

지하철 접근성 증가의 공간적 파급효과 산출모형 개발

Model Development for the Spatial Diffusion Effect Estimation of Nodal Accessibility Increment in the Subway Network

이 금 속*

요약

교통망의 확충계획이 있거나 확충작업이 이루어지고 있는 지역에서는 그로 인한 직접적인 접근성 증가와 더불어 교통망의 개선에 따른 접근성 증가의 주변지역으로의 파급효과를 정확히 산출할 수 있다면 지역 전체의 접근성 공간구조를 파악할 수 있게 되고, 지가와 토지이용의 변화를 정확히 예측할 수 있게 되어 교통을 포함한 각종 지역계획과정에서 효율적이고 합리적인 대안선정을 위한 기준을 제공할 수 있을 것이다. 기존의 그래프이론에 기반을 둔 접근성 측정모형에 의해 산출되는 결절점의 접근성 증가가 주변지역으로 파급되는 효과를 정확히 산출할 수 있는 이론적 모형의 개발을 시도하였다. 특히 결절점을 중심으로 주변지역으로 거리가 멀어지면서 변화하는 지하철 접근도의 영향력을 측정하기 위한 이론적 모형을 제시하고 있다. 지하철역의 접근도가 주변지역으로 확산되는 정도는 주변지역에서 그 지하철역을 이용하는 정도와 일치한다고 보고 주변지역의 지하철역 이용밀도를 기반으로 수학적 함수식을 도출 하였다. 이러한 연구는 궁극적으로는 최근 지리적 분석기법으로 각광을 받고 있는 GIS기법에 접목시켜 지표현상의 설명에 핵심이 되는 접근성의 공간적 보간에 대한 이론적 근거를 마련한다는 의미를 지닌다.

주요어 : 지하철 접근성, 접근성 파급효과, 거리조락, 공간적 보간

1. 서론

접근성의 공간구조는 그 지역의 교통망에 의한 연계성에 의해 결정되므로 교통망의 신설이나 확충과 같은 형태로 변화가 있게 되면 지역 접근성의 공간구조에 변화가 나타나게 된다 (Davidson 1977; Lee, K. and Lee, H. 1998). 이러한 변화는 직접 교통망의 확충이 생긴 지점들 사이에만 나타나는 것이 아니라 그 지하철망으로 연계되는 모든 지점의 접근도에 변화를 초래할 수도 있으며, 지

역내의 접근도의 공간구조 자체를 크게 변화시킬 수도 있다. 이로 인해 지가의 공간구조도 바뀔 수 있으며, 궁극적으로 지역의 토지이용패턴에도 변화가 나타날 수 있다.

서울을 중심으로 한 수도권의 지하철망은 1974년 1호선이 개통된 이후 몇 차례의 확충작업이 있었으며, 2호선, 3호선, 4호선이 완전히 개통된 1984년 이후 최근까지 10여 년 간 수도권 지역의 중요한 대중교통 수단으로 이용되어 오면서 수도권 지역의 토지이용패턴에 많은 변화를 주었다 (유

* 성신여자대학교 사회과학대학 지리학과 교수

완·김설수 1981; 이금숙 1993년). 지하철은 도로의 교통체증과 상관없이 신속하게 움직일 수 있을 뿐 아니라 대량 수송이 가능하여 인구와 경제·사회·문화 활동들이 응집하여 있는 대도시지역의 주요 교통수단이 되고 있다. 수도권 지역의 경우 지하철은 이미 가장 수송분담율이 높은 교통수단으로 자리잡고 있으며, 1994년부터 기존 지하철망의 일부 구간을 연장하는 한편, 새로이 5호선, 6호선, 7호선, 8호선의 4개 노선의 신설 공사가 진행되고 있고, 그후 3기 지하철망 확충계획도 잡혀 있어 이들이 완공되는 장래에는 궁극적으로는 전체 여객 교통량의 80% 이상을 지하철이 분담할 것으로 예측되고 있다. 이처럼 지하철이 중심적인 교통수단이 되면 지하철망에 의한 접근성은 지역의 토지이용패턴에 막대한 영향을 미치게 될 것이다. 그러나 이들이 완공된 후의 수도권 지하철망에 의한 접근성의 공간구조는 현재와는 크게 달라질 것으로 예상되는데 이러한 변화는 직접 지하철망의 확충이 있는 지점에만 나타나는 것이 아니라 수도권 지하철망으로 연계되는 모든 지점의 접근성에도 변화를 줄 것이며, 또한 이러한 접근성의 변화는 지하철이 직접 닿는 지역뿐만 아니라 그 주변지역으로도 파급되는 현상이 나타나게 될 것이다. 따라서 지하철 확충계획이 있거나 확충작업이 이루어지고 있는 지역에서는 그로 인한 직접적인 접근성 증가와 더불어 교통망의 개선에 따른 접근성 증가의 주변지역으로의 파급효과를 정확히 산출할 수 있다면 지역 전체의 접근성 공간구조를 파악할 수 있게 되고, 지역 전반에 걸친 지가와 토지이용의 변화를 정확히 예측할 수 있게 되어 교통을 포함한 각종 지역계획과정에서 효율적이고 합리적인 대안선정을 위한 기준을 제공할 수 있을 것이다.

접근성의 개념과 측정방법은 연구목적이나 교통수단에 따라 다소 차이를 보이고 있는데 지하철과 같은 선로교통망의 경우는 선로에 의한 연결이 있느냐 없느냐가 중요할 뿐 역과 역 사이의 거리나 시간은 접근성에 별로 영향을 미치지 않으므로 그래프이론에 근거한 접근성 측정모형을 적용할 수 있다. 그 동안 많은 연구자들이 (Shimbel 1953; Garrison 1960; Burton 1962; Nystuen and Dacey 1961; Reed 1970; Haggett and Chorly 1970; Berge 1962; Taaffe, Gauthier, and O'Kelly 1996; Lee 1996; Lee and Lee 1998) 그래프 이론을 이용한 접근성 측정 모형을 개발하여 실제문제에 적용해 왔으나 그래프 이론에 기반을 두고 개발되었던 이제까지의 접근성 측정모형으로는 교통망을 구성하고 있는 각 결절점들의 접근성값은 산출할 수 있을 뿐 결절점 주변 지역으로의 접근성 증가의 파급효과는 파악할 수 없는 한계가 있다.

본 연구의 목적은 기존의 그래프이론에 기반을 둔 접근성 측정모형에 의해 산출되는 결절점의 접근성 증가가 주변지역으로 파급되는 효과를 정확히 산출할 수 있는 이론적 모형을 개발하는 것이다. 특히 결절점을 중심으로 주변지역으로 거리가 멀어지면서 변화하는 지하철 접근도의 영향력을 측정하기 위한 이론적 모형을 도출해 내고자 한다. 일반적으로 지하철역의 접근도가 주변지역으로 확산되는 정도는 주변지역에서 그 지하철역을 이용하는 정도와 일치한다고 보고 주변지역의 지하철역 이용밀도를 기반으로 하여 수학적 함수식을 도출하였다. 이를 위하여 표본지역을 설정하여 지하철역과 주변지역 사이에 이루어지는 지하철 이용상황과 통행행태를 조사하여 분석하였다. 이러한 모형의 개발은 지

하철역의 접근도가 주변지역으로 파급되는 정도를 산출하는 것을 가능케 하므로 지하철망이 완성되어 있는 지역은 물론, 현재 건설 중에 있거나 노선의 증축계획이 있는 지역에서 지하철망이 완공되었을 때, 그로 인한 지하철역 접근도의 증가가 그 주변지역으로의 파급되는 효과를 구체적으로 산출해 낼 수 있으므로 지하철역 주변 지역의 토지이용계획과 연구에 좋은 근거 자료를 제시할 수 있게 될 것이다. 또한 궁극적으로는 최근 지리적 분석기법으로 각광을 받고 있는 GIS기법에 접목시켜 지표현상의 설명에 핵심이 되는 접근성의 공간적 보간에 대한 이론적 근거를 마련한다는 의미를 가질 수 있다.

2. 공간적 보간에 대한 선행 연구

지하철역의 접근도가 주변지역으로 파급되는 정도를 산출하는 문제는 접근성 값을 알고있는 결절점과 결절점 사이의 공간에 대하여 접근성 값을 산출하는 문제로 이제까지 전체공간 중 일부지점에 대해서만 실측값을 알고 있을 때, 그 알고 있는 값에 기초하여 사이공간의 값을 설정해 주는 공간 보간 문제와 유사하므로 이론적 기초를 마련하기 위하여 본 장에서는 이제까지 개발되어 있는 공간 보간에 대한 이론을 고찰하고자 한다.

전체 공간 중 일부 지점의 접근성 값을 알고 있는 경우 사이공간의 값을 보간하기 위하여 여러 가지 기법이 고안되어 왔으며, 특히 GIS와 결합한 다양한 보간 기법들이 고안되었다 (Crain 1970; Hayes 1970; Wahba 1979; Sibson 1981; Ripley 1981; Lam 1983; Burrough 1986; Cuyt 1987; Oliver and Webster 1990). 일찍부터 지리적 연구에 이용되어 온 경향면 분석

(trend surface analysis)은 전체적 보간 방법의 대표적인 예로 관측된 지점의 값들로부터 최소자승법에 의한 회귀분석을 통하여 다변적 혹은 3차원적 함수식들로 추정값을 도출해 내고 있다. 회귀분석의 한 형태인 이러한 경향면 분석은 보간된 값들에 있는 오차를 산정하는 것으로 보이지만 실제로는 맞추어진 표면으로부터의 잔차는 서로에 대해서 독립적이라는 회귀분석의 가정이 경향면 분석에서는 대부분 성립하지 않으므로 결과적으로 진실된 추정분산(estimation variance)을 계산할 수 없다는 문제가 있다. 또한 이 방법은 관측값 전체에 대해 회귀식을 구하기 때문에 경우에 따라서는 실측값들이 너무 심하게 유연화되어 실제 값들의 상세성을 잃게 하며, 또한 지역의 한 부분에서의 변이가 모든 곳에서의 표면의 들어맞음에 영향을 미치는 단점을 지니고 있다.

그 밖의 국지적 보간 방법은 일반적으로 가중치를 적용하며 이에 대한 다양한 기법들도 개발되어 왔다 (Horton 1923; Authur 1965; Hardy 1971; Franke 1982; Mason 1984; Foley 1987; Armstrong and Marciano 1996). 거리가 멀리 떨어져 있는 자료에 적용되는 가중치는 가까운 자료에 대한 가중치 보다 적게 주어져야 하므로 가중치는 거리에 대해 감소하는 함수로 주어지게 된다. 일찍이 Horton(1923)은 거리에 반비례하는 가중치를 제안하여 i 번째 자료의 가중치 f_i 를 다음의 함수식으로 제시하였다.

$$f_i = \frac{1}{d_i} \left(\sum_j \frac{1}{d_j} \right)^{-1} \equiv \frac{C}{d_i}$$

여기서 d_i 는 보간점으로부터 i 번째 자료까지의

거리이다. 이에 따르면 자료점 (x_i, y_i) 에서 관측된 종속변수 값을 $A(x_i, y_i)$ 라고 할 때 보간점 (x, y) 에서 보간된 값 $A(x, y)$ 는 다음의 식으로 표현될 수 있다.

$$A(x, y) = \sum_i f_i A(x_i, y_i) = C \sum_i \frac{A(x_i, y_i)}{d_i}$$

따라서 가중치는 각 자료로부터 보간점까지의 거리에 반비례하도록 만들어지고 보간값은 이러한 가중치를 사용하여 만들어진다. 보다 일반적으로 거리가 증가함에 따라 자료의 영향이 감소하는 현상을 나타내는 가중치를 거리가 0인 지점에서 최대값 1을 갖는 조락함수(decay function)로 표현할 수 있는데 Authur(1965)는 다음과 같이 직선거리에 의한 조락함수를 제안하였다.

$$f(d) = 1 - \left(\frac{d}{d_0}\right)^2$$

여기서 d 는 보간점에서 어떤 한 자료까지의 거리를 나타내고, d_0 는 적당한 상수이다. 선형 삼각형 보간(Linear triangular interpolation)은 이러한 거리에 의존하여 서서히 변화하는 가중치를 이용하여 보간값을 고도로 나타낼 때의 등고선을 표시할 수 있는 뚜렷한 보간 표면을 만들어내는 가중 평균법이다. 한편 Hardy(1971)는 다차기반함수(multiquadratic basis function)를 사용한 방법을 소개하였는데 여기서는 보간값들이 보이는 표면을 한 자료에 대하여 각각 중심이 주어진 일련의 원형 쌍곡면들의 조합이라고 간주한다. 이에 따라 Hardy는 Aurhur의 조락함수의 역에 해당하는 기

반함수로서 다음의 형태를 제시하였고

$$g(d) = \sqrt{d^2 + d_0^2}$$

여기서 상수 d_0 는 자료 사이의 평균거리에 0.815를 곱한 값으로 제안하였다. 이들에 대한 연구는 계속되어서 Franke(1982)는 이 함수들의 실행 결과를 비교하였으며, Foley(1987)는 Hardy의 함수식에서 다양한 d_0 값에 대하여 다차 함수식적 접근을 검증하였고, xy 평면에서 위치가 각각 $r \equiv (x, y)$ 및 $r' \equiv (x', y')$ 으로 주어진 두 지점 사이에 해당하는 기반함수를 다음과 같이 표현하였다.

$$g(|r - r'|) = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + d_r^2}$$

또한 Mason(1984)도 유사한 함수를 사용하고 그들이 선형 독립적이면 일련의 기반함수로 표현할 수 있을 것이라고 지적하였다. 그러나 이들은 다른 수작업 방법과 마찬가지로 역거리 가중치를 정하는 문제에 있어서 자료의 최대값이나 최소값보다 더 높거나 더 낮은 표면을 추론해 낼 수 없을 뿐 아니라 자료의 공간적 의존성이 암암리에 가정되고 공간적 변이의 형태를 취할 근거가 없어서 함수가 임의적으로 선택된다는 커다란 단점을 지닌다.

현재 지리정보체계에서 가장 많이 사용되고 있는 크리깅 방법은 Matheron(1973, 1976)에 의해서 개발된 지역화 변수 이론(theory of regional variable)에 기반을 두고 있어서 알려진 분산으로 통계적으로 유효한 추정값을 끌어내므로 확률적 접근법에 의해서 공간적 현상들의 속성이 다소 고려되는 편이다. 크리깅방법이 기반으로 하고 있는 지역화 변수 이론에서는 지표현상의 대부분 속성들은 본

질적으로 기하학적이기보다는 무작위 변수들처럼 행동하고 장소마다 변이가 매우 불규칙적이어서 단순한 수학적 표현으로 나타낼 수 없다고 간주하지만, 그 변이가 완전히 불규칙적이라기보다는 공간적 의존성과 같은 일종의 공간적 구조를 지니고 있다고 본다. 크리깅 보간법의 기초는 점들 사이의 분산이 공간에 걸쳐 변화하는 비(比)로 지표지점의 속성값이 가지는 공간적 변이가 추계적 표면으로 모형화될 수 있다고 가정하고, 점에서의 값 사이의 평균차(average difference)가 점 사이의 거리에 따라 어떻게 변화하는가를 보여 주는 분산도(variogram)로 표현하는데, 분산도를 찾아내기 위하여 표면에서 관측된 변이의 성질에 대하여 다음과 같은 가정을 하고 있다. 첫째, 단순 크리깅은 표면은 일반적인 경향을 가지지 않고 일정한 평균값을 가지며, 모든 변이는 통계학적이라고 가정한다. 둘째, 보편적 크리깅은 통계학적 변이를 가지는 표면에서 결정론적인 경향이 있다고 가정한다. 크리깅을 위한 입력자료는 일반적으로 점들이 불규칙적으로 공간상에 배열된 점들의 표본이므로 분산도를 계산하기 위해서는 변이가 거리에 따라 어떻게 증가하는가를 결정할 필요가 있다. 따라서 크리깅 방법에서는 거리의 범위를 불연속적인 간격의 집합으로 나누고 점의 모든 쌍에 대해 속성 A 의 값에서 거리와 제곱의 차를 계산한다. 이때 거리 범위의 하나 하나에 대한 각 쌍을 지정하고, 각 범위에서 총변이를 구하고 모든 쌍의 각 거리범위에서 평균변이를 계산하고 각 범위의 중간점에 이 값을 주어 지도화한다. 따라서 분산도가 알려지면 도화단위 내의 점에서 속성의 값은 그 점의 근린에 위치한 도화단위의 점에서 예측될 수 있는데 예측의 오차는 분산도, 자료점의 수와 형식과 예측되는 구획의 크기에만 의존한다고 가

정한다. 점 x 에서의 값 $A(x)$ 를 이용하여 표본화되지 않은 임의의 점 x 에서의 속성 A 의 값을 예측하는데 필요한 경중률 λ_i 는 조정된 분산도를 사용하여 결정하며, 이에 따라 예측값은 다음 식으로 표현된다.

$$A(x) = \sum_i \lambda_i A(x_i)$$

여기서 경중률 λ_i 는 $\sum \lambda_i = 1$ 을 만족하며 예측값 $A(x)$ 가 편의를 가지지 않도록 선택된다 (보다 자세한 이론적 설명은 Burrough 1986; Watson 1994를 참조할 것). 이러한 크리깅에 의한 보간법은 다양한 지리정보 관련 프로그램에서 채택되고 있으나 자료점의 수가 많으면 계산량이 매우 방대해지며, 변이의 통계학적 특성에 대해서 미비한 가정을 깔고 있어서 분산도 추정에 어려움이 따르는 단점을 지닌다. 따라서 이제 까지 소개된 대부분의 공간 보간 방법과 마찬가지로 크리깅 방법도 관측값을 기준으로 통계적 방법으로 결절점과 결점점 사이의 공간에 대한 접근성값을 보간해 주는 것으로 실제로 지하철역에서 거리에 따라 변화하는 접근성의 공간적 파급의 속성은 전혀 감안하지 못하고 있다. 즉, 이제 까지 검토한 다양한 보간 방법들은 알고있는 관측치에 대해서 단순히 통계적 처리를 하거나 기하학적으로 모형화한 것으로 접근성이 공간적으로 파급되는 속성에 대한 이론적 근거를 제시하지 못하고 있다.

3. 지하철 접근도의 주변지역으로의 파급 효과 산정을 위한 이론적 모형 개발

지하철망의 확충으로 인한 접근성의 증가는 그

지하철 노선이 직접 지나가는 지점들에서만 경험할 수 있는 것이 아니라 정도의 차이는 있지만 그 주변의 지역으로도 파급효과가 나타날 것이다. 최근 수도권 지역의 지하철망에 대하여 기존 그래프 이론을 이용한 접근성 측정모형들이 지니고 있는 문제점들을 해결하면서 특히 지하철 교통의 통행행태를 감안할 수 있는 새로운 알고리즘을 적용하여 1기 지하철망과 2기 지하철망의 각 결절점들의 접근성의 공간구조의 변화를 비교 분석하는 연구가 있었으나(이금숙 1996; Lee and Lee 1998), 그 연구에서 소개된 새로운 알고리즘도 그래프 이론에 기반을 두고 개발되었던 이제까지의 다른 모형들과 마찬가지로 교통망에서 결절점인 지하철역의 접근성 값만이 산출되는 것이므로 그 주변지역이나 지하철역과 역사이의 공간에 대해서는 접근성값을 산출해 주지 못하고 있다. 따라서 지하철망의 접근성의 공간구조의 변화를 인식하기 위하여 등치선도나 3차원 지도로 나타내려 할 때 수도권 전체 공간에 대하여 지하철 역이 위치하고 있는 지점에 대한 접근성 값을 알고 있으므로 나머지 공간에 대하여는 그 알고있는 지하철 접근성 값을 기초로 하여 보간하여야 하므로 크리깅 방법에 의한 GIS 프로그램을 이용하여 3차원의 지도화 작업을 시도하였다. 그러나 크리깅 방법도 앞장에서 검토하였듯이 접근성의 공간적 파급 속성을 전혀 고려하지 않은 것이다.

지하철과 같은 선로 교통망의 경우 접근성은 지하철 노선이 어느 지점을 통과하여 지나가느냐와 함께 어느 지점에 역이 있느냐로 결정되므로 우선은 전체 지하철 망에 대한 각 지하철역의 접근성 값을 산출하는 것에서 출발할 수밖에 없다. 그러나 역이 아닌 지점의 접근도는 근처 여러 역들의 영향을 받게 된다. 따라서 역과 역이 아닌 지점이 다르게 취

급되는데, 이는 역에서 예를 들어 몇 m 떨어진 지점까지를 역으로 간주할 수 있는가 하는 문제점을 제기한다. 더욱이 한 역에 바로 인접해서 역 자체로 간주할 수 있는 지점이라도 접근도가 훨씬 큰 다른 역이 근처에 있으면 그 영향을 받는 것이 타당하다. 결국 접근도는 역이든 역이 아닌든 상관없이 모든 지점에서 일관성이 있도록 정의하는 것이 바람직하며, 역에서 지하철을 바로 타는 경우를 나타내는 순수한 기여와 역까지의 거리에 따른 영향을 합리적으로 고려할 수 있어야 한다. 곧 어떤 역에서 바로 탈 수 있는 지하철에 의한 직접적인 접근도, 곧 역의 자체 접근도를 $A^{(0)}$ 라 하면 이 역이 어떤 지점의 접근도에 기여하는 정도는 그 지점과 역사이의 거리 d 에 의존하므로

$$A(d) = A^{(0)}f(d)$$

로 표시할 수 있다. 지하철을 타기 위해서 역까지 가야 하는 거리가 멀수록 그 역의 접근도의 기여는 작아지므로 $f(d)$ 는 거리 d 에 대해 감소함수이며, $f(0) = 1$ 및 $f(\infty) = 0$ 을 만족한다.

전체 역의 수가 N 인 도시 지하철망에서 이러한 접근도를 정의하면 다음과 같다. 이차원 공간에서 위치 r_j 인 역 j 의 자체 접근도를 $A_j^{(0)}$ 라 하면 이는 그 역에서 거리 d_j 떨어진 지점의 접근도에 $A_j^{(0)}f(d_j)$ 만큼 기여한다. 따라서 위치 r 인 지점 P 의 총 접근도는 각 역의 자체 접근도와 그 역까지의 거리에 의해 다음 식으로 주어진다.

$$A(r) = \sum_{j=1}^N A_j^{(0)}f(d_j)$$

여기서 지점 P와 역 j 사이의 거리 d_j 는 편의상 직선거리 $|r - r_j|$ 로 택할 수 있으나 실제 도로 거리 또는 시간거리로 택하는 것이 더 타당하다. 기존의 연구와 달리 위의 식은 역 자체에도 적용되며, 예를 들어 위치 r_i 인 역 i의 총 접근도는 위의 식에서 $d_i = 0$ 이므로

$$A(r_i) \equiv A_i = A_i^{(0)} + \sum_{j \neq i} A_j^{(0)} f(d_{ij})$$

가 되어서 자체 접근도와 다른 역들의 접근도 기여의 합으로 나타내어진다. (여기서 d_{ij} 는 역 i와 역 j 사이의 거리이다.)

거리에 따른 접근도 기여의 감소를 나타내는 함수 $f(d)$ 는 앞장에서 살펴본 기존의 공간 보간에 대한 연구에서는 접근성의 공간적 파급효과에 대한 타당한 근거 없이 대부분 대수함수(algebraic function) 꼴로 제한하였다. 그러나 현실적으로는 거리가 어느 정도 멀어지면 접근도의 기여가 비교적 급격하게 감소하며, 따라서 대수함수 보다 빨리 감소하는 꼴이 타당하리라 예상된다. 이러한 경우에 $f(d)$ 는 d 가 어느 정도 커지면 무시할 수 있을 정도로 줄어들므로, 위의 식으로 주어진 어느 지점의 총 접근도는 사실상 그 주위의 역의 영향만 고려해도 된다. 구체적으로 $f(d)$ 의 형태는 지하철 역의 거리에 따른 실제 이용도를 조사·분석하여 찾아내는 것이 바람직하다. 역과의 거리가 충분히 커서 이용도가 없으면, 그 역이 접근도에 아무런 기여도 하지 못한다고 할 수 있으며, 이용도가 크면 곧 접근도에 기여를 많이 한다고 간주할 수 있어서 결국 이용도는 접근도에 기여하는 정도를 반영한다고

할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 지하철역과 주변 지역 사이의 통행행태를 조사하여 그를 기초로 이론적 모형을 도출하는 작업을 하였다. 조사 대상지역은 대학로에 위치한 지하철 4호선의 혜화역을 중심으로 한 주변지역이다. 대부분의 지리적 현상들이 그러하듯이 지하철역 이용실태도 지하철역에서 거리가 멀어짐에 따라 그 현상의 정도가 약해지는 거리 조락의 특징을 보인다. 다음 그림1은 서울 지하철의 혜화역의 거리에 따른 이용도를 나타낸 것이다. 여기서 이용도는 단위 면적당 이용자수로 계산된 이용밀도를 적용하였다.

그림 1에서 볼 수 있듯이 지하철 역에서부터의 거리가 아주 작지 않으면 이용도가 거리에 따라 급격히 줄어들음을 알 수 있으며, 특히 세로축을 로그로 표시한 그림 2에서 얻어진 직선은 이용도가 거리에 대해 지수함수(exponential function)

$$y = y_0 e^{-d/d_0}$$

처럼 변화함을 보여준다. 반면에 거리가 아주 작으면 이용도는 거리에 거의 의존하지 않을 것으로 예상된다. 이는 극단적으로 역의 크기 정도의 거리를 생각하면 알 수 있다.

결론적으로 $f(d)$ 는 $f(0) = 1$ 이고 d 가 작을

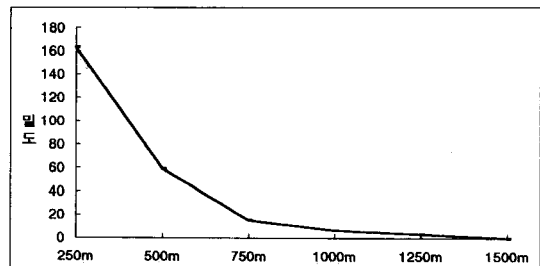


그림1. 지하철역으로부터 거리에 따른 지하철 이용도

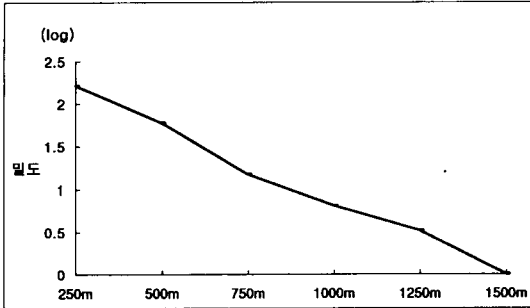


그림 2. 로그로 표시한 지하철 이용도의 변화

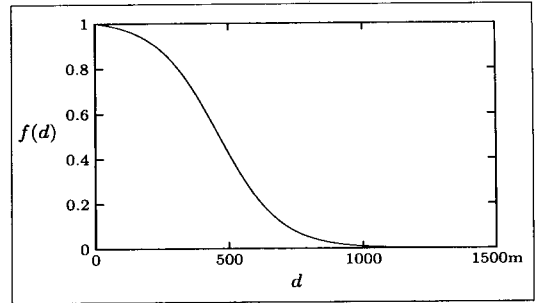


그림 3. 지하철 이용도를 위의 함수식에 맞추어서 얻은 접근성의 거리에 따른 변화

때 매우 서서히 감소하나 d 가 커지면

$$f(d) \sim e^{-d/d_0}$$

플로 급격히 감소하여 0에 접근하는 함수이다. 이러한 형태를 지닌 가장 간단한 함수로서

$$f(d) = \frac{A}{2} \left[1 - \tanh \frac{d-d_1}{d_2} \right]$$

을 고려할 수 있는데 여기서

$A \equiv 2[1 + \tanh(d_1/d_2)]^{-1}$ 이며 d_1 과 d_2 는 지하철역에서 멀어짐에 따라 접근도의 기여가 줄어드는 정도를 나타내는 매개변수(parameter)이다. 해화역의 이용도를 위의 함수로 맞추면 $d_1 \approx 460$, $d_2 \approx 230$ 이 얻어지며 이를 그림 3에 표시하였다.

물론 이들 매개변수 값들이 신빙성을 지니기 위해서는 보다 많은 설문조사를 바탕으로 하여야 할 것이지만 전반적 함수의 형태에는 큰 변화가 없을 것으로 예상된다.

서울을 중심으로한 수도권 지역은 1974년 지하

철 1호선이 개통된 이후 수도권 지역의 중요한 대중교통 수단으로 이용되어 오면서 수도권 지역의 토지이용 패턴에 많은 변화를 주도해 왔다. 접근도는 입지에 있어서의 경제적 효율성을 의미한다고 할 수 있으므로 도시지역에 주요한 경제활동들은 서로 접근도가 높은 지점의 토지에 입지하려는 경향을 나타내는 것으로 밝혀지고 있으며, 특히 각종 재화와 서비스를 제공하는 소비 지향적 산업인 3차 산업은 가능한 한 많은 고객을 접할 수 있는 기회를 확보하기 위하여 접근도가 높은 지점에 입지하려는 성향을 나타낸다. 따라서 지하철역을 중심으로 지하철역 가까운 지점에 각종 경제활동이 밀집 분포하려 하여 한정된 토지공간에 대한 경쟁이 높아져 지가가 상승하는 결과를 초래해 왔으며, 지하철역에서의 거리에 따라 상대적으로 지하철 접근성의 파급효과는 줄어들게 되므로 지가도 같이 하락하게 되어 궁극적으로 그에 상응하는 지대를 지불할 수 있는 경제활동들이 입지 해 나게되면서 지하철역 주변지역의 토지이용패턴을 형성하게 된다고 보았을 때, 이러한 지하철역에서의 접근도가 주변지역으로 파급되는 효과를 정확히 산출 할 수 있다면 주변지역의 토지이용 및 공간구조분석이 수월해 질 수 있으며 지하철망의 확충등 변화가 있을 때 각

중 시설물의 입지계획 등에 좋은 자료를 제공할 수 있게 될 것이다.

4. 결론

지하철과 같은 선로교통망은 교통로의 속성에 차이가 거의 없으므로 그에 의한 접근도는 단순히 노선의 연결 여부를 기초로 하는 그래프 이론을 이용한 접근성 측정 모형을 적용하여 쉽게 산출할 수 있다. 그러나 이러한 모형으로는 교통망상에 있는 결절점들의 접근성값을 산출할 수 있지만 결절점들 사이공간의 접근성값을 산출할 수 없는 한계가 있었다. 본 연구에서는 결절점인 지하철역의 접근성 증가가 주변지역으로 파급되는 효과를 정확히 산출할 수 있는 이론적 모형을 제시하였다. 특히 기존의 공간 보간 방법들과는 달리 접근성의 공간적 속성을 고려하여 이론적 모형을 도출하였다. 그를 위하여 표본지역을 설정하여 지하철역과 주변지역 사이에 이루어지는 통행행태를 설문 조사하였으며, 그를 바탕으로 주변지역에서 지하철역을 이용에 대한 거리조각 함수식을 도출하였다. 기존의 연구에서는 각 역의 접근도를 그 역에서의 지하철 연결만 고려하여 산정하였고, 역과 역 사이의 지점은 공간 보간의 방법에서 제시하고 있는 대로 접근성의 공간적 속성을 고려하지 않은 채 근처 역들의 접근도들의 적당한 가중 평균으로 정하였다. 이러한 방법에서는 역의 접근도는 근처의 다른 역의 영향을 받지 않는 반면에 역이 아닌 지점의 접근도는 근처 여러 역들의 영향을 받게 된다. 따라서 역과 역이 아닌 지점이 다르게 취급되는데, 이는 역에서 예를 들어 몇 m 떨어진 지점까지를 역으로 간주할 수 있는가 하는 문제점을 제기한다. 더욱이 한 역에 바로 인접해서

역 자체로 간주할 수 있는 지점이라도 접근도가 훨씬 큰 다른 역이 근처에 있으면 그 영향을 받는 것이 타당하다. 결국 접근도는 역이든 역이 아닌든 상관없이 모든 지점에서 일관성이 있도록 정의하는 것이 바람직하며, 역에서 지하철을 바로 타는 경우를 나타내는 순수한 기여와 역까지의 거리에 따른 영향을 합리적으로 고려하여야 한다.

거리에 따른 접근도 기여의 감소를 나타내는 함수 $f(d)$ 는 기존의 연구에서는 접근성의 공간적 파급효과에 대한 아무런 근거가 없이 대부분 대수함수(algebraic function) 꼴로 제안하였다. 그러나 현실적으로는 거리가 어느 정도 멀어지면 접근도의 기여가 비교적 급격하게 감소하며, 따라서 대수함수보다 빨리 감소하는 꼴이 타당하리라 예상된다. 이러한 경우에 $f(d)$ 는 d 가 어느 정도 커지면 무시할 수 있을 정도로 줄어들므로, 역으로부터 아주 멀리 떨어져 있는 지점의 총 접근도는 사실상 그 주위의 역의 영향만 고려해도 된다. 역과의 거리가 충분히 커서 이용도가 없으면, 그 역이 접근도에 아무런 기여도 하지 못한다고 할 수 있으며, 이용도가 크면 곧 접근도에 기여를 많이 한다고 간주할 수 있어서 결국 이용도는 접근도에 기여하는 정도를 반영한다고 할 수 있으므로 $f(d)$ 의 형태는 지하철역의 거리에 따른 실제 이용도를 조사·분석하여 찾아내는 것이 바람직하다. 따라서 본 연구에서는 지하철역과 주변지역 사이의 통행행태를 조사하여 그를 기초로 이론적 모형을 도출하는 작업을 하였다. 조사 대상지역은 대학로에 위치한 지하철 4호선의 혜화역을 중심으로 한 주변지역이다. 대부분의 지리적 현상들이 그러하듯이 지하철역 이용실태도 지하철역에서 거리가 멀어짐에 따라 그 현상의 정도가 약해지는 거리조각의 특징을 보인다. 지하철역에서부터

의 거리가 아주 작지 않으면 이용도가 거리에 따라 급격히 줄어들음을 알 수 있으며, 특히 세로축을 로그로 잡을 경우 직선에 가까운 형태를 띠므로 지하철 이용도는 거리에 대해 지수함수(exponential function)처럼 변화함을 알 수 있다. 반면에 거리가 아주 작으면 이용도는 거리에 거의 의존하지 않을 것으로 예상된다. 이는 극단적으로 역의 크기 정도의 거리를 생각하면 알 수 있다. 결론적으로 d 가 작을 때 매우 서서히 감소하나 d 가 커지면 급격히 감소하여 0에 접근하는 함수이다. 물론 본 연구에서 제시한 수학적 함수식과 그 매개변수 값을 일반화시키기 위해서는 앞으로 보다 많은 표본지역에 대한 자료를 통한 검증이 이루어져야 할 것이다. 또한 본 연구에서는 지하철 접근도의 공간적 파급효과를 측정할 수 있는 이론적 모형을 개발하는 것을 목적으로 하고 있으므로 이론적 모형을 제시하는 것에 그쳤으나, 앞으로의 연구에서는 이 모형을 이용하여 지하철 노선의 확충이 있는 실제 지하철망에 적용하여 그로 인한 지하철역의 접근성 증가가 주변 지역에 파급되는 정도를 분석하는 연구가 뒤따라야 할 것이다.

접근도의 공간구조는 그 지역의 교통망에 의한 연계성에 의해 결정되므로 교통망의 신설이나 개선과 같은 형태로 교통망의 확충이 생기면 지역의 접근성에도 변화가 나타나게 된다. 이러한 변화는 직접 교통망이 지나 가는 지점에만 나타나는 것이 아니라 그 주변지역에도 정도의 차이는 있지만 영향을 주게 된다. 이러한 접근도의 변화는 지가에 영향을 주며, 궁극적으로 지역의 토지이용패턴을 변화시킨다. 따라서 지하철 노선의 확충으로 지하철망에 위치한 지하철역에서의 접근성 증가가 주변 지역으로 파급되는 정도를 산출하는 본 연구에서 소개한 모형은 교통을 포함한 각종 지역계획과정에서 효율적이고 합리적인 대안선정을 위한 기준으로 이용될 수 있다. 특히 교통시설의 설치나 교통수단의 공급을 위한 계획수립에 있어 결정적인 준거가 될 수 있으며, 또한 지역의 형평성의 문제와 결부시켜 그 지역 계획의 적정성 여부를 판단하는 중요한 기준이 될 수 있다.

참고문헌

- 이금숙, 1993, "수요변화에 따른 영화 상영관 입지의 공간적 재구조화", *지역연구*, 9(2), 71-87.
- 유 완·김설수, 1981, "서울시 지하철 1호선의 영향분석", *국토계획*, 16(2), 42-49.
- Armstrong, M. P. and Marciano, R. J., 1996, "Local interpolation using a distributed parallel supercomputer", *International Journal of Geographical Information Systems* 10(6), 713-729.
- Arthur, D. W. G., 1965, "Interpolation of a function of many variables", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 31, 348-349.
- Berge, C. 1962, *The Theory of Graphs and its Application* (John Wiley, New York).
- Burrough, P. A., 1986, *Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment* (Clarendon Press, Oxford).
- Burton, I., 1962, "Accessibility in Northern Ontario: An Application of Graph theory to a regional highway network", *Report for Ontario Department of Highways*.
- Crain, I. K., 1970, "Computer interpolation and contouring of two-dimensional data: a review", *Geoexploration*, 8, 71-86.
- Cromley, R. G., 1992, *Digital Cartography* (Prentice-Hall, Englewood Cliffs).
- Cuyt, A., 1987, "A recursive computation scheme for multivariate rational interpolants", *SIAM Journal of Numerical Analysis*, 24, 228-239.
- Davidson, K. B., 1977, "Accessibility in transport/land use modeling and assessment", *Environment and Planning A* 5, 1401-1416.
- Garrison, W. L., 1960, "Connectivity of the interstate highway system", *Papers and Proceedings of the Regional Science Association*, 6, 121-137.
- Garrison, W. L. and Marble, D., 1964, "Factor-analytic study of the connectivity of the transportation network", *Papers of the Regional Science Association*, 12, 231-239.
- Haggett, P. and Chorley, R., 1970, *Network Analysis in Geography* (St. Martin's Press, New York).
- Hardy, R.L., 1971, "Multiquadric equations of topography and other irregular surfaces", *Journal of Geographical Research*, 76, 1905-1915.
- Hayes, C. R., 1957, "Suburban Residential Land Values Along the C.B.D. and Railroad", *Land Economics* 33, 177-187.
- Horton, R.E., 1923, "Rainfall interpolation", *Monthly Weather Review*, 51, 291-304.
- Lee, K., 1996, "Spatial restructuring of the accessibility in Metropolitan Seoul Area", *Proceedings of The 5th World Congress of the RSAI*, 1-7.
- Lee, K. and Lee, H., 1998, "A new algorithm for graph-theoretic nodal accessibility measurement", *Geographical Analysis* 30, 1-14.
- Lam, N., 1983, "Spatial interpolation methods: a review", *The American Cartographer* 10, 129-149.

- Matheron, G., 1973, "The intrinsic random functions and their applications", *Advance in Applied Probability* 5 439-468.
- Matheron, G., 1976, "A simple substitute for the conditional expectation: the disjunctive kriging on Guarascia," David, M. and Huijbregts, C. eds., *Advanced Geostatistics in the Mining Industry*, (Dordrecht: Reidel), pp. 221-236.
- Nystuen, J. and Dacey, M., 1961, "A graph theory interpretation of nodal regions", *Papers of the Regional Science Association* 7, 28-42.
- Oliver, M. A. and Webster, R., 1990, "Kriging: a method of Interpolation for geographical information systems" *International Journal of Geographical Information Systems* 4, 313-332.
- Reed, W., 1970, "Indirect connectivity and hierarchies of urban dominance", *Annals of the Association of American Geographers* 60, 770-785.
- Ripley, B. D., 1981, *Spatial Statistics* (John Wiley, New York).
- Robinson, R., 1977, *Ways to Move: The Geography of Networks and Accessibility*, (Cambridge University Press, New York).
- Shimbel, A., 1953, "Structural parameters of communication networks", *Bulletin of Mathematical Biophysics* 15, 501-507.
- Sibson, R., 1981, "A brief description of natural neighbour interpolation", in Barnett, V., ed., *Interpreting Multivariate Data* (John Wiley, New York), 21-36.
- Taaffe, E. J. and Gauthier, H. L., O'Kelly, M., 1996, *Geography of Transportation* (Prentice-Hall, Englewood Cliffs).
- Wahba, G., 1986, "Multivariate thin plate spline smoothing with positivity and other linear inequality constraints", in Wegman, E. J. and DePriest, D. J., eds., *Statistical Image Processing and Graphics* (Marcel Dekker, New York), 275-289.
- Watson, D., 1994, *Contouring: A Guide to the Analysis and Display of Spatial Data* (Pergamon, New York).

Abstract

Model Development for the Spatial Diffusion Effect Estimation of Nodal Accessibility Increment in the Subway Network

Keumsook Lee*

It is likely that the spatial structure of the intraurban accessibility as well as the accessibility value of each of the nodes in the subway network is affected by the addition of new linkages. The changes in the accessibility at individual nodes also affect the accessibility in the surrounding areas at some distances away from the nodes. Graph-theoretic algorithms have been developed as a proper measurement scheme for the nodal accessibility in tracked transport networks such as subway networks. However, the graph-theoretic measurements have limitations to estimate the spatial diffusion effect on the surrounding areas. This study proposes a new model for the spatial diffusion effect estimation of nodal accessibility increment in the subway network toward the surrounding areas. Since the distance decay trend of subway station use reflect the spatial diffusion effect of the accessibility of subway station toward the surrounding area. The model is deduced from the subway station use density function which is formulated by the questionnaire survey data.

Key words : subway accessibility, diffusion effect of accessibility, distance decay, spatial interpolation

* Assistant Professor, Department of Geography, Sungshin Women's University

