

다. 연결성 행렬은 정점간에 직접 연결되어 있으면 1의 값을, 그렇지 않으면 0의 값을 기입한 행렬이다. 접근성 행렬은 간접적인 연결도 표현하기 위해 각 셀에 0의 값이 없어질 때까지 누승하여 구한다. 접근성 행렬 가운데 A. Shimbel이 제시한 최단경로행렬은 임의의 두 결절점에 나타나는 경로수를 노드 취급하는 것이 아니고, 최단경로에 한해 대상으로 한다.

2. 선택행태이론

심리학적 접근에서는 각 통행자가 각 대안에 대한 자신의 효용을 정확히 측정할 수 있으며 이들 효용을 평가함으로써 자신의 선택의사를 결정한다고 가정한다. 또한 각 통행자는 각 대안별 효용을 평가하여 이를 근거로 대안을 선택한다. 그러나 큰 효용을 갖는 대안을 선택할 확률이 상대적으로 높다고 할 수 있으나 반드시 효용이 큰 대안을 택하지는 않는다고 가정한다.

경제학적 접근에서는 통행자의 선택행태를 효용극대화(utility maximization)라는 소비자행태이론을 근거로 설명하고 있다. 소비자행태이론에 의하면 개인 소비자는 경제적 효율성을 추구하는 행동을 하며, 구체적으로 주어진 제약 조건하에 자신의 효용을 극대화하는 선택을 한다는 것이다. 경제학적인 접근에서의 효용은 정확히 측정되지 않고 효용자체가 확률적이다. 따라서 통행자는 각 대안에 대한 효용을 평가하여 자신의 효용을 극대화하는 하나의 대안을 선택한다는 것이다.

3. 확률적 통행배정모형

확률배정모형은 각각의 통행자가 통행비용에 대하여 각기 다르게 인식함은 물론, 교통망에 대하여 완전한 정보를 갖고 있지 않으므로 각 경로에 대하여 각 통행자가 각기 다른 통행비용을 인식하게 된다. 이러한 인식통행비용을 확률분포로 나타낼 수 있으며, 확률분포 함수의 형태에 따라 확률배정모형은 로짓모형(logit model) 또는 프로빗 모형(probit model) 등으로 나눌 수 있다.

1977년에 Sheffi et al은 확률선택모형중 로짓모형이 갖고 있는 단점²⁾을 피하기 위해 프로빗모형을 이용해야 한다고 주장하였다. 그러나 가장 큰 문제는 확률계산을 할 때 모든 경로의

열거(enumeration)를 피할 수 있는 방법을 고려해야 하는 것이다. 사실 로짓모형의 장점은 합리적인 경로를 고려하는 것에 의해 경로의 열거를 피할 수 있는 것이다. 프로빗모형을 통한 확률계산을 위한 방법으로 제시되고 있는 것은 Clark's Approximation에 의한 방법과 Monte Carlo Simulation에 의한 방법이 있다.

4. 기존 연구 고찰

1) 기존 평가사업에서의 영향권

타당성평가지 공간적 범위에 대한 명확한 기준은 제시되어 있지 않다. 다만 일반적으로 행정구역울 경계로 해당노선이 경유하는 지역은 직접 영향권으로 설정하고 그 주변지역은 간접 영향권으로 설정한다. 따라서 각 평가보고서에 따라 임의적으로 설정되어 있으며, 고속도로 및 국도의 건설·확장사업의 경우는 전국을 영향권으로 설정하고 있다.

교통영향평가의 경우 공간적 범위를 사업의 시행 또는 시설의 설치로 인하여 직접적인 교통영향을 받는 지역까지로 설명하였고, 사업의 종류에 따라 최소한도의 기준을 제시하고 그 이상을 요구하고 있다. 실제적으로는 교통영향평가보고서에서는 타당성평가와 마찬가지로 행정구역울 경계로 영향권을 임의적으로 설정하고 있다.

2) 관련 연구 고찰

성도진(1991)은 고속도로의 유출입시설에 대해 마코프체인 확률과정을 차로변경에 적용하여 합류부와 분류부의 영향권을 산정할 수 있는 시뮬레이션 모형을 개발하였다. 그러나 본 연구와는 관점과 연구 대상이 다르다.

III. 영향권 설정기법 개발

1. 영향권의 개념 및 가정

본 연구는 도로구간의 영향권을 당해 도로구간을 이용하는 공간적 범위로 정의하였다.

본 연구에서 기본적으로 가정하고 있는 사항은 다음과 같다.

첫째, 도로구간에 혼잡이 발생하지 않는다고 가정한다. 본 연구는 고속도로, 국도 등의 지역간 도로를 대상으로 하며, 일반적으로 지역간 도로는 혼잡을 고려하지 않는다.³⁾

2) 도로망의 형태와 통행비용의 상대적 차이를 고려하지 못한다.

3) Ortúzer와 Willumsen(1990), 혼잡효과는 단거리

둘째, 사업도로의 주변지역이 동일한 토지이용과 사회경제적 지표를 가지고 있다고 가정한다. 이는 영향권의 설정을 결정하는 요소로 교통망의 구조만을 고려하였음을 의미한다.

셋째, 통행자는 최단통행경로에 대해 완전한 정보를 갖고 있으나, 그 행위에 대해서는 확률적인 선택을 한다고 가정한다.

2. 영향권 설정기법의 개발

1) 도로망 구축

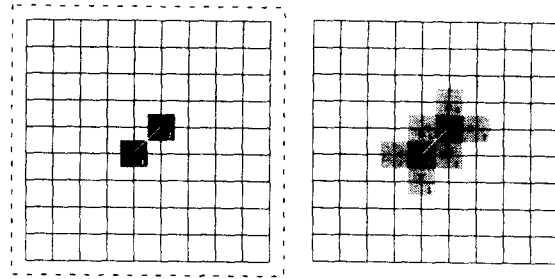
사업도로구간을 중심으로 도로망을 구축한다. 도로망은 적어도 설정될 영향권의 범위까지 구축해야 되는데, 아직 영향권이 설정되지 않았으므로 어디까지를 구축해야 하는지 모르는 상태에서 시작된다. 만약 구축된 도로망보다 영향권의 범위가 크다면 피드백 과정을 거쳐 확장 가능하다.

2) 위계별 영역권 설정

신설도로와 기존도로와의 연결성을 중심으로 위계별 영역권을 선정한다. 구축된 도로망을 벗어난 지역까지 영향권의 범위내에 속하는 경우 다시 피드백하여 도로망을 확장하여 구축하여야 한다. 이때 ‘어느 정도를 확장할 것인가’ 하는 문제가 제기된다. 그런데 공간적 범위를 설정하는 경우에, 당해 사업 및 시설을 중심으로 각 방향의 교차로 및 가도가 고르게 분포되도록 하는 것이 일반적이다.⁴⁾

본 연구는 도로망 구축에 대한 척도를 제시하기 위해서 ‘영역권’이라는 개념을 정의하였고, 이는 사업도로구간의 노드⁵⁾를 기준으로 기존 도로와의 연결성을 계층적으로 나타내는 권역이다. 영역권은 연결성행렬을 바탕으로 주변 노드와 사업도로와의 연결성을 바탕으로 설정된다.

<그림 1>은 신설도로를 기준으로 직접 연결되는 노드의 세력권⁶⁾을 1차 영역권으로 설정한 것이다. 2차 영역권은 1차 영역권의 노드를 기준으로 직접 연결되는 노드의 세력권으로 <그림 2>와 같다.



<그림 1> 1차영역권

<그림 2> 2차영역권

이러한 방법으로 구축된 대상 네트워크를 동일하게 확장시켜 나간다.

3) 노드간 통행비용행렬 작성

신설도로를 이용하지 않을 때의 최단경로를 탐색하여 통행비용행렬로 나타내고, 신설도로를 이용할 때의 통행비용을 행렬로 나타낸다. 여기서 신설도로를 이용할 때의 통행비용은 신설도로를 이용하는 것이 최단경로가 아닐지라도 우회시킨 경로 중에서 최단경로를 선정하고 이를 신설도로를 이용할 때의 통행비용으로 결정한다.

4) 단위 시간당 분산 β 의 추정

프로빗모형은 인지된 통행시간(perceived travel time)이 측정된 통행시간(measured travel time)을 평균값으로 갖고, 정규분포(Normal Distribution)한다고 가정한다. 인지된 통행시간의 분포는 <식 1>과 같이 구간의 통행시간의 분포로부터 산정된다.

$$T_a \sim N(t_a, \beta t_a) \quad \text{<식 1>}$$

T_a 는 측정된 통행시간 t_a 를 평균값으로, βt_a 를 분산으로 갖고 정규분포하는 확률변수(random variable)로 각 통행자가 구간 a 에 대해 인지한 통행시간이다. 이때 분산 βt_a 는 측정된 구간 통행비용 t_a 에 β 라는 상수를 곱한 것이다. 각 통행자가 통행시간에 대해 인지하는 정도를 측정하는 β 의 추정은 본 연구의 범위를 벗어나므로 생략한다. 본 연구에서는 β 를 0.1로 가정하였다.⁷⁾

5) 노드간 신설도로 이용확률 산정

본 연구에서는 모든 통행자가 완전한 정보 아래 최단경로를 찾을 수 있지만, 그 최단경로

교통에 먼저 영향을 준다.

4) 교통영향평가지침 제 5조 2항 5호

5) 본 장에서는 노드를 기반으로 영향권을 설정한다.

6) 노드의 세력권은 해당 노드와 주변 노드와의 거리가 1/2내에 있는 범위로 설정하였다.

7) 이승재(1990), 확률적 평형통행배정모형에 관한 연구에서는 β 를 0.1, 0.01 두 가지로 가정하고 프로빗형 확률평형배정모형을 수행하였다.

에 대해 인지하는 통행시간은 통행자에 따라 다르고, 각 통행자의 인지통행시간은 정규분포한다고 가정하였다. 그리고 통행자의 경로 선택은 인지통행시간에 따라 다르므로, 이때의 각 경로에 대한 선택확률은 통행시간에 따라 달라진다. 따라서 신설도로의 이용확률은 프로빗모형을 이용하여 구한다.

프로빗모형은 로짓모형보다 합리적이지만 계산상의 어려움을 가지고 있으므로 본 연구에서는 Clark's Approximation 방법을 변형하여 계산하였다. Clark's Approximation은 다항프로빗모형을 이항프로빗모형으로 변형하여 계산하는 것으로 각 경로들을 열거해야 하는 단점이 있다. 즉 전통적인 Clark's Approximation에 의하면 이용가능한 모든 경로의 통행비용을 알아야 하고 이들의 최대 효용 평균값을 하나의 값으로 산정한다. 이를 신설도로 이용시의 통행비용과 함께 고려하여 이항프로빗모형을 통해 신설도로의 이용확률을 산정하게 된다. 그러나 이용가능한 각 경로의 통행비용을 일일이 열거하는 것은 매우 복잡하고 어려운 작업이다.

본 연구에서는 이용가능한 모든 경로중에서 최단경로만을 고려하여 이를 신설도로를 이용하였을 때의 통행비용과 비교하여 이용확률을 산정하였다.⁸⁾

따라서 본 연구에서는 Clark의 방법을 다음 <식 2>와 같이 변형하였다.

$$\begin{aligned}
 P_{ijn} &= \Pr(U_{ijn} \geq \max_{i \neq n} [U_i]) \\
 &= \Pr[[\max(U_1, \dots, U_{n-1}, \\
 &\quad U_{n+1}, \dots, U_N)] - U_n \leq 0] \quad \text{<식 2>} \\
 &= \Phi \left\{ \frac{V_n - V_{-n}}{\sqrt{\sigma_n^2 + \sigma_{-n}^2}} \right\}
 \end{aligned}$$

$V_{-n} = \max(U_1, \dots, U_{n-1}, U_{n+1}, \dots, U_N)$ 의 V

$\sigma_{-n}^2 = \max(U_1, \dots, U_{n-1}, U_{n+1}, \dots, U_N)$ 의 σ

이때 $\Phi(\cdot)$ 은 누적정규분포함수이고, σ_k 는 대안 k 의 표준편차이다.

6) 반복 여부의 판단

신설도로를 이용하지 않는 최단경로와 신설도로를 이용할 때의 경로와의 시간차이는 두 가지 경우로 구분된다. 첫째는 신설도로를 이용할 때 통행시간이 절감되는 경우이고 두 번째

8) 본 연구에서는 신설도로를 이용할 때의 경로와 이용하지 않을 때의 최단경로간에는 중복된 구간이 없다고 가정한다.

는 신설도로를 이용하는 것이 오히려 통행시간이 증가되는 경우이다. 전자는 영역권을 확장할수록 분산은 커지고 신설도로를 이용함으로써 얻는 시간의 절감분은 일정하므로 그 이용확률이 줄어들게 된다. 결국은 이용확률 P_{ijn} 는 0.5로 수렴하게 된다. 후자는 영역권을 확장할수록 분산도 커지지만 신설도로를 이용함으로써 증가하는 통행시간도 커지므로 어떤 일정한 값에 수렴하기 어렵다.

본 연구에서는 신설도로를 이용함으로써 통행시간이 절감되는 셀을 기준으로 영향권을 설정한다. 동일한 위상을 갖는 셀, 예를 들어 1번 노드에서 2번 노드로 가는 셀의 이용확률값은 영역권을 확장하더라도 그 값은 일정하다. 다만 변하는 것은 새롭게 영역권으로 포함되는 셀들로, 신설도로를 둘러싼 가장 외곽의 셀중 0.5 이상의 확률값을 갖는 셀 값은 영역권을 확장할수록 줄어든다. 반면에 이용확률이 0.5보다 작았던 셀들은 오히려 그 값이 커지게 된다.

결국 영역권이 확장될수록, 신설도로를 둘러싼 외곽의 셀 중에서 신설도로를 이용함으로써 통행시간이 절감되는 셀 값은 0.50에 수렴하게 된다. 영향권의 설정은 이 셀 값이 0.50에 수렴할 때까지 반복된다.

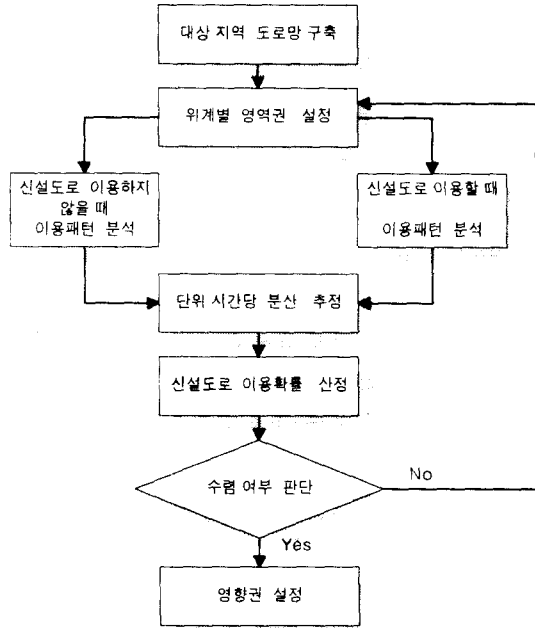
7) 영향권 설정

본 연구에서 설정한 영역권은 행렬로 나타나고 각 셀별로 이용확률값이 다르다. 따라서 영향권을 도면화하기 위해서는 각 셀값들을 하나의 노드에 대한 대표치로 전환시켜야 한다. 본 연구에서는 간단한 산술평균으로 각 셀들의 확률값을 각 노드의 값으로 전환시켰다. 이 산술평균값은 상대적 수치이고 절대적 수치가 아니다. 다시 말해서 각 노드별 값의 위계를 정할 순 있지만 이 수치가 어떠한 의미를 갖는 것은 아니다.⁹⁾ 이 값에 따라 설정된 영향권 내의 노드들 각각의 세력권을 도면화하되, 값의 크기에 따라 계층적으로 차등화한다.

영향권의 형태는 도로망 구조와 사업도로의 형태에 따라 결정된다.

영향권을 설정하기 위한 7단계를 다음 <그림 3>과 같이 나타낼 수 있다.

9) 반면, 각 셀의 값들은 그 셀에서의 신설도로 이용 확률로 의미있는 수치이다.



<그림 3> 영향권 설정과정

3. 제한된 도로망에의 적용방법

실제의 도로망은 제한적이므로 어떤 방향으로, 또는 모든 방향으로 영역권의 확장이 불가능한 경우가 있을 수 있다.

제한된 도로망에서의 영역권은 확장가능한 부분까지는 균일하게 확장시키되, 더 이상 확장이 불가능한 방향으로서는 확장을 시키지 않고 확장가능한 방향으로만 확장한다.

IV. 프로토 타입 적용 및 평가

1. 프로토 타입의 가상네트워크에 적용

1) 가상네트워크 구성

난수를 발생시켜 임의적으로 노드수가 224개, 링크수는 416개인 가상네트워크를 구성하였다.

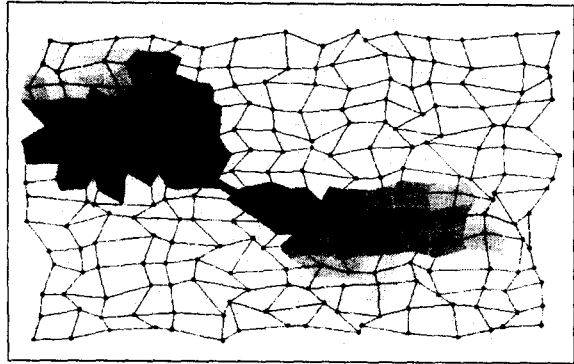
2) 존 구성

본 연구에서는 노드수와 동일한 224개의 존으로 전체지역을 구성하였다.

3) 가상네트워크의 영향권 설정

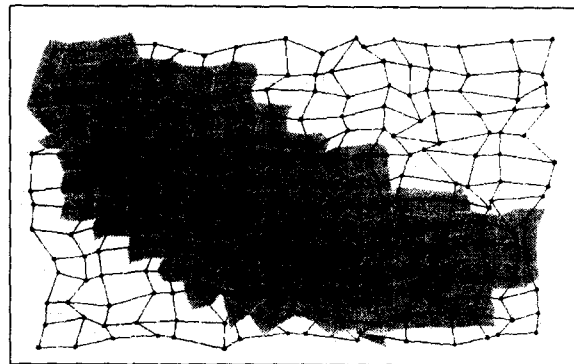
본 장에서 *TransCad*를 사용하여 설정된 영향권은 <그림 4>와 같고, 이때의 영향권내의 존수는 121개로 전체 존수 224개에 비해 약 46% 감소하였다. 여기서 주목할 사항은 사업도로의 인접지역이라 하더라도 영향권으로 설정되지 않는 지역이 생긴다는 것이다. 이는 도로망의 구조만을 분석하여 영향권을 설정하였기 때문

인 것으로 판단된다.



<그림 4> 영향권 설정기법에 의한 영향권

<그림 5>는 기존의 임의적인 영향권 설정 예를 보여주는 것으로 신설도로의 형태에 따라 설정하였고, 이때 영향권의 범위 내에 속하는 존의 개수는 형평성을 위해 영향권 설정기법에 의해 설정된 영향권내의 존의 수와 동일하게 121개로 선정하였다.



<그림 5> 임의적인 영향권 설정

2. 수행결과의 평가

1) 확률적 통행배정 수행

수요예측에는 영향권의 설정외에도 여러 가지 변수가 있을 수 있기에, 본 연구에서는 다른 모든 변수들을 동일하게 설정하고 영향권만 다르게 하여 모의 실험하였다.

통행배정은 *TransCad*의 확률적 통행배정¹⁰⁾과 전량배정법을 수행하였고, 그 결과는 다음 <표 1>과 같다. 통행배정시 O-D table은 각 출발지와 도착지사이의 T_{ij} 는 10으로 존내 통행은 0으로 가정하였다. 통행배정은 전체존 224개와 <그림 4>의 영향권내에 포함되는 존 121개, 임의적으로 설정된 <그림 5>의 영향권내의 존 121개를 대상으로 배정하였다.

10) STOCH 배정법은 Dial 알고리즘을 사용한 것으로 로짓모형을 기반으로 한다.

<표 1> Assignment 결과

Assignment	전량배정법		확률배정법(STOCH)	
	존 개수	224	224	121
범위 선정	전체 지역	전체 지역	영향권 설정기법	임의적인 방법
사업전 총통행시간	19412873	19419514	5562326	4732610
사업후 총통행시간	19399077	19405768	5548579	4681941
총통행시간의 차이	13796	13747	13747	50669
신설도로 이용수요	19340	18115	18647	14679

주) 여기서의 통행시간은 상대적인 수치로 단위가 없다.

<표 1>에서 224개의 존을 대상으로 확률통행 배정한 결과와 영향권 설정기법에 의한 영향권 내의 121개의 존을 대상으로 확률통행 배정한 결과는 총통행시간의 차이는 동일하다. 다만 신설도로의 이용수요에 있어 근소한 차이가 발생한다.

2) 수행결과의 평가

전체 지역을 통행배정한 결과와 영향권 설정기법에 의해 설정된 영향권을 통행배정한 결과는 <표 1>에서 알 수 있듯이 유사하다. 이 결과를 임의적인 영향권을 설정하여 통행배정한 결과와 비교하면 같은 121개의 존을 갖더라도 오차가 크다는 것을 볼 수 있었다. 따라서 본 연구에서 제시한 영향권 설정기법에 의한 영향권의 설정은 타당하다고 평가된다.

V. 결론

1. 연구의 종합

본 연구에서는 도로의 신설 또는 확장사업시 수요예측을 위한 예비단계로의 영향권을 설정하는 기법에 대해 논의하였다. 수요예측의 정확성과 일관성, 작업의 효율성을 위해서 합리적인 영향권의 설정은 필수적이다.

본 연구에서 제시한 영향권 설정기법에 따르면 전체 대상지역을 수요예측하여 통행배정한 결과와 유사한 결과가 도출되었다. 전체지역을 수요예측한다면 영향권을 설정할 필요가 없을 것이다. 그러나 현실적으로 수요예측의 과정 중 에서 존수가 많아지면, 시간과 비용상의 낭비를 가져올 수 있고 데이터 분석상의 오류 역시 무시할 수 없다. 따라서 영향권 설정 기법을 통해

대상 존수를 줄여주는 작업은 효율적인 측면에서 긍정적이라 생각되며, 또한 정확성 측면에서도 기존의 임의적인 방법에 의한 결과보다 우수하다고 판단된다.

영향권의 개념에 따라 교통망 자료외에도 인구, 토지이용을 비롯한 사회경제지표들도 사용될 수 있지만 본 연구에서는 영향권의 개념을 사업 후의 통행비용이 사업 전보다 감소하여 당해 도로구간을 이용하는 협의의 공간적 범위로 가정하였으므로 교통망 이외의 자료는 사용하지 않았다. 특히 교통망 자료의 경우 자료 획득이 용이하고 다음 단계인 수요예측을 하기 위해서도 반드시 필요한 자료이므로 본 연구에서의 영향권의 설정이 추가적인 자료의 구득, 구축에 대한 부담을 야기하지 않는다.

2. 향후 연구과제

본 연구에서 영향권 설정을 위해 계산된 이용확률값의 적용방법에 대한 연구가 필요하다. 신설도로의 이용확률은 영향권을 설정하는 데만 쓰이는 것이 아니라 통행배정을 거치지 않고 직접적으로 통행시간절감분과 신설도로의 이용수요를 산정하는데 사용될 수 있다.

또한 본 연구는 지역간 도로를 대상으로 하여 혼잡이 없다는 가정아래 영향권을 설정하였지만 도시내 도로망에도 적용할 수 있는 방안 에 대한 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 교통지리학, 한주성 저, 법문사
2. 그래프론, 김태동 저, 집현사
3. 교통계획, 노정현 저, 나남출판사
4. 교통분석론 구성체계의 개발, 최기주, 이성욱, 대한교통학회지 97년 12월
5. 조용래, 도로건설이 지역간 접근성 변화에 미치는 영향, 연세대 석사논문, 1993
6. 차로변경행태를 이용한 고속도로 유출입시설의 영향권 산정에 관한 연구, 함도진, 서울대 석사논문, 97년
7. Y.Sheffi, Urban Transportation Networks
8. 이승재, 확률적 평형 통행배정모형에 관한 연구, 서울대 석사논문, 1991
9. M.G.Langdon, Method of Determining Choice Probability in Utility Maximising Multiple Alternative Models, TRB pp 209 -234, 1984