

이용자 만족도를 반영한 최적 버스 배차 간격 설정 모형의 개발*

Improvement of Optimal Bus Scheduling Model Reflecting Bus Passenger's Degree of Satisfaction

배상훈* 김탁영** 류병용**
(Sang-Hoon Bae) (Tag-Young Kim) (Byung-Yong Ryu)

요 약

본 연구의 목적은 현행 버스 배차 간격 설정 시스템의 문제점을 제시하고, 이용자의 만족도와 버스 회사의 운영 효율성을 동시에 높일 수 있도록 이용자 만족도를 반영한 최적의 버스 배차 간격 설정 모형의 개발에 있다. 본 연구에서는 기존의 버스 운영비용, 승객 대기시간 비용 및 승객 통행시간 비용의 합으로 총 교통비용을 최소화 하는 기존 모형에 이용자 만족도를 반영하여 최적 버스 배차 간격 설정 모형을 개발하였다. 본 연구는 최적 배차 간격 설정을 위해 선형계획법을 사용하였고, 이를 위해 선형계획법을 기반한 LINGO 프로그램을 사용하였다. 또한 부산의 일반 사례를 총 교통비용을 최소화 하는 기존의 모형 및 현행 버스 배차간격 설정 시스템과 개발한 모형에 각각 적용하여 총 교통비용의 차이를 비교하였다.

Abstract

The purpose of this study is to understand problem of present bus scheduling system and to develop optimal bus scheduling model which improve bus passenger's degree of satisfaction(DOS) and bus company's operation efficiency at the same time. This study developed optimal bus scheduling model, which reflected bus passenger's degree of satisfaction(DOS), applied to existing model that summery of bus operation cost(C_o), passenger queuing time cost(C_{pw}) and passenger travel time cost(C_{pt}). And optimal bus scheduling model which developed in this study is optimized that using LINGO program based on linear program. Also by using the general case in Busan, compare total cost of present bus scheduling system and existing scheduling model with total cost of optimal bus scheduling model which reflected bus passenger's degree of satisfaction(DOS).

Key Word : Passenger's degree of satisfaction, headway, total cost, optimal bus scheduling model

본 연구는 건설교통부 국가교통핵심기술개발사업의 연구비지원(과제번호06교통핵심 A02)에 의해 수행되었습니다.

* 주저자 : 부경대학교 위성정보과학과 교수

** 공저자 : 부경대학교 위성정보과학과 ITS 연구실 연구원

† 논문접수일 : 2007년 11월 27일

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

시내버스는 모든 시민을 대상으로 하며, 고정된 노선을 통해 일정 시간동안 일정 수준의 서비스를 제공하는 공공의 교통수단이다. 이러한 시내버스의 운영에 있어서 가장 중요한 요소로 인식되는 것 중 하나가 배차간격이다. 배차간격은 버스 회사의 운영 뿐만 아니라 이용자의 대기시간 및 수단 선택 등에 영향을 미친다.

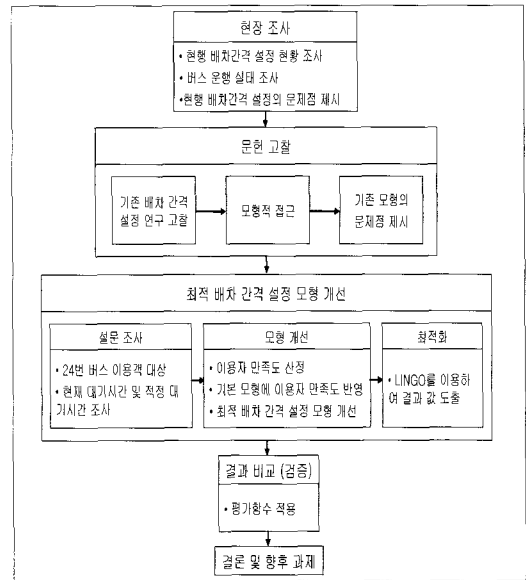
버스 배차간격은 승객들을 효율적으로 수송하기 위한 버스운행계획으로서 버스회사의 운영효율성과 밀접한 연관을 가지는 요소이다. 효율적인 배차간격 설정은 차량의 운행비용 절감 및 버스정류장에서 버스 이용자들의 대기시간을 단축시키는 효과가 있다. 국내의 버스회사들은 시에서 내려오는 배차표에 따라 배차간격을 설정하려고 하나 도로사정에 따라 경험적으로 운영하고 있다. 즉, 체계적인 배차간격 설정 시스템의 부재로 인해 총 운행가능 버스 대수, 구간 주행 시간 등을 토대로 경험적으로 산출하여 운영하고 있는 실정이다.

또한, 기존의 최적 배차 간격 설정을 위한 연구에서는 버스 운영자 입장에서의 비용만 산정하여 배차간격을 설정하는 방법을 주로 사용해왔다. 하지만 버스 이용자가 서비스를 받는데 있어서 얼마나 만족을 하는가에 대한 이용자 만족도에 관한 부분은 배제하고 있다.

그러므로 비용을 지불하고 버스를 이용하는 이용자들의 요구를 반영하면서 버스 운영자 측면에서도 효율적으로 버스를 운영 할 수 있도록 하는 버스배차간격 설정이 필요하다.

따라서 본 논문의 목적은 현행 버스배차간격 설정 방법에 있어서의 문제점을 파악하여 버스 이용객들의 만족도와 버스회사의 운행 효율성을 동시에 높일 수 있도록 하는 최적배차간격 설정 모형의 개발이다.

2. 연구 수행절차



<그림 1> 연구수행 흐름도
<Fig. 1> Flow Chart of Research

II. 이론적 고찰

1. 기존 연구

국외에서 M.A. Forbes 외 2인(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 [1].

Knut Haase 외 2인(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 있

는 함수가 포함되어 있는 운전자 기반 모형(Crew Based Model)에 적용하였다. Driver Network Structure 상에서 실제 운행구조와 비슷하게 각 노드와 포인트별 간격과 비용에 대한 수치자료를 작성하고, 그것을 위의 함수에 적용하여 구간에 따라 요구되는 정류장 수, 승무원의 수, 버스의 수 그에 따른 비용 등을 최적화하였다 [2].

Richard Freling 외 2인(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 차량 수를 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 [3].

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, 출발시간대, 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 운행대

수의 해석적인 해를 제시하였다. 여기서 총 교통비용의 기본 모형을 구축하였는데 그 기본 식은 다음과 같다.

$$TC = C_0 + C_{pw} + C_{pl} \quad (1)$$

- 여기서, • TC = 총 교통비용
 • C_0 = 버스운행비용
 • C_{pw} = 승객대기시간비용
 • C_{pl} = 승객통행시간비용

1) 버스운행비용

버스운행비용은 운행차량대수와 대당 차량운행비용의 곱으로 표현할 수 있다. 여기서 차량운행대수는 1회 운행시간을 배차간격으로 나누어 구할 수 있고, 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$C_0 = \text{차량대수} \times \text{대당 차량운행비} = N \times C_{op} \quad (2)$$

$$= \frac{D}{v \cdot h} \cdot C_{op} = \frac{t}{h} \cdot C_{op}$$

- 여기서, • C_0 = 버스운행비용 (원/시)
 • N = 차량대수 (대)
 • C_{op} = 대당 차량운행비용 (원/시-대)
 • D = 노선길이 (km)
 • v = 운행속도 (km/h)
 • t = 운행시간 (시)
 • h = 배차간격 (시/대)

2) 승객의 대기시간비용

승객의 대기시간비용은 승객의 시간 당 대기시간 가치와 노선 당 총 탑승객 수 및 승객의 평균 대기시간의 곱으로 표현할 수 있다. 여기서 승객의 도착분포가 정규분포를 따른다고 보고 버스의 배차간격이 20분미만의 정시성을 유지한다고 가정하면, 승객의 평균 대기시간은 버스 배차간격의 1/2로 표현할 수 있다. 따라서 대기시간비용을 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$C_{pw} = C_w \times Q \times \frac{h}{2} \quad (3)$$

- 여기서, • C_{pw} = 승객의 대기시간비용 (원/시)
 • C_w = 승객의 대기시간가치 (원/시-인)
 • Q = 노선당 총 탑승객수 (인/시)
 • h = 배차간격 (시)

3) 승객의 통행시간비용

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.

$$C_{pt} = C_t \times Q \times \frac{d}{v} = C_t \times Q \times d \times \frac{t}{D} \quad (4)$$

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

4) 총 교통비용

이와 같이 버스운행비용, 승객대기시간비용 및 승객통행시간비용의 합으로 구성된 총 교통비용은 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

$$TC = \frac{t \cdot C_{op}}{h} + \frac{C_w \cdot Q \cdot h}{2} + \frac{C_t \cdot Q \cdot d \cdot t}{D} \quad (5)$$

- 여기서, \bullet t = 운행시간
 \bullet C_{op} = 차량운행비용
 \bullet h = 배차시간
 \bullet C_w = 승객의 대기시간가치
 \bullet Q = 총 탑승객수
 \bullet C_t = 승객의 통행시간가치
 \bullet d = 승객의 평균 탑승거리
 \bullet D = 운행거리

본 연구에서는 버스운행비용, 승객대기시간비용 및 승객통행시간비용의 합으로 구성된 총 교통비용을 최소화 하는 모형을 기본으로 하여 개선된 모형을 개발하였다 [4-6].

고종섭 외 2인(1999)은 대중교통 실시간 차량 스케줄 모형 개발에서는 첨단 대중교통 시스템의 하나인 차량위치파악(AVL : Automatic Vehicle Location) 기술을 활용하여 실시간으로 차량의 운행 상태를 파악하

고 이를 바탕으로 실시간으로 배차계획을 관리하여 보다 효율적인 차량관리를 할 수 있는 사전차량운행 스케줄 방법과 실시간 스케줄링 모형을 개발하였다 [5].

고종섭, 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 네트워크로부터 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 [6].

이 외에도 버스 스케줄링에 관한 많은 연구가 수행되었는데, 국내의 논문에서 주로 버스운행비용과 승객대기시간 비용 및 통행시간 비용의 합으로 나타나는 총 교통비용을 최소화 하는 방법을 사용하였다. 따라서 본 연구에서도 같은 방법을 기본 모형으로 선정하여 개선 모형을 개발하고자 한다.

III. 설문 조사

1. 설문 조사

기존의 연구에서 일반적으로 사용하는 모형에서는 버스 운영에 관한 비용만을 이용하여 최적 버스 배차 간격을 설정한다. 본 연구의 목적이 버스 이용객들의 만족도와 버스회사의 운행 효율성을 동시에 높일 수 있도록 하는 최적배차간격 설정 모델의 개발이므로 이용자 만족도를 고려할 수 있도록 기존의 모형을 개선하고자 한다. 따라서 이용자 만족도를 산정하기 위해 설문조사가 필요하였다.

먼저 버스 이용자 만족도 조사를 위해 설문 문항

을 성별, 연령대, 버스 이용 횟수, 이용 목적, 주이용 시간대로 구분한 버스 이용실태 조사 항목과 버스 이용 시 현재의 대기시간, 적절하다고 생각 되는 대기시간, BIS 정확도 등으로 구분한 서비스 만족도 조사 항목으로 구분하여 설정하였다.

설문 조사의 대상은 24번 버스를 이용하는 승객을 대상으로 버스 정류장 및 버스 이용 승객이 많을 것으로 생각되는 대학교 및 중심가에서 실시하였다.

2. 설문 조사 결과 분석

버스 이용자 현황 및 만족도 설문조사를 통해 다음과 현재의 대기시간과 이용자들 입장에서 가장 적절하다고 생각하는 적정 대기시간을 구할 수 있었다.

설문 조사를 통한 버스 이용자의 현재 대기시간과 적정 대기시간은 다음과 같다.

<표 1> 현재 대기시간
<Table 1> The Existing Queuing Time

현재대기시간	응답자수	구성비(%)
5분 이하	15	7
5~10분	123	56
10~15분	63	29
15~20분	13	6
20분 이상	5	2
기타	0	0
합계	219	100

<표 2> 적정 대기시간
<Table 2> The appropriateness Queuing Time

적정대기시간	응답자수	구성비(%)
5분 이하	123	56
5~10분	90	41
10~15분	3	1.5
15~20분	1	0.5
20분 이상	2	1
기타	0	0
합계	219	100

이용자 만족도 설문조사를 분석한 결과 현재 버스를 타기 위해 기다리는 시간은 5~10분이 가장 많았으며, 10~15분이 그 다음으로 많았다. 응답자 중 85%가 버스를 타기 위해 5분~15분 정도 기다리는 것으로 볼 수 있다.

반면 버스를 타기 위해 기다릴 때 적절하다고 생각하는 시간은 5분 이하가 가장 많았고, 5~10분이 그 다음으로 많았다. 응답자 중 97%가 버스를 타기 위해 10분 이하의 시간은 기다리는 데 적절하다고 생각한다.

IV. 최적 배차간격 설정모형 개발

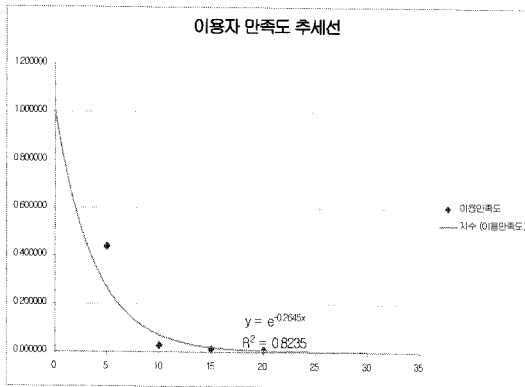
1. 이용자 만족도 산정

앞서 언급한 것처럼 기존의 배차 간격 설정 모형은 이용자 측면을 고려하지 않고 있다. 따라서 버스 이용객들의 만족도와 버스회사의 운행 효율성을 동시에 높이기 위해 기존의 최적 배차 간격 설정 모형에 이용자 만족도를 반영하여 모형을 개선하고자 한다. 이에 따라 기존 모형에 적용하기 위해 설문조사에서 나타난 누적 응답자 수를 이용하여 이용자 만족도를 산정하였다.

설문 조사에 따른 누적 응답자 수는 다음과 같다.

<표 3> 이용자 만족도 누적 응답 수
<Table 3> The Degree of Satisfaction accumulation response

대기 시간	누적 응답수(2)	누적 비율	만족수	만족도	불만족수	불만족 정도
5	219	1.000	219	100		0
10	96	0.438	96	44	123	56
15	6	0.027	6	3	213	97
20	3	0.013	3	1	216	99
25	2	0.009	2	1	217	99
			0	0	219	100



<그림 4> 이용자 만족도 추세선
<Fig. 4> The Degree of Satisfaction's Trend Line

<표 3> 의 이용자 만족도 누적 응답 비율이 전체의 응답 수에 대한 해당 대기 시간의 만족 수의 비율이기 때문에 누적 비율이 이용자 만족도이다.

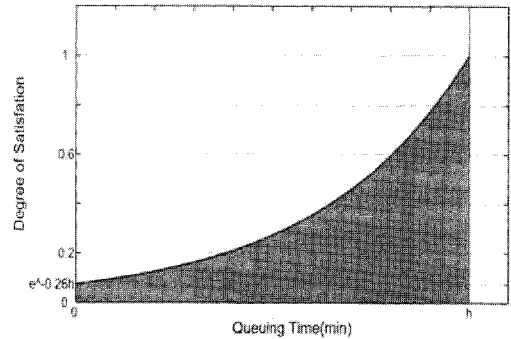
이용자 만족도를 추세선으로 나타내면 다음과 같다.

추세선은 나열된 데이터 집합에서 거리의 제공이 최소가 되는 직선 혹은 곡선이다. 추세선을 결정하는 식은 여러 가지가 있지만 본 연구에서는 계산이 비교적 간단한 지수 함수로 설정하였다. $R^2 = 1.0$ 이면 데이터가 완전히 추세선의 경향과 일치하는 것이다. <그림 4>에서는 $R^2 = 0.8235$ 이므로 데이터가 비교적 추세선과 비슷한 것으로 볼 수 있다. 즉, 설문 조사 데이터가 추세선에서 경향처럼 설문 조사 결과가 나타나는 이용자 만족도는 시간이 지날수록 만족도는 급격하게 떨어지는 경향을 보인다는 것이다.

2. 모형 개선

승객의 대기시간 비용은 대기승객 만족도에 반비례한다고 가정했을 때, 정류장에서 버스가 출발한 직후부터 다음 버스가 도착할 때까지 아주 많은 승객이 연속적으로 정류장에 도착한다면 전체 대기 승객의 만족도의 총 합은 y 절편이 $e^{-0.26h}$ 인 지수 함수 그래프의 면적으로 나타낼 수 있다.

대기 승객의 만족도를 나타내는 그래프는 다음과



<그림 5> 대기승객 만족도
<Fig. 5> Queuing Passenger Degree of Satisfaction

같다.

승객이 정류장에 h 시간 동안 연속적으로 도착하였기 때문에 평균 대기 승객 만족도(Degree Of Satisfaction: DOS)는 그래프의 면적(S)을 h 로 나눈 값이다. 따라서 평균 대기 승객 만족도(DOS) = $\frac{S}{h}$ 로 나타낼 수 있다.

여기서 그래프의 면적(S)은 <그림 4>에서 0에서 h 시간까지의 면적과 같으므로

$$S = \int_0^h e^{-0.26t} dt \quad (6)$$

로 나타낼 수 있으며, 위의 식을 풀면,

$$S = \int_0^h e^{-0.26t} dt = \frac{1 - e^{-0.26h}}{0.26} \quad (7)$$

이므로

$$DOS = \frac{S}{h} = \frac{1 - e^{-0.26h}}{0.26h} \quad (8)$$

평균 대기 승객 만족도는 식 (8)으로 표현 할 수 있다.

앞서 승객의 대기시간 비용은 대기승객의 만족도에 반비례한다고 가정하였기 때문에 평균 대기 승객 만족도 비용 (Degree Of Satisfaction Cost : DOSC)은 $\frac{1}{DOS}$ 이므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$DOSC = \frac{0.26h}{1 - e^{-0.26h}} \quad (9)$$

식 (9)을 기존 배차 간격 설정 모형에서 승객 대기 시간 비용(C_{pw})에 대입을 하면,

$$C_{pw} = C_w \times \frac{0.26(60 \times h)}{1 - e^{-0.26(60 \times h)}} \times Q \times \frac{h}{2} \quad (10)$$

$$= C_w \times \frac{0.13(60 \times h) \times h}{1 - e^{-0.26(60 \times h)}} \times Q$$

여기서, C_{pw} = 승객대기시간비용
 C_w = 승객의 대기시간가치
 Q = 총 탑승객수
 h = 배차간격(시)

로 나타난다. 여기서 기존의 식에서는 h 를 시간 단위로 계산을 하였고, 이용자 만족도에서는 h 를 분 단위로 계산하였기 때문에 단위환산을 위해 60을 곱해주었다.

최종적으로 기존의 배차 간격 설정 모형

$$TC = \frac{t \cdot C_{op}}{h} + \frac{C_w \cdot Q \cdot h}{2} + \frac{C_i \cdot Q \cdot d \cdot t}{D} \quad (11)$$

여기서, t = 운행시간
 C_{op} = 차량운행비용
 h = 배차시간
 C_w = 승객의 대기시간가치
 Q = 총 탑승객수
 C_i = 승객의 통행시간가치
 d = 승객의 평균 탑승거리
 D = 운행거리

에 대입을 하면,

$$TC = C_0 + C_w \times \frac{0.13(60 \times h) \times h}{1 - e^{-0.26(60 \times h)}} \times Q + C_{pl} \quad (12)$$

$$= \frac{t \times C_{op}}{h} + C_w \times \frac{0.13(60 \times h) \times h}{1 - e^{-0.26(60 \times h)}} \times Q + \frac{C_i \times Q \times d \times t}{D}$$

로 정리할 수 있다.

본 연구에서 기존의 배차 간격 설정 모형에 이용자 만족도 측면을 반영한 개선 식은 다음과 같다.

$$TC = \frac{t \times C_{op}}{h} + C_w \times \frac{0.13(60 \times h) \times h}{1 - e^{-0.26(60 \times h)}} \times Q \quad (13)$$

$$+ \frac{C_i \times Q \times d \times t}{D}$$

여기서, t = 운행시간
 C_{op} = 차량운행비용
 h = 배차시간
 C_w = 승객의 대기시간가치
 Q = 총 탑승객수
 C_i = 승객의 통행시간가치
 d = 승객의 평균 탑승거리
 D = 운행거리

3. 모형의 적용

1) 일반 사례 입력력

본 연구에서는 부산시에서 실제 운행되고 있는 시내버스 노선을 선정하여 개발된 모형을 실제 사례에 적용하였다. 실제 자료는 24번 시내버스를 대상으로 한 현장조사 및 공표 자료를 사용하였다. 일반 사례 입력자료는 다음과 같다.

2) 버스 왕복 운행 시간

모형에 입력할 버스 왕복 운행 시간은 현장조사를 통해 수집된 자료를 이용하였다. 수집된 버스 왕복 운행 시간표는 다음과 같다.

<표 4> 일반 사례 입력자료
 <Table 4> The General Case Input Data

입력자료	값
노선길이(L)	22km
승객의 평균 탑승거리	4.15km/인
승객의 대기시간 가치	2,734원/시
승객의 통행시간 가치	1,823원/시
운행차량 비용	12,811.71원/시-대
대기차량 비용	3,676.58원/시-대

자료 : 시내버스 개혁 종합대책(1997.7, 서울특별시)
 버스크기에 관한 해석적연구(1996.12, 장성진)

<표 5> 버스 노선 왕복 운행 시간표

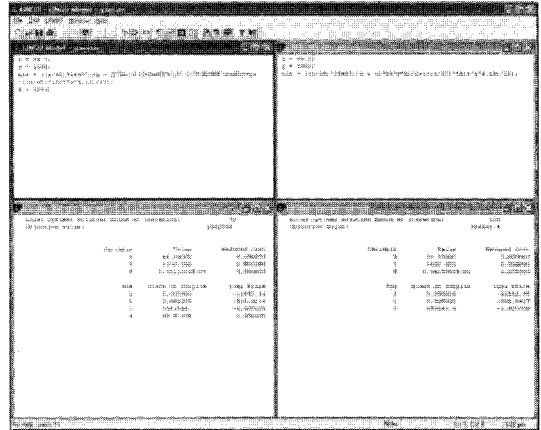
<Table 5> The Time Table of Bus Line Round Trip

구분	노선왕복운행시간(분)
7~8시	66.3
8~9시	70.8
9~10시	65.4
11~12시	56.6
12~13시	60.3
13~14시	58.5
14~15시	62.7
17~18시	79.4
18~19시	81.5
19~20시	78.6

<표 6> 시간당 총 승객 수

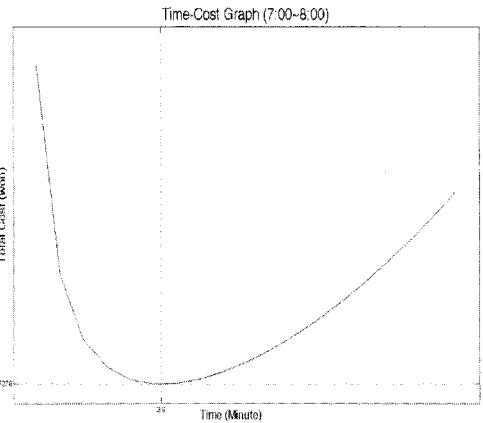
<Table 6> The Total Passenger Per Hour

구분	총 승객수(명)
7~8시	1,500
8~9시	1,717
9~10시	1,149
11~12시	793
12~13시	732
13~14시	872
14~15시	994
17~18시	1,636
18~19시	1,852
19~20시	1,512



<그림 6> LINGO 프로그램 실행 화면

<Fig. 6> The Screen of LINGO Program Performance



<그림 7> LINGO 최적화 결과 검증

<Fig. 7> The Evaluation of LINGO Optimization Result

3) 시간당 총 승객 수

모형의 입력변수인 시간당 총 승객 수는 부산시 교통정보광장에서 제공하는 노선별 시간당 총 승객 수를 이용하였고, 총 승객 수는 다음과 같다 [7].

4) LINGO 프로그램 적용

앞서 설명한 선형 계획법을 근거로 하는 최적화 Tool인 LINGO 프로그램을 이용하여 개선 모형을 최적화하였다.

LINGO 프로그램 실행 화면은 다음과 같다.

LINGO 프로그램에 적용하여 산출된 값이 <그림 7>에서 나타난 것과 같이 최소의 비용을 가지므로 최적 배차 간격이 된다.

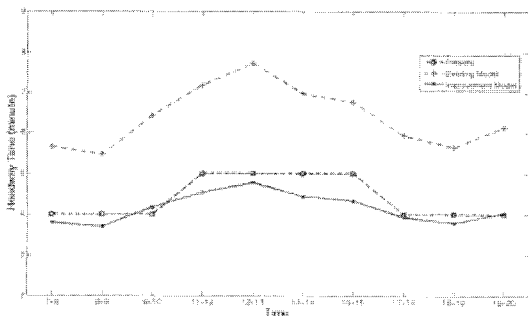
5) 최적 버스 배차 간격

LINGO 프로그램을 통해 모형을 최적화 시킨 값이 최적 버스 배차 간격 이다. 일반 사례 입력 자료를 입력하여 최적 배차 간격을 구한 결과는 다음과 같다 [7].

<표 7> 시간대별 최적 버스 배차 간격
<Table 7> The Optimal Bus Scheduling Per Time slot

운행시간(분)	승객수(명)	구분	배차시간(분)		
			현행	기존모형	개선모형
66.3	1,500	7~8시	4	5.7	3.8
70.8	1,717	8~9시	4	5.5	3.7
65.4	1,149	9~10시	4	6.4	4.2
56.6	793	11~12시	5	7.2	4.5
60.3	732	12~13시	5	7.7	4.8
58.5	872	13~14시	5	7.0	4.4
62.7	994	14~15시	5	6.8	4.3
79.4	1,636	17~18시	4	5.9	3.9
81.5	1,852	18~19시	4	5.6	3.8
78.6	1,512	19~20시	4	6.1	4.0

24번 버스의 일반 사례 자료를 입력하여 구한 최적 배차 간격은 이용자 만족도를 반영한 개선 모형에서 최소 3.8분에서 최대 4.8분으로 나타났고, 기존 모형에서는 5.5분에서 7.7분까지 나타났다. 본 연구에서 사용한 일반 사례 자료에서는 현행 배차시간이 4분에서 5분으로 아주 짧기 때문에 개선된 모형에서 도출된 최적 배차 간격의 차이가 크게 나타나지 않았다. 그러나 기존의 모형과 개선된 모형을 비교해보면 비교적 개선된 값을 보이는 것으로 나타났다.



<그림 8> 최적 버스배차 간격

<Fig. 8> The Graph of Optimal Bus Scheduling

<표 8> 시간대별 필요한 운행차량대수
<Table 8> The Number of Needed Operation Vehicle Per Time Slot

구분	필요운행차량대수(대기차량대수)		
	현행	기존모형	개선모형
7~8시	17(4)	12(9)	17(4)
8~9시	18(3)	13(8)	19(2)
9~10시	16(5)	10(11)	16(5)
11~12시	11(10)	8(13)	12(9)
12~13시	12(9)	8(13)	13(8)
13~14시	12(9)	8(13)	13(8)
14~15시	13(8)	9(12)	14(7)
17~18시	20(1)	13(8)	20(1)
18~19시	20(1)	15(6)	21(0)
19~20시	20(1)	13(8)	19(2)

LINGO 프로그램을 통해 산출된 결과 값을 그래프로 나타내면 <그림 8>과 같다.

또한 도출된 최적 버스 배차 간격을 통해서 시간대별 필요한 운행버스대수 및 대기버스대수를 구할 수 있다. 필요한 운행버스대수는 다음의 식으로 구할 수 있다.

$$N = \frac{t}{h} \quad (14)$$

- 여기서, • N = 필요한 운행대수(대)
 • t = 노선왕복운행시간(분)
 • h = 배차간격(분)

따라서 산출된 배차 간격을 통한 시간대별 필요한 운행버스대수는 다음과 같다.

6) 모형 검증

본 연구에서는 현행 배차 간격 설정 시스템 및 기존 모형과 개선 모형의 검증을 위하여 버스 운영 총비용과 승객대기시간 비용을 고려한 평가함수를 적용하였다. 검증을 위한 평가함수는 다음과 같다.

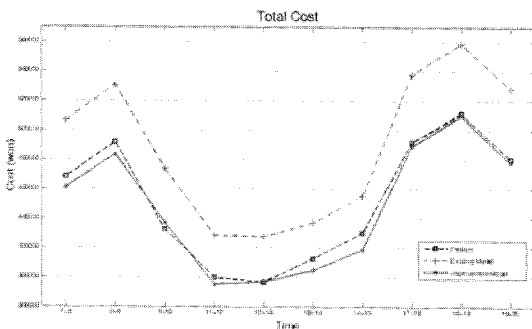
$$(C_{of} + C_{ov}) \times N + ((N_{\max} - N) \times C_{of}) + (C_{pw} \times Q \times \frac{h}{2}) \quad (15)$$

- 여기서, • C_{of} = 대기차량비용(원/시-대)
 • C_{ov} = 운행차량비용(원/시-대)
 • C_{pw} = 승객대기시간비용(원/시-인)
 • N_{max} = 총 보유차량대수(대)
 • N = 운행차량대수(대)
 • Q = 승객대기시간(분)
 • h = 배차간격(분)

24번 시내버스의 일반 사례 입력 자료를 평가함수에 적용하여 총 교통비용을 산출하였다. 시간대별 총 교통비용은 다음과 같다.

<표 9> 총 교통비용
 <Table 9> The Total Cost

구분	총 교통비용(원)		
	현행	기존모형	개선모형
7~8시	468247.77	506442.56	461179.13
8~9시	491700.28	530529.94	483441.53
9~10시	432583.39	473819.03	437031.22
11~12시	399824.21	428303.24	395070.11
12~13시	396551.87	427222.32	396512.98
13~14시	412500.20	436883.89	404878.68
14~15시	430074.62	455140.40	418617.51
17~18시	491671.64	537734.08	489024.34
18~19시	511356.44	558628.58	509717.48
19~20시	480371.11	528125.34	477773.89
총교통비용의 합	4514881.5	4882829.3	4473246.8



<그림 9> 총 교통비용
 <Fig. 9> The Total Cost

평가 함수를 적용하여 구한 총 교통비용을 비교해보면 8~9시를 제외하고는 거의 모든 시간대에 있어서 이용자 만족도를 반영한 개선 모형에서 가장 적은 비용이 드는 것으로 나타났다. 일반 사례를 입력하여 총 교통비용을 산정한 결과 현행 시스템에서의 총 교통비용은 4,514,881.54원이 소요되고, 기존의 모형에서는 4,882,829.38원, 그리고 개선 모형에서는 4,473,246.87원이 소요되는 것으로 나타났다. 개선 모형에서의 총 교통비용이 현행 시스템보다 41,634.67원이 절감되고, 기존의 모형보다 409,582.51원 절감되는 것으로 나타났다. 본 연구에서 적용한 일반 사례에서 현행 24번 시내버스의 배차간격이 아주 짧기 때문에 현행 시스템과 개선 모형과의 차이는 크게 나지는 않지만 기존 모형에 비해서는 눈에 띄게 비용의 감소가 있는 것으로 나타났다.

V. 결 론

본 연구는 현행되고 있는 버스 배차 간격 설정 시스템과 기존의 버스 배차 간격 설정 모형의 문제점을 개선하여 버스 이용객들의 만족도와 버스회사의 운행 효율성을 동시에 높일 수 있도록 하는 이용자 만족도를 반영한 최적 배차 간격 설정 모형의 개발을 위해 진행되었다.

현장조사를 통해 나타난 현행 버스 배차 간격 설정 시스템의 문제점은 체계적인 배차간격 설정 시스템의 부재로 인해 총 운행가능 버스 대수, 구간 주행 시간 등을 토대로 경험적으로 산출하여 운영하고 있다는 점이다. 그리고 총 교통비용을 최소화시켜 최적의 배차 간격을 찾는 기존의 버스 배차 간격 설정 모형에서는 운영적인 측면만을 반영하고 있어 이용자 측면을 반영할 필요가 있었다.

버스 이용객들의 만족도와 버스회사의 운행 효율성을 동시에 높일 수 있도록 기존의 총 교통비용을 최소화하는 모형에 이용자 만족도를 반영하여 개선된 모형을 개발하였다. 설문조사를 통해 나타난 이용자의 현재 대기시간 및 희망 대기시간을 통해 이용자 만족도를 산정하였고, 기존 모형의 수식 중 승

객 대기시간 비용에 추가하여 이용자 만족도를 반영한 최적 배차 간격 설정 모형을 개발하였다. 이렇게 개발된 모형을 선형 계획법에 근거한 최적화 프로그램인 LINGO를 이용하여 최적화시켰다. LINGO 프로그램 적용 시 부산시에서 운행되는 24번 시내버스를 대상으로 일반 사례를 입력하였고, 그 결과 배차 간격은 최소 3.7분에서 최대 4.8분으로 나타났다. 일반 사례를 입력하여 총 교통비용을 산정한 결과 개선 모형에서의 총 교통비용이 현행 시스템보다 41634.67원이 절감되고, 기존의 모형보다 409582.51원 절감되는 것으로 나타났다. 24번 시내버스의 노선이 짧고, 현행 배차간격이 짧아 시간적으로는 큰 차이가 나지 않지만 총 교통비용을 산정하였을 때 가장 최소의 비용이 소요되는 것으로 나타났다. 따라서 개선된 최적 배차 간격 설정 모형을 이용하여 산출되는 배차 간격이 최적 배차 간격이라 할 수 있다.

본 연구에서는 총 교통비용을 최소로 하는 최적 배차 간격을 찾는 기존의 모형에 이용자 만족도까지 반영하여 총 교통비용을 최소화 하는 모형의 개발을 목적으로 연구를 진행하였다.

결과의 정확성을 높이기 위해서는 설문 조사 표본의 수가 많아야 하지만 시간, 비용, 인력 등의 한계로 인해 많은 표본의 수를 확보하지 못한 점이 본 논문의 한계점이다. 또한 본 연구는 탑승객 수에 따른 수익 및 버스 한대 당 하루 소요비용 등의 실제 버스 운영에 관련이 있는 다양한 변수를 고려하지 않고, 이용자 만족도 반영에만 국한되어 진행하였으므로 추가적인 변수 적용을 통한 모형 개선 연구가 필요하다.

또한 본 연구에서는 배차 간격이 짧은 24번 시내버스 노선의 일반 사례를 이용하였기 때문에 현행의 배차 간격 설정 시스템과의 차이가 뚜렷하게 나타나지 않았다. 따라서 배차 간격이 비교적 긴 시내버스 노선이나 시외버스의 일반 사례를 적용해 볼 필요가 있다.

그리고 도시 내에서는 여러 가지 대중교통 수단이 존재하고 있으므로 이용자 편의적인 측면에서 다른 교통수단과의 환승 연계에 관한 부분도 고려한 배차

간격 설정에 관한 연구가 필요하다.

마지막으로 본 연구에서 고려한 버스이용자의 요구(Needs)가 ‘너무 많이’ 반영되면 즉, 버스배차간격이 너무 좁아지면 버스운행 비용이 크게 늘어나서 운영적자가 커지게 된다. 따라서 추후의 연구에서는 ‘차내 혼잡도’를 고려하고 또, ‘시간대별 버스이용자의 시간가치가 다름’을 반영하여 보다 현실에 적합한 모형의 개발이 필요한 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] M. A Fobes, "An exact algorithm for multiple depot bus scheduling", *European J. Operational Research*, vol. 72, no. 1, pp. 115 - 124, Jan. 1991.
- [2] K. Haase, "Simultaneous vehicle and crew scheduling in urban mass transit systems," *Transportation Science*, vol. 35, no. 3, pp. 286 - 303, Aug. 2001.
- [3] R. Feling, "An overview of model and techniques for integrating vehicle and crew scheduling," *Computer-Aided Scheduling of Public Transport*, pp. 441 - 460, Jan. 1999.
- [4] 정영삼, "버스 운행시간 분석 및 최적 배차간격 모형 개발," *명지대학교 대학원 논문집*, 공학계열 제1집, pp. 509 - 516, 1997. 12.
- [5] 고종섭, "대중교통 실시간 차량 스케줄링 연구," *J. the Reseach Institute of Industrial Technology*, 명지대학교, vol. 18, pp. 181 - 186, 1999.
- [6] 고종섭, *실시간 버스 스케줄링 알고리즘 개발*, 명지대학교 박사학위 논문, pp. 1 - 109, 1999.
- [7] 부산광역시 교통정보 광장 (<http://traffic.busan.go.kr>)

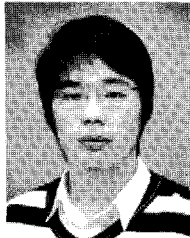
저자소개



배 상 훈 (Bae, Sanghoon)
1995년 : 미국 Virginia Tech. 박사과정 수료
2002년 : 한국교통연구원 ITS 팀장
현 재 : 부경대학교 부교수(위성정보과학과)



김 탁 영 (Kim, Tagyoung)
2008년 : 부경대학교 학사과정 수료예정(위성정보과학전공)
2008년 : 부경대학교 대학원 석사과정 입학예정



류 병 용 (Ryu, Byungyong)
2007년 : 부경대학교 학사과정 수료(위성정보과학전공)
2007년 : 부경대학교 대학원 석사과정