

■ 論 文 ■

다이알 알고리즘을 이용한 다수단 대중교통 노선배정기법에 관한 연구

Study on Multi-modal Transit Network Assignment with Dial Algorithm

이 재 섭

(서울시정개발연구원 위촉연구원)

김 익 기

(한양대학교 교통공학과 부교수)

목 차

- | | |
|---|---|
| <p>I. 서론</p> <p>II. 기존의 대중교통 노선배정과 확률적 통행 배분</p> <p>III. 다수단 대중교통 노선배정을 위한 다이알 알고리즘</p> | <p>1. 수정된 다이알 알고리즘</p> <p>2. 알고리즘의 특성 분석</p> <p>IV. 수정된 알고리즘의 검증</p> <p>V. 결론 및 향후 연구과제</p> <p>참고문헌</p> |
|---|---|

Key Words : 대중교통 노선배정기법, 다이알 알고리즘, 환승, 통행자 행태, 다수단 대중교통망

요 약

본 논문의 목적은 대중교통 노선배정 시에 여러 수단간의 환승을 고려함으로써 다수단 대중교통망 내에서 수단선택과 노선선택을 동시에 수행할 수 있도록 확률적인 통행배분(traffic assignment) 모형의 하나인 다이알 알고리즘을 응용할 것을 제시하고 그 알고리즘의 속성을 정확하게 규명하는데 있다. 승용차의 확률적 통행배분 모형으로 잘 알려져 있는 Dial 알고리즘은 로짓모형에 기초한 것이므로 다수단간의 대중교통 수단선택과 노선선택과 같은 선택 행태를 동시에 설명할 수 있는 모형적 특성을 기본적으로 내재하고 있다.

본 연구에서 제시한 대중교통 노선선택에 적용될 수 있도록 수정된 다이알 알고리즘은 기존의 결정적 대중교통 노선배정 모형들의 단점을 극복할 수 있는 특성을 갖고 있다. 즉 결정적 대중교통 노선배정모형은 기종점간 최단경로에 교통량을 전량배분(All-or-Nothing)하여 통행자들의 행태적 속성을 제대로 반영하지 못하고 있으며, 다수단 대중교통망 내에서 환승을 포함한 복합 대중교통수단의 선택을 효율극대화 이론에 기초하지 않고 최소비용노선에 전량배분하는 모형의 한계점을 갖고 있다. 이러한 결정적 대중교통 노선배정모형의 단점을 수정된 다이알 알고리즘은 개선할 수가 있다.

본 연구에서는 알고리즘의 특성을 파악하기 위한 모의실험으로 Sioux Falls 형태의 대중교통 네트워크를 이용하여 기존의 알고리즘과 비교 분석하였다. 분석의 타당성을 갖고 있는 수정된 대중교통 다이알 알고리즘이 현실적 대중교통 통행패턴을 기존 모형보다 합리적으로 설명할 수 있을 것으로 보이며, 특히 다수단 대중교통망이 형성된 대도시의 대중교통 정책분석에 적합한 기법이 될 수 있을 것으로 고려된다.

본 연구는 과학기술부 과학재단에서 지원하는 첨단도로연구센터의 일부 연구지원으로 수행되었음.

1. 서론

기존의 대중교통 노선배정모형의 대부분은 기종점 간 최단경로에 통행량의 전량이 배분된다는 제한된 가정을 기반으로 하고 있으며, 수단간 환승을 합리적으로 반영하지 못하고 있다. 다시 말해서, 노선상에 통행량을 배분할 때에 최단경로를 기준으로 All-or-Nothing 통행배분방법을 사용하기 때문에 전체 경로 비용의 조그만 차이에도 교통량의 변화가 크게 나타나는 단점을 갖는다. 이는 노선배정 단계에서 사용하는 통행자의 노선선택원칙에 관한 가정 때문에 비롯된 것으로 통행자들의 통행행태에 영향을 미치는 통행속성들을 모형에 적절하게 반영하지 못한 결과이다. 또한 환승을 모형에 포함하고는 있으나 노선선택 결과에 적절하게 반영되지 못하고 있다.

즉, 결정적 통행배분 모형은 모든 통행자가 교통망 전체의 상황에 대해 완벽한 정보를 가지고 있다는 가정과 확률적 의사결정 법칙에 따른 노선선택을 가정하고 있다. 그러므로 동일한 상황하에서는 모든 통행자가 항상 동일한 반응을 보이게 된다. 이는 개별 운전자들의 통행에 대한 인지와 행태적인 속성을 배제한 것으로 실제 운전자들은 자신의 통행에 있어 통행시간 뿐 아니라 다양한 관련 속성들을 포함한 자신의 효용을 극대화하는 노선을 선택하게 된다.

본 연구의 목적은 통행자들의 노선선택시에 확률적인 요소를 고려하여 보다 현실적인 통행배분 결과를 도출하기 위한 것으로 일반 승용차의 확률적 통행배분 모형에 사용되고 있는 Dial 알고리즘을 대중교통 통행배분모형에 적용하여 다양한 노선간의 환승을 고려한 확률적인 대중교통 통행배분 모형을 구축하는데 있다. 즉, Dial 알고리즘상의 로짓모형을 이용하여 대중교통 수단선택행태와 노선선택행태를 동시에 분석할 수 있도록 하였다.

II. 기존의 대중교통 노선배정과 확률적 통행배분

최단경로에 통행량을 전량 배분하는 전량배분(All-or-Nothing) 알고리즘이 대중교통 노선배정에 일반적으로 적용되고 있다. 대표적인 상용프로그램 중의 하나인 TRANPLAN도 대중교통 노선배정에 전량배분기법을 사용하고 있다(The Urban Analysis Group

& RUST PPK, 1995). 존간 최단경로를 탐색할 때 링크의 통행시간과 노선간 환승벌점(penalty), 각 노선의 배차간격(headway)을 포함한 환승지점에서의 대기시간 등은 반영되지만 최단 경로에만 통행이 배분된다는 문제점을 안고 있다. 즉 최단경로에 모든 통행량이 배분되기 때문에 최단경로와 통행시간의 차이가 아주 작은 경쟁노선이 있는 경우에도 최단경로에만 모든 통행량이 배분되고 다른 경쟁노선에는 통행량이 배분되지 않는 단점을 가진다.

전량배분기법의 문제점을 일부 수정한 방법이 최적전략모형이다. 최적전략모형은 piess, Florian(1989)에 의해 개발된 모형으로서 대중교통승객(passenger)은 자신이 가고자하는 목적지에 도달하기 위한 노선선택 기준으로 최적전략(Optimal strategy)을 이용한다. 최적전략이란 개별 통행자들이 자신의 최소통행비용으로 자신의 목적지까지 가기 위한 선택집합 중의 하나라고 해석할 수 있다. 이 분석기법의 경우 여러 개의 노선이 함께 공유하는 정류장에서는 결합된 배차간격으로 그 노선의 배차간격을 나눈 비율을 노선배정확률로 적용하고 있다.

EMME/2는 이와 같은 Spiess, Florian(1989)의 최적전략을 적용하고 있다(INRO, 1994). 따라서 통행자들은 각 노선들의 배차시간을 이용하여 노선선택 확률을 계산하고 이에 따라 통행량을 분할하게 된다. 결국, EMME/2는 링크 상에 통행량을 배분할 때 최적전략을 만족하는 노선들의 배차간격만을 기준으로 하여 노선선택 확률을 계산하기 때문에 기종점간 통행시간이 크더라도 배차간격이 작을 경우 통행시간이 짧은 노선보다 배차간격이 짧은 노선에 많은 통행량이 배분되는 경우가 발생할 수 있다.

전량배분기법의 단점을 간접적으로 극복할 수 있는 또 다른 기법으로는 용량제약 기법(이성모, 유경상, 전경수, 1996)이 있을 수 있다. 이 분석기법은 노선의 용량과 승객의 대기시간을 고려한 식을 이용해 사용자 균형상태를 찾기 때문에 경쟁 노선간의 균형적 배분이 알고리즘 상에서 달성되게 된다. 알고리즘에 의해 균형상태의 대중교통 통행량을 계산할 수 있으나 통행량이 용량이하일 경우의 설명력이 약한 단점과 환승 노드에서 통행량 분할을 각 수단의 배차간격의 조합에 의한 비로 할당함으로써 현실적인 묘사에 한계를 가지고 있다.

경쟁 노선간의 합리적인 분산을 설명할 수 있는 분석

기법으로 확률적 통행배분모형이 있을 수 있다. 확률적 통행배분모형은 일반적으로 이산선택모형(Discrete Choice Model)을 많이 이용하고 있다. 이산선택모형의 효용함수 중 확률적 요소를 나타내는 확률변수(random variable)의 분포에 따라 로짓모형 또는 프라빗 모형이 유도될 수 있다. 로짓모형은 모형이 간단하고 계산이 용이하여 많이 사용되고 있으나 대안들간의 독립성을 가정하고 있어 비관련대안의 독립성(IIA Property)이란 단점을 가지고 있다. 또한 대안노선간에 중복구간의 겹침정도(small overlap - large overlap problem)와 대안노선간 통행비용의 상대적인 차이(two short routes - long routes)에 따른 분담율의 계산시 오류가 발생할 수 있다는 단점을 가지고 있다(Sheffi, 1985). 프라빗 모형은 어떤 주어진 경로의 인지경로통행비용이 정규분포를 하고 있으며 평균이 실제 통행비용값과 같다고 가정한 모형이다. 즉, 확률요소의 결합확률분포가 다변량정규분포(Multivariate Normal Distribution)를 따른다고 가정하고 있다.

Dial(1971)이 제안한 확률적 통행배분모형(STOCH)은 위에서 설명한 로짓모형을 적용하고 있다. 따라서 이 모형은 개별 통행자의 불완전한 정보, 일관되지 않는 통행행태 그리고 다양한 취향에 의한 다양한 노선선택행태를 반영할 수가 있다. 그 결과 다경로 대중교통 노선배정기법(Multipath transit assignment)의 형태를 갖는다. 이 모형은 앞에서 지적한 바와 같이 IIA Property라는 근본적인 한계를 가지고는 있다. 하지만 대중교통망의 경우 각각 고정되고 독립된 노선을 갖는 속성으로 대중교통 노선간의 독립성을 가정할 수 있다고 고려되어 진다.

III. 다수단 대중교통노선배정을 위한 다이알 알고리즘

1. 수정된 다이알 알고리즘

확률적 속성을 반영할 수 있는 로짓모형을 이용하여 통행자들의 일반화 통행비용함수(generalized cost function)를 구성하고 이에 따라서 각 노선선택 확률을 계산하는 기법을 제시하고자 한다. 즉, 각 노선의 길이와 운행 노선들의 통행속도, 통행시간, 배차간격, 환승노드에서의 대기시간과 환승에 따른 추가비용(penalty)

등을 고려하여 대중교통의 수단선택과 노선선택을 동시에 계산할 수 있는 모형을 구축하는 것이다.

출발점 i 에서 도착점 j 까지 노선 k 의 통행 중 다양한 대중교통 수단 및 노선의 선택은 각 수단의 대안노선 선택으로 표현되므로 각 링크의 통행속성에 대한 일반화 통행비용함수 V_{ij}^k 를 이용하여 각 수단에 대한 노선선택 확률 P_{ij}^k 로 나타낼 수 있다.

$$P_{ij}^k = \frac{\exp(\theta V_{ij}^k)}{\sum_{l=1}^K \exp(\theta V_{ij}^l)} \quad \forall k \in K \quad (1)$$

$$V_{ij}^k = f\left(\sum_{s \in k} at_s^k + \beta w_s^k + \gamma p_s^k + \delta c_s^k\right) \quad (2)$$

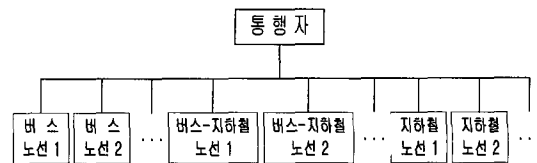
여기서,

- t^k : 대안 대중교통노선 k 의 통행시간
- w^k : 대안 대중교통노선 k 의 대기시간
- p^k : 대안 대중교통노선 k 의 환승비용
- c^k : 대안 대중교통노선 k 의 요금
- s : 대안 대중교통노선 k 의 한 구간(링크)
- $\alpha, \beta, \gamma, \delta$: 각 변수의 파라메타

식(1)과 식(2)는 복합 대중교통의 노선에 대한 효용함수를 나타내는 식으로 통행자가 이용할 수단과 노선을 동시에 선택하는 과정을 표현한 것으로 실제적으로는 <그림 1>과 같은 것이다.

이 모형은 대중교통 수단만을 고려하는 대중교통 네트워크에서는 대중교통의 노선간에 독립성이 유지된다고 가정하고 있는 것이다. 즉, 대중교통에 있어서 기종점간 합리적인 경로간의 중복문제(overlapping problem)가 일반 승용차와는 달리 정해진 노선을 독립적으로 운행되는 경우가 많이 있어 IIA 속성으로 인한 문제가 심각하지 않을 것으로 가정한 것이다.

수정된 다이알 알고리즘을 설명하기 위해 본 논문에서 사용한 표기는 다음과 같다.



<그림 1> 수단선택, 노선선택의 동시적 구조

- c_{ij}^m : 노드 i 에서 j 까지 노선 m 의 통행비용
- t_{oi}^l : 존 o 에서 i 까지 노선 l 의 경로비용
- T_{oi}^{\min} : 존 o 에서 노드 i 까지 최단경로비용
- p^{lm} : 노선 l 과 노선 m 간의 환승비용
- L_{ij}^m : 노선 m 상의 링크 $i \rightarrow j$ 의 효용치
(Link likelihood)
- w_{ij}^m : 노선 m 상의 링크 $i \rightarrow j$ 의 가중치
(Link weight)
- x_{ij}^m : 노선 m 상의 링크 $i \rightarrow j$ 를 이용하는 통행량

본 연구에서 제시한 다수단 대중교통 노선배정에 적용할 수 있는 수정된 다이알 알고리즘은 다음과 같다.

[단계 0] 초기화

네트워크를 구성하는 입력자료들을 읽고, 초기화한다.

$$t_{oi}^l = 0, T_{oi}^{\min} = 0, L_{ij}^m = 0, w_{ij}^m = 0, x_{ij}^m = 0$$

[단계 1] 통행시간 계산

입력자료를 기반으로 노드집합 N 안에 있는 노선 m 상의 링크 $i \rightarrow j$ 의 통행시간 c_{ij}^m 을 각각 계산한다.

[단계 2] 최단경로탐색(Shortest path search)

모든 출발점과 도착점에 대한 최단경로를 찾고 각 출발점에 대한 특정 노드까지의 최단경로 비용을 기록한다. 이때, 환승노드에서의 환승비용과 추가적인 대기시간을 반영한다.

[단계 3] 노선별 링크의 효용치(Link likelihood)를 계산

노선 m 상의 링크 $i \rightarrow j$ 의 링크효용치 L_{ij}^m 을 다음과 같이 계산한다.

$$L_{ij}^m = \begin{cases} \exp \theta [T_{oi}^{\min} - t_{oi}^l - c_{ij}^m - p^{lm}] & \text{만약, } t_{oi}^l < T_{oi}^{\min} \\ 0 & \text{아니면} \end{cases} \quad (3)$$

[단계 4] 각 노선별 링크에 대해 링크가중치(Link weight)를 계산(전진단계)

단계 3의 링크효용치를 기반으로 노선 m 상의 링크 $i \rightarrow j$ 의 링크가중치 w_{ij}^m 을 계산한다.

$$w_{ij}^m = \begin{cases} L_{ij}^m & i = o \\ L_{ij}^m \sum_{k \in F_i} w_{ki}^l & \text{아니면} \end{cases} \quad (4)$$

여기서,

F_i : 노드 i 를 to 노드로 하는 링크의 집합

[단계 5] 통행량 배분(후진단계)

단계 4의 링크가중치를 기반으로 종점존 d 부터 역으로 기종점간 승객 통행량 X 를 노선 m 상의 링크 $i \rightarrow j$ 에 배분한다. 이 때, 기점존에 도착하면 계산을 멈춘다.

$$x_{ij}^m = \begin{cases} X \frac{w_{ij}^m}{\sum_{k \in F_j} w_{kj}^m} & j = d \\ [\sum_{k \in I_j} x_{jk}^m] \frac{w_{ij}^m}{\sum_{k \in F_j} w_{kj}^m} & \text{아니면} \end{cases} \quad (5)$$

여기서,

I_j : 노드 j 를 from 노드로 하는 링크의 집합

F_j : 노드 j 를 to 노드로 하는 링크의 집합

이 알고리즘은 환승이 가능한 모든 노드에 연결된 모든 노선들의 조합에 대해 각각 계산하고 있다. 따라서 여러 개의 노선이 집중된 환승노드의 경우는 $p(i) < p(j)$ 인 합리적인 경로(reasonable path) 조건을 만족하는 수만큼 경로가 정의되고 확률이 계산되며 통행량이 그 노선상에 배분되게 된다.

이는 승용차 네트워크의 링크 개념이 대중교통 네트워크에서 확장된 것으로 동일 링크를 사용하고 있다고 해도 노선이 여러 개일 경우, 그 노선 수만큼의 가상적 더미링크가 더 존재하는 것으로 간주하는 것이다.

2. 알고리즘의 특성 분석

기존의 대표적인 상용 프로그램인 TRANPLAN과 EMME/2의 대중교통 노선배정 결과와 본 논문에서 제시한 알고리즘의 결과를 비교하기 위해 단순한 가상 대중교통망을 구축하였다. 이 단순한 교통망은 경쟁 관계에 있는 여러 경로간의 작은 통행시간 차이에도 통행량이 All-or-Nothing으로 배분되는 TRANPLAN의 한계를 확인하고 환승노드에서 노선들의 통행시간

보다는 노선의 배차시간에 노선선택 확률이 계산되는 EMME/2의 단점을 보이기 위한 것이다. 또한 본 논문에서 제시한 알고리즘을 동일 네트워크에 적용하여 그 결과를 비교하였다.

각 정류장에서 각 노선당 정차시간(dwelling time)을 모두 0.2분으로 동일하게 설정하였고 교통수요는 존 1에서 존 2로 6,000통행의 수요가 있다고 가정하였다.

분석결과를 보면, 예상대로 TRANPLAN의 경우 최단경로에만 모든 통행량이 전량으로 배분된 결과를 얻었으며, EMME/2는 통행시간에 차이가 나는 노선임에도 배차간격을 기준으로 동일한 배차간격을 갖는

노선에 통행량이 동일하게 배분된 결과를 얻었다.

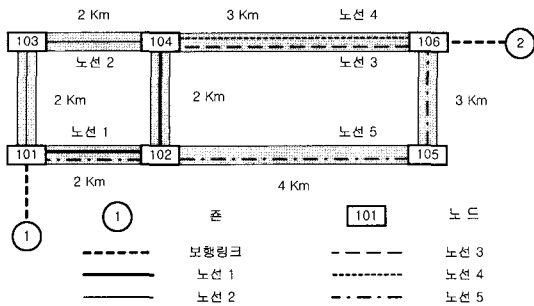
본 연구에서 제시한 알고리즘의 결과를 TRANPLAN, EMME/2의 결과와 비교해보면 기존의 두 모형이 가지고 있는 단점이 개선되었음을 알 수 있다. 즉, 기종점간의 통행시간과 각 노선의 배차간격, 노선간 환승에 따른 환승비용 등을 모형에 반영하여 통행량이 배분된 것을 볼 수 있다.

또한 분산계수값에 따른 통행량의 변화를 보면 분산계수값이 커질수록 경로통행시간이 가장 짧은 노선 2, 4로 구성된 경로로 통행량이 집중하는 것으로 분석되었다. 이는 노선선택에 있어서 통행자들간 확률적 속성의 비중이 적어지고 경로간 통행시간의 차이가 노선선택기준에 더 많은 영향을 주기 때문이다.

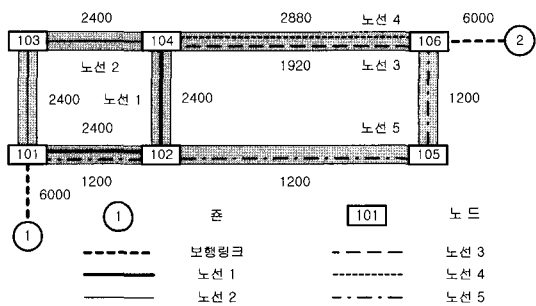
모형을 통해 본 결과 단순네트워크의 경우, 분산계수가 약 $\theta=15$ 일 때 TRANPLAN을 통해 계산된 All-or-Nothing 배분량과 같아졌으며, $\theta=0.13$ 일 때 EMME/2와 유사한 결과를 도출하였다. 즉, 본 모형은 분산계수 θ 값을 조정하여 기존 프로그램과 유사한 결과를 도출할 수 있어 모형을 사용하는데 그 유연성이 크다고 볼 수가 있다. 이 분산계수는 실제 현장조사를 통해 보다 정확하게 도출할 수 있을 것이다.

<표 1> 단순 네트워크의 입력자료

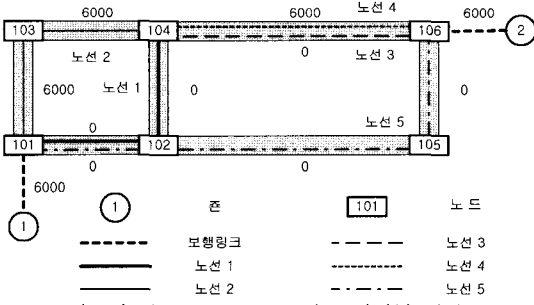
노선	통행속도 (Km/h)	차내 시간(분)	배차 간격(분)	경유노드
1	40	6.0	4.0	101-102-104
2	45	5.3	4.0	101-103-104
3	40	4.5	6.0	104-106
4	40	4.5	4.0	104-106
5	50	10.8	8.0	101-102-105-106



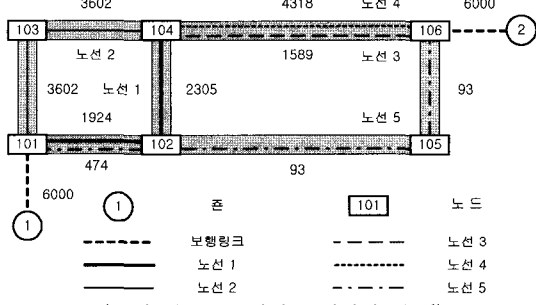
<그림 2> 모의실험을 위한 간략화 된 네트워크



<그림 4> EMME/2의 모의실험 결과



<그림 3> TRANPLAN의 모의실험 결과



<그림 5> 본 모형의 모의실험 결과¹⁾

1) 분산계수가 $\theta=1.0$ 일 경우의 결과임.

〈표 2〉 분산계수 값에 따른 각 경로별 통행량

(단위:분,인)

경로	계수	노선	노선	노선	노선	노선
		1 + 3	1 + 4	2 + 3	2 + 4	노선 5
	통행시간	16.30	15.30	15.64	14.64	15.60
0.1		1,684	1,379	1,096	898	943
0.5		1,090	1,797	1,017	1,675	421
0.8		790	1,760	1,016	2,261	173
1.0		620	1,685	969	2,633	93
1.5		319	1,429	772	3,461	19

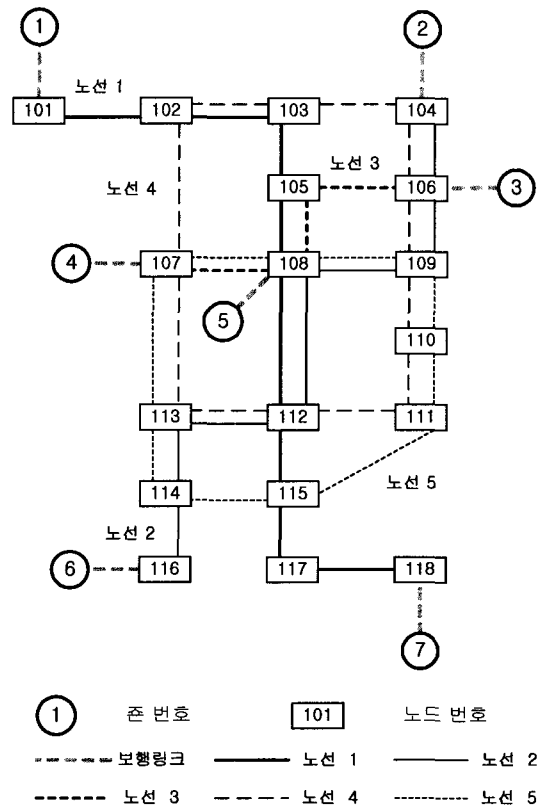
IV. 수정된 알고리즘의 검증

본 연구에서 제시한 알고리즘의 특성을 더욱 자세히 분석하기 위해 기존 연구에서 자주 이용된 Sioux Falls Network를 대중교통 노선배정을 위해 변형하여 적용하였다. 모의 실험을 위해 적용된 네트워크는 존 7개, 노드18개, 대중교통링크 46개, 노선 5개로 구성하였고 링크의 속성으로는 각 링크의 길이를 2Km, 보행링크는 0.2Km의 양방향으로 설정하였다.

각 노선의 평균통행속도는 노선1, 노선2, 노선3은 50Km/h, 노선4와 노선5는 45Km/h로 설정하였고 배차간격의 경우는 노선 1, 2를 6분으로 노선3은 2분, 노선 4, 노선5는 4분으로 각각 설정하였으며 존에서 보행링크를 통해 정류장으로 도착하는 승객들은 무작위로 도착한다고 가정하였다. 따라서 원하는 노선에 승차하기 위해 승객이 대기하는 시간은 그 노선 배차간격의 1/2로 가정하였다.

각 알고리즘의 결과를 비교해 보면, 먼저 TRANPLAN의 경우 기종점간 통행량이 다른 모형과 비교하여 환

승이 적은 최단경로에 집중함으로써 전체 노선의 승객수가 가장 작게 계산되었다. 또한 EMME/2의 경우는 각 노선의 통행시간보다 노선간 시간의 배차간격에 의해 영향을 많이 받게 되어 환승부분이 비교적 많아 전체 노선의 승객수가 많이 계산되었다. 수정된 다이알 알고리즘의 경우는 환승 Penalty와 각 노선의 통행시간을 고려한 각 노선의 가중치(link weight)에



〈그림 6〉 대중교통 분석을 위한 네트워크

〈표 3〉 기종점간 교통량 (단위:1,000인)

D \ O	1	2	3	4	5	6	7	합계
1	-	6	2	8	10	4	2	32
2	6	-	6	4	8	2	2	28
3	2	6	-	4	6	2	4	24
4	8	4	4	-	10	8	4	38
5	10	8	6	10	-	4	6	44
6	4	2	2	8	4	-	2	22
7	2	2	4	4	6	2	-	20
합계	32	28	24	38	44	22	20	208

〈표 4〉 노선별 통행속도, 배차간격, 경유노드

노선	통행속도 (Km/h)	배차간격 (분)	경유노드 번호
1	50	6.0	101-102-103-105-108-112-115-117-118
2	50	6.0	104-106-109-108-112-113-114-116
3	50	2.0	106-105-108-107
4	45	4.0	102-103-104-106-109-110-111-112-113-107-102
5	45	4.0	107-108-109-110-111-115-114-113-107

〈표 5〉 각 모형의 통행배분 결과

	TRAN PLAN	EMME/2	본 모형
총운행시간(분)	182.4	182.4	182.4
총운행거리(Km)	144	144	144
총승객수(인)	320,000	334,600	364,791
승객-거리(인-Km)	1,392,000	1,529,000	1,358,448
승객-시간(인-시)	27,840	33,479	28,203
환승 통행량(인)	112,000	126,600	156,791

주) 본 모형은 분산계수가 $\theta=1.0$ 일 경우의 결과임.

의해 통행량이 배분되는데 이에 따라서 환승통행량이 상대적으로 많아 다른 분석방법보다 많은 전체 노선의 승객수를 예측하였다.

또한 TRANPLAN은 통행시간이 작은 최단경로에 통행량이 집중되기 때문에 총 승객-시간의 값이 가장 작게 계산되었고, EMME/2는 최적전략을 만족하는 경로상에 있는 노선들의 배차간격을 기준으로 통행량이 배분되었기 때문에 총 승객-시간이 가장 크게 계산되었다. 본 알고리즘의 경우, 통행자들이 선택할 수 있는 대안노선들에 통행량이 확률적으로 배분되었기 때문에 총 승객-시간이 보다 크게 계산되었다.

앞에서는 각 모형별 총량적인 결과치를 비교하였으나 다음은 제시된 알고리즘의 유연성에 대해 분석하고 한다. 즉, 모형식안에 내재되어 있는 각 통행자들의 확률적 통행속성에 대한 분산계수인 θ 값에 따라 그 결과가 어떻게 달라지는지 검증하고자 한다.

분산계수가 각각 $\theta=0.2$, $\theta=0.5$, $\theta=0.8$, $\theta=1.0$, $\theta=1.5$ 일 때 전체 네트워크상의 대중교통 노선배정 결과치를 알아보면 〈표 6〉과 같다.

〈표 6〉의 결과를 보면, 분산계수 θ 값이 커질수록 총 인-거리, 총 인-시간의 값이 감소하고 있다. 이는 노선선택기준으로 통행자가 실제 알고있는 노선 통행 속도나 배차시간, 환승비용 등 결정적인 속성에 대한 의존도가 높아지고 개별통행자가 인지하는 확률적 속

성에 대한 의존도가 낮게 되는 노선선택 행태를 반영하는 것이다. 그리고 θ 값이 커질수록 환승통행량 또한 계속 감소하는 것으로 나타났다.

V. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 통행자들의 노선선택시에 확률적인 요소를 고려하여 보다 현실적인 노선배정 결과를 도출하기 위해 일반 승용차의 확률적 노선배정모형에 사용되고 있는 Dial 알고리즘을 대중교통 노선배정모형에 적용하였다. 다시말해서, 대중교통 수단선택행태와 노선선택행태를 동시에 분석할 수 있는 다양한 노선간의 환승을 고려한 확률적인 대중교통 노선배정 모형을 구축하였다. 구축한 모형을 Sioux Falls 형태의 대중교통 네트워크에 적용하여 기존의 알고리즘과 비교 분석하였다.

분석결과 대중교통의 노선배정 분석에 본 모형이 현실적인 현상을 설명하기 위한 이론적 배경과 분석의 융통성 측면에서 기존 알고리즘보다 더 우수하다고 판단된다. 모형식안에 포함되어 있는 확률적 효용함수의 분산계수 θ 값을 통해 노선선택의 확률적 분산 정도를 조정할 수 있어 분석의 융통성도 있다.

따라서, 다양한 대중교통 수단과 노선들이 혼재되어 운행되고 있는 대도시의 대중교통망을 분석하고 평가하기 위한 합리적 결과를 제시할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 수단, 노선간의 환승활동에 대한 분석을 통해 대중교통 서비스의 평가와 개선에도 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

본 모형의 활용도를 높이기 위한 향후 연구과제는 다음과 같다.

첫째, 승객 대기시간과 도착분포 등을 보다 정확하게 파악하기 위한 현장조사와 분포함수의 정산 그리고 접근시간, 보행시간, 대기시간 등 버스정류장에서 대기 또는 환승시 소요되는 시간에 대한 현실적

〈표 6〉 분산계수 (θ) 변화에 따른 노선배정 결과

	$\theta=0.2$	$\theta=0.5$	$\theta=0.8$	$\theta=1.0$	$\theta=1.5$
총 승객수(인)	400,496	383,342	370,515	364,790	356,922
총인-거리(인-Km)	1,371,034	1,362,928	1,359,440	1,358,448	1,357,726
총인-시간(인-시)	28,558	28,355	28,244	28,203	28,157
환승량(인)	192,496	175,342	162,515	156,790	148,922

일반화 비용의 정산에 대한 실험적 연구가 필요하다. 이를 통해 정류장에서 승차하는 승객수가 많을수록 정차시간(dwelling time)이 커져서 대중교통 운행시간이 길어질 수 있다는 승객수와 통행시간간의 관계를 모형에 반영할 수 있을 것이다.

둘째, 각 노선상의 노선선택 확률을 계산할 때 적용되는 분산계수 θ 의 정확한 추정을 위한 조사와 연구가 또한 필요하다고 본다.

참고문헌

1. 이성모 · 유경상 · 전경수(1996), 차량용량을 고려한 대중교통 통행배정모형구축에 관한 연구, 대한교통학회지, 제14권 제3호, pp.27~44.
2. Dial R. B(1971), A Probabilistic Multipath Traffic Assignment Model Which Obviates Path Enumeration, Transportation Research, Vol. 5(2), pp.83~111.
3. INRO(1994), EMME/2 User's Manual 8.0.
4. Sheffi. Y(1985), Urban Transportation Networks, Prentice-Hall Inc.
5. Spiess H, Florian M(1989), Optimal Strategies: A New Assignment Model for Transit Networks, Transportation Research Vol. 23B, pp.83~102.
6. The Urban Analysis Group & RUST PPK (1995), TRANPLAN User Manual 8.0.

✉ 주 작 성 자 : 이재섭

✉ 논문투고일 : 2000. 11. 7

논문심사일 : 2001. 2. 15 (1차)

심사판정일 : 2001. 2. 15