

운행관리점을 이용한 버스운행관리

Bus operation control using control points

김성인, 이영호, 백창화

(고려대학교 산업공학과)

목 차

- | | |
|----------------------|----------------|
| I. 들어가는 말 | IV. 현장적용사례 |
| II. 운행관리점 위치와 개수 결정 | V. 결론 및 추후연구과제 |
| III. 운행관리점을 이용한 운행관리 | 참고문헌 |

ABSTRACT

이 연구는 효율적인 버스운행관리를 위한 운행관리점의 적절한 위치와 적정 개수를 구하는 방법을 제시한다. 운행관리점이란 버스운행관리를 위해 버스노선에 정해놓은 일정한 지점으로, 주로 주요 정류장에 위치하게 된다. 운행관리점에서 버스가 정시성을 이루며 도착하도록 운행관리를 한다.

운행관리점의 적절한 위치와 적정 개수를 구하기 위하여 승객기회손실비용과 운행관리점 운영비용을 최소화하는 최적화모형을 구축하였다. 그리고 이 모형에서 결정된 운행관리점을 시뮬레이션 모형에 적용하여 실제 운행관리의 효율성을 검증하였다.

I. 들어가는 말

이 연구는 운행관리점(CP: Control Point)을 이용하여 실시간 버스운행관리를 할 때 발생하는 운행관리점의 적절한 위치와 필요한 개수 구하는 문제를 다룬다. 버스가 도로상에서 운행될 때 도로사정이나 유고상황으로 예정된 시간에 정류장에 도착하지 못하는 경우가 있다. 반대로 정류장에 예정된 시간보다 빠르게 도착하는 경우도 있다. 이렇게 버스가 정류장에 실제로 도착한 시간과 예정 목표시간과 차이가 생기고, 그 차이가 커지면 버스의 정시성(定時性)이 이루어지지 않아 이용자들에게 불편을 주게 된다. 즉, 다른 교통수단을 이용하거나 유사한 버스노선을 이용하게 되어 승객이탈이 발생하게 된다. 따라서 버스 운행자 입장에서 배차관리와 운행관리에 문제가 생기게 되고, 승객이 이탈하여 승객기회손실비용이 발생하므로 수입도 줄어들게 된다. 그러므로 이러한 오차가 커지기 전에 실시간 버스운행관리를 통하여 그 비용을 줄여야한다.

효율적인 버스운행관리를 하기 위해 버스노선에 정해놓은 일정 지점이 운행관리점이다. 운행관리점에서 버스가 정류장에 실제 도착한 시간과 앞 버스가 도착한 시간을 비교하여, 허용오차를 벗어난 버스에 대하여 조정을 한다. 즉, 버스운행관리를 하는 지점으로서, 일반적으로 주요 정류장에 위치하게 된다. 운행관리점은 버스노선 중 적절한 위치에 존재하여야 효율적인 운행관리를 할 수 있을 것이다. 또한 운행관리점이 몇 개 존재하여야 가장 효율적으로 운행관리를 할 수 있는 지도

중요한 문제이다. 따라서 이 연구는 버스운행관리를 효율적으로 조정하여 승객기회손실비용을 최소로 하는 운행관리점의 위치와 개수를 제시한다.

운행관리점과 관련된 여러 연구가 있다. Senevirante[1]는 시뮬레이션을 이용하여 운행관리점의 개수와 적절한 위치를 제시하였다. 이 연구는 캐나다 몬트리올의 한 지역을 선정하여, 실제 데이터와 시뮬레이션으로 나온 결과를 비교하였다. 운행관리점의 개수를 구하는 방법은 운행관리점이 하나일 때부터 하나씩 증가시키면서 시뮬레이션을 구현하였다. 결과는 회귀모형을 적용시켰을 때 2차 함수의 오목(Convex) 형태로 나타나며, 각 정류장 도착간격의 편차가 가장 적을 때를 최적 운행관리점 개수로 선정하였다. 운행관리점 위치는 각 정류장마다 버스가 도착하는 시간간격의 편차가 일정 기준시간 이상이 되는 곳(논문에서는 60초 이상일 때)으로 선정하였다. 그러나 이 연구에서는 러시아워일 때와 러시아워가 아닐 때 정류장 도착간격이 같다는 단점이 있다. 또한 각 정류장마다 승객 수를 고려하지 않았다.

한편 Abkowitz[2]는 각 정류장마다 승객의 대기시간을 줄이고, 정시에 버스가 정류장에 도착하도록 운행관리하는 방법을 제시하였다. 이 연구에서는 정류장마다 승객 수를 고려하여 운행관리점 위치와 한계시간을 결정하였다. 결과에서 운행관리점 위치는 승객이 많은 정류장 바로 전 정류장을 선택하였다. 그리고 버스가 정류장에 도착하는 허용오차를 최소로 하려면 탑승중인 승객 수를 고려하는 것이 중요했다. 그러나 이 연구에서는 운행관리점을 한 개만 고려하였으므로 여러 개로 확장시킬 필요가 있다.

이 연구 구성은 다음과 같다. 2장은 운행관리점의 적절한 위치와 필요한 개수 결정, 3장은 운행관리점을 이용한 버스 운행관리, 4장은 현장에 실제 적용한 사례를 소개한다. 마지막으로 5장은 결론과 추후 연구과제를 제시한다.

II. 운행관리점 위치와 개수 결정

버스를 운행할 때는 일정한 간격을 유지하며 정류장에 도착하는 것이 좋다. 그러나 링크구간소통시간이나 정류장에 대기하고 있는 승객 수에 따라 정류장에 도착하는 간격의 차이가 발생하게 된다. 이것이 누적되면 버스는 불규칙한 간격으로 정류장에 도착하게 되고, 승객 이탈은 증가할 것이다. 따라서 운행관리를 하여 승객이탈을 최소화할 수 있는 일정한 지점이 필요하다.

운행관리점이란 버스가 정시성을 이루며 도착해야 할 특정 정류장이다. 운행관리점에 정시에 도착하도록 운행관리가 이루어져야 한다. 그리고 운행관리점 개수와 위치에 따라 운행관리의 효율성은 많이 달라진다. 즉, 몇 개의 운행관리점을 이용하고, 그 위치를 어디에 정할 것인가는 매우 중요한 문제이다. 따라서 다음 방법들을 이용하여 운행관리점 위치와 개수를 결정한다.

1. 승객기회손실비용과 운행관리점 운영비용 이용

운행관리점 개수와 위치를 결정하기 위하여 승객기회손실비용과 운행관리점 운영비용을 고려한다. 여기서 운행관리점 운영비용이란 타코시스템을 이용할 때 지불해야 하는 반환장비비용을 주로 의미한다. 반환장비란 버스가 일정 정류장에 도착하였을 때 바로 앞에 지나간 버스가 언제 도착하였지를 알려주는 장치이다. 이 정보로 앞 버스와의 간격을 알 수 있으므로 간단한 버스운행관리가 가능하다. 그리고 승객기회손실비용은 버스가 정시성을 지키지 못하고 불규칙적으로 정류장에 도착하여 승객대기시간이 늘어나면서 승객이탈이 증가하게 되어 발생하는 비용이다. 이 두 가지 비용을 고려하여 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\text{Min } \sum_{i=1}^n [(CT + \alpha \cdot P_i) \cdot X_i + P_i \cdot (1 - X_i)]$$

S. T.

$$\sum_{i=1}^n X_i \leq n \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n CT \cdot X_i \leq M \quad (2)$$

$$P_i = N_i \times L_i \times C \quad (3)$$

$$L_i = \sum_{j=1}^i \beta_j \cdot \left[\prod_{k=j}^i (1 - X_k) \right] \quad (4)$$

X_i : 운행관리점으로 선택된 정류장이면 1, 아니면 0 (Binary variable)

CT: 1개당 타코 설치 및 운영 비용(원/시간)

P_i : 승객기회손실비용(원/시간)

N_i : i 정류장 승객수(사람)

L_i : 운행관리점부터 i 정류장까지 누적 승객 이탈율

C: 이탈비용(500원/사람)

α : 운행관리점일 때 승객 이탈 감소율

β_j : j 링크 승객 이탈율

M: 타코시스템에 투자할 수 있는 비용(원)

식(1)은 운행관리점으로 선택될 정류장 총 개수 합은 전체 정류장 개수보다는 작거나 같아야 한다는 것을 의미한다. 식(2)는 타코시스템을 사용할 경우 타코시스템에 관련된 기기들의 설치 및 운영비용에 관련된 식이다. 즉, 타코시스템 구입비용이나 임대비용이 발생하는데, 이것은 버스회사에서 타코시스템에 투자할 수 있는 자금보다 작거나 같아야 한다는 것을 의미한다. 식(3)은 승객 기회손실비용을 계산할 때 정류장에서 버스를 기다리는 승객수, 승객이탈율, 그리고 승객 이탈비용을 곱한다는 것을 의미한다. 여기서 승객이탈비용은 성인 버스요금인 500원으로 정하였다. 식(4)는 누적승객이탈율을 표현한 것이다. 운행관리점이 정해짐으로써 그 점을 중심으로 운행관리를 실시한다. 즉, 운행관리점을 중심으로 가까운 정류장은 운행관리가 잘되지만, 멀어질수록 운행관리는 잘되지 않아서 승객이탈은 증가하게 됨을 의미한다.

위 식은 승객기회손실비용과 운행관리점 운영비용을 고려한 최적화 모형이다. 운행관리점이 정해짐에 따라 승객이탈에도 변화가 생기게 된다. 즉, 운행관리점에서 가까운 정류장은 비교적 정시성에 맞춰 운행관리가 되지만, 멀어질수록 제대로 운행관리가 되지 않아서 승객이탈은 커질 것이다. 이것을 고려하기 위하여 누적 승객 이탈율이 적용된 것이다. 그러나 승객이탈은 버스가 정류장에 도착하는 시간을 실제로 알아야 고려될 수 있으므로, 운행관리점의 위치와 개수를 구할 때는 시뮬레이션 모형을 이용할 것이다.

2. 정류장 버스도착간격(Headway) 편차를 이용

이 방법은 버스가 각 정류장에 도착하는 간격의 편차를 이용하여 운행관리점 개수와 위치를 구하는 것이다. 이 때 과거자료와 시뮬레이션을 이용한다. 중점을 출발한 버스들은 각 정류장을 거치면서 목표시간과 비교하면 정류장 버스도착간격의 편차가 점점 커질 것이다. 이 때 버스도착간격 편차가 정해진 허용범위 값보다 커지면 그 정류장에서 편차를 줄인다. 만약 줄여주지 않으면

그 값은 더욱 커져 버스 운행관리를 할 수 없게 되기 때문에 승객 이탈이 증가하게 될 것이다. 따라서 허용범위 값을 넘는 바로 전 정류장을 운행관리점으로 정하고, 그 점을 중심으로 운행관리를 한다. 이렇게 종점에 도착할 때까지 반복적으로 운행관리점을 결정한다. 또한 각 정류장의 승객을 고려하여 그 승객에 해당되는 만큼 가중치를 준다. 이렇게 하면 승객 수를 고려하여 운행관리점의 위치와 개수를 결정할 수 있다.

III. 운행관리점을 이용한 운행관리

1. 운행관리 알고리즘

기본 가정은 타코시스템을 이용하여 운행관리를 하는 것이다. 타코시스템이란 현재 도시형 버스의 운행관리를 위하여 사용중인 시스템을 말한다. 버스내부(정확히 말하자면 운전사 머리 위)에 타코라는 기기를 설치해 놓고 일정 정류장에 송신기와 반환장비를 설치한다. 버스가 종점을 출발하여 각 정류장을 거치며 운행할 때 송신기와 반환장비가 설치된 정류장에서 버스가 도착한 시간을 인식한다. 버스가 운행을 끝나치고 다시 종점으로 돌아 왔을 때 이 정보를 이용하여 다음 운행에 참고한다. 송신기가 설치된 정류장에 도착했을 때는 종점에 도착해야만 버스가 각 정류장에 도착한 시간을 인식할 수 있다.

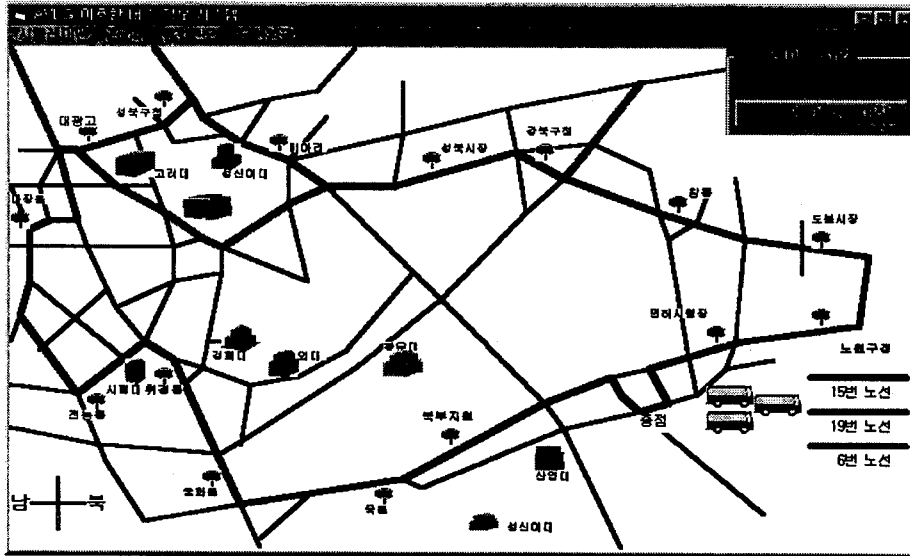
그러나 반환장비가 설치된 정류장에 도착하면 바로 앞 버스가 도착한 시간도 알 수 있다. 따라서 온라인 운행관리가 가능하다. 반환장비가 설치되어 있는 곳에서 앞 버스와 의 운행간격에 대한 정보를 얻은 후 운행관리점까지 운행관리를 실시한다. 즉, 반환장비가 위치한 정류장에서 바로 앞차가 도착한 시간과 현재 버스가 도착한 시간을 뺀 후, 적정 도착간격(배차간격)과 비교한다. 만약 적정도착간격보다 크다면 다음 운행관리점까지는 그만큼 빨리 가도록 유도하여야 한다. 반대로 적정도착간격보다 작다면 다음 운행관리점까지 그만큼 늦게 운행하도록 관리하여야 한다. 이때 운행관리점까지 정류장 수를 고려하여 운행관리를 한다.

2. 알고리즘 평가 방법

각 정류장에 승객들이 도착하는 시간간격은 지수분포를 따른다. 또한 승객대기시간에 따라 정규분포로 승객이탈이 발생한다. 버스가 정류장과 정류장을 움직이는 구간소통속도는 현재 버스회사에서 운행하고 있는 타코 자료를 이용한다. 버스가 정류장에 도착하면 대기하고 있는 승객들과 시간을 비교하여 승객 이탈율을 추정한다. 그리고 버스마다 이탈승객 수를 고려하여 비용을 계산한다. 모든 버스가 종점으로 돌아오고 시뮬레이션이 끝나면 버스마다 각 정류장에서 발생한 이탈승객율을 고려하여 승객기회손실비용을 계산한다. 알고리즘마다 승객기회손실비용이 계산되고, 이 비용이 가장 적은 알고리즘을 선택한다.

IV. 현장적용사례

서울시내 도시형 버스 중 15번 버스를 대상으로 시뮬레이션을 하였다. 그림 1에서 보는 바와 같이 정류장 개수는 주요정류장과 종점을 포함하여 총 16개이고, 버스는 10대를 운행하였다. 15번 버스는 도시형 버스중 순환버스이다. 그러나 이 시뮬레이션에서는 종점을 출발하여 면허시험장, 노원구청 방향인 시계반대 방향으로 운행하는 것을 고려하였다. 또한 편의상 정류장 이름 대신 면허시험장을 1번 정류장, 노원구청을 2번 정류장으로 사용하겠다. 나머지 정류장도 마찬가지로 순



<그림 1> 시물레이션 화면

서에 따라 정류장 번호를 사용하겠다. 따라서 종점은 0번 또는 16번 정류장이며 번호 순서에 따라 버스운행을 한다.

그리고 우선 러시아워시간대를 고려하여 버스를 운행하였다. 정류장에 도착하는 승객수는 버스 관리과에서 조사한 정류장별 탑승 승객수를 고려하였다. 그리고 이탈하는 승객수는 정규분포를 가정하였고, 도착하는 승객별로 대기한계시간을 부여하였다. 따라서 버스가 배차간격에 맞추어 일정한 간격을 두고 정류장에 도착하여야 승객기회손실비용을 최소화 할 수 있다. 또한 종점은 기본적으로 운행관리점 역할을 하고 있지만 운행관리점 개수에서는 제외를 하였다.

<표 1> 구간링크통행시간 평균과 표준편차

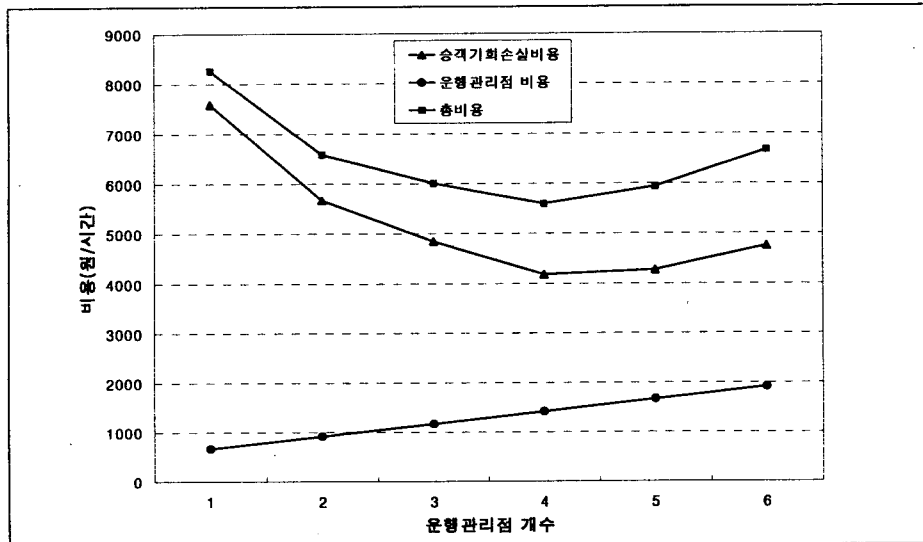
값 \ 링크	링크1	링크2	링크3	링크4	링크5	링크6	링크7	링크8
평균(분)	7.063	6.063	2.56	10	10.38	3.688	11.3	9.5
표준편차(분)	0.854	0.929	0.51	1.366	1.5	0.602	1.45	1.862
값 \ 링크	링크9	링크10	링크11	링크12	링크13	링크14	링크15	링크16
평균(분)	7.563	11.3	7	7.75	3.63	6.625	2.875	5.063
표준편차(분)	1.504	1.53	1.461	1.77	0.72	0.957	0.806	0.772

표 1은 정류장과 정류장사이의 구간링크시간을 나타낸 것이다. 즉, 정류장과 정류장사이의 구간소통시간은 15번 노선을 운행하는 버스를 이용하여 측정된 자료를 사용하였다. 이 자료는 현재 15번 버스에서 사용중인 타코시스템에서 얻어진 것으로, 러시아워시간 중 아침시간대의 평균값을 나타낸 것이다. 여기서 링크1이란 종점에서 면허시험장사이를 의미하며, 링크2는 그 다음 구간인 면허시험장에서 노원구청사이를 의미한다. 즉, 링크간 정류장과 정류장사이의 구간을 의미하며 나머지 링크도 순서대로 같은 의미를 갖는다.

타코시스템을 이용하여 운행관리하는 것을 기본 가정으로 두었다. 반환장비가 있는 정류장에 도착한 버스는 앞 버스의 도착시간과 비교하고, 오차시간을 고려하여 운행관리점까지 운행관리가 이루어진다. 이 연구에서 반환장비가 설치되는 정류장 위치는 운행관리점과 운행관리점 사이의 구간소통시간의 표준편차를 이용하였다.

승객기회손실비용과 운행관리점 운영비용을 고려하여, 전체 비용이 최소가 될 때 운행관리점의

위치와 개수를 결정하는 방법을 이용한다. 운행관리점을 한 개부터 시작하여 한 개씩 늘려가며 운행관리점 운영비용을 구한다. 이 때 운행관리점 위치는 승객수를 고려하여 승객이 가장 많이 승차하는 정류장 순서대로 정한다. 즉, 운행관리점이 하나일 때는 승객이 가장 많이 이용하는 정류장으로 그 위치를 정하고, 두 개일 때는 그 다음으로 승객이 많이 이용하는 정류장을 추가로 선정한다. 그리고 그 때의 승객기회손실비용도 함께 구한다. 그 결과는 그림 2와 같다.

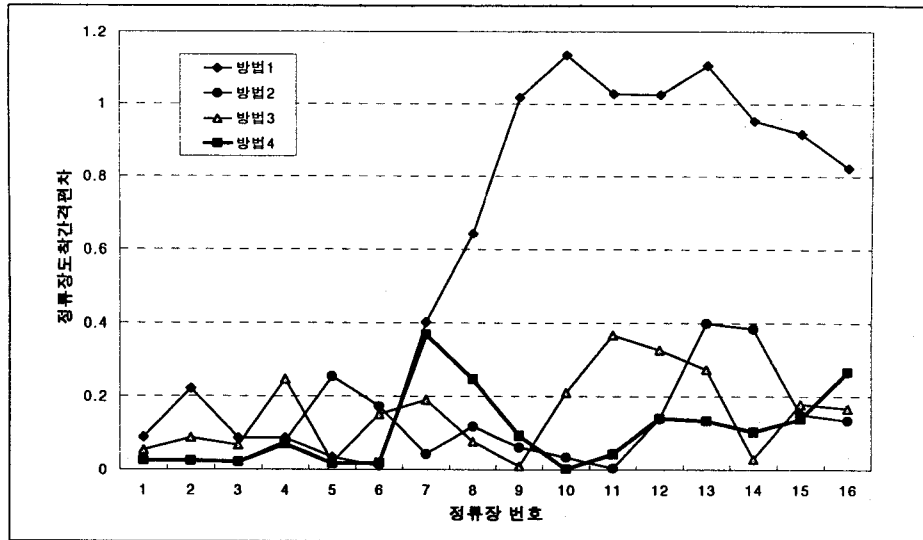


<그림 2> 총비용을 고려한 운행관리점 적정 개수

그림 2에서 보는 바와 같이 승객기회손실비용은 운행관리점이 증가함에 따라 비용이 감소하게 된다. 그러나 운행관리점이 5개 이상이 되면 다시 비용이 늘어나고 있음을 알 수 있다. 그 이유는 버스들이 운행관리점에 정확하게 도착하도록 운행관리가 되고 있으므로, 운행관리점에서 운행관리점까지는 정확하게 운행되지만 전체적인 운행관리 측면에서는 오히려 관리가 잘되지 않기 때문이다. 즉, 운행관리점이 증가하면 운행관리점 사이의 부분적 관리는 잘 이루어지지만 전체적인 관리는 잘되지 않는다. 그리고 운행관리점이 늘어나면서 운행관리점 운영비용은 늘어난다. 따라서 운행관리점이 증가됨에 따라 전체 총 비용은 증가하게 된다. 따라서 총비용을 고려한 운행관리점 개수는 4개일 때가 가장 좋으며, 그 때의 위치는 정류장 이용승객이 가장 많은 순서대로 결정되었다. 여기서는 2번, 5번, 10번, 12번 정류장이 운행관리점이다.

그림 3은 여러 가지 방법으로 운행관리를 하였을 때, 정류장마다 버스들의 도착간격 편차를 나타낸 것이다. 여기서 방법1이란 운행관리를 하지 않았을 때를 의미한다. 방법2는 버스가 각 정류장에 도착하는 간격의 편차를 이용하여, 일정한 편차 이상이 될 때 그 곳을 운행관리점으로 정하고 운행관리를 하는 방법이다. 이번 연구에서는 한계허용편차를 5분으로 두고, 5분이 넘는 바로 전 지점을 운행관리점으로 정하였다. 여기서는 4번, 7번, 11번, 15번 정류장이 운행관리점이다. 방법3은 현재 15번 버스에서 이용하고 있는 타코시스템을 사용한 방법이다. 현재 4번, 7번, 9번, 11번, 13번 정류장에 반환장비를 설치하고 운행관리를 부분적으로 시행하고 있다. 방법4는 위에서 제시한 것처럼 승객이 가장 많이 이용하는 정류장 순서대로 운행관리점 위치를 정한 것이다.

그림 3에서 나타난 결과를 보면 다음과 같다. 방법1과 같이 운행관리를 하지 않게 되면 종점에서 정류장이 멀어질수록 버스 도착간격의 편차가 커지고 있음을 알 수 있다. 즉, 정류장에 도착하는 버스들의 편차가 커짐에 따라 정시성은 지켜지지 않게 되어 승객이탈은 많아 질 것이다. 방법2처럼 운행관리점에서 운행관리를 하게 되면 버스의 정류장 도착간격 편차는 운행관리점을 중심으로 낮아지고 있는 것을 알 수 있다. 또한 방법3에서 그 모양은 다르지만 각 운행관리점을 중심으로 운행관리가 되고 있다. 즉, 운행관리점으로 다가갈수록 정류장도착간격편차가 줄어들고 있다.



<그림 3> 정류장마다 버스 도착간격 편차

그리고 방법4 역시 운행관리를 하여 운행관리점을 중심으로 그 편차가 낮아지고 있음을 알 수 있다. 전체적인 도착간격 편차를 살펴보면 방법1을 제외하고 나머지 방법들은 각각 운행관리점을 중심으로 운행관리가 되고 있다.

그러나 표 2에서 보는 바와 같이 승객기회손실비용에서는 방법4가 가장 낮게 나타나고 있다. 그 이유는 다음과 같다. 방법2와 방법3은 전체적으로 버스들의 정류장 도착간격을 관리하고 있는 반면에, 방법4는 승객이 많은 정류장을 중심으로 도착간격 편차를 관리하고 있기 때문이다. 즉, 승객이 많이 이용하는 정류장은 되도록 버스의 도착간격편차를 줄임으로써 정시성을 유지한다. 따라서 그 정류장을 중심으로 승객이탈을 최소화하기 때문에 승객기회손실비용이 더 낮게 나타난다. 따라서 어느 위치에서 관리를 하느냐는 매우 중요하다. 표 2에서 알 수 있는 것처럼 방법1에서처럼 운행관리를 하지 않으면 승객기회손실비용은 다른 방법에 비하여 2배정도 높게 나타나고 있다.

<표 2> 승객기회손실비용

비용 \ 종류	방법1	방법2	방법3	방법4
승객기회손실비용(원/시간)	8,215	4,683	5,332	4,179

현재 15번 버스에서 적용중인 운행관리점을 이용한 방법3보다는 방법2로 운행관리를 하는 것이 승객기회손실비용 면에서 더 낮게 나타났다. 또한 방법 2보다 승객이 가장 많이 이용하는 정류장을 중심으로 운행관리를 하는 방법4가 더 낮은 승객기회손실비용을 보여주고 있다. 방법4를 이용하면 승객이 많은 정류장에는 더 정확하게 정시성을 지켜 도착하기 때문에 많은 승객에게 편의를 제공하고, 버스회사는 더 높은 수익을 얻게 된다. 또한 방법4는 반환장비를 4개 사용하지만 방법3은 반환장비를 5개 사용하고 있어 총 비용에서 방법4가 더 낮게 나타난다.

V. 결론 및 추후연구과제

이 연구는 운행관리점의 위치와 개수를 정하고, 결정된 운행관리점을 중심으로 버스운행관리 방법을 제시하였다. 이렇게 운행관리점을 중심으로 운행관리를 하지 않으면 버스의 정시성은 점점 떨어져 버스의 정류장 도착간격이 매우 불규칙하게 변한다. 그 결과로 버스를 기다리는 승객에게 더 큰 불편을 주고 버스회사 수입금이 감소하게 된다. 그러므로 운행관리점을 중심으로 철저한 운

행관리가 이루어져야 한다. 이 연구에서 제시한 결과를 실제 도시형 버스에 도입하여 사용한다면 더욱 효율적인 버스운행이 이루어 질 것으로 기대된다.

앞으로 보완해야할 추후연구과제는 다음과 같다. 이 연구에서는 러시아워일 때만을 고려하였지만, 러시아워가 아닐 때도 고려해야 한다. 즉, 새벽부터 저녁 늦게까지 버스가 실제로 운행하는 시간대를 고려하여야 하며, 요일별로도 고려하여야 한다.

또한 유고사항을 고려하여야 한다. 즉, 다양한 도로상황을 반영하여 유고나 정체를 파악하여 적절한 운행관리를 하여야 한다. 이러한 사항들이 반영되어야 현실적인 버스운행관리를 실시간적으로 할 수 있게 된다. 이것은 과거자료와 실시간으로 들어오는 도로상황에 대한 자료를 자료 융합하여 효율적으로 이용한다면 현실에 맞는 좋은 결과를 낼 수 있을 것이다.

실시간 운행관리를 하면 운행관리점 위치는 그때마다 바뀔 수 있다. 따라서 실시간 운행관리를 할 때, 시간대가 바뀌거나 여러 가지 도로사정으로 운행관리의 위치와 개수를 파악하는 것은 매우 중요한 문제이다. 차후에 이러한 사항들을 고려하여 계속적으로 연구가 이루어져야겠다.

참고문헌

- [1] Senevirante, P. N., "Analysis of on-time performance of bus services using simulation," *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 116, No. 4, pp. 517-531, 1990.
- [2] Abkowitz, M., Amir, E., and I. Englestein, "Optimal control of headway variations on transit routes," *J. Advanced Transp.*, 20(1), pp. 73-88, 1986.
- [3] Araya, S., and S. Sone, "Traffic dynamics of automated transit systems with pre-established schedules," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. SMC-14, NO. 4, pp. 677-687, 1984.
- [4] Lee, K. K. T., and P. M. Schonfeld, "Real-time dispatching control for coordinate operation in transit terminals," *Transp. Res. Rec*, 1433, pp. 3-9, 1994.
- [5] Bates, J. W., "Definition of practices for bus transit on-time performance: Preliminary study." *Transportation Research Circular No. 300*, Trans. Res. Board, Washington, D.C., Feb, 1986.
- [6] 서울특별시, *시내버스 개혁 종합대책*, 1997.
- [7] 고종섭, 고승영, "버스의 최적운행시격 및 보유대수 모형 개발," *대한교통학회지*, 제16권, 제2호, pp. 169-176, 1998.