

교통수단간 연계를 위한 최적 버스 배차간격 조정 알고리즘 개발

Improvement of Optimal Bus Headway for Intermodal Transfer Station

유병용* · 양승태** · 배상훈***

Ryu, Byoungyong · Yang, Seungtae · Bae, Sanghoon

Abstract

Due to the rapid increase of vehicles on the street, Korean society is facing worsening traffic congestions and air pollutions. Also, the oil price pickup has led to increasing need for the use of public transportation. In particular, transferring among public transportation may be a main factor for riders who are commuting for a long distance journey. In order to ensure such connectivity, transfer stations have been actively built in Korea. However, it would be necessary to shift those vehicles, from cars to public transportations by enhancing the users' satisfaction with public transportation through strategies for minimizing the users' waiting cost by building an efficient connective system between transportation modes as well as the preparation of aforementioned transfer stations. Therefore, this study aimed to develop an algorithm for minimizing transferring passengers' waiting costs based on service intervals of linked buses within the transfer facilities. In order to adjust the service interval, we calculated the total costs, involving the wait cost of transfer passengers and bus operation costs, and produced an allocation interval, that would minimize the costs. We selected a KTX departing from Seoul station, and a No. 6014 bus route in Gwangmyeong city where it starts from the Gwangmyeong station in order to for verifying the model. Then, the transfer passengers' total waiting cost was reduced equivalent to the maximum of 212 minutes, and it revealed that the model performed very effectively.

Keywords : optimal headway, transfer station, total cost, optimization

요 지

현대사회는 차량의 급격한 증가로 인해 교통정체, 환경오염이 심각해지고 있으며, 유가의 상승으로 인해 대중교통이용의 필요성이 대두되고 있다. 특히 장거리를 이동하는 이용자는 대중교통의 환승이 중요한 요인이라 할 수 있다. 이러한 연계성을 확보하기 위하여 국내에서는 환승센터의 구축이 활발하게 이루어지고 있다. 하지만 이러한 환승센터의 구축뿐만 아니라 교통수단간 효율적인 연계체계를 구축하여 이용자의 대기시간을 최소화하는 방안 마련을 통해 대중교통의 만족도를 향상시켜 승용차에서 대중교통으로의 수단전환이 필요하다고 할 수 있다. 따라서 본 연구는 대중교통수단간 환승 시 효율적인 연계버스 운행간격의 조정을 통하여 환승승객의 대기시간을 최소화하는 알고리즘의 개발을 목적으로 한다. 운행간격 조정을 위하여 일반승객의 대기시간비용, 환승승객의 대기시간비용, 버스운행비용 등 총 교통비용을 산정하여 이를 최소화하는 배차간격을 산출한다. 모형의 검증에 위하여 광명역을 대상으로 KTX와 광명역을 기점으로 하는 6014번 노선을 선정하여 모형을 적용하였다. 적용결과 현행으로 운행 시 270분 대기시간이 발생하며, 개선된 모형을 적용하게 되면 승객수요에 따른 시나리오에 따라 58분에서 82분의 대기시간이 발생하는 하여 최대 212분의 단축 효과가 있는 것으로 나타나 모형의 효과가 높은 것으로 판단된다.

핵심용어 : 최적배차간격, 환승센터, 총교통비용, 최적화

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

현대사회는 경제발전과 생활수준의 향상에 따라 차량의 급격한 증가를 초래하였으며 이로 인해 교통정체, 환경오염 등과 같은 심각한 문제를 발생시키게 되었다. 또한, 승용차의 이용자는 꾸준히 증가하고 있는 추세이며, 이에 대한 대중교

통의 활성화 방안은 미비한 실정이다.

또한, 급변하는 교통환경에서 버스가 대중교통기능을 충실히 수행할 수 있도록 하기 위해서는 다른 교통수단과의 원활한 연계체계의 구축이 중요하다. 이러한 연계성을 확보하기 위하여 국내에서는 환승센터의 구축이 활발하게 이루어지고 있으며, 청량리 환승센터, 여의도 환승센터와 같은 교통수단간 환승을 위한 시설물이 늘어나고 있는 추세이다. 하

*정회원 · 부경대학교 위성정보과학과 석사과정 (E-mail : rbyong@gmail.com)

** (주)지오매틱코리아 대표이사 (E-mail : gmkyst@hanmail.net)

***교신저자 · 부경대학교 위성정보과학과 교수 (E-mail : sbae@pknu.ac.kr)

지만 이러한 환승센터의 구축뿐만 아니라 교통수단간 효율적인 연계체계를 구축하여 이용자의 대기시간을 최소화하는 방안 마련을 통해 대중교통의 만족도를 향상시켜 승용차에서 대중교통으로의 수단전환을 유도하는 것이 필요하다.

교통수단간 환승체계의 제고방안 가운데 기존의 교통수단 중 버스의 배차간격을 조정하여 타 교통수단과의 연계체계를 개선하고자 한다. 버스 배차간격은 승객들을 효율적으로 수송하기 위한 버스운행계획으로서 버스회사의 운영효율성과 밀접한 연관을 가지는 요소이다. 하지만 국내 버스회사의 배차간격은 시에서 요구하는 배차시간과 도로사정을 감안하여 경험적으로 산출하고 있는 상황이다.

즉 체계적인 배차간격 설정 시스템의 부재로 인해 총 운행가능 버스대수, 구간 주행시간 등을 토대로 경험적으로 산출하여 운영하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 버스와 타 교통수단인 철도의 연계체계를 개선하기 위하여 이용자의 대기시간을 최소화하는 최적 버스배차간격 알고리즘 개발을 목적으로 한다.

2. 본 론

2.1 이론적 고찰

2.1.1 국외 연구

Forbes et al.(1991)은 An exact algorithm for multiple depot bus scheduling에 관한 연구에서 선형 완화법을 이용하여 Multiple Depot Scheduling Problem(MDSP)을 해결하는 방법을 제시하였다. 버스 운행의 여러 가지 변동비용과 버스의 고정비용의 합을 최소화시키는 것으로 최적 배차 간격을 설정하였다.

Knut Haase et al.(2001)은 도시 운송 시스템의 차량 및 운전자의 스케줄링에 관한 연구에서 Driver Network Structure를 이용하여 운전자의 시공간적인 움직임을 정형화하고, 운전자의 운영에 포함되는 모든 비용을 최소화 하기위해 운행경로와 관련된 운전자와 버스의 움직임에 대한 제약조건들과 결과자료 작성을 위한 칼럼 생성을 가속화 할 수 있는 함수가 포함되어 있는 운전자 기반 모형(Crew Based Model)에 적용하였다. Driver Network Structure 상에서 실제운행구조와 비슷하게 각 노드와 포인트별 간격과 비용에 대한 수치자료를 작성하고, 그 것을 위의 함수에 적용하여 구간에 따라 요구되는 정류장 수, 승무원의 수, 버스의 수 그에 따른 비용 등을 최적화하였다.

Richard Freling et al.(1999)은 네덜란드 로테르담 RET 버스회사의 스케줄링을 토대로 차량 및 운전자 스케줄링의 통합을 위한 모형과 기술에 관한 연구를 통해 관리자의 입장에서 차량과 운전자의 스케줄링을 통합하기 위한 필요성을 찾고 잠재적 수요를 높이기 위한 방법을 찾으려고 했다. 전통적인 스케줄링 방법으로써 차량과 운전자를 각각 따로 계획한 것에 대해 다른 해석적 측면을 고찰한 것이다. 이전에는 운전자가 차량에서 독립되기 전에 연속적 접근으로 차량계획을 세웠다. 이 때 차량의 스케줄링은 SDVSP(The single depot vehicle scheduling problem), 운전자의 스케줄링은 CSP(Crew Scheduling Problem)을 사용 하였는데, 고정된 차량수를 가지고 정해진 두 지점사이를 몇 가지 다른

길로 운영해보는 방법을 연속 시행 하고 이를 통해 최소비용을 찾는 것이다. 이를 보다 효율적인 관리를 위해, 각각 계획된 차량과 운전자 스케줄링을 통합한다. 이 통합 과정으로 VCSP(The vehicle and crew scheduling problem)를 이용하고 있다. 이는 차량과 운전자의 스케줄링을 연속적으로 합한 값과 각각 독립적으로 구한 값을 비교하여 통합의 필요성을 도출하고 잠재적 이익을 찾을 수 있게 하기 때문에 효율적인 스케줄링 방법을 제시하였다.

Maged Dessouky, Randolph Hall(2000)은 환승센터에서의 동시환승을 위한 도착차량과 출발차량간의 연계를 위하여 환승 대기시간의 최소화를 목적으로 연구를 수행하였으며, 본 연구에서는 차량의 위치를 파악하여 도착시간을 예측하고 동시환승이 가능하도록 모형을 설계하였다. 위치추적기술을 통하여 차량의 위치를 실시간으로 파악하고 환승센터에서 도착차량의 시간을 예측하여 도착시간에 대한 확률분포를 이용하여 차량의 연계가능성을 파악한다. 확률분포를 통해 총 8가지의 시나리오를 설정하여 각각의 시나리오에 대한 평가를 수행하여 최적의 모형을 구축하였다.

Steven I-Jy Chien(2005)는 Feeder Service Design Problem(FSDP)에 관한 연구로 버스와 철도와의 연계를 고려하여 대중교통이용의 활성화하고자 하는 목적으로 연구를 수행하였으며, 철도와 지선버스를 환승지점에서 연계를 고려하였다. 본 연구에서는 총 교통비용은 이용자 비용과 운영비용의 합으로 나타내었으며, 이용자 비용은 환승승객의 접근비용과 대기비용, 버스이용비용의 합으로 나타내었다. 운영비용은 시간당 비용으로 계산하여 유지비용, 인건비, 보험료, 관리비용의 합으로 산출되어 전체 비용의 합이 최소화되는 값의 버스 배차간격을 설정하는 모형을 구축하였다.

2.1.2 국내 연구

국내에서도 최적 배차간격 설정을 위한 많은 연구가 이루어 졌는데 정영삼, 고승영(1997)은 가변적인 도로교통량에 민감하게 영향을 받는 서울시 버스 운행시간을 정류장 수, 운행거리, 총 탑승인원, 출발 시간대, 요일 등의 설명변수로 하여 그 실태를 분석하였고, 버스 운행비용과 승객 대기시간 비용 및 통행시간 비용의 합으로 총 교통비용을 최소화 하는 요일별/출발시간대별 버스 배차간격과 필요 운행대수의 해석적인 해를 제시하였다. 본 연구에서는 버스운행비용, 승객대기시간비용 및 승객통행시간비용의 합으로 구성된 총 교통비용을 최소화 하는 모형을 기본으로 하여 개선된 모형을 개발하였다.

고종섭 등(1999)은 대중교통 실시간 차량 스케줄 모형 개발에서는 첨단 대중교통 시스템의 하나인 차량위치파악(AVL : Automatic Vehicle Location) 기술을 활용하여 실시간으로 차량의 운행 상태를 파악하고 이를 바탕으로 실시간으로 배차계획을 관리하여 보다 효율적인 차량관리를 할 수 있는 사전차량운행 스케줄 방법과 실시간 스케줄링 모형을 개발하였다.

고종섭과 고승영(1999)은 실시간 버스 스케줄링 알고리즘 개발에서는 하루의 운행 특성이 동일한 시간대로 분할하고, 각 시간대에 속한 운행들을 선입선출법으로 연결시켜 최적의 부분 순환로를 구하고, 부분 순환로로 구성된 네트워크로

부터 하루 전체 시간에 대한 최적의 버스 스케줄을 구하는 방법인 시간 분할에 의한 단계적 스케줄링 방법을 이용하였다. 실시간 버스 스케줄 조정은 지연운행버스를 실시간으로 파악하고, 버스 스케줄의 조정여부를 판단하며, 버스 스케줄 조정이 필요할 경우 실시간으로 버스의 기점출발시간을 조정하는 것이다. 따라서 기존의 논문에서는 버스운행시간표의 작성 기준이 되는 기준 운행 시간 설정 방법과 지연운행버스의 조기 검출 알고리즘, 스케줄 조정 여부의 판단 기준 및 실시간 버스 스케줄 조정 방법을 제시하였다.

본 연구에서는 위의 기본적인 버스 배차간격 설정을 위한 총 교통비용 설정 모형을 바탕으로 타 교통수단과의 연계를 위한 알고리즘 개발을 수행하고자 한다.

2.2 수단간 연계를 위한 배차간격 설정모형 개발

교통 수단간 연계를 고려한 최적 배차간격 설정 모형 개발을 위하여 국외의 Steven I-Jy Chien et al.(2005)과 정영삼과 고승영(2000) 연구에서 적용한 버스운행비용, 승객 대기시간비용, 승객 통행시간비용의 합인 총교통비용을 최소화하는 방안을 적용하며, 승객 대기시간비용에 환승승객의 대기시간을 적용하여 총교통비용 모형을 구축하였다.

$$TC = C_O + C_W + C_{pt} \quad (1)$$

여기서, TC = 총 교통비용

C_O = 버스운행 비용

C_W = 전체승객의 대기시간 비용

C_{pt} = 승객 통행시간 비용

본 연구에서 교통수단간 연계를 위하여 아래와 같은 일반적인 가정을 설정하였다.

- ① 열차의 도착시간은 고정되어 있으며 정시에 도착한다.
- ② 버스의 운행시작 시간은 고정되어 있으며, 버스가 출발지에서 출발하여 환승역에 도착할 때까지의 통행시간은 일정한 것으로 가정하였다(지연시간 배제).

2.2.1 버스운영비용

버스운행비용은 고승영이 제시한 모형(정영삼과 고승영, 2000)을 바탕으로 설정하였으며, 운행차량대수와 대당 차량운행비용의 곱으로 표현할 수 있다. 여기서 차량운행대수는 1회 운행시간을 배차간격으로 나누어 구할 수 있고, 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$C_0 = \text{차량대수} \times \text{대당 차량운행비} \\ = N \times C_{op} = \frac{D}{v \times h} \times C_{op} = \frac{t}{h} \times C_{op} \quad (2)$$

여기서, C_0 = 버스운행비용(원/시)

- N = 차량대수(대)
- C_{op} = 대당 차량운행비용(원/시대)
- D = 노선길이(km)
- v = 운행속도(km/h)
- t = 운행시간(시)
- h = 배차간격(시대)

2.2.2 승객 대기시간 비용

버스를 타기위한 승객의 대기시간은 일반이용자의 대기시간과 열차에서 버스로 환승을 하고자 하는 승객의 대기시간으로 표현할 수 있다.

$$C_W = C_{LW} + C_{TW} \quad (3)$$

여기서, C_W = 전체 승객의 대기시간 비용(원/시)

C_{LW} = 일반승객의 대기시간 비용(원/시)

C_{TW} = 환승승객의 대기시간 비용(원/시)

일반이용자와 환승승객의 대기시간은 다음과 같다.

2.2.2.1 일반이용자 대기시간

일반 이용자의 대기시간은 승객의 대기시간 비용과 탑승승객의 수요와 승객의 평균대기시간의 곱으로 표현이 가능하며, 승객의 평균 대기시간은 버스 배차간격의 1/2로 표현할 수 있다(정영삼과 고승영, 2000).

따라서 일반승객의 대기시간비용을 수식화 하면 다음과 같다(정영삼과 고승영, 2000; Steven I-Jy Chien et al., 2005).

$$C_{LW} = \left(Q_L \times \frac{h}{2} \right) \mu \quad (4)$$

여기서, C_{LW} = 승객의 대기시간비용(원/시)

• μ = 승객의 대기시간카치(원/시-인)

• Q_L = 노선당 총 탑승객수(인/시)

• h = 배차간격(시)

2.2.2.2 환승승객 대기시간

환승승객의 대기시간은 환승승객의 수요와 대기시간 비용, 승객의 평균대기시간의 곱으로 표현되며, 승객의 평균대기시간은 열차와 버스의 도착시간에 영향을 받게 된다. 따라서 환승승객의 대기시간은 “버스도착시간 - (열차도착시간 + 승객 접근시간)”으로 표현된다. 즉, 환승승객의 대기시간은 환승승객이 환승지점에 도착 후 버스가 도착하는 시간의 차이를 환승승객 대기시간으로 표현 할 수 있으며, 이를 수식화 하면 다음과 같이 표현된다.

$$\text{환승승객 대기시간} = \left(t_{sb} + \frac{L_s}{V_b} + (n \times h) \right) - \left(t_{at} + \frac{L_{ac}}{V_u} \right) \quad (5)$$

여기서, t_{sb} = 버스운영 시작시간(시)

V_b = 버스 평균 속도(km/h)

L_s = 환승센터까지의 거리(km)

n = 연계되는 버스의 운행 횟수(회)

h = 배차간격(시)

t_{at} = 열차 도착시간(시)

V_u = 승객의 평균이동 속도(km/h)

L_{ac} = 승객의 평균 이동 거리(km)

따라서 환승승객의 대기시간가치는 다음과 같이 표현이 가능하다.

$$C_{TW} = Q_T \times \sum_{i=1}^n \left[\left(t_{sb} + \frac{L_s}{V_b} + (n \times h) \right) - \left(t_{at} + \frac{L_{ac}}{V_u} \right) \right] \times \mu \quad (6)$$

여기서, Q_T = 환승승객의 수요(인시)
 n = 열차 도착 대수

C_{op} = 해당차량 운영비용(원시 - 대)
 Q_L = 환승승객을 제외한 정류장 승객 수(명)
 Q_T = 환승 승객 수(명)

2.2.2.3 승객 통행시간 비용

승객의 대기시간은 노선 상의 총 탑승객수와 승객의 평균 통행시간의 곱으로 표현할 수 있고, 승객의 통행시간비용은 여기에 승객 1인당 통행시간가치를 곱하여 나타낼 수 있다. 승객의 평균통행시간은 승객 1인당 평균탑승거리를 버스의 평균통행속도로 나누어 구할 수 있고, 버스의 평균통행속도는 다시 해당노선의 운행거리를 운행시간으로 나누어 표현할 수 있다. 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다(정영삼과 고승영, 2000).

$$C_{pt} = C_t \times Q \times \frac{d}{v} = C_t \times Q \times d \times \frac{t}{D} \quad (7)$$

- 여기서, • C_{pt} = 승객의 통행시간비용(원/시)
 • C_t = 승객의 통행시간가치(원/시-인)
 • Q = 노선상 총 탑승객수(인시)
 • d = 승객의 평균탑승거리(km)
 • t = 운행시간(시)
 • v = 통행속도(km/시)
 • D = 운행거리(km)

따라서 최종적으로 산출된 교통수단간 연계를 고려한 최적 배차간격의 산출은 전체교통비용의 합을 최소화하는 배차간격을 구한다.

본 연구에서 산출된 총 교통비용모형에서 배차간격을 구할 때 적용되는 제약조건은 최소 배차간격은 버스운영자 측면에서 최소한의 이윤을 남길 수 있는 배차간격으로 설정되어야 하며, 최대 배차간격은 승객의 수요를 만족시킬 수 있는 배차간격으로 최대값이 설정되어야 한다. 제약조건을 수식화하면 다음과 같다.

$$h_m \leq h \leq h_M \quad (8)$$

$$h_m = \frac{t}{h} \times C_{op}, \quad h_M = \frac{\rho}{Q_L + Q_T} \quad (9)$$

- 여기서, h = 배차간격
 h_m = 최소 배차간격
 h_M = 최대 배차간격
 ρ = 차량용량

3. 모형의 적용

3.1 모형 적용 방안

개발된 알고리즘의 실제 적용을 위하여 광명에서 운영 중인 버스노선을 대상으로 출발지가 광명역인 버스와 배차간격이 비교적 긴 노선을 선택하여 모형에 적용하였다. 노선 선정 결과 6014번 노선을 대상으로 모형을 적용하였으며, 배차간격은 침두시 15분, 비침두시 20분 간격으로 운행 중인 것으로 조사되었으며, 본 연구에서 적용된 노선은 침두시(7시~9시, 18시~20시)에는 15분 간격으로 버스가 운영되며, 그 외 시간에는 20분 간격으로 운행하는 것으로 설정하여 버스운영 시간표를 작성하였다. 적용 노선은 그림 1과 같다.

개발된 알고리즘의 타당성을 검증하기 위하여 총 4가지의 시나리오를 설정하여 검증을 수행하였으며, 하루 탑승승객의 수요와 환승승객의 수요를 변화시켜서 검증을 수행하였다.

먼저 모형의 입력값은 KTX 상행선이 광명역에 도착하는 KTX 도착 시간표와 각 시나리오별 승객의 수요를 입력값으로 설정하여 결과값을 도출하였다. 입력값의 형태는 분을 시간으로 환산하여 입력하였으며 입력결과는 표 1과 같다.

본 연구의 타당성을 검증하기 위하여 승객의 수요에 따라 4가지의 시나리오를 설정하여, 각각의 시나리오별로 각 시간

표 1. 광명역 KTX 도착시간(상행선 기준)

시간	KTX 도착시간	시간	KTX 도착시간	시간	KTX 도착시간
7시	7.07	12시	12.2	18시	18.23
	7.63		12.63		18.75
	7.73		13.38	19시	19.42
8시	8.33	13시	13.73	20시	20.03
	8.77		13.93		20.62
9시	9.23	14시	14.63	21시	21.3
	9.58	15시	15.7		21.72
10시	10.2	16시	16.1	22시	22.4
	10.98		16.57		
11시	11.6	17시	17.25		
			17.83		
			21.72		



그림 1. 6401번 노선도 및 특성

노선 특징	값
노선길이(L)	60km
운행 차량 대수	10대
배차간격	침두시 : 15분, 비침두시 : 20분
첫차, 막차 운영시간	5시, 23시
최소배차간격	12분 이상 운영 가능

표 2. 시나리오 별 승객수

시간	시나리오 1		시나리오 2		시나리오 3		시나리오 4	
	일반승객 수요(명)	환승승객 수요(명)	일반승객 수요(명)	환승승객 수요(명)	일반승객 수요(명)	환승승객 수요(명)	일반승객 수요(명)	환승승객 수요(명)
7	30	21	9	44	15	18	4	22
8	20	21	4	76	10	14	2	38
9	24	42	6	83	14	17	3	42
10	56	34	4	65	12	17	2	33
11	18	38	6	43	9	18	3	21
12	32	28	8	46	8	14	4	19
13	48	34	6	53	12	10	3	27
14	22	26	4	51	11	13	2	22
15	14	31	3	45	7	14	2	24
16	26	38	4	43	13	20	2	20
17	28	45	6	52	14	18	3	22
18	30	43	8	72	15	26	4	24
19	15	48	3	84	7	27	2	28
20	36	47	4	65	18	31	2	32
21	28	33	6	38	24	25	3	26
22	20	24	5	54	14	15	5	54
합계	447	553	86	914	203	297	46	454
전체 합계	1,000		1,000		500		500	

대별 배차간격을 산정하였다. 또한, 현행 배차간격과 개발된 모형을 통해 산정된 배차간격으로 운행 시 일반승객과 환승 승객의 대기시간, 버스운영비용을 각각 산정하여 비교분석을 시행하였다. 구분된 시나리오는 다음과 같다.

- 시나리오 1: 전체 승객이 많으며(1,000명) 환승승객의 수요 또한 많은 경우
- 시나리오 2: 전체 승객이 많으며(1,000명) 환승승객의 수요는 적은 경우
- 시나리오 3: 전체 승객이 적으며(500명) 환승승객의 수요가 많은 경우
- 시나리오 4: 전체 승객이 적으며(500명) 환승승객 수요 또한 적은 경우

3.2 모형적용 결과

모형적용 결과를 분석하기 위하여 개선된 모형에서 산출된 배차간격과, 현행 배차간격으로 운행 시 발생하는 일반승객과 환승승객의 대기시간, 버스운영비용을 산출하여 비교분석하였다. 또한, 개선된 모형의 경우 각 시나리오 별로 도출된 결과값을 각각 분석하여 결과를 제시하였다.

먼저, 시나리오별 모형적용 결과 산출된 배차간격은 승객의 수요와 KTX의 도착시간에 따라 유동적으로 변하는 것으로 나타났으며 최소 15분에서 최대 35.4분 범위 내에서 산출되었다. 각 시나리오별 산출된 배차간격은 표 4와 같다.

3.2.1 일반승객 대기시간 변화 결과

일반승객 측면에서 현행 배차간격과 개선된 배차간격으로 운행 시 평균대기시간을 산출하여 각 시나리오별 비교를 통해 모형을 검증하였다. 전체 승객의 비율이 높은 경우, 환승

표 3. 시나리오 별 모형적용 결과

시간	현행 배차간격	시나리오 1 배차간격	시나리오 2 배차간격	시나리오 3 배차간격	시나리오 4 배차간격
7	20	19.2	19.2	19.2	19.2
8	15	21	12.6	35.4	21
9	15	16.2	13.2	19.8	16.2
10	20	21	16.2	21	21
11	20	18.6	17.4	21	21.6
12	20	20.4	21	31.8	29.4
13	20	11.4	16.2	20.4	21
14	20	20.4	19.2	32.4	32.4
15	20	21.6	16.2	32.4	21.6
16	20	25.8	25.8	25.8	25.8
17	20	15	15	20.4	25.2
18	15	13.8	13.8	24.6	27.6
19	15	20.4	13.8	20.4	21
20	20	18	18	18	17.4
21	20	22.2	21.6	21.6	24.6
22	20	19.8	20.4	20.4	20.4

승객이 많을 경우에는 현행과 비슷한 대기시간을 가지며, 일반승객이 많을 경우에는 대기시간이 줄어드는 것으로 조사되었다. 또한, 전체 승객의 비율이 낮은 경우에는 버스의 배차간격이 넓어져서 전체 승객의 대기시간은 다소 늘어났으며, 승객의 수요가 작기 때문에 운영비용을 줄이기 위해 나타난 결과로 판단된다. 시나리오별 일반 승객의 대기시간은 표 4와 같다.

3.2.2 환승승객 대기시간 변화 결과

환승승객 측면에서 개선된 배차간격으로 운영 시 일반승객 측면에서의 환승승객이 KTX에서 내린 후 버스 정류장에서 버스가 오기까지의 평균대기시간을 산출하여 각 시나리오별 비교를 통해 모형을 검증하였다.

각 시간대별 일반승객의 대기시간을 그래프로 표현하여 결과를 비교했으며, 그 결과는 그림 2와 같다.

환승승객의 대기시간을 조사한 결과 환승승객의 수요가 높을수록 환승승객의 대기시간이 확연히 줄어드는 경향을 보였다. 또한, 환승승객의 비율과 상관없이 현행 운영 시 대기시간보다 개발 모형을 적용 시 승객의 대기시간이 줄어드는 결과를 나타내어 알고리즘의 효과가 높은 것으로 나타났다.

3.2.3 운영자 측면 변화 결과

운영자 측면에서의 알고리즘 효율성을 판단하기 위하여 하루동안 운영되는 버스의 대수를 통해 효율성을 검증하였다. 각 시나리오별로 필요한 운영 대수를 비교한 결과는 표 3과 같다.

모형 적용 결과 전체 수요가 높으면 승객의 대기시간 비용이 높으므로 버스의 추가 운영이 필요하지만, 승객 수요가 낮아지게 되면 버스 운영 횟수를 줄이게 되므로 승객 수요에 맞는 탄력적인 운영이 가능 한 것으로 도출 되었다.

3.3 종합결론 분석

각 시나리오별 일반승객의 대기시간과 환승승객의 대기시간, 버스 운영횟수를 종합적으로 정리하여 비교분석하였다.

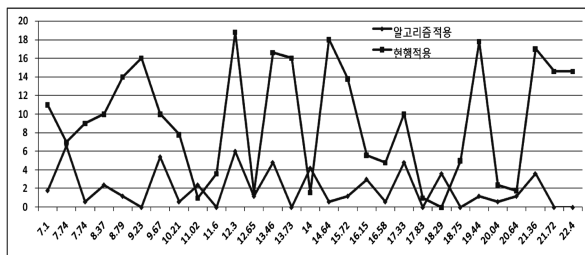
분석된 결과는 하루전체를 기준으로 하여 결과를 정리하였다.

비교분석 결과 개발된 모형에 각 상황 별 승객수요의 변화에 따른 승객의 대기시간과 버스운영 측면에서의 비교분석 결과 일반 승객의 대기시간은 승객의 수요에 따라 변화가 있으나, 큰 변화는 나타나지 않았으며, 환승승객의 경우 확연히 승객의 대기시간이 줄어드는 결과가 도출되었다. 또한, 버스 운영자 입장에서 승객의 변화에 따라 유동적으로 운영을 다르게 하여 승객의 수요가 작은 시간대에서는 효과를 나타내는 것으로 조사되었다.

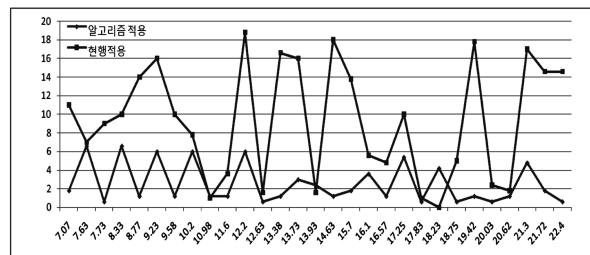
4. 결론 및 향후연구과제

본 연구는 기존에 개발되어 있는 버스배차간격 설정모형을 환승승객의 대기시간을 반영하여 환승 지점을 경유하는 버스의 배차간격을 산정하여 환승승객의 대기시간을 최소화하며, 일반승객의 대기시간 또한 고려되어 이용자의 만족도를 최적화하는 것을 목적으로 연구를 수행하였다. 본 연구에서 적용되는 노선은 버스의 출발지가 환승지점 부근이며, 환승승객의 수요가 높고, 배차간격이 긴 노선을 대상으로 적용하였다.

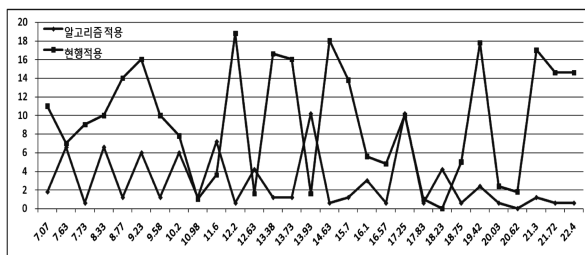
모형 적용 결과 기존의 배차시간표대로 운영 시 환승승객의 대기시간은 270분 정도인 것으로 조사되었으나, 개발된 모형을 적용하여 산출된 배차간격대로 운영 시 승객 수요에 따라 유동적으로 대기시간이 변하게 되나 최대 82분에서 최소 58분으로 대기시간이 확연히 줄어들어 모형의 효과가 높은 것으로 조사되었다.



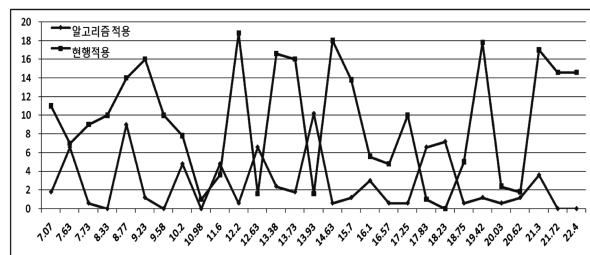
전체승객, 환승승객 비율이 높은 경우



전체승객 비율 높고, 환승승객 비율 낮은 경우



전체승객, 환승승객 비율이 낮은 경우



전체승객 비율이 낮고, 환승승객 비율이 높은 경우

그림 2. 환승승객 대기시간 비교 결과

표 4. 시나리오 별 결과분석

시나리오	일반승객대기시간		환승승객대기시간		버스운영횟수	
	개선모형	현행	개선모형	현행	개선모형	현행
전체승객, 환승승객 비율이 높은 경우	152.4분	150분	58분	270분	57대	57대
전체승객 비율 높고, 환승승객 비율 낮은 경우	139.8분		74분		61대	
전체승객, 환승승객 비율이 낮은 경우	182.7분		82분		46대	
전체승객 비율 낮으며, 환승승객 비율 높은 경우	192.3분		77분		48대	

따라서 본 연구는 환승승객의 대기시간을 단축하여, 환승하고자 하는 이용자의 만족도를 향상시켜 대중교통의 이용률을 증가시킬 수 있는 방안이 될 것이라 사료된다.

본 연구에서는 환승센터에서 출발하는 버스를 대상으로 모형을 적용시켰으나 향후 환승센터를 경유하는 노선에 적용 가능한 모형으로 확대하여야 할 것이며, 열차의 사고나 지연과 같은 이벤트 상황 발생 시 이를 반영하여 대응할 수 있는 리스케줄링 기법이 개발되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 교통체계효율화사업의 연구비지원(과제번호 06 교통핵심 A02-02)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

고종섭(1999) 대중교통 실시간 차량 스케줄링 연구, 명지대학교.
고승영(2000) 실시간 버스 스케줄링 알고리즘 개발, 명지대학교.
배상훈, 김탁영, 류병용(2007) 이용자 만족도를 반영한 최적 버스 배차간격 설정 모형의 개발, 한국ITS학회 논문지, 한국

ITS학회, 제6권 제3호.
정영삼(1997) 버스 운행시간 분석 및 최적 배차간격 모형 개발, 명지대학교 대학원 논문집 : 공학계열, 제1집, pp. 509~516
Fobes, M.A. (1991) An exact algorithm for multiple depot bus scheduling, *Mathematics Department, The University of Queensland, Brisbane, Qld 4072, Australia.*
Knut Haase (2001) Simultaneous vehicle and crew scheduling in urban mass transit systems, *Transportation Science 2001 INFORMS*, Vol. 35, No. 3, pp. 286-303.
Maged Dessouky, Randolph Hall (2000) *Bus Dispatching at Timed Transfer Transit Stations using Bus Tracking Technology*, Transportation Research Part C.
Randall Rine (1998) *Transit Cooperative Research Program 30, Transit Scheduling : Basic and Advanced Manuals*, National Academy Press Washington, D.C..
Richard Feling (1999) *An Overview of Model and Techniques for Integrating Vehicle and Crew Scheduling*, Econometric Institute, Erasmus University Rotterdam, The Netherlands.
Steven I-Jy Chien (2005) *Optimization of Headway, Vehicle Size and Route Choice for Minimum Cost Feeder Service*, Transportation Planning and Technology.

(접수일: 2008.8.22/심사일: 2008.9.30/심사완료일: 2008.10.6)