였다.

간선도로상의 신호교차로에 의한 km 당 정차 수를 산정하기 위해서 밀집지역을 통과하는 4차로 도로에 500m마다 신호교차로가 존재하고 중앙분리대가 없는 도로를 가정하였으며, 교차로 상의 신호주기는 120초, 적색과 녹색시간 비율은 50:50, 그리고 동일 속도의 일정한 교통흐름을 가정하였다. 그 결과 교차로에서 적색신호에 의한 km당 정차 수는 1.41 번으로 계산되었다.

승용차의 주차면은 주차장법 시행규칙에 제시된 평행주차 형식의 일반형으로 최소 제원인 폭 2m와 길이 6m의 주차면의 크기에 부가적으로 차량문의 개폐에 따른 면적과 인근 타 수단 혹은 장애물과의 안전거리 등을 고려하여 차량당 18m²를 적용하였다.

5.2 수단별 비교와 분석

제시된 산정식에 파라미터 값들을 적용하여 수단별 1km 통행시 인당 통행로 시간-면적 소모량을 침두시와 비침두시로 구분하여 산정하였다.

소모량은 서비스수준을 결정하는 중요한 척도인 운행속도에 따라 크게 변화하기 때문에 우선 수단별 소모량과 운행속도의 관계를 검토하였다(그림 4, 그림 5 참조).

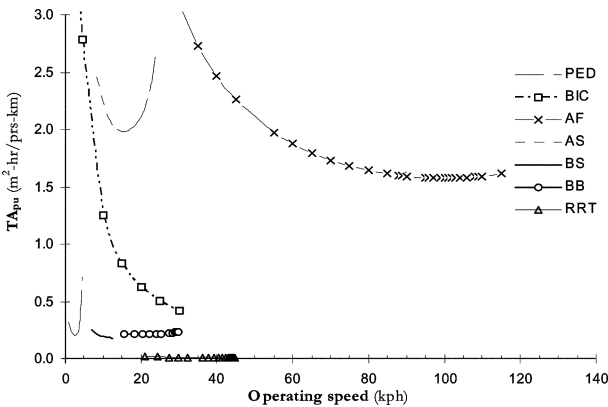


그림 4. 속도와 수단별 소모량과의 관계(침두시 재차인원 적용)

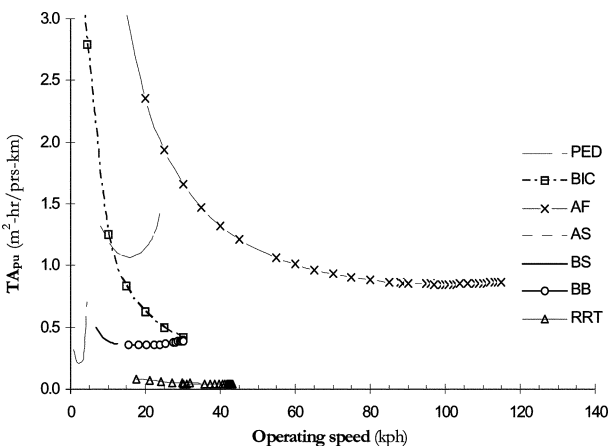


그림 5. 속도와 수단별 소모량과의 관계(비침두시 재차인원 적용)

위 그림으로부터 다음과 같은 내용을 파악할 수 있다.

첫째, 속도와 시간-면적 소모량 관계를 살펴보면, 저속영역에서는 최대용량에 도달할 때까지(속도가 증가 할수록) 감소

하나, 이후에는 속도가 증가함에 따라 소모량도 증가한다. 즉, 용량분석 상 최대속도와 소모량이 최소가 되는 속도가 일치한다.

둘째, 재차인원과 상관없는 도보와 자전거를 제외하고 침두시간에 비해 비침두시간 동안 모든 수단의 시간-면적 소모량이 큰 것으로 나타났고, 전체적으로 대중교통수단의 효율성이 승용차에 비해 양호한 것으로 나타났다.

셋째, 개인승용차 수단이 시설의 종류(고속도로 혹은 간선도로)에 상관없이 가장 비효율적인 수단으로 나타났으며, 고속도로를 주행하는 승용차가 간선도로 이용 승용차에 비해 소모량 뿐 아니라 속도에서도 효율적으로 나타났다. 즉 토지 소모량의 관점에서 보면, 도시 교통시설로 고속도로가 간선도로에 비해 우수한 선택이라 할 수 있다. 그러나 주변지역과 시민의 활동공간을 제공하는 등 다양한 간선도로의 서비스 기능을 감안하고, 본 연구에 포함되지 않은 램프 혹은 인터체인지 시설이 존재하는 경우의 토지요구량을 감안하면 고속도로의 효율성은 재고의 여지가 있다고 하겠다.³⁾

넷째, 침두와 비침두를 막론하고 도시철도가 토지소모측면에서 가장 효율적인 수단으로 파악되었고, 통행속도도 고속도로 이용 승용차를 제외하고 가장 빠른 것으로 나타났다. 본 연구에서 제외되어 있으나, 도시철도의 경우 지하구간을 이용할 시는 지상토지의 점유면적이 역사진출입구에 한정되어 토지소모량이 극히 미미해질 수 있음도 잊지 말아야 한다.

다섯째, 침두시 도보와 자전거 이용자의 소모량이 일반적인 예상보다 타 수단에 비해 높은 것으로 나타났으며, 비침두시에는 자전거의 경우 일정한 속도구간에서는 버스수단에 비견할 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 대표적인 녹색교통 수단으로서 환경문제와 지속가능성에 미치는 영향과 단거리 교통수단으로서의 특성 등을 감안하면 도보와 자전거의 중요성은 대중교통수단에 못지않다고 할 수 있다.

수단별 소모량의 보다 명확한 분석을 위해 수단에 따라 요구되는 주차를 포함한 소모량을 비교하였다. 이를 위해 도시 외곽의 거주자가 도심에 위치한 직장으로 통근하는 통행을 가정하였다. 통근거리가 일방향 10km이며, 8시간 근무 후 집으로 돌아오는 경우를 가정하였다. 승용차 혹은 자전거를 수단으로 선택할 시 근무시간 동안 근무지 주차공간이 필요해진다. 반면 버스, 도시철도 등의 대중교통수단의 주차공간은 일반적으로 외곽지역에 설치되기 때문에 근무지에 대중교통수단의 주차공간은 필요하지 않은 것으로 가정하였다.

위 가정과 더불어 침두시의 적절한 운행속도와 재차인원 등을 적용하여 수단별 시간-면적 요구량을 산정하였고, 그 결과가 표 2와 그림 6에 제시되어 있다.

즉, 근무시간 중에 요구되는 8시간 동안의 주차로 인해 승용차 이용자의 시간-면적 소모량은 크게 증대하게 되며, 자전거 역시 필요면적이 극소함에도 불구하고 다소 증가하게 된다. 반면 대중교통 이용 시는 통근지에 의한 시간-면적 소모량이 일률적으로 극히 미미한 것으로 나타났다. 도보는

3) Wilbur Smith and Associates의 보고서(1966)에 따르면 교통량에 따라 차이가 나긴하나 보통 40에이크 이상의 면적이 요구된다고 지적하고 있다.

표 2. 왕복거리 20-km 통근자의 수단별 시간-면적 소모량 (8시간 주차)

수단	Vo(km/h)	재차인원(인/대)	도로(m ² -hr)	주차:8시간(m ² -hr)	총TA
보행자	4	1	7.00	0	7.00
자전거	13.5	1	12.54	10.64	23.18
승용차간선도로(AS)	20	1.55	40.10	92.90	133.00
승용차고속도로(AF)	100	1.55	32.00	92.90	124.90
버스일반도로(BS)	12	63	2.92	0	2.92
버스전용도로(BB)	20	63	3.39	0	3.39
도시철도(RRT)	35	3,600	2.28	0	2.28

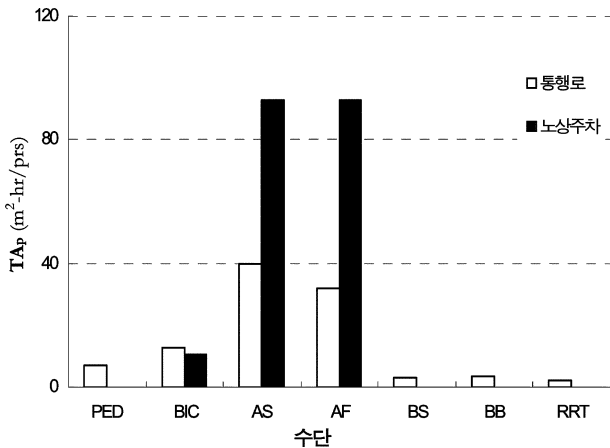


그림 6. 왕복거리 20-km 통근자의 수단별 시간-면적 소모량 (8시간 주차)

비록 위 상황에 적절치 못한 단거리 수단이지만 하나 단순 비교를 위해 제시되어 있고, 그럼에도 불구하고 승용차에 비해서는 월등히 효율적 수단임을 알 수 있다.

특히, 승용차를 이용할 시 주차에 의해 요구되는 소모량은 통행로의 2배 이상으로 나타나 승용차의 주차요구에 의한 도시공간 파괴력을 실감하게 한다. 물론 주차빌딩 혹은 지하 주차장을 건설함으로써 주차시설을 위한 지상토지요구량을 최소화 시킬 수 있으나, 주차장 주변의 주차 진출입차량으로 인한 교통혼잡이 타 교통흐름에 야기할 수 있는 부가적 소모량 증가와 주차시설의 공급이 도로 교통량의 증가를 유도할 가능성이 있다는 점 등 주차가 도시교통에 미치는 악영향도 무시할 수 없을 것으로 판단된다.

6. 결 론

본 연구는 시간-면적 방법론을 적용하여 여러 도시교통수단을 이용하는 통행인의 토지소모 효율성을 비교분석 하였다. 이를 위해 그간의 교통과 토지소모량에 관한 선행연구를 검토하였으며, 시간-면적 방법론의 개념을 살펴보고, 보편적인 도시교통수단을 선정하여 각 수단의 시간-면적 방법론에 의한 토지소모량 산정식을 도출하여 수단별 소모량을 계산하였다.

본 연구에서는 그간의 연구와 달리 일정한 교통조건과 운행조건이 아닌 다양한 운행상황과 수단의 특성을 고려하고, 도보, 자전거, 승용차, 버스, 그리고 도시철도 등 주요 도시교통수단을 선정하여 각 수단에 적합한 토지소모량 산정식

을 도출하였고, 도출된 식에 적절한 파라미터 값을 적용하여 수단별 1km 통행시 인당 시간-면적 소모량을 비교하였다. 또한 소모량과 운행속도와의 관계를 분석하여 속도에 따른 소모량의 변화를 살펴보았다. 주차에 의한 소모량을 명확히 제시하기 위해서 외곽지역에서 도심으로 통근하는 가상의 20km 왕복거리의 통근통행을 가정하여 수단별 통행에 따른 총 시간-면적 소모량을 비교하였다.

연구의 결과, 이용시설에 관계없이 승용차를 이용할 시 토지소모량이 가장 많은 것으로 나타났고, 도시철도를 포함한 대중교통수단의 효율성이 우수한 것으로 나타났다. 예상과는 달리 도보와 자전거는 높은 시간-면적 소모량을 보였다. 그럼에도 불구하고 단거리 통행시 버스수단을 대체할 수 있는 것으로 나타났다.

본 연구는 모든 수단을 지상시설로 가정하여 분석한 약점이 있고, 선정된 수단에 따른 모든 교통조건과 운행여건을 고려한 소모율 산정은 현실의 복잡성으로 인해 불가능하기 때문에 제한된 여건변화와 상황을 가정하여 연구를 진행하였다. 따라서 향후 보다 정밀한 산정을 위해서는 각 수단의 특성을 고려함은 물론 주어진 교통조건과 운행여건을 보다 적절히 고려한 파라미터 값을 적용토록해야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 건설교통부(2004) 도로용량편람, 수정본.
- 건설교통부(2001) 도로구조시설 기준에 관한 규칙해설 및 지침, 건설교통부 도로국.
- 건설교통부(2008) 주차장법 시행규칙, 일부개정 2008.3.14. 건설교통부령 제4호.
- 내무부(1997) 자전거 이용시설 정비기준, 대한교통학회.
- 서울시도시기반시설본부(2008), 지하철 주요설계기준, <http://smih.seoul.go.kr/data/data01.php>
- 진장원(1999) 보차혼합도로에서 시공간노출량 지표에 관한 연구, 대한교통학회지, 대한교통학회, 제17권 제2호, pp. 105-114.
- Benz, G.P. (1986) *Applications of the Time-Space Concept to a Transportation Terminal Waiting and Circulation Area*, Transportation Research Record 1054, National Research Council, Washington DC, USA. pp. 16-22.
- Brunn, C.E. (1992) *The Calculation and Evaluation of the Time-Area Parameter for Any Transportation Mode*, Ph.D. Dissertation, Dept. of Systems Engineering, Univ. of Pennsylvania.
- Bruun, C.E. and Vuchic, V.R. (1994) Time-Area Concept: development, Meaning and Applications, *Transportation Research Record 1499*, National Research Council, Washington DC, USA, pp. 95-104.

- Fruin, J.J. (1971) *Pedestrian Planning and Design*, Metropolitan Association of Urban Designers and Urban Planners, New York, USA.
- Leibbrand, K.T. (1970) *Transportation and Town Planning*, MIT Press, London, England.
- Marchand, L. (1985) A Fruitful Concept in Town Planning: Space-Time Consumption. *Regie Autonomes des Transports Parisiens*, Paris, France, pp. 3-6.
- Marchand, L. et. al. (1989) How to Allocate Road Space in Urban Places, *Presented at Congress of the Union Internationale des Transports Publics*, Singapore.
- Pushkarev and Zupan (1975) *Urban Spaces for Pedestrians - A Report for the Regional Planning Association*, MIT Press, Cambridge, Mass. USA.
- Schmider, A. (1977) L'Espace Urbain, Un Bien Public, *Metropolis*, No. 24-25, pp. 55-57.
- Shin, Y.E. (1997) *Analysis of City/ Transportation Relationship via Land Consumption*, Ph.D. Dissertation, Dept. of Systems Engineering, Univ. of Pennsylvania.
- Smeed, R.J. (1961) The Traffic Problem in Towns, *Manchester Statistical Society*, 8th, pp. 1-59.
- Smeed, R.J. (1963) Road Development in Urban Areas, *Journal of the Institution of Highway Engineers* 10. England, pp. 5-30.
- Smeed, R.J. (1963) The Traffic Problems in Towns, *Town Planning Review*, Vol. 35, No. 2, pp. 133-158.
- Smeed, R.J. (1965) A Theoretical Model of Commuter Traffic in Towns, *Journal of Institute of Mathematics and Its Applications*, 1, pp. 208-225.
- Smeed, R.J. (1967) The Road Capacity of City Centers, *Highway Research Record*, No. 169, pp. 22-29.
- Smeed, R.J. (1968) Traffic Studies and Urban Congestion, *Journal of Transport Economics and Policy* 2, pp. 33-70.
- Wilbur Smith and Associates (1966) *Transportation and Parking for Tomorrow's Cities*, New Haven, CT.

(접수일: 2008.9.26/심사일: 2008.10.2/심사완료일: 2008.10.2)