

■ 論 文 ■

보차혼합도로에서 시공간노출량 지표에 관한 연구

A Study on Time-Space Occupancy Exposure volume Index for the Mixed Traffic Streets

진 장 원

(충주대학교 건설·도시공학과 교수)

목 차

- | | |
|------------------------|-------------------------------|
| I. 서론 | 2. 새로운안전성평가지표의 개발 : 시공간노출량 |
| II. 시공간점유량의 개념 | IV. 시공간노출량을 이용한 안전성모델의 작성 |
| 1. 시공간점유량에 관한 기존연구 | 1. 조사의 개요 |
| 2. 시공간점유량의 기본개념 및 공식 | 2. 시공간노출량을 이용한 안전성 모델의 작성과 검증 |
| 3. 시공간점유도 | V. 결론 |
| III. 시공간노출량의 기본개념 및 이론 | 참고문헌 |
| 1. 안전성을 나타내는 지표 | |

요 약

본 연구에서는 시공간점유량을 이용하여 기존의 평가지표보다 더욱 합리적으로 보행자의 안전성 평가가 가능한 새로운 지표의 개발을 시도한다. 기존연구에서 자동차 교통량에 보행자 교통량을 곱하여 보차교착도라고 부르고 있고, 이것은 주민의 안전감과 밀접한 상관이 있는 것으로 밝혀졌다. 그러나 보차교착도에는 자동차의 속도개념이 누락되어 있으며, 통상 자동차의 속도와 안전감과 상관이 높은 것을 볼 때 아직 불충분한 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 시공간점유량이라는 개념을 이용하여 시공간노출량이라는 새로운 개념을 만들어내며 서울의 41개의 보차혼합공간에서 조사된 실제 데이터를 갖고 분석해본다.

I. 서론

주거지의 이면도로는 대부분 보도와 차도가 분리되어 있지 않아 교통류가 보행자, 주행차량, 주차차량 등으로 혼재되어 있어, 정비·계획시 기존의 지표를 이용하여 평가하는 데는 한계가 있어 왔다. 뿐만 아니라 주민들의 생활이 윤택해지면서 내 집 앞 도로(이면도로)의 정비 및 안전한 도로에 대한 요구도 다양해지고, 복잡해져 온 것을 고려할 때 이면도로 정비·계획을 위한 합리적인 평가지표의 개선은 시급한 실정이라 할 수 있다. 이 가운데 보행자 안전성에 관련된 지표로서, 기존연구에서는 자동차 교통량에 보행자 교통량을 곱하여 보차교착도라고 부르고 있고, 이것은 주민의 안전감과 밀접한 상관이 있는 것으로 밝혀져 있다. 그러나 보차교착도에는 자동차의 속도 개념이 누락되어 있으며, 통상 자동차의 속도와 안전감도 높은 상관이 있을 것이라고 볼 때, 보차교착도라는 지표는 아직 불충분한 것으로 사료된다.

따라서 본연구의 목적은 첫째, 이러한 보차혼합도로의 교통류 상황을 표현할 수 있는 시공간점유량(Time Space Occupancy Volume: TSOV)이라는 기본개념을 제시하고, 둘째, 보차혼합공간에서 안전성을 평가하기 위해 개발한 시공간노출량(TSO exposure volume)이라는 안전성지표를 제시한다. 끝으로, 제안한 시공간노출량 지표를 서울의 41개 도로구간에서 조사한 링크데이터를 갖고 보차혼합공간에서의 안전성모델을 작성하고 검증함으로써, 주민들에게 보다 안전하고 편안한 도로를 만들 수 있는 평가지표 및 모델을 제공하는 것으로 한다.

II. 시공간점유량의 개념

1. 시공간점유량에 관한 기존연구

시공간점유량이라는 개념이 원시적이지만 처음으로 등장하기 시작한 것은, 1959년에 개최된 국제대중교통학회(the Union Internationale des Transport Publics: UITP)에서 간행된 한 팜플렛 속에서였다. 그 후 이 개념은 유럽과 미국쪽의 각각 다른 분야에서 개별적으로 발전해왔다. 먼저 유럽 쪽에서는 Pushikarev와 Zupan이, 자전거로부터 이착륙하는 비행기에 이르기까지 도시공간에서 필요로 하는 공간점유량을 계

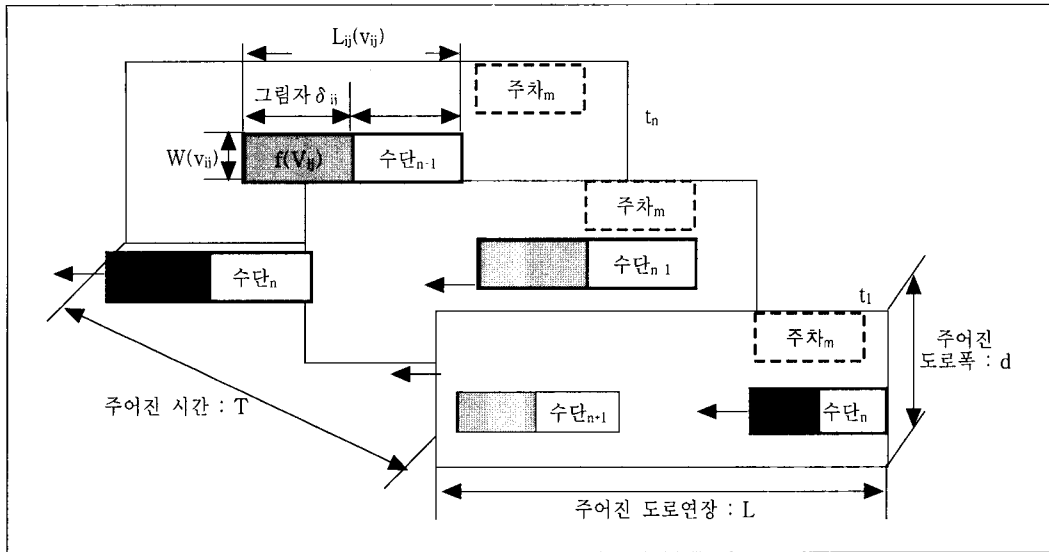
산하는 표를 만들어 보였다. 후에 Merchand는 1989년 싱가포르에서 열린 UITP에서 그의 선배 기술자와 함께, 승용차로 5km를 운전하는 데 소요되는 공간점유량을 계산해 보였다.

한편 미국쪽에서는 이 개념을 보행자공간의 설계와 관리에 사용하였다. 예를 들어 1980년 TRB에서 발행된 Circular 212에서 Fruin과 Benz는 보행자도로를 설계하는데 이 개념을 사용하여 종래의 방법과 비교하여 보였다. Benz(1986)는 마찬가지로 이 개념을 가지고 철도역사의 계단과 복도에서의 서비스수준을 계산하는데 사용하여 보였고, 최근에 Bruun(1992)은 이 개념의 정식화를 시도하여 박사학위논문을 썼다. 일본의 경우는塚口(1987)가 주거지역의 정비를 위해 공간점유도와 시간점유도라는 개념을 이용하여 지표를 개발했다. 후에 다시 中川와 塚口(1988)가 개념을 발전시켜 주거지의 정비지표의 하나로 정착시켜왔다.

그러나 이러한 연구들은 개념적인 제안에 머무르고 있으며, 단순히 시공간점유량이라는 절대량을 이용하여 주거지 또는 특정 공간의 정비에 필요한 지표로 사용하여 왔을 뿐이다. 따라서, 시공간점유량이라는 독특하고 강력한 개념이 보다 광대한 분야에 사용될 수 있는 잠재력을 갖고 있음을 고려해 볼 때 더 많은 분야에서 응용될 수 있는 방법을 찾아내는 것이 더욱 급선무라고 할 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서 이 개념을 이용하여 주민의식과 결합한 보차공존도로의 안전성지표를 개발하는 것은 큰 의의가 있다고 하겠다.

2. 시공간점유량의 기본개념 및 공식

〈그림 1〉은 시공간점유량의 공식을 유도하기 위한 중요한 개념을 제공하고 있다. 먼저, 도로의 폭 d , 연장 L 을 갖는 공간이 시간 T 동안 주어졌다고 하자. 그러면 특정 교통수단 i 의 j 번째 차량은 주어진 구간을 이동할 때, 수단 자체의 연장 δ_{ij} 와 안전하게 주행하기 위해 어느 것도 들어올 수 없는 배타적인 영역 거리 $f(V_{ij})$ 및 폭 W_{ij} 로 이루어진 안전그림자영역을 유지해야만 한다. 이것은 곧 배타적인 공간점유를 의미하며 이들 변수들은 모두 이동속도의 함수라고 볼 수 있다. 또한 주어진 시간 내에서 이동한다고 가정할 경우 이들 교통수단은 공간뿐만 아니라 t_1 에서 t_2 까지의 시간의 영역도 점유하고 있음을 알 수 있다. 따라서



〈그림 1〉 시공간점유량의 기본 개념도

우리는 일정 단위의 시간 T동안에 주어진 공간상에서 움직이거나 정지되어 있는 물체가 이와 같이 시공간을 점유하고 있는 것을 알 수 있고 본 연구에서는 이와 같이 시공간을 점유하고 있는 것을 "시공간점유량 (Time Space Occupancy Volume:TSOV)"이라고 정의하기로 한다.

이러한 개념을 이용하여 각 교통수단의 TSOV는 식(1)에 나타낸 바와 같이, 어떤 차량이 안전하게 달릴 수 있기 위한 배타적인 영역(여기서는 안전그림자라고 표현한다.)에 대해 시간 t_1 부터 t_2 까지 적분한 것과 같다.

$$Q_{tsim} = \sum_j \int_{t_1}^{t_2} A_{ij}(v_{ij}) dt \quad (1)$$

여기에서,

- Q_{tsim} : 움직이는 교통수단의 TSOV(m^2 -초)
- $A_{ij}(v_{ij})$: 교통수단 i 의 j 번째가 안전하게 달릴 수 있기 위한 영역(안전그림자)(m^2)
- v_{ij} : 교통수단의 j 번째 속도(km/초)

여기에서 만일 안전그림자 $A_{ij}(v_{ij})$ 를 안전그림자의 길이와 폭에 관한 함수($L_{ij}(v_{ij}) \times W_{ij}(v_{ij})$)로 치환하면 식(1)은 식(2)와 같이 된다.

$$Q_{tsim} = \sum_j \int_{t_1}^{t_2} L_{ij}(v_{ij}) \times W_{ij}(v_{ij}) dt \quad (2)$$

여기에서,

- $L_{ij}(v_{ij})$: 교통수단 i 의 j 번째가 안전하게 달릴 수 있기 위한 안전거리(m)
- $W_{ij}(v_{ij})$: 교통수단 i 의 j 번째가 안전하게 달릴 수 있기 위한 폭(m)

마찬가지로, 식(2)에서 $L_{ij}(v_{ij})$ 는 차량자체의 길이와 안전거리($\delta_{ij} + f(v_{ij})$)로 나뉘질 수 있고 식(3)으로 표현될 수 있다.

$$Q_{tsim} = \sum_j \int_{t_1}^{t_2} (\delta_{ij} + f(v_{ij})) \times W_{ij}(v_{ij}) dt \quad (3)$$

여기에서,

- δ_{ij} : 교통수단 i 의 j 번째의 자체길이(m)
- $f(v_{ij})$: 교통수단 i 의 j 번째가 안전하게 달릴 수 있기 위한 안전거리(m)

한편, 주차차량의 TSO는 식(4)와 같이 표현이 된다.

$$Q_{tsis} = \sum_j \int_{t_1}^{t_2} A_{ij} dt \quad (4)$$

여기에서,

- Q_{tsis} : 교통수단 i 의 TSO(m^2 -초)

여기에서도 마찬가지로, 식(4)에서 A_{ij} 는 차량자체

의 길이와 주차폭($\delta_{ij} \times W_{ij}$)로 나뉘질 수 있고 식(5)로 표현될 수 있다.

$$Q_{tsis} = \sum_j \int_{t_1}^{t_2} \delta_{ij} \times W_{ij} dt \quad (5)$$

상기 식에서 나타난 시공간점유량(m^2 -초)이라는 단위는 종래 시간점유량으로서 교통량(대/시)을, 공간점유량으로서 교통밀도(대/km)로 나타내는 개념을 통합한 것으로서 이동 중이거나 정지하고 있는 물체뿐만 아니라 크기가 다른 교통수단의 양도 통합할 수 있는 유효한 개념이 된다.(注:일반적으로 우리는 이 개념을 교통수단의 길이와 폭뿐만 아니라 높이까지도 고려할 수 있는 3차원으로 확장할 수 있다)

3. 시공간점유도(표준화 시공간점유량)

식(3)에서 나타내는 시공간점유량은, 도로의 폭이나 연장에 관계없이 어느 교통수단이 시공간적으로 점유하고 있는 절대량을 나타낸다. 그러므로 다양한 폭, 연장 및 주어진 시간을 가진 공간을 평가하기 위한 표준화 지표로서, 시공간점유량을 주어진 시공간량으로 나뉘주면 어느 공간, 어느 시간대에서도 분석이 가능한 시공간점유도가 될 수 있다. 이것은 식(6)과 같이 표현될 수 있으며, 단위는 % 또는 무차원으로 표현될 수 있다.

$$O_{tsi} = Q_{tsin} / (L \cdot d \cdot T) \quad (6)$$

III. 시공간노출량의 기본개념 및 이론

1. 안전성을 나타내는 지표

1) 실제 데이터(교통사고 건수)를 이용한 지표

도로의 안전성을 평가하는 지표로서 보편적으로 쓰이고 있는 것 중의 하나가 실제로 발생한 교통사고를 분석의 대상으로 하는 것이다. 교통사고 건수를 이용한 지표는 상당히 설득력이 있는 것으로 평가되고 있으나, 사고자체의 건수는 지구, 도로구간, 지점의 규모나 특성에 따라 크게 변동되므로, 위험도 평가를 하기 위해서는 기준화된 값을 이용하는 것에 주의할 필요가 있다. 또한, 보차혼합공간에서의 사고건수는 간선도로보다 상대적으로 작은 동시에 발생장소도 분산되어 있으므로, 통계적으로 유의한 값을 얻어내기 쉽지를 뿐만 아니라 통계적으로 충분한 데이터를 얻기 위해서 충분히 긴 시간(3-5년)에 걸친 데이터를 이용해야 하므로, 대책수립에 시간이 걸리는 경우도 많다. 한편 지구의 형태, 교통상황, 교통규제, 토지이용 등이 크게 변화하는 경우에는 데이터 집계년도를 짧게해야만 하는 경우도 많기 때문에, 효과적인 대책 마련이 어려운 경우가 많은 관계로 사고건수에 기초한 지표가 항상 유효할 수 없는 단점이 있다.

2) 주민의식에 착안한 지표

실제적인 데이터에 근거하여 안전성을 평가하는 방법 대신, 도로·교통상황과 상관관계가 높다고 알려진 주민이 느끼고 있는 안전감등의 의식조사에 근거

〈표 1〉 주민의식에 착안한 기존 안전성 평가 모델

모형	평가의 기본틀	사례연구와 평가지표	장·단점
다변량 해석 모형	의식지표를 도로·교통의 여러요인에 의거하여 평가모형을 작성하고 통계적으로 설명	-보행자불안감 -도로이용안전감 -보행, 놀이, 노상대화 -횡단, 자동차통행	-교통량과 관련이 있는 폭원등 도로상황변수의 효과분석 곤란 -실제의 교통현상과 관련성 불명확
교차도 모형	-보행자 교통량과 자동차 교통량 의 곱을 설명지표로 함 -도로공간을 폭이 없는 직선으로 하면 양자의 만남횟수에 위험감이 비례	-지구교통사고건수, 사고 밀도 -연도주민의 위험감	-보차의 분리와 속도의 영향을 고려할 수 없음
점유 이론 모형	-교통주체의 도로공간점유도를 모델화 -주행자동차, 주차, 자전거, 보행자 등의 점유율 산정 가능	-주민, 보행자안전감 -가로정비 요망도	-명쾌한 모델구조 -모든 도로공간 이용주체고려가능 -보차분리,속도의 영향을 고려하기 어려움

참고문헌) 山中英生, "生活道路の具備すべき條件" 「交通工学」, 제29권 제3호, 1994.

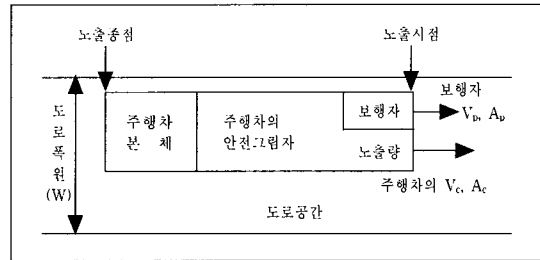
하여 모델을 작성하는 방법이 있다. 물론 주민들이 느끼고 있는 위험감의 크고 작음은 가족의 구성현황, 과거의 경험, 사회·문화적인 요인등에 의해 달라지지만, 많은 연구에서 주민의식과 도로교통현황 등 물리적으로 객관화 가능한 여러 요인들이 높은 상관관계들을 갖고 있다는 데에 착안한 모델이다. 이런 평가 모형에는 <표 1>에 나타낸 것과 같이 다변량해석모형, 교차도모형, 점유이론모형등이 개발되어져 있다.

그러나山中(1994)도 언급하고 있듯이 교차도모형이나 점유이론모형은 주민의식과 결합한 안전성 모델로서 상당히 현실성이 있지만 모두 보차분리상태와 주행차량의 속도를 고려할 수 없는 단점을 갖고 있다. 일반적으로 안전성과 주행차량의 속도와는 상관이 높은 것을 고려해 볼 때 아직 위의 모델들보다 더 진보한 주민의식과 결합한 모델의 개발이 필요하다고 할 수 있다.

2. 새로운 안전평가지표의 개발 : 시공간노출량

본 절에서는 시공간점유량을 이용하여, 기존의 평가 지표보다 더욱 합리적으로 안전성평가가 가능한 새로운 지표의 개발을 시도한다. 기존연구에서 자동차교통량에 보행자교통량을 곱하여 보차교차도라고 명명하고 있고, 이것은 주민의 안전감과 밀접한 상관이 있는 것으로 밝혀졌다. 그러나, 보차교차도에는 자동차의 속도의 개념이 빠져있으며, 통상 자동차의 속도와 안전감과 상관이 높은 것을 볼 때 아직 불충분한 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는, 시공간점유량이라는 개념을 이용하여 시공간노출량이라는 새로운 개념을 만들어 내며 실제의 데이터를 갖고 분석해본다.

<그림 2>는 어떤 도로구간에서 자동차와 보행자가 동일한 방향으로 진행시 보행자가 자동차에 노출되는 상태를 개념적으로 예시한 것이다. 예를 들어 보행자가 어느 도로구간을 걷고 있을 때, 후측에서 접근해오는 자동차가 어느 정도(여기서는 자동차의 안전그림자로 상징한다.) 가까이 오면 주의를 하게 되거나 위험감을 느끼게 된다. 그러다가 자동차가 통과해 지나가면 위험요소는 사라졌다고도 말할 수 있으므로 본연구에서는 보행자가 자동차에 의해 이와 같이 노출되어 위험감을 느끼게 될 때 "보행자가 자동차에게 노출된 상태"라고 표현하고 "시공간노출량"으로 그 많고 적음을 표현하기로 한다.



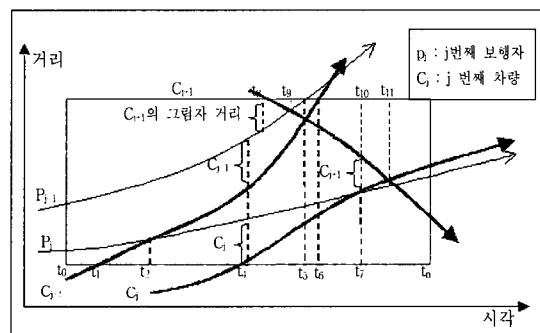
<그림 2> 일정한 도로공간에 있어서 시공간노출량의 개념도(주행차량과 보행자가 동일방향 진행시)

<그림 3>은 기존의 시공간도를 이용하여 시공간노출량의 개념을 더욱 일반화시킨 것이다. 단, 여기서는 통상 12m 이하의 도로폭원을 갖는 보차혼합공간이라는 조건하에서는 보행자는 통과하는 자동차에 의해 영향을 받는다고 전제한 상태이다. 이러한 경우 보행자P_{j-1}은 동일방향의 자동차C_{j-1}에 의해 C_{j-1}의 안전그림자가 시작하는 시각t₄로부터 일정구간을 통과하는 t₅까지 노출되고, 또 반대방향의 자동차C_{j+1}에 의해 C_{j+1}의 안전그림자가 시작하는 시각t₈부터 자동차C_{j+1}이 비켜가는 t₉까지 노출되어 식(7)과 같이 표현할 수 있다. 여기에서 노출량은 아직 폭을 고려하지 않고 있으므로 단위는 시간·거리(m-초)로서 표현된다. 먼저 P_{j-1}이 자동차 C_{j-1}과 C_{j+1}에 의해 노출되는 시간-거리량은 식(7)과 같이 표현할 수 있다.

$$PTSO - E_{pj-1} = \int_{t_4}^{t_5} C_{j-1}(A)dt + \int_{t_8}^{t_9} C_{j+1}(A)dt \quad (7)$$

여기에서,

PTSO-E_{Pj-1} : 보행자P_{j-1}가 자동차C_{j-1}에 의해 노출되는 시간-거리량(m-초)



<그림 3> 시공간도를 이용한 시공간노출량의 기본적인 개념

- $C_{j-1}(A)$: 자동차 C_{j-1} 의 안전그림자거리(m)
- $C_{j+1}(A)$: 자동차 C_{j+1} 의 안전그림자거리(m)
- t_4 : 보행자 $P_{j-1}(P_j)$ 가 자동차 $C_{j-1}(C_j)$ 에 의해 노출되기 시작하는 시각
- t_5 : 보행자 P_{j-1} 가 정해진 구간을 통과하는 시각
- t_8 : 보행자 P_{j-1} 가 자동차 C_{j+1} 에 의해 노출되기 시작하는 시각
- t_9 : 보행자 P_{j-1} 가 자동차 C_{j+1} 과 마주쳐 통과하는 시각

마찬가지로 보행자 P_j 가 자동차 C_{j-1} 과 C_j, C_{j+1} 에 노출되는 시간-거리량은 식(8)처럼 표현할 수 있다.

$$PTSO-E_{P_j} = \int_{t_1}^{t_2} C_{j-1}(A)dt + \int_{t_4}^{t_7} C_j(A)dt + \int_{t_{10}}^{t_{11}} C_{j+1}(A)dt \quad (8)$$

- 여기에서,
 $PTSO-E_{P_j}$: 보행자 P_j 가 자동차 C_{j-1}, C_j, C_{j+1} 에 의해 노출되는 시간-거리량(m-초)
 $C_j(A)$: 자동차 C_j 의 안전그림자 거리(m)
 t_1 : 보행자 P_j 가 자동차 C_{j-1} 에 의해 노출되기 시작하는 시각
 t_2 : 자동차 C_{j-1} 가 보행자 P_j 를 추월하는 시각
 t_4 : 보행자 P_j 가 자동차 C_j 에 의해 노출되기 시작하는 시각
 t_7 : 자동차 C_j 가 보행자 P_j 를 추월하는 시각
 t_{10} : 보행자 P_j 가 자동차 C_{j+1} 에게 노출되기 시작하는 시각
 t_{11} : 보행자 P_j 가 자동차 C_{j+1} 과 마주쳐 지나가는 시각

물론 자동차가 보행자를 추월해 지나갔어도 잠시동안은 자동차의 뒤에서 배출되는 배기가스등에 의해 불쾌감을 느낄 것으로 생각되지만 본 연구에서의 주된 목적은 위험도를 표현하는 것이 우선 목적이므로 여기에서는 일단 자동차가 추월하든지, 마주쳐 지나갔을 경우에는 위험감은 사라진다고 상정한다. 또한 전방에서 접근하는 자동차에 대한 위험감과 보행자의 후방에서부터 접근해 오는 자동차에 대한 위험감도 엄밀히 말하면 틀릴 것으로 판단되나 여기서는 계산을 단순화하기 위해 동일한 것으로 간주하기로 한다.

따라서 보행자 P_j, P_{j-1} 가 주행차량에게 노출되는 전

체적인 시간-거리량은 식(9)와 같이 표현할 수 있으며, 이것은 다시 식(10)과 같이 일반화될 수 있다.

$$PTSO-E_p = \int_{t_4}^{t_5} C_{j-1}(A)dt + \int_{t_1}^{t_2} C_{j-1}(A)dt + \int_{t_4}^{t_7} C_j(A)dt + \int_{t_8}^{t_9} C_{j+1}(A)dt + \int_{t_{10}}^{t_{11}} C_{j+1}(A)dt \quad (9)$$

여기에서,

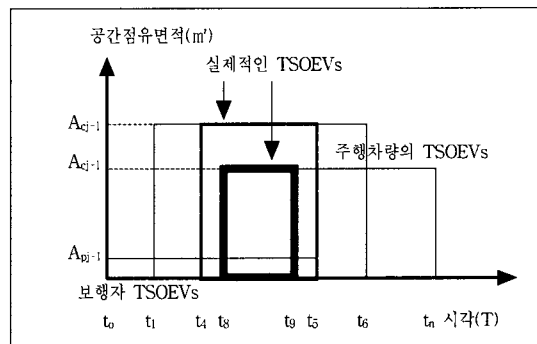
$PTSO-E_p$: 보행자가 주행차량에게 노출되는 전체 시간-거리량(m-초)

$$PTSO-E_p = \sum \left\{ \sum \int_{t_{i-1}}^{t_i} C_j(A)dt \right\} \quad (10)$$

여기에서,

- t_{i-1} : 보행자 P_j 가 자동차 C_j 에게 노출되기 시작하는 시각
- t_i : 주행차량 C_j 가 보행자 P_j 를 추월하는(또는 마주쳐 지나가는) 시각

여기에서 식(7)~(10)의 단위는 시간-거리량(m-초)이므로 시공간점유량의 의미에서 안전그림자의 폭원은 누락되어 있는 상태이다. 그러나 보행자가 주행차량에게 노출되는 정도는 안전그림자의 거리뿐만 아니라 폭원에 의해서도 영향을 받으므로 안전그림자의 폭원도 고려한 시공간노출량의 개념으로 개선할 필요가 있다. <그림 4>는 이를 위한 일반적인 개념도를 나타낸 것이다.



<그림 4> 시공간 점유량을 이용한 일정의 도로구간에서의 시공간노출량

〈그림 4〉에서 수직축은 어떤 교통수단의 구간통과 평균속도에 의한 공간점유량이며, 수평축은 어떤 교통수단이 주어진 도로구간에 들어와서 통과할 때까지의 시각을 나타내는 추이이므로 시간점유량을 의미한다. 간단한 예를 들기 위해 〈그림 3〉에서 보행자 P_{j-1} 이 주행차량 C_{j-1} 과 C_{j+1} 에게 노출되어 있는 상태를 〈그림 4〉에 예시하기로 한다. 보행자 P_{j-1} 은 시각 t_0 에는 이미 상정된 도로구간에 진입하여 있고, t_5 의 시각에는 구간을 통과해 빠져나가며 구간을 통과하는 평균속도에 의해 $A_{P_{j-1}}$ 의 양만큼 공간을 점유하므로 그래프 상에서 $A_{P_{j-1}}$ 에 (t_5-t_0) 를 곱한 직사각형 면적은 보행자 P_{j-1} 가 소비하는 시공간점유량이 될 것이다. 한편, 자동차 C_{j-1} 의 경우, 시각 t_1 에 진입하여 t_6 에 빠져나가며, 자동차 C_{j-1} 의 경우는 시각 t_8 에 진입하여 t_n 에 빠져나가므로 이들 역시 각각의 평균속도에 따라 공간점유량은 Ac_{j+1} , Ac_{j-1} 이 되며 Ac_{j+1} 과 Ac_{j-1} 에 (t_6-t_1) 과 (t_n-t_8) 을 곱한 각 직사각형의 면적이 이들 주행차량들이 구간을 통과하면서 소비하는 시공간점유량이 될 것이다. 그러나 보행자 P_{j-1} 이 각 주행차량에게 노출되는 시공간노출량은 보행자가 주행차량의 안전그림자 영역에 들어가게 되는 $(t_5-t_4) \times Ac_{j-1}$, $(t_9-t_8) \times Ac_{j+1}$ 의 면적을 의미하는 굵은 궤선의 직사각형들이 될 것이다. 이것을 일반식으로 표현한 것이 식(11)이다.

$$\begin{aligned}
 \text{PTSO} - E_{P_{j-1}} & \quad (11) \\
 &= \int_{t_4}^{t_5} A_{j-1}(V_{j-1})dt + \int_{t_8}^{t_9} A_{j+1}(V_{j+1})dt \\
 &= Ac_{j-1} \times (t_5 - t_4) + Ac_{j+1} \times (t_9 - t_8)
 \end{aligned}$$

여기에서,

$\text{PTSO} - E_{P_{j-1}}$: 보행자 P_{j-1} 가 자동차 C_{j-1} 과 C_{j+1} 에게 노출되는 시공간노출량(m^2 -초)

$A_{j-1}(V_{j-1})$: 주행차량 C_{j-1} 이 안전하게 주행할 수 있기 위한 안전그림자 면적: 공간점유량(m^2)

$A_{j+1}(V_{j+1})$: 주행차량 C_{j+1} 이 안전하게 주행할 수 있기 위한 안전그림자 면적: 공간점유량(m^2)

(t_5-t_4) : 보행자 P_{j-1} 가 자동차 C_{j-1} 에게 노출되어 있는 시간(초)

(t_9-t_8) : 보행자 P_{j-1} 가 자동차 C_{j+1} 에게 노출되어 있는 시간(초)

Ac_{j-1} : 주행차량 C_{j-1} 의 평균속도에 의한 안전그림자 면적: 공간점유량(m^2)

Ac_{j+1} : 주행차량 C_{j+1} 의 평균속도에 의한 안전그림자 면적: 공간점유량(m^2)

따라서 보행자 P_j , P_{j-1} 이 주행차량에게 노출되는 전체적인 시공간노출량은 식(12)처럼 표현할 수 있으며, 이것은 다시 식(13)과 같이 일반화될 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \text{PTSO} - E_{V_p} &= \int_{t_4}^{t_5} A_{j-1}(V_{j-1})dt + \int_{t_1}^{t_2} A_{j+1}(V_{j+1})dt \\
 &+ \int_{t_4}^{t_7} A_j(V_j)dt + \int_{t_8}^{t_9} A_{j+1}(V_{j+1})dt + \int_{t_{10}}^{t_{11}} A_{j+1}(V_{j+1})dt
 \end{aligned} \quad (12)$$

여기에서,

$\text{PTSO} - E_{V_p}$: 보행자가 주행차량에게 노출되는 전체 시공간노출량(m^2 -초)

$$\text{PTSO} - E_{V_p} = \sum_j \left\{ \sum_{t_i}^{t_{i+1}} A_j(V_j)dt \right\} \quad (13)$$

어떤 도로 구간에서 이와 같은 시공간노출량을 구하기 위해서는 주행차량과 보행자 각각에 대한 평균속도를 조사하여 계산하는 것이 바람직하지만, 본 연구에서 차용하고 있는 데이터와 같이 데이터의 속성이 침두시 한 시간 동안의 주행차량 및 보행자의 통행량, 평균속도 등 집계 데이터뿐일 경우는 편의상 식(13)을 식(14)처럼 일반화하여 사용하기로 한다. 물론 주행차량의 평균 공간점유량은 차량의 속도, 크기(차종), 운전태도, 또한 위험도는 보행자의 속도, 개인속성(년령, 운동능력, 화물 소지 유무)에 따라 다르겠지만 본 연구에서는 데이터의 제한상, 구간별 주행차량의 평균속도, 트럭과 승용차의 2개 차종, 보행자의 속도는 시속4km, 주행차량과 보행자 등은 연속류 상태로 움직이고 있다고 가정하였다.

식(14)에서 $A_c(V)$ 는 주행차량의 평균속도로부터 가정된 주행차량 한 대당 평균 공간점유량이며, P_h 는 보행자의 속도를 시속4km로 가정했을 경우 구간을 통과하는데 소비하는 평균 시간점유량이 된다. 그러므로 여기에 주행차량의 시간당 통행량 Q_c 와 보행자의 시간당 통행량 Q_h 를 곱하면 집계 데이터에 의한 양이지만 일정한 분석시간 동안 어떤 도로공간을 통과하는 보행자가 주행차량에게 노

출될 것이라고 예상되는 전체 시공간노출량이 도출된다.

$$PTSO - EV_p = f \{A_c(V) \times P_t \times Q_p \times Q_c\} \quad (14)$$

여기에서,

PTSO-EV_p : 분석시간 동안 보행자들이 주행차량에게 노출되는 전체 시공간노출량(m²-초)

A_c(V) : 주행차량의 평균 공간점유량(m²)

P_t : 보행자가 어떤 도로구간을 통과하는데 소비하는 시간점유량(초)

Q_p : 보행자의 통행량(인/시)

Q_c : 주행차량의 통행량(대/시)

그러나 식(14)에서 표현하고 있는 시공간노출량은 노상주차의 영향은 고려하고 있지 않다. 말할 것도 없이 노상주차에 있는 경우와 노상주차에 없는 경우 주행차량의 통과시 보행자가 느끼는 위험감은 같은 시공간노출량 일지라도 다를 것이므로 도로구간을 점유하고 있는 노상주차의 양도 고려해야만 할 것이다. 그러나 여기서 노상주차에 미치는 위험감과 주행차량이 미치는 위험감은 다를 것이므로 별도로 연구가 필요하나 본 연구에서는 일단 단위구간 연장 당 노상주차량을 식(15)와 같이 상수의 형태를 띤 하나의 가중치로써만 부여하기로 한다.

$$PTSO - EV_{pa} = f \{A_c(V) \times P_t \times Q_p \times Q_c \times Q_{pa}\} \quad (15)$$

여기에서,

PTSO-EV_{pa} : 노상주차의 양도 고려한 경우 분석시간 동안 보행자들이 주행차량에게 노출되는 전체 시공간노출량(m²-초)

Q_{pa} : 단위구간당(10m)의 노상주차의 량

IV. 시공간노출량을 이용한 안전성 모델의 작성

1. 조사의 개요

제안된 시공간노출량을 이용해 안전성모델을 만들고 모델의 적합도를 검증하기 위해서 1995년 5월 서울시정개발연구원에서 조사했던 데이터를 허락을 얻어 차용하기로 하였다. 데이터는 서울의 4개 주거지

구에서 폭 4m에서 12m, 연장 30-70m까지의 41개의 다양한 도로구간이 무작위로 선정되었다. 조사대상은 선정된 도로구간 주변에 살고 있는 주부들을 대상으로 하되, 한 개 도로 구간당 5-12명 정도로 하였다. 주부를 조사대상으로 한 것은 주부들은 대부분 하루종일 집에 있으므로 누구보다도 내 집 앞 도로구간의 상황 및 실태를 잘 알 수 있기 때문이었다. 조사일정은 도로교통실태 조사일정과 같이 진행하였으며, 조사시간대는 도로교통실태 조사시간대를 조금 지나 주부들에게 가장 여유가 있으리라고 판단되는 오전 11시부터 오후3시경까지 진행하였다.

〈표 2〉 설문조사 항목과 링크특성

구분	설문항목	5단계평가(점수)
설문항목	어린이가 노는 것	아주 안전(1) 안전(2) 보통(3) 위험(4) 아주위험(5)
	서서 얘기하기에	
	보행시	
	횡단시	
	자전거 이용시	
	진반적인 평가	
링크특성	교통량	피크 1시간 교통량(대/시)
	주행차량 속도	Km/시
	보행자량	피크1시간 교통량(인/시)
	도로의 폭	m
	연도 토지이용	순수 주택지, 주상혼합지
	노상주차량	피크 1시간의 평균주차대수(대)
	차량, 보행자, 주차의 점유도	링크 특성으로부터 산출

조사방법은 조사원들이 직접 방문하여 준비한 설문지를 배포하고 조사의 취지를 밝힌 다음, 〈표 2〉와 같은 항목으로 위험감에 대해 설문을 하였고, 링크특성으로서는 교통량, 보행자량, 주행차량의 속도 등을 조사하였다. 설문은 한 링크당 평균 7-8부를 조사했고 총 313부의 유효응답을 얻었다.¹⁾

2. 시공간노출량을 이용한 안전성 모델의 작성과 검증

5단계 평가지표를 점수화하여 도로교통상황 변수 등간의 인과관계를 파악하여 안전성 모델을 작성하기 위해 먼저 변수간의 상관관계를 분석하고, 이들을 토대로 회귀분석을 실시하였다.

1) 여기에 대한 조사현황은 시정연(1995) 및 이종상(1997)에 자세하게 기술되어 있다.

〈표 3〉 위험의식량과 링크특성간의 상관계수

구 분	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
위 험 도(①)	1	0.6	0.66	0.38	0.42	0.33	0.27	0.75	0.53
도 로 의 폭(②)		1	0.76	0.75	0.62	0.59	0.51	0.75	0.70
로 그 교 착 도(③)			1	0.82	0.78	0.62	0.68	0.93	0.69
차 교 통 량(④)				1	0.80	0.71	0.77	0.66	0.56
보 행 자 량(⑤)					1	0.22	0.56	0.64	0.46
시공간점유량속도(⑥)						1	0.48	0.53	0.52
시공 간 점 유 량(⑦)							1	0.52	0.44
시공 간 노 출 량(⑧)								1	0.69
연 도 이 용(⑨)									1

〈표 4〉 회귀분석에 사용한 변수의 종류

분 류	설 명 변 수	
	기존지표에 의한 변수	시공간점유량(TSO)계의 변수
교 통 특 성	Q : 차량교통량(대/시) P : 보행자량(인/시) V : 차량의 속도(km/시)	TSO : 총시공간점유량(m ² -초) TSOV : 시공간점유량속도(km/시) TSOD : 차의 점유도 TSOP : 보행자의 점유도
도 로 특 성	W : 도로의 폭(m)	
응 용 변 수	C : 보차교착도(대·인)	TSOC : TSO교착도(m ² -초) ² TSOEV : 시공간노출량(m ² -초)
기 타 변 수	L : 연도의 토지이용(순수일 경우 : 1, 혼합일 경우 : 0)	

〈표 3〉에서 볼 수 있듯이 위험도와 가장 높은 상관관을 보여주는 변수의 상관계수는 0.75로서 본 연구에서 제한한 시공간노출량임을 알 수 있다. 그 다음으로는 보행자량과 자동차량을 곱한 값에 로그값을 취한 로그교착도도 0.66으로서 상당히 높은 상관관계를 보여주고 있다.²⁾

한편, 주민의 위험의식과 도로폭 및 연도이용과도 관련이 높은 것으로 나타났다. 즉, 순수주거지의 주민보다는 주상혼합지역에 살고 있는 주민들이, 또한 도로의 폭이 좁은 연도에 살고 있는 주민보다는 폭이 넓은 도로의 연도에 살고 있는 주민이 더욱 위험의식을 높이 나타내고 있는 것으로 나타났다. 안전성 모델의 구축을 위해서는 회귀분석을 이용하기로 한다. 본 회귀분석에서는 종속변수인 주민의 위험의식과 독립변수인 도로, 교통, 응용변수 등을 이용하여 도로구간의 안전성 정도를 가장 적절하게 표현하는 모델식을 구축하고자 한다. 이렇게 구축된 모델은 보차혼합공간의 안전성측면을 평가하는데 유용한 모델이 될

것이다. 따라서 회귀분석에서는 상관계수가 가장 높은 변수들을 갖고 회귀모델식을 작성해 설명력(R²)을 나타내는 식을 조사해 모델로서 선정한다. 이를 위해 먼저 〈표 4〉에 나타낸 것과 같이 회귀분석을 위해 각 설명변수를 교통특성, 도로특성, 응용변수 등으로 나누고 이를 기존의 변수와 TSO계의 변수로 나누어 회귀분석을 시도한다.

〈표 5〉는 이러한 과정을 통해 분석한 중회귀분석의 결과이다. 종래형은 보차교착도에 의한 단순회귀식의 결정계수가 0.43이었고, TSO계의 변수에서는 0.48로 다소 높은 것으로 나타났다. 물론 결정계수의 차가 0.05로 다소 낮은 수치지만 본 연구에서 사용하고 있는 데이터가 집계 데이터인 것을 고려할 때 각 주행차량의 속도까지 고려할 수 있는 비집계 데이터를 사용할 경우 결정계수는 더욱 높아질 것으로 사료되는 바 본 연구에서 제한하고 있는 시공간노출량이라는 지표의 현실적인 검증이 어느 정도 이루어졌다고 말할 수 있다.

2) 시공간노출량 지표가 개발되기 전인 전제서(1995, 1997)의 연구에서는 로그교착도가 가장 높은 상관관을 나타내고 있다.

〈표 5〉 위험의식에 의한 회귀모델식

구분	회귀함수	R ²
기 존 형	RISK1=0.28×C+0.82 (5.50) (1.80)	0.43
	RISK2=0.2×C+ 0.09×W+0.92 (2.60) (1.30) (2.00)	0.46
T S O 형	RISK3=0.28×TSOEV+1.76 (6.10) (6.40)	0.46
	RISK4=0.06×W+0.23×TSOEV+1.65 (0.83) (3.10) (5.40)	0.49

주 : ()안의 값은 t-test 값임.

V. 결론

본 연구에서는 전통적으로 보차분리된 도로와 구분하여 모든 교통수단이 혼재되어 있는 보차혼합공간을 평가할 수 있는 지표를 개발하고자 시도하였다. 보차분리도로도 중요하지만 주민들이 24시간 피부를 맞대고 생활하고 있다고 해도 과언이 아닌 보차혼합공간의 정비야말로 21세기의 도시공간의 삶의 질을 판단하는 척도가 될 것이다.

본 연구에서는 보차혼합공간이라는 특수한 공간을 평가할 수 있는 지표의 기본이 되는 시공간점유량이라는 개념을 제시하였으며, 기본 개념을 응용한 하나의 평가지표로서 이면도로에서 주민의 위험성 의식과 연관지어 안전성여부를 평가할 수 있는 시공간노출량이라는 지표에 대하여 제시하였다. 또한 제안된 지표는 41개 도로구간에 대해 조사했던 데이터를 이용하여 검증해본 결과 기존의 위험성을 나타내는 변수들보다 현실적합성이 높은 것으로 나타났다.

물론 향후 과제로서 주행차량 뿐만 아니라 노상주차가 보행자의 위험감에 미치는 정도를 파악해야 하며, 집계 데이터를 이용할 경우 좀 더 정교하게 시공간노출량을 추정하는 방법 및 가정주부 뿐만 아니라 일반보행자 및 다른 연도 주민이 느끼고 있는 위험감도 고려할 수 있는 설문조사 방법의 개발 등 많은 논제를 남기고 있으나 현재까지 보차혼합공간을 평가할만한 지표나 개념이 거의 없던 상태에서 이론적으로 이와 같은 새로운 지표를 개발한 것은 본 연구의 큰 의의라 할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Benz G. P.(1986), "Applications of the Time-Space Concept to a Transportation Terminal

Waiting and Circulation Area", TRR 1054, TRB, National Research Council, Washington, D.C., pp.16~22.

2. Bruun, E.(1992), "The Calculation and Evaluation of the Time-Area Parameter for Any Transportation Mode", Ph.D. dissertation, Department of Systems Engineering, University of Pennsylvania, Philadelphia, pp.6~16.

3. Bruun, E, Vukan V.(1994), "Time-Area Concept: Development, Meaning and Applications", TRR 1499, National Research Council, Washington, D.C., pp.95~104.

4. Jin, Ohta, Harata(1997), "A Study on Operating Conditions and Calculation of Appropriate Fee of Residential Parking Permit Program in Seoul-Based on A Concept of Time-Space Occupancy-", ISCP, pp.471~479.

5. Nakagawa, Y., Yamanaka, H., Takada Y.(1988), "Residents' evaluation and demand for improvement of streets environments in residential areas", Journal of Civil Engineering and Planning 11, pp.527~534.

6. TRB(1980), "Transportation Research Circular 212: Interim Materials on Highway Capacity", National Research Council, Washington, D. C., pp.115~147.

7. Tsukaguchi, H., Mori, M.(1987), "Occupancy indices and its application to planning of residential streets", Journal of Civil Engineering and Planning 4-7, pp.141~144.

8. Tsukaguchi, H., Kuroda, H., Yajima, T. and Tanaka, K.(1989), "Evaluation of level of service of residential streets based on occupancy concept", Journal of Civil Engineering and Planning 7, pp.219~226.

9. 서울시정개발연구원(1995), "지구도로설계운영 지침에 관한 연구", pp.120~126.

10. 이종상(1996), "지구교통계획의 교통수요분석과 평가방법에 관한 연구", 단국대 대학원 박사학위논문, pp.139~140.

11. 山中英生(1994), "生活道路の具備すべき條件「交通工學」, 제29권 제3호.