

□ 論 文 □

수송문제 선형계획기법을 응용한 모범택시의 배차시스템 개발

(Application of a Linear Programming in a Taxi Dispatching System)

이 종 호

(경기대학교 공과대학 교통공학과교수)

— 목 차 —

- | | |
|--------------------|----------------|
| I. 서론 | V. 현실 제약의 대처방안 |
| II. 수요감응교통수단의 배차특성 | VI. 결론 |
| III. 배차시스템의 구성 | 참고문헌 |
| IV. 배차의 예 | |

— Abstract —

Many taxis called "Mobum" in Seoul are empty and waiting along the curb during the day time. However, it is almost impossible for elderly and handicapped people, and women carrying babies to use them. It is because they can not serve passengers who request services by phone.

If taxis, especially "Mobum" taxis which offer high quality services, can be dispatched based on requests by phone, not only elderly and handicapped people but also auto commuters will easily call and use them.

This paper shows a taxi dispatching system. The system minimizes the total empty vehicle hours under given number of empty vehicles and passengers and their locations. As a result, the system maximizes number of services and revenue under given number of taxis. The system adopts a well-known linear programming model and the model can fast and easily be solved by PC level linear programming packages. Also, practical solutions of the system's constraints such as zone size and travel time forecast are discussed.

I. 서론

현재 서울시에는 약 3,900대의 모범택시가 운영되고 있다. 대부분의 시민들은 모범택시 도입에 대해서 질 높은 택시서비스를 제공하고 있다는 점에서는 긍정적인 반응을 보이고 있다. 그러나, 택시의 가장 중요한 기능인 전화요청(call)이 불가능한 점과 공항과 호텔 앞등이 아니면 이용하기 어려운 점에 대해서는 대단히 부정적인 반응을 보이고 있다. 특히, 자가용 이용이 어려운 노약자, 부녀자등 문전에서 문전(door-to-door)의 교통 서비스가 필요한 계층은 전화요청기능이 없는 모범택시의 운영방식에 불만의 소리가 높다. 모범택시에 전화요청 기능이 부여될 시 이들의 이용은 물론 자가용 소유자들까지도 주차비등 비용절차차원에서 많은 이용이 예상된다. 현재 모범택시에 전화요청 기능을 부여하라는 시민의 요구가 높아지고 있으나, 필요 장비에 대한 모범택시 소유자들의 재정 부담과 해당 지방자치단체의 재원 조달상의 어려움 등으로 해결점을 찾지 못하고 있는 실정이다.

본 稿에서는 현재 운행중인 모범택시에 전화요청 기능이 부여될 시(이하 '콜택시(call taxi)'라 한다.) 운영효율 제고 측면에서 적용가능한 배차 시스템을 제시한다. 먼저 콜택시가 교통서비스 분류상 속하는 需要感應交通手段(Demand Responsive Transportation Mode)의 전반적인 배차 특성에 대해서 살펴본다. 그리고 배차 시스템의 필요 구성 요소들을 열거하고 가정된 환경하에서 배차의 예를 들어본다. 그리고 운영상 야기될 수 있는 현실 제약의 대처방안도 살펴본다.

II. 수요감응교통수단의 배차 특성

1. 수요감응교통수단의 종류

수요감응교통수단은 크게 택시와 우리나라에는 아직 도입이 되지 않은 다이알 라이드(Dial-A

-Ride)로 구분될 수 있다. 전화요청에 의한 콜택시도 수요감응교통수단의 일종이다. 이는 시내 버스 와 같이 고정된 노선이 아닌 승객의 출발지와 도착지, 그리고 출발시간과 도착예상시간에 따라 노선이 가변적인 서비스를 말한다. 콜택시 서비스는 이미 서울시내에서 운영이 된 적이 있으며, 일부 개인택시들이 카폰(Car Phone)등을 이용해 전화요청서비스를 제공하고 있으나 그 범위가 극히 제한적이다. 최근 모범택시의 탄생과 함께 다시 전화요청 기능의 도입이 재검토되고 있다. 다이알 라이드는 일반적으로 하루 전까지 예약한 승객에게 몇대의 9인승 또는 12인승의 승합차로 다수의 승객을 원하는 시간에 출발하여 원하는 시간에 목적지에 도달할 수 있도록 서비스를 제공하는 교통수단이다. 선진국에서는 사회복지 차원에서 노약자를 위한 다이알 라이드 서비스가 제공되고 있으며, 몇 중소도시에서는 통근.통학에도 이용되고 있다.

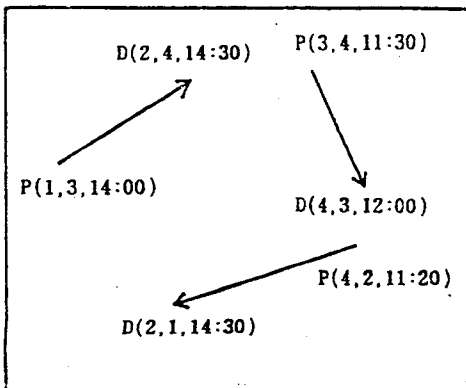
2. 수요감응교통수단의 배차 특성

수요감응교통수단의 운영시스템에는 반드시 배차(dispatching) 부분이 포함된다. 콜택시의 배차는 일반적으로 實時間 配車(real time dispatching)로 이용자가 전화로 요청하면 최대한 빠른 시간내에 승객이 원하는 출발지에 택시를 보내어 태운 후(pick-up), 원하는 목적지까지 서비스(drop-off)를 제공 하는 것이다. 반면, 다이알 라이드는 통상적으로 서비스 하루전까지 다음날의 서비스 예약(출발지, 도착지, 출발시간, 도착시간 등)을 받아 다음날의 배차 계획(각 차량의 경유지 및 시간, 운전자의 차량 배치 등)을 수립한다. 다시 말해서, 수요감응교통수단의 배차는 엄밀히 말해서 모두 事前豫約에 의한 배차이지만, 예약시기에 따라 실시간 배차와 사전예약 배차로 구분되는데, 실시간 배차시는 승객의 요청즉시(immediate request) 배차이며 사전예약 배차시는 일반적으로 하루전까지 요청(advanced request)한 승객에 대해서 다음 날의

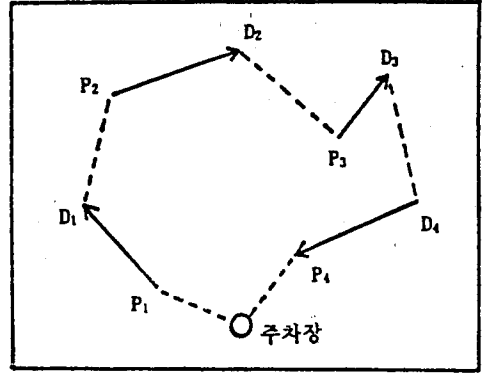
배차계획을 수립한다.(Kikuchi, 1984)

또한, 수요감응교통서비스는 승객의 출발지와 도착지의 수에 따라 구분될 수도 있다. 즉, 출발지가 다양한 반면 목적지가 같은 곳(예: 병원, 공항의 리무진 서비스)으로의 서비스(many-to-one)와, 출발지와 목적지가 다양한 서비스(many-to-many)로 구분된다. 콜택시는 출발지와 목적지가 다양한 서비스에 속한다.

한편, 수요감응교통수단의 이용 승객의 통행형태를 도식화하면 <그림 1>과 같은데, 각 $P(i, j, t)$ 는 XY좌표 (i, j) 위치에 있는 승객이 t 시간에 출발됨(pick-up)을 의미한다. 또한, $D(i', j', t')$ 는 승객이 원하는 도착 장소와 시간을 XY좌표 (i', j') 와 시간 t' 으로 표시한 것이다. 다이알 라이드 서비스에서는 일반적으로 예약시 $P(i, j, t)$ 와 $D(i', j', t')$ 를 요구하지만, 콜택시의 경우는 $D(i', j', t')$ 특히 t' 은 요구하지않는다. 이들 차량의 움직임을 도식화하면 <그림 2>와 같은데, 빈차량이 승객을 태우러(pick-up) 가는 빈통행(empty vehicle trip)과 승객을 태우고 목적지까지 가는 實通行(loaded vehicle trip)으로 구분된다. (Rhee, 1987) 물론 콜택시의 경우는 실통행의 도중에 합승이 없지만 다이알 라이드의 경우는 같은 방향 또는 같은 목적지의 승객의 타고 내림이 존재한다.



<그림 1> 승객의 통행형태



서비스제공지역

———— : 실통행(loaded vehicle trip)
 - - - - : 빈통행(empty vehicle trip)

<그림 2> 수요감응교통수단 차량의 움직임

Ⅲ. 배차시스템의 구성

본 고에서 제시하는 배차시스템은 시스템운영을 위한 중앙운영통제소등 주변 환경과 승객 및 차량(택시) 관련 데이터베이스 그리고 배차모형으로 구성된다.

1. 환경 설정

본 배차시스템을 운영하기 위해서는 중앙운영통제소(control center)가 필요하다.

중앙운영통제소에는 시시각각으로 승객의 전화 예약을 받는다. 중앙운영통제소의 컴퓨터에는 예약된 승객의 위치는 물론 현재 시각의 빈택시(empty vehicle)의 위치, 승객 서비스 중인 택시(vehicle on service)의 위치가 기억된다. 승객을 태우러 가는 빈택시도 서비스 중인 차량으로 간주된다. 노상에 대기중인 빈택시를 승객이 탈 경우 택시 운전자는 통제소에 서비스 시작임을 무선전화를 이용한 음성으로나, 또는 현재 택시위치의 자동 파악과 서비스여부 통보가 가능한 장치를 이용하여 보고된다. 또한, 승객을 목적지에 내려 준 후에도 택시 운전자는 통제소에 현재의 택시 위치를 통보하여 컴퓨터에 빈택시로 인식되

게 한 후 다음 서비스를 대기한다. 한편, 서비스를 원하는 승객은 전화예약시 원하는 출발지 주소와 출발시간을 제공한다. 중앙통제소의 컴퓨터는 현재 시각의 빈택시의 위치와 수 그리고 승객의 출발위치와 수를 근거로 주어진 간격(5분 또는 10분 간격등으로 사전에 설정되는 시스템 파라메타)으로 배차한다. 따라서 본 배차시스템은 승객이 서비스 요청시 승객의 위치에서 가장 가까이 대기하고 있는 빈택시를 배차하는 기존의 콜택시 배차 방법과 다르다. 주어진 간격, 즉 5분 또는 10분 간격으로 예약을 받은 승객들과 그때의 빈택시를 대상으로 배차한다. 또한 한 운전자가 하루에 운전할 수 있는 시간이 한정되기 때문에 같은 차량을 여러 운전자가 교대로 운행한다고 가정하고 택시운영시간을 하루에 24시간으로 간주한다.

2. 데이터 베이스

1) 존(zone)의 구분

콜택시 서비스지역을 적당한 크기의 존으로 구분하여 코드(번호)를 부여한다. 서비스지역이 주어졌을 때 존의 크기가 크면 존의 수는 적어지고 반대로 존의 크기가 작으면 존의 수는 많아진다. 현실적으로 존의 크기와 수는 서비스 지역내 승객의 준별 수요와, 출발지 및 도착지 분포등 수요 패턴 그리고 서비스 지역의 존간 통행시간등의 교통여건에 의해 결정되어진다. 존의 수와 크기에 관해서는 본 고의 V장에서 더 논하기로 한다.

2) 배차시간대(t)의 설정

여기서 배차시간대는 한번의 배차가 끝나고 다음 배차할 때까지의 시간을 의미한다.

하루 24시간의 운행시간을 몇개의 시간대로 구분한다. 시간대의 길이를 5분으로 할 경우, 하루는 $24\text{시간} \times 12\text{시간대} / 1\text{시간} = 288\text{시간대}$ (1번시간대: 0시부터 0시 5분, 2번시간대: 0시

5분부터 0시10분 ..., 288번시간대: 23시 55분부터 0시)로 구분되며, 10분으로 할 경우 144시간대로 구분할 수가 있다. 배차시간대를 5분으로 할 경우, 9시에 배차하였을 때 다음 배차시간은 9시 5분이 된다. 9시의 배차 대상은 8시 55분부터 8시 59분 59초까지 예약한 승객들이 된다. 9시 5분 배차 대상은 9시부터 9시 4분 59초까지 예약한 승객들이다. 물론 몇 시간 또는 몇일 전에 해당 시간대에 배차를 원하는 승객들도 배차 대상이 될 수 있다. 배차시간대의 길이가 길면 승객들의 예약후 배차를 기다리는 시간이 길어진다. 만약 배차시간대를 24시간으로 가정한다면 이론적으로 다이얼 라이드 서비스와 같은 사전예약배차가 될 것이고, 배차시간대를 0시간으로 가정한다면 요청즉시배차와 같다.

3) 승객정보 데이터 베이스

승객은 서비스를 전화(전화회선이 충분함을 가정)로 요청할 시 성명, 현재의 위치, 목적지, 전화번호, 원하는 출발시간등의 정보를 제공한다. 이 정보는 컴퓨터에 의해 현재위치는 해당 존 코드로 전환된다.

여기서 목적지는 설명될 배차모형에서는 중요한 정보가 아니지만 승객들의 통행패턴을 지속적으로 모니터링하여 서비스지역의 최적 존 크기와 수 그리고 적정 배차시간대의 길이, 적정 시간대별 택시공급의 수등 배차시스템의 중요한 파라메터 설정에 이용될 수 있다. 또한 일반적으로 콜택시 이용자는 원하는 출발시간이 전화요청즉시이기 때문에 이런 경우에는 원하는 출발시간의 정보가 굳이 필요가 없으나, 몇일 또는 몇시간뒤의 출발시간을 예약하는 승객이나 매일 몇시에 출발(Subscription Trips)을 원하는 승객의 경우는 원하는 출발시간에서 배차 후 승객위치까지의 평균통행시간을 뺀 해당시간대에 배차대상승객으로 등록한다. 또한 승객의 성명과 전화번호는 해당 택시운전자에게 배차시 제공된다.

4) 차량(택시) 데이터 베이스

현재 시간대에 빈택시 인지 아닌지의 여부와 택시의 위치가 존 코오드로 컴퓨터에 기억이 되어 배차모형의 입력자료로 이용된다. 물론 이 정보는 앞에서 언급한 바와 같이 택시운전자들이 제공한다. 또한 차량고유번호와 운전자의 번호도 데이터 베이스화일에 기록된다. 이 자료들은 차량별 운전차별 총빈차량시간 및 總實車輛時間과 차량거리 및 요금수입등 운행 실적 파악 자료시 사용된다.

5) 존간 통행시간 데이터 구축

존으로 구분된 서비스지역의 존간 요일별, 시간대별 평균통행시간 자료를 입력한다. 존의 크기가 크면 존내의 위치에 따라 실제 존간 통행시간의 오차가 크다. 반면 존의 크기가 작으면 상대적으로 오차가 작다. 존간의 시간대별 정확한 통행시간의 예측이란 매우 어렵다. 현실적으로 실시간으로 시간대별 존간 통행시간을 예측하기 어려울 경우 과거의 조사된 자료를 이용하되, 주기적으로 보완하여 사용한다.

3. 배차 모형

콜택시 운영에서 一日總車輛時間(total vehicle hours per day)은

$$\text{일일 총차량시간} = \sum_i \sum_t (\text{실차량시간}_{i,t} + \text{빈 차량시간}_{i,t})$$

여기서 $i=1,2,\dots,n$ 번째 택시, $t=1,2,\dots,T$ 번째 시간대로 표현된다.

실차량시간(loaded vehicle hours)은 승객을 태워서 원하는 목적지까지 서비스하는 시간, 즉 요금수입이 시간간에 따라 증가하는 시간을 말하며, 빈차량시간(empty vehicle hours)은 승객이 차량(택시)내에 타고 있지 않는 시간, 즉 요금수입이 없는 시간을 말한다. 시스템 차원에서 일일

총실차량시간 ($\sum_i \sum_t (\text{실차량시간}_{i,t})$)은 어느 차량이 서비스를 하여도 반드시 소요되는 시간이다.

반면, 일일총빈차량시간 ($\sum_i \sum_t (\text{빈차량시간}_{i,t})$)은 승객의 원하는 출발지와 시간에 따라 빈택시의 위치가 다양하기 때문에 배차방법에 따라 다르다. 따라서 운영자의 측면에서는 요금 수입에 도움이 안되는 빈택시차량의 시간을 최소화하여 운영비를 최소화하기를 원한다. 따라서 콜택시 운영차원에서 이 문제를 주어진 시간대별 승객의 出發地와 數 그리고 빈택시 位置와 數하에서 총차량시간을 최소화하는 문제로 생각할 수 있으며, 총차량시간의 최소화는 고정된 실차량시간을 뺀 빈차량시간의 최소화와 이론적으로 같게 된다. 한편 공공서비스에서 승객의 콜택시 이용 便利性을 간과할 수 없다. 이 便利性의 척도는 승객이 서비스 요청을 한 후 택시를 탈때까지의 待機時間(waiting time)으로 생각할 수 있다. 본 배차시스템에서는 승객의 대기시간은 배차시간대를 5분으로 할 경우 승객이 서비스를 요청한 후 배차될 때까지 소요되는 최대 5분과 배차된 빈택시가 승객의 위치까지 도달하는데 걸리는 시간으로 계산된다. 만약 서비스 지역내 존간 통행시간이 가장 긴 경우를 10분이라고 할때 승객이 빈택시를 기다리는 최대시간은 15분을 초과하지 않는다. 따라서 승객의 최대대기시간은 서비스 지역의 크기 그리고 배차시간대의 길이의 함수이나 서비스 지역의 크기와 배차시간대의 길이가 결정되면 자동적으로 상수로 결정된다.

여기서 승객의 최대대기시간이 주어지고 t 시간대에 서비스가 가능한 빈택시의 위치와 수를 알고 같은 시간대에 각 존별로 서비스를 원하는 승객의 수가 주어진 상태에서 t 시간대 총차량시간(total vehicle time at t time period)을 최소화하는 배차계획을 도출할 수 있다. 여기서 앞에서 언급한 바와 같이 t 시간대 총차량시간의 최소화는 t 시간대 총빈차량시간의 최소화와 같은 의

미이다. $t+1$ 시간대의 예약승객위치와 수는 현실적으로 일부 사전 예약한 승객을 제외하고는 t 시간대에 모두 알 수 없기 때문에 t 시간대의 예약승객위치와 빈택시위치는 $t+1$ 시간대의 예약승객위치와 빈택시위치와 독립으로 간주된다. 따라서, 각 t 시간대별 빈차량시간의 최소화는 일일총차량시간의 최소화와 같다고 볼 수 있으며, 각 시간대별 빈차량시간의 최소화 문제는 전형적인 OR의 수송 또는 할당 문제로서 쉽게 모형화하여 최적해를 구할 수 있다.

즉, <그림 3>에서 왼쪽의 각 행은 t 시간대에 각 존(ZN)별 빈택시수(NEV_t)를 의미하며 오른쪽의 각 행은 t 시간대에 서비스를 원하는 승객의 위치와 수를 나타내는 해당 존번호(ZN)와 예약승객수(NP_t)를 의미한다.

ZN	NEV _t
1	1
2	2
3	0
4	1
5	3
6	0
7	2

ZN	NEV _t
1	1
2	0
3	2
4	1
5	1
6	0
7	2

- • ZN : 존 번호(1-Z)
- • NEV_t : t시간대 빈택시수
- • NP_t : t시간대 예약승객수

Z	1
---	---

Z	0
---	---

<그림 3> t시간대 존별 빈택시수와 승객수

또한, 왼쪽과 오른쪽의 각 행을 수송문제의 노우드(node)로 볼 때, 이들 간을 연결할 수 있는 가지(arc)가 존재하는데 이는 각 존의 빈 택시가 각 존의 예약승객에 배차될 수 있음을 의미한다. 따라서 t 시간대에 주어진 존별 빈택시수와 예약

승객수하에서 총빈차량시간을 최소화하는 배차모형을 다음과 같이 2개의 경우로 구분하여 생각할 수 있다.

배차 모형 1): t 시간대에 총빈택시수가 총예약승객수보다 같거나 많을때는 아래의 수송문제모형을 사용하여 배차한다.

$$\text{Min. TEVH}_t = \sum_i \sum_j \text{VT}(i,j,t) \cdot X(i,j,t) \quad (1)$$

$$\text{S.T.} \quad \sum_j X(i,j,t) \leq \text{EV}_{i,t}$$

$$\sum_i X(i,j,t) \leq P_{j,t}$$

여기서

$$\sum_i \text{EV}_{i,t} \geq \sum_j P_{j,t}$$

TEVH_t = t시간대 총빈차량시간

VT(i,j,t) = t시간대 존 i에서 j까지의 차량통행시간(빈차량통행시간)

X(i,j,t) = t시간대에 빈택시가 위치한 존 i에서 승객의 출발지인 존 j에 할당(배차)되는 빈택시의 수

EV_{i,t} : t시간대에 존 i에서의 빈택시수

P_{j,t} : t시간대에 존 j에서의 예약승객수

i = 1, ..., z, j = 1, ..., z

배차 모형 2): 모든 배차시간대에서 배차 모형 1)로 모든 예약승객에게 배차가 가능하도록

$\sum_i \text{EV}_{i,t} = \sum_j P_{j,t}$ 으로 승객수요에 맞 빈택시수가 시간대 별로 조정되어야 총빈차량시간을 최소화하는 배차시스템의 목적에 도달할 수 있다. 그러나 현실적으로 오랜 운영경험에 의하지 않고는 시간대별 승객수요와 빈택시수를 정확히 예측하기란 어렵기 때문에 t 시간대의 총빈택시수가 총예약승객수보다 적을 때가 발생할 수 있다. 즉 $\sum_i \text{EV}_{i,t} < \sum_j P_{j,t}$ 일 경우는 먼저 예약한 승객순으로 $\sum_i \text{EV}_{i,t} = \sum_j P_{j,t}$ 에 대해서는 배차 모

형 1)을 적용한다. 그리고 $\sum_j P_{j,t} - \sum_j EV_{j,t}$ 의 t 시간대에 배차받지 못한 승객에 대해서는 $t+1$ 시간대에 우선적으로 배차하되, 거의 대부분 외국도시에서 채택하고 있는 전형적인 콜택시 배차방법 (nearest neighbor algorithm)인 승객의 출발지에서 가장 가까이 위치한 빈택시를 예약순(first call first serve)으로 배차하는 방법을 채택한다.

다시말해서, t 시간대 배차는 먼저 $t-1$ 시간대에 $\sum_j P_{j,t-1} - \sum_j EV_{j,t-1} = RP_{t-1} > 0$ 인지 확인하고 그럴경우 $t-1$ 시간대에 배차 받지 못한 승객 ($RP_{t-1} > 0$)에 대해서는 예약순으로 승객의 출발지에서 가장 가까이 위치한 빈택시를 우선 배차한다. 그 결과 t 시간대의 배차가능 빈택시수는 $\sum_j EV_{j,t} - PR_{t-1} = \sum_j EV'_{j,t}$ 가 된다. 그리고 t 시간대의 예약승객수, $\sum_j P_{j,t}$ 와 t 시간대의 배차 가능 빈택시수, $\sum_j EV'_{j,t}$ 와 비교하여 t 시간대에 배차받지 못할 승객 ($RP_t > 0$)에 대해서는 $t+1$ 시간대에 예약순으로 RP_{t-1} 와 같이 배차하기 위해 제외하고 $\sum_j P_{j,t} - PR_t = \sum_j P'_{j,t} = \sum_j EV'_{j,t}$ 에 대해서만 배차모형 1)의 모형식에 의해서 배차한다.

한편, 배차모형 1)의 모형식에서 목적함수의 $VT(i,j,t)$ 는 단순히 t 시간대 존 i 에서 j 까지의 차량통행시간으로 할당된 빈택시가 승객을 태우러 가는데 소요되는 시간을 의미하며, 이는 주어진 배차시간대의 시간을 제외한 승객의 대기시간이기도하다. 따라서 모형식의 총빈차량시간의 최소화는 곧 승객대기시간의 최소화의 의미를 내포하고 있다. 즉 이 단순한 모형식은 택시 운영자의 목적인 빈차량운행의 최소화로, 주어진 택시수로 운영비 최소화에 부합하며 동시에 승객 대기시간의 최소화로 승객 편의성의 극대화를 추구한다. 이런 개념하에서 $VT(i,j,t)$ 는 아래와 같이 차량통행시간 뿐 아니라 차량거리를 포함하는 비용함수, $C(i,j,t)$ 로서 확장하여 표현이 가능하다.

$$C(i,j,t) = a \cdot VT(i,j,t) + b \cdot VK(i,j,t)$$

여기서 $VT(i,j,t)$ 는 t 시간대 존 i 에서 j 까지의 차량통행시간 (빈차량통행시간),

$VK(i,j,t)$ 는 t 시간대 존 i 에서 j 까지의 차량거리 (빈차량거리),

a 는 단위시간당 승객시간가치,

b 는 단위거리당 차량운영비.

이 비용함수는 차량통행시간, 즉 승객대기시간의 시간가치와 차량거리로 산출된 시스템의 운영비를 포함한다. 즉 이 비용함수의 최소화는 승객대기시간의 최소화와 동시에 시스템 운영비의 최소화를 추구한다.

IV. 배차의 예

1. 서비스 지역의 설정

아래와 같이 가상의 콜택시의 서비스 지역을 9개의 존으로 구분한다.

1	2	3
4	5	6
7	8	9

<그림 4> 서비스 지역 존 구분도

2. 배차시간대 길이의 설정

콜택시의 운영시간을 24시간으로 가정하고 배차시간대의 길이를 5분으로 하여 하루의 총배차시간대를 24시간 \times 12시간대/1시간 = 288 시간대로 구분한다. 예로서 0시에서 0시 5분을 1번배차시간대로 가정할 시, 73번 배차시간대인 6:00AM에서 6:05AM 사이에 예약한 승객은 6:05(좀 더 정확히는 6:05AM+배차모형연산시간)에 배차모형에 의해 할당된 빈택시를 배차받는다.

3. 승객최대대기시간 (Passenger Maximum Waiting Time)의 설정

콜택시운영의 성공여부는 얼마나 승객이 원하는 출발시간(desired pick-up time)에 출발할 수 있는 가이다. 물론 아침에 오후 출발시간을 예약하는 승객이 있을 수 있으나 대부분 승객은 실시간으로 예약후 곧 서비스를 원한다. 따라서 운영자는 승객최대대기시간을 정하여 승객들에게 배차된 택시의 도착시간을 예측할 수 있도록 하여야 한다. 이는 교통수단 서비스평가의 가장 중요한 지표중의 하나가 정시성이기 때문이다.

승객이 예약을 한 후, 택시를 탈 때까지의 시간은 짧으면 짧을수록 승객이 선호를 할 것이다. 그러나 현실적으로 배차에 걸리는 시간 그리고 배차된 택시가 현재 위치(i)에서 승객위치(j)까지 가는데 시간이 소요된다. 본 예에서는 만약 승객이 6:00에 예약을 하면 6:05까지 예약한 승객들과 같이 배차 모형으로 빈택시가 할당되고 9개 존간 최대 차량 통행시간을 10분(물론 배차모형 연산시간 포함)이라 하면 배차된 후 10분내에는 예약한 승객 위치에 배차된 빈택시가 도달하게 된다. 따라서 승객최대대기시간은 배차까지 5분 그리고 존간 최대차량통행시간 10분을 더한 15분으로 가정할 수 있다. 또한, 6:05 배차이후인 6:06에 예약한 승객은 6:10분까지 예약한 승객과 함께 빈택시를 할당받으며 6:20분내에 택시를 승차할 수 있다. 따라서, 승객최대대기시간은 서비스지역의 크기에 의하여 설정된다. 만약 빈택시 수보다 예약 승객수가 많은 시간대 즉 배차모형 2)가 적용되는 시간대에서는 해당 시간대에 배차받지 못하는 승객의 최대대기시간은 다음 시간대에 우선적으로 배차되기 때문에 해당시간에 배차받는 승객보다 대기시간이 5분 더 연장된다. 물론 이 승객은 예약할 시 배차가 5분 연장됨

을 통보받는다.

4. 승객 및 차량 데이터 구축

시간대에 빈택시의 위치와 예약한 승객 관련 정보 구축이 필요하다. 좀더 정확히는 t 시간대를 6:00AM에서 6:05AM까지라하면 이 시간대의 빈택시와 예약한 승객의 정보는 배차 모형의 연산이 시작되는 6시 5분 이전, 즉 6시 4분 59초까지 컴퓨터에 등록된 자료를 의미한다. 아래 두 개 표와 같이 t 시간대의 빈택시의 위치와 예약한 승객의 위치를 가정한다.

1		2	3
zone			
0		1	0
4		5	6
1		0	1
7		8	9
0		1	1

1		2	3
zone			
1		0	1
4		5	6
0		0	1
7		8	9
1		0	0

시간대 존별 빈택시의 위치와 수 시간대 존별 예약한 승객의 위치와 수

<그림 5> 빈택시와 예약승객의 위치

예를 들어, 존 2에는 t 시간대 현재 1대의 빈택시가 있으나 예약한 승객은 없으며, 존 6에는 1대의 빈택시와 1명의 예약승객이 있다.

5. 존간 통행시간 데이터 구축

존간 i 에서 j 까지 t 시간대의 통행시간 ($VT(i, j, t)$)데이터가 필요하다. 물론, 시간대별 현재의 존간 통행시간은 감지기 등으로 구간별 속도를 계

산하여 예측가능(real-time estimation)하겠지만, 여기서는 과거 요일별, 시간대별, 존간 실측한 평균통행시간 자료를 이용하는 것으로 가정한다. <그림 6>에서 예를 들어 존 1에서 2까지 ($VT(1,2,t)$)는 6분소요, 존 2에서 7까지 ($VT(2,7,t)$)는 8분이다. 또한 최대 존간 차량시간은 존 1에서 9까지 10분이다.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	6	8	6	6	8	4	4	10
2	6	0	6	6	6	6	8	8	8
3	8	6	0	8	6	6	10	8	8
4	6	6	8	0	6	8	6	6	8
5	6	6	6	6	0	6	6	6	6
6	8	6	6	8	6	0	8	6	6
7	4	8	10	6	6	8	0	6	8
8	4	8	8	6	6	6	6	0	6
9	10	8	8	8	6	6	8	6	0

<그림 6> t시간대 존간 평균 통행시간(분)

6. 배차 모형의 적용

t시간대 총빈차량시간을 최소(Minimizing empty vehicle hours)로 하는 배차모형을 적용하기 위해서 t시간대에 각 존별 빈택시수와 예약된 승객수를 먼저 도식화하면 <그림 6>과 같다.

$EV(1,t) = 0$
$EV(2,t) = 1$
$EV(3,t) = 0$
$EV(4,t) = 1$
$EV(5,t) = 0$
$EV(6,t) = 1$
$EV(7,t) = 0$
$EV(8,t) = 1$
$EV(9,t) = 1$

존별 빈택시수

$P(1,t) = 1$
$P(2,t) = 0$
$P(3,t) = 1$
$P(4,t) = 0$
$P(5,t) = 0$
$P(6,t) = 1$
$P(7,t) = 1$
$P(8,t) = 0$
$P(9,t) = 0$

존별 예약승객수

<그림 7> 시간대 존별 빈택시와 예약승객수

t시간대 총빈택시수는 5대이며 총예약승객수는 4명이기때문에 배차모형 1)을 적용한다. 따라서 배차모형은 t시간대 빈택시차량시간을 최소화하는 모형으로 아래와 같이 표현된다.

$$\text{Min. } TEVT_t = \sum_i \sum_j VT(i,j,t) \cdot X(i,j,t)$$

$$\text{S.T. } \sum_j X(i,j,t) = EV(i,t)$$

$$\sum_i X(i,j,t) = P(j,t)$$

$$(i = 1,2,3,\dots,9 \quad j = 1,2,3,\dots,9)$$

여기서 $TEVT_t$: t시간대 총빈차량시간

$VT(i,j,t)$: t시간대 존 i에서 존 j까지의 차량통행시간

$X(i,j,t)$: t시간대에 빈택시가 위치한 존 i에서 승객의 출발지인 존 j에 배치되는 빈택시의 수

$EV(i,t)$: t시간대 존 i에서의 빈택시수

$P(j,t)$: t시간대 존 j에서의 예약승객수

현실적으로 $EV(i,t)$ 와 $P(j,t)$ 는 0의 경우가 많기 때문에 계산시간을 훨씬 절약할 수 있다. 즉, 위의 예에서는 $EV(i,t) \neq 0$ 인 경우가 4,

$P(j,t) \approx 0$ 인 경우도 4이기 때문에 제약조건식이 18식에서 8식으로 감소된다. 이를 선형계획모형의 해를 쉽게 도출할 수 있는 PC용 프로그램인 Lindo를 이용하여 풀면 t 시간대에 총빈차량시간을 최소화하는 최적해는 아래와 같다.

$$EV(2,t) = 1\text{대} \rightarrow P(3,t) = 1\text{명}$$

$$EV(4,t) = 1\text{대} \rightarrow P(1,t) = 1\text{명}$$

$$EV(6,t) = 1\text{대} \rightarrow P(6,t) = 1\text{명}$$

$$EV(8,t) = 1\text{대} \rightarrow P(7,t) = 1\text{명}$$

예를들어, t 시간대 존 2의 빈 택시 1대를 존 3의 예약된 승객 1명에게 배차하고, 존 4의 빈택시 1대를 존 1의 승객 1명에게 배차한다.

V. 현실 제약의 대처방안

1. 존간 통행시간의 예측

현실적으로 존간의 정확한 통행시간의 예측은 매우 어렵다. 특히 서울과 같이 상시 정체지점이 파악되고 있기는 하나, 구간마다 정체발생을 예측하기가 매우 어렵기 때문에 배차모형에서 존간의 예측 통행시간의 신뢰성이 그다지 높지 못한 단점이 있다. 그러나 선진국의 중소전원도시와 같이 통행지체가 거의 없어 통행시간 예측이 매우 정확한 경우를 제외하고는 정확한 통행시간 예측의 어려움은 배차모형의 공통된 문제로서 신뢰성 제고를 위한 각종 방법이 모색되어야 한다.

장래 IVHS의 ATM나 ATIS 등으로 보다 정확한 시간대별 존간 통행시간이 예측될 수 있을 것이다. 또한 서비스 지역을 크게 하여 중앙 통제소를 단일화하기 보다는, 서비스 지역을 이용 승객의 출발지, 목적지, 통행거리 등 통행패턴에 따라 여러개로 분할하여 배차하는 방법도 통행거리가 길어짐으로 증가되는 통행시간 예측의 불확실성을 감소할 수 있을 것이다. 한편, 존 크기를 될 수 있는 대로 줄임으로 존 내의 빈택시와 승객의 위치에 따라 존간 통행시간의 오차를 최소화할

수 있다.

2. 적정 존 수의 결정

존 크기가 작으면 작을수록 배차모형의 결과가 좋아진다. 다시 말해서 존당 예약승객수가 1인 이하인 경우와 2인 이상인 경우를 비교해 보면 2인 이상의 경우 그 존에는 2대의 택시가 할당되어야 하기 때문에 이 2대중 어느 택시를 어느 승객에게 할당하여야 하는가에 대한 문제가 대두되어 오차가 존재한다. 따라서 본 배차 시스템은 시간대별 존당 예약승객수가 1인이하가 바람직하다. 반면 주어진 서비스 지역에서 개별 존의 크기가 작을수록 존의 수가 늘어나 배차모형의 계산시간이 늘어난다. 배차 모형의 제약식의 수로 비교한다면 존의 수가 9개이면 제약식 수는 9×2 로 즉, $2 \cdot O(\text{존의 수})$ 로 늘어난다. Lindo와 같이 PC에서 이용이 가능한 OR 프로그램을 사용할 경우 최대 존의 수가 1000개까지 가능하며 실제로 앞의 예에서와 같이 빈택시 또는 예약승객이 없는 존수를 감안하면 최대 존수가 1000개를 훨씬 넘을 것으로 판단된다. 물론 PC급보다 연산속도가 빠른 컴퓨터와 결정변수를 더 많이 사용할 수 있는 프로그램을 이용할 시 허용 존의 수는 훨씬 더 증가될 수 있다.

한편 승객최대대기시간이 설정될 시 배차후 승객위치까지 가는 최대 통행시간이 제한된다. 즉 최대 존간 통행시간이 승객최대대기시간보다 적어야한다. 따라서, 서울의 경우, 서울 전역을 담당하는 중앙운영통제소보다는 몇개 구 또는 구 단위로 서비스지역을 구분하여 운영하는 것이 존간 통행시간 예측 그리고 배차모형계산시간 등을 감안할 때 타당할 것으로 판단된다. 물론 각 택시의 현재 승객서비스중 여부는 승객을 할당받은 서비스지역의 운영통제소에 통보가 되며, 할당받은 승객의 서비스를 마친 후에는 서비스를 마친 지역(승객 목적지)의 관할 운영통제소에 대기

(빈택시)통보가 되어 그 지역의 다음 승객의 할당을 기다린다. 이와 같이 존의 수는 배차시스템에 미치는 영향이 매우 크기 때문에 서비스 지역 범위와 운영통제소의 수와 함께 신중히 결정되어야 한다.

한편, 장래 적용가능한 ATIS 등의 도입으로 모든 서비스 지역이 XY 좌표로 구별되고 각 좌표간의 통행시간이 보다 정확히 예측될 경우는 제시된 배차 모형에서 존 구분을 XY 좌표로 전환시킬 수 있다. 즉 승객의 위치와 빈택시의 위치가 XY 좌표로 인식되고 이들간의 통행시간예측도 XY 좌표간의 통행시간예측으로 바뀌게 된다. 따라서 존간의 통행시간 개념이 아닌 점(point)간의 통행시간개념으로 본 배차 모형을 전환시킬 수 있을 것이다.

VI. 결론

서울에서 많은 모범택시가 빈 차로 대기하고 있는 곳을 많이 목격하지만 노약자, 지체부자유자 등 문전에서 문전 서비스를 원하는 계층은 이 빈택시들을 제대로 이용하지 못하고 있다. 이는 택시의 제기능인 전화요청(call) 기능이 결여된 탓이다.

향후 서울뿐만아니라 중소도시등에 새로이 모범택시가 도입될 시 반드시 전화요청(call) 기능을 부여하여 노약자나 지체부자유자 등 자가용 운전이 불가능한 계층 뿐 아니라, 자가용 이용자나 고용된 운전사가 운전하는 자가용 이용자들까지도 쉽게 이용할 수 있도록 하여야 한다.

본稿는 이를 대비한 콜택시 배차시스템을 제시하였다. 본 배차시스템은 주어진 예약승객과 빈택시의 위치와 數하에서 빈택시차량시간을 최소화하는 배차모형을 이용하여 불필요한 빈택시시간을 줄여 운영비를 최소화하는데 그 목적이 있다.

본 배차시스템에서 적용한 배차모형이론은 간

단한선형계획모형으로서 존의 수가 1000개 이내에서는 PC급 컴퓨터로 최적해를 구할 수 있는 장점이 있다. 또한 본 배차시스템의 제약인 존간 통행시간예측과 적정 존수의 결정에 관한 현실 대처방안을 제시하였다.

그러나 본고에서는 제시한 배차시스템의 적용을 예를 들어 설명하였으나 실제 적용은 현실 여건상 불가능하여 시도하지 못하였다. 외국의 전형적인 콜택시 배차방법(nearest neighbor algorithm)과도 실제 운영하에서 비교되지 못함도 아쉬움으로 남는다. 한편 택시 수요가 주어진 상태에서 배차시스템이 개발되었기 때문에, 배차시스템의 향상에 의한 승객의 대기시간이 짧아지는 등 택시 서비스 향상으로 인하여 새로이 유발되는 수요에 대해서는 배차모형에서 감안되지 않았다. 따라서 현격히 택시 수요가 증가할 시는 존의 수와 택시의 수가 조정되어야한다.

향후 실제 운영하의 비교연구외에 시간대별로 예측되는 통행시간이 실시간으로 배차모형에서 이용될 수 있는 방안이 모색되어야 하며, 현재 실차인 택시의 목적지와 새로운 예약 승객이 위치한 지점과 시간대가 동일할 때 이 실차 택시에 이 예약 승객이 배정될 수 있는 동적 배차모형도 고려되어야 한다. 또한, 콜택시 서비스지역의 적정 규모와 적정존의 수 그리고 차량의 수와 승객수요와 관계가 분석정립될 필요가 있다. 또한, 서울과 같이 통행시간을 정확히 예측하기 힘든 경우를 대비하여 배차모형에서 예측에매한 통행시간을 퍼지수화하여 보다 현실에 가까운 융통성있는 모형개발에 관한 연구도 필요하다.

기존의 교통시설을 최대한으로 이용하는 것은 새로이 교통시설을 확충하는 것 만큼 중요하다. 바빠 운행되고 있어야 할 시간에 빈 모범택시가 즐비하게 노상에 불법주차되고 있음은 사회적으로 적지 않은 손실이다.

참고문헌

1. Kikuchi, S(1984), "Scheduling of Demand-Responsive Transit Vehicles", Journal of Transportation Engineering, Vol.110 No.6, November.
2. Kikuchi, S., and Rhee, J-H(1988), "Scheduling Method for Demand Responsive Transportation System", Journal of Transportation Engineering, 115 (6), ASCE, 630-645
3. Psaraftis, H.N.(1980), "A Dynamic Programming Solution to the Single Vehicle Many-to-Many Immediate Request Dial-A-Ride Problem.", Transportation Science, Vol. 14, 130-154.
4. Rhee, J-H(1987), Vehicle Routing and Scheduling Strategies for Demand Responsive Transportation Systems, PhD thesis, University of Delaware, U.S.A.
5. Schrage, L.(1986), LINDO, 3rd Edition, The Scientific Press, Palo Alto, California