

운행시간 및 수요 기반 버스 최적배차간격 산정에 관한 연구

김수정* · 신용은**

Kim, Sujeong*, Shin, Yong Eun**

Optimal Headways of Urban Bus Services, Reflecting Actual Cycle Time and Demand

ABSTRACT

This study attempts to construct a model of optimal headway, focusing on a practical applicability to bus transit operation. Examining the existing bus operation and scheduling plans imposed by Busan City, we found that the plans failed to reasonably take into account such realities as varying traffic and operational conditions. The model is thus developed to derive the hourly optimal headway by routes satisfying the real-world conditions: varying hourly demand and cycle time, applying the model to routes 10 and 27 as examples. To do so, we collect big-dataset generated by smart card system and BIMS (Bus Information Management System). It is expected that the results of this study will be a basis for further refined research in this field as well as for preparing practical timetables for bus operation.

Key words : Optimal headway, Bus transit, Operating time, Passenger loading, Smart card, BIMS

초록

본 연구는 현실 적용성을 고려한 버스 최적 배차간격 모형 구축을 통해 현실적 운행계획 작성에 기여하고자 한다. 부산시가 제시한 시내버스 운행계획의 적정성 검토를 통해, 배차간격 및 운행시간이 현실적 여건을 고려하지 않고 계획되어 있음을 파악하였다. 이에 실제 도로 여건과 운행환경을 고려한 운행시간 제약조건과 해당 노선의 수요 충족을 위한 시간대별 배차간격 도출 모형을 구축하였고 부산시 10번과 27번 노선을 사례로 모형의 적용성을 검증하였다. 본 연구는 교통카드 및 BIMS (Bus Information Management System)가 제공하는 방대한 자료(Big-Data)로부터 필요 정보를 추출하였으며, 그 과정에서 분석에 필요한 자료와 정보 추출 과정도 요약 제시하였다. 본 연구의 결과는 현실적 운행계획 작성과 향후 보다 정밀한 여건을 고려한 연구에 기여할 것으로 기대한다.

검색어 : 최적 배차간격, 시내버스, 운행시간, 재차인원, 교통카드, BIMS

1. 서론

특정 노선의 연속된 대중교통 차량 간 차두간격을 의미하는 배차간격(혹은 운행시격)은 노선의 시간 계획(Service Scheduling) 작성에 최우선적으로 필요한 운행 요소이자, 이용자의 서비스 수준과 운영자의 운행비용을 결정하는 핵심 운행 요소로 작용하고 있다. 이와 같은 사유로 최적 배차간격 도출은 오랫동안 대중교통 분야의 관심사가 되어왔으며, 주어진 혹은 제한된 정보를 기반으로 이론적인 측면에서 최적 배차간격의 도출을 위한 상당한 노력이 진행되어왔다. 이론적 연구는 주로 이용자와 운영자 측면의 일부 혹은 전부의 최적화와 같은 단순한 목표나, 주어진 여건 혹은 기타 자원을 추가하여 다기준 최적화에 초점을 두어왔다. 그러나 현실적으로 적용되는 배차간격은 특정 기준에 의해 결정되기보다는 정책적 의도, 제한된 자원과 운행환경 등과 같은 현실적 여건의 상관관계에 의해 결정

* 동의대학교 도시공학과 석사과정 (Dong-eui University · ksjkim1067@hanmail.net)

** 정회원 · 교신저자 · 동의대학교 도시공학과 정교수 (Corresponding Author · Dong-eui University · yshin@deu.ac.kr)

Received December 8, 2017/ revised December 11, 2017/ accepted December 18, 2017

되는 경우가 대부분이다.

부산시 시내버스의 경우 제한된 자원, 고정된 차량 대수, 도로 여건 및 운행환경 불확실성 등과 같은 제약조건 하에서 승객 수요 및 노조 요구조건 등을 동시에 고려하여 각 노선의 배차간격을 포함한 운행계획이 결정된다. 특히, 노선별 배차간격의 함수인 일 운행횟수는 준공영제 계약에 의해 지원 규모를 결정하는 요소이기 때문에 제시된 배차간격의 적정성 여부는 주요한 관심 사안이라 할 수 있다.

Vuchic(2005)은 노선계획의 최우선 과제는 노선 수요에 대응하여 충분한 용량을 제공함에 있다고 지적하고, 이용수요 충족을 전제로 배차간격이 도출되어야 한다고 주장한다. 또한, 배차간격을 노선 운행시간과 투입 차량 대수와 함수 관계로 설명하고 있다. 다수의 이론적 연구가 수요와 운행시간의 가변성을 고려하여 시간대로 분할된 승객 도착 분포 및 운행속도를 파악하여 최적 배차간격이 결정되어야 한다고 제시하고 있다. 그러나 대부분의 경우 자료 및 정보의 한계와 현실적 제약으로 인해 수요와 운행시간의 제한적인 변화만을 고려하여 배차간격을 도출하여 시간 계획을 수립하고 있다. 예를 들면, 부산시의 경우 주중 첨두와 비첨두, 토요일 및 일요일로만 구분하여 배차 계획을 수립하고 있기 때문에, 운행여건 및 수요와 상치되는 배차간격으로 운행되는 다수의 노선으로 인해 이용자 불편을 초래할 뿐 아니라 열악한 운전 환경으로 인한 계획 준수에 어려움을 겪고있다.

본 연구는 현실 적용성에 초점을 두고 시내버스 운행시간과 수요에 기반을 둔 최적 배차간격 도출 방법론을 제시하고자 한다. 현실 적용성 제고를 위해 시간대별 노선별 도출 알고리즘을 개발하였으며, 알고리즘에 적용될 현실적 변수값 파악을 위한 자료 및 분석 방법을 제시하였다. 파악된 변수값을 통해 부산시 시내버스를 사례로 한 시내버스 운행계획에 대한 적정성 검토와 도출된 방법론을 검증할 시도하였다. 수집된 자료는 교통카드 및 BIMS (Bus Information Management System)가 제공하는 방대한 자료이며, 자료분석을 통해 적정성 검토와 도출된 알고리즘 검증을 위한 필요정보를 추출하였다. 즉, 현실 여건에 부합하는 각 노선의 시간대별 이용 수요와 시간대별 운행시간 정보를 도출하여 적정성을 검토하고 검증을 시도하였다. 본 연구의 결과는 회차별 알고리즘 도출 등 보다 정밀한 연구를 위한 선행 연구로서 또한 교통 Big-Data의 활용을 위한 유용한 사례가 될 것으로 기대한다.

2. 선행연구 고찰

최적 배차간격 도출 분야는 국내외적으로 광범위한 연구가 진행되어왔다. Rine(1998)은 배차간격의 결정 방법은 수요(Demand-Base) 기반, 성과(Performance-Base) 기반, 그리고 정책(Policy)

의도로 구분할 수 있다고 지적한다. 정책 의도는 정책적 기준에 따라 의도적인 혹은 강제적으로 결정되는 배차간격을 말하며 저수요 지역 운행노선에 지정되는 최소 배차간격을 예로 들 수 있다. 수요기반은 수요 충족, 성과기반은 비용 최소화, 효율성 혹은 수요/수입 극대화와 같은 특정 목적 달성이 배차간격 결정기준이 된다. 대표적인 수요기반 접근법은 Vuchic(2005)의 최대 재차 인원 구간 수요 충족을 위한 최적 배차간격 도출 방법과 Rine(1998)에서 제시한 방법을 들 수 있다. 그 외 대부분 연구는 성과기반 접근법에 초점을 둔 것으로 판단된다.

대표적인 성과기반 국외 연구를 살펴보면 Newell(1971)은 승객 대기시간 최소화를 목적함수로 배차간격을 도출하고자 하였고, Furth and Wilson(1981)은 운행횟수 결정 방법의 현실적 문제와 이론적 문제를 언급하면서 보조급, 운행대수, 정책 최소 배차간격 및 승객 수요를 제약조건으로 승객 수요와 대기시간으로 구성된 사회적 편익의 극대화를 목표로 최적 운행횟수(배차간격) 도출 모형을 제시하였다. Ceder(1981, 2002)는 최대 재차 인원 방법을 활용하여 유럽에서 적용되는 실제 기법을 기반으로 4가지 방정식을 제시하였다.

국내 연구를 살펴보면, 대부분 총 통행비용의 최소화를 목표로 최적 배차간격 도출 알고리즘 도출을 시도하였다(Jeong, 1997; Park, 2007; Kim et al., 2008; Ryu et al., 2009; Im and Jang, 2010). 몇몇 연구를 살펴보면 Park(2007)은 시간대별 승객 수요 변화에 따라 비용을 최소화하는 최적 배차간격도 가변적임을 인지하고 이에 적합한 배차간격 도출 방법을 제시하였고, Im and Jang (2010)은 확률적 통행배정 모형을 활용하여 다수의 노선을 대상으로 최적 배차간격을 도출하였다. Jeon(2015)은 검색체 정의 방법과 적합도를 지니는 유전자 알고리즘을 설계하여 총비용 최소화를 목적으로 최적 운행횟수 및 배차간격 방법론을 제시하였다. 교통카드 및 BMS 자료 활용 연구로는 Lee et al.(2009)이 APTS 자료를 활용하여 운수회사의 배차 관리 수준 평가를 목적으로 수요 탄력적 배차 관리지표를 개발하였고, Park(2015)은 서울 시내버스 교통카드 데이터를 활용하여 노선별 수요를 파악하고 온실가스 배출량 감축과 승객 시간 비용을 포함한 총비용 최소화를 목표로 시간대별 최적 배차간격 도출 모형을 구축하였다.

관련 선행연구를 살펴본 결과 대부분 연구가 승객 수요 및 운행시간 가변성을 인지하고 있으나 총비용 혹은 특정 목적을 최적화하는 배차간격 도출을 시도한 결과 현실 적용성 측면의 고려가 미미한 것으로 파악된다. 따라서 본 연구가 현실적 승객 수요 및 운행시간을 동시에 감안하여 현실 적용성에 초점을 둔 최적 배차간격을 도출한다는 점에서 기존 연구와 차별성이 있다고 할 수 있다.

3. 연구 접근방법

3.1 수요기반 최적배차간격 모형

본 연구는 기본적으로 수요기반 최적 배차간격 모형이 제시하는 알고리즘에 따라 배차간격을 도출한다. 수요기반 배차간격은 노선의 승차 수요를 충족하는 배차간격을 의미하며 일반적으로 Eq. (1)로 표현된다(Vuchic, 2005).

$$h = \frac{60 \cdot \alpha \cdot c_v}{P_{\max}}, \quad h < h_p \quad (1)$$

여기서, h 는 배차간격(분/초), α 는 혼잡도, c_v 는 차량용량(대/시), P_{\max} 는 최대 재차 수요(인/시)를 나타낸다. h_p 는 정책 배차간격으로, 제약조건은 정책적으로 정해진 배차간격 이하로 배차간격이 설정되어야 함을 의미한다. 위 식에 의해 도출된 배차간격(h), 노선의 왕복 운행시간(T_c) 및 투입차량대수(N)간의 관계는 Eq. (2)로 표현된다.

$$N = \left\lceil \frac{T_c}{h} \right\rceil \quad (2)$$

3.2 수집 자료 및 내용

Eqs. (1) and (2)에서 보듯이 수요 충족과 현실적 운행시간을 고려한 배차간격 도출을 위해서는 각 노선별 시간대별 최대 재차 인원과 왕복 운행시간이 파악되어야 한다. 이를 위해 Table 1에 제시된 교통카드 자료와 시내버스 운행관리 시스템(BIMS) 자료를 수집하였으며, 보완자료로 버스 운행 기록 자료, 그리고 분석을 위한 기초 자료로 시내버스 운행계통 표 및 정류장 리스트 등을 수집하였다.

부산시 대중교통 이용자의 94%가 사용하는 교통카드시스템은 대중교통 이용 시 이용자의 카드번호, 통행수단, 거래 날짜 및 시간, 승하차 정류장 및 환승정보 등 다양한 정보를 생성한다. 반면, BIMS는 버스 위치를 추적하여 특정 차량의 출발과 도착시간

위치정보(정류장 및 교차로 포함), 버스관리 정보 등 다양한 정보를 생성한다. 버스 운행기록계(DTG)는 버스에 설치하여 위치정보 및 운행속도 등의 정보를 생성하여 BIMS 정보와 비교 검증이 가능하게 한다. BIMS 정보는 개별차량 이동의 공간적 변화와 분포의 파악을 가능하게 할 뿐 아니라 기점에서의 출발시간과 도착시간의 파악이 가능하여 본 연구 진행 과정에서 활용성이 매우 높았다. 시내버스 노선별 운행계통은 운영자가 준수해야 할 투입 차량 대수, 배차간격(첨두, 비첨두 및 토요일/일요일로 구분), 왕복 운행시간 및 일 운행횟수가 제시되어 있고, 이를 기반으로 배차 시간표를 작성하고 있기 때문에 노선별 현 운행계획의 적정성 검토에 활용하였다.

4. 현황 및 문제점 파악을 위한 운행계획 적정성 분석

4.1 자료 분석

Eq. (2)에 표현되어 있듯이 배차간격은 왕복 운행시간과 투입 차량 대수와 함수관계이기 때문에 주어진 시내버스 운행계획의 적정성은 배차간격과 더불어 왕복 운행시간 및 투입 차량 대수의 적정성도 동시에 검토되어야 한다. 그러나 현실적 여건상 투입 차량 대수는 변수로 가정하기 어렵기 때문에 투입 차량 대수를 제외한 계획 배차간격, 계획 왕복 운행시간 및 계획 운행횟수만을 적정성 검토의 대상으로 간주하였다. 즉, 배차간격, 왕복 운행시간 및 운행횟수의 계획된 수치와 자료분석을 통해 파악된 실제 수치의 비교를 통해 적정성 여부를 파악하였다.

Fig. 1에 수집 자료로부터 실제 배차간격, 실제 운행시간 및 실제 운행횟수의 도출 과정이 제시되어 있다. 도출된 정보의 각 자료에는 차량별 노선별 기점 도착시간 및 출발시간이 중복되어 제시되었고 운행횟수도 운행 및 차량 통계에 중복 제시되어있어 상호 검증도 가능하였다. 실제 배차간격은 각 노선의 연속된 기점 출발 차량의 출발시간 차이로부터 산정하였고, 왕복 운행시간은 각 차량별 기점 출발시간의 차이로부터 구하였고, 차량별 회차별 휴식시간은 왕복 운행시간 중 각 차량의 기점 출발시간과 기점 도착시간의 차이로 파악하였다. 마지막으로, 노선별 일 운행횟수는

Table 1. Data Collected and Contents

Source	Data	Periods
Busan City WEB	- Operation plan for Busan bus routes	2015.11.27&12.27
	- List of bus stops	2015.06.27
Busan Bus Association	- Digital Tachometer Gauge	2015.12.07~12.13
Mybee Co. Ltd.	- Traffic Smart Card	2015.12.07~12.13
Transit Division Busan City	Bus Information Management System - Summary - Records 1 to 5	2015.12.07~12.13

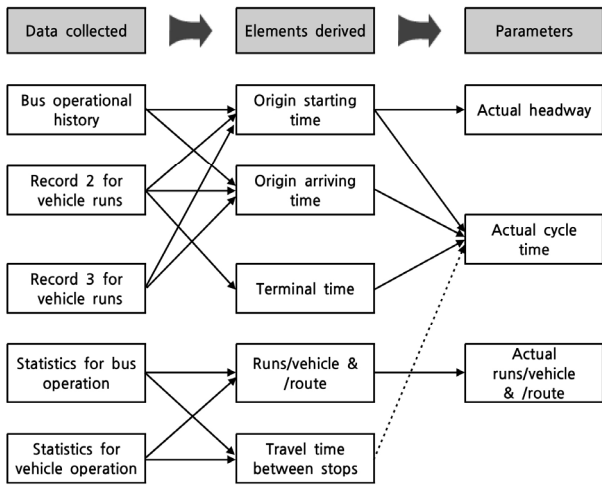


Fig. 1. Actual Values of Optimal Parameters Derived from the Dataset

버스 운행 및 차량 통계 자료로부터 직접 도출하였다.

수집된 자료로부터 노선별 시간대별 평균 배차간격, 평균 왕복 운행시간 및 운행횟수를 도출한 후, 부산시의 시내버스 운행계통에 제시된 노선별 계획 배차간격, 계획 왕복 운행시간 및 일 운행횟수와

비교하여 운행계획의 적정성 검토가 이루어졌다. 이를 위해 각 노선별로 분석 결과를 정리하였으며, 예시로 시내버스 10번 노선의 결과가 Table 2에 제시되어 있다. 10번 노선의 경우 오전, 오후 첨두 시간 모두 계획 배차간격 7분을 초과하여 운행되고 있는 것으로 나타났고, 운행시간은 새벽과 야간 일부 시간을 제외한 모든 시간대는 계획을 준수치 못하는 것으로 나타났다. 그 결과 계획 운행횟수인 137회에 8회 미달되는 129회 운행이 되고 있는 것으로 파악되었다.

4.2 운행계획 적정성 검토

4.2.1 계획 배차간격 vs. 실제 배차간격

계획 배차간격은 첨두 시간대(오전 7~8시)와 비첨두 시간대(오후 4~5시)로 구분하여 제시되어 있고, 토요일과 일요일은 첨두/비첨두 구분 없이 일괄적으로 제시되어 있다. 우선 주중 첨두 및 비첨두 평균값과 주중 5일간 실제 배차간격의 전일 평균값을 노선별로 비교한 결과 전체 140개 노선 중 평일 실제 배차간격이 계획 배차간격을 준수하지 못하는 노선이 110개로 전체의 78.6%로 파악되었으며, 주말(토/일)의 경우도 각각 29개(20.7%) 및 34개(24.2%)만 준수하여 운행되고 있는 것으로 파악되어, 요일에 상관없이 약

Table 2. Route 10: Comparison of Operation : Planned vs. Actual

Origin Start Hours of Day	Avg. headway (min)		Cycle time (min)		Runs/day			
	Planned	Actual	Planned	Actual	Planned	Actual		
4	8	6.82	138	128	137	4		
5	8	6.54		139		8		
6	8	7.18		149		9		
7 (peak)	7	7.89		155		7		
8 (peak)	7	7.95		168		8		
9	8	8.70		166		7		
10	8	8.86		167		6		
11	8	8.84		157		7		
12	8	7.71		150		7		
13	8	7.76		155		8		
14	8	8.63		161		7		
15	8	8.35		163		7		
16 (peak)	7	8.60		171		7		
17 (peak)	7	8.45		175		7		
18	8	10.37		167		6		
19	8	9.64		159		6		
20	8	7.99		129		8		
21	8	8.20		122		7		
22	8	5.09		114		3		
Tot/Avg	7.81	8.10		138		154	137	129

80%에 가까운 노선이 계획 배차간격을 준수하지 못하는 것으로 나타났다.

4.2.2 계획 왕복 운행시간 vs. 실제 왕복시간

실제 일평균 왕복 운행시간과 계획 왕복 운행시간을 비교한 결과, 운행여건이 양호한 새벽 및 야간 시간대가 포함되어 있음에도 불구하고 전체 노선의 29%를 초과하는 41개 노선이 계획 운행시간을 준수하지 못하는 것으로 분석되었고, 주말인 토요일에도 37개 노선이 계획 운행시간을 준수하지 못하는 것으로 파악되었다. 왕복 운행시간 준수 여부의 보다 면밀한 파악을 위해 노선별로 계획 왕복 운행시간의 초과비율(초과 횟수 대비 일 운행횟수)을 계산하였다. 그 결과 1개 노선을 제외한 모든 노선이 적어도 1회 이상 계획을 초과하는 것으로 나타났으며, 평균 초과 비율은 38.4%로 파악되었다. 즉, 100회 운행 시 적어도 38회는 계획된 왕복 운행시간을 준수하지 못하는 것으로 파악되었다.

4.2.3 계획 운행횟수 vs. 실제 운행횟수

계획 운행횟수는 준공영제 하에 재정 지원 규모를 결정하는 주요 운행 요소로서 시내버스 업체로서는 계획 횟수 준수에 초점을 두어야 하는 상황이다. 그럼에도 불구하고, 전체 140개 노선 중 평일 계획 운행횟수를 충족하여 운행되는 노선은 9개로 전체의 6.5%에 지나지 않으며 계획 운행횟수가 상대적으로 적은 토요일과 일요일에도 준수를 100%인 노선이 13개 노선 및 25개 노선에 지나지 않는 것으로 파악되었다. 계획 운행횟수를 준수하지 못하는 주 사유는 비현실적인 계획 왕복 운행시간과 계획 배차간격에 따라 운행되고 있기 때문으로 판단된다. 이로 인해 주어진 계획 준수를 위한 과속운전, 무정차 통과와 같은 상황이 발생하고 있다고 할 수 있다.

5. 운행시간 및 수요기반 최적배차간격 모형

이용 수요를 충족하는 수요기반 시간대별 최적 배차간격 모형을 구축하기 위해 기종점 포함 왕복(즉, 기점부터 기점 직전까지) 총 n개의 정류장을 통과하는 노선을 가정한다. 여기서 운행 시간대 $t(t = 0, 1, \dots, 24)$, 정류장 $i(i = 1 \dots n)$, a 를 하차 승객수, b 를 승차 승객수라 가정하면, $a_i(t)$ 와 $b_i(t)$ 는 시간대 t 의 정류장 i 에서 대상 노선의 하차 승객수와 승차 승객수를 나타낸다. 그러면 정류장 i 와 다음 정류장 $i+1$ 간 시간대 t 의 재차인원, $P_{i,i+1}(t)$ 는 Eq. (3)으로 표현된다.

$$P_{i,i+1}(t) = \sum_{i=1}^n (b_i(t) - a_i(t)), \text{ 단 } \sum_{i=1}^n b_i(t) = \sum_{i=1}^n a_i(t) \quad (3)$$

여기서, 시간대 t 는 투입 차량의 기점 출발시간 기준이 된다. 예를 들면, 6시대 기점 출발 차량이 5대인 경우 5대 차량이 통과하는 모든 정류장의 승차와 하차 이용객 수를 정류장별로 도출하여 재차 인원을 산정하여 이를 6시대의 재차 인원으로 결정한다. 각 시간대별로 왕복 운행 정류장 구간별 재차 인원을 산정하고, 가장 큰 값을 해당 노선 시간대 t 의 최대 재차 인원 $P_{\max}(t)$ 으로 결정한다.

Eq. (1)로부터 시간대 t 의 해당 노선 수요기반 배차간격($h_d(t)$)은 시간대 t 의 최대 재차 인원과 혼잡도 및 차량 용량의 관계식으로 표현할 수 있다.

$$h_d(t) = \frac{60 \cdot \alpha \cdot c_v}{P_{\max}(t)} \quad (4)$$

여기서 혼잡도는 정책적으로 결정될 수 있는 사안이며, 차량 용량은 도시형, 좌석형 등 차량형태에 따라 달라질 수 있다.

운행시간 기반 배차간격($h_c(t)$)은 고정된 투입 차량 대수 N 과 시간대 t 의 도로 여건과 운행 상황이 고려된 최소 왕복 운행시간 $T'_c(t)$ 의 함수식 Eq. (5)로 표현된다.

$$h_c(t) = \frac{T'_c(t)}{N} \quad (5)$$

마지막으로 최적 배차간격($h_{op}(t)$)은 Eqs. (4) and (5)에 계산된 값을 비교하여 도출된다. 즉, 수요기반 배차간격($h_d(t)$)이 운행시간 기반 배차간격($h_c(t)$) 값보다 큰 경우 수요기반 배차간격을 선택하며, 반대의 경우 운행시간 기반 배차간격 값을 선택한다. 이를 식으로 표현하면 Eq. (6)이 된다.

$$h_{op}(t) = \text{Max.}(h_d(t), h_c(t)) \quad (6)$$

선택의 논리는 다음과 같다. 수요 충족을 전제로 하는 수요기반 배차간격이 선택될 시 최소 왕복 운행시간은 더 이상 제약조건이 되지 않기 때문에 수요를 충족하면서 주어진 차량 대수로 운행이 가능하다. 그러나 수요기반 배차간격이 운행시간 기반 배차간격에 비해 짧은 경우 최소 왕복 운행시간과 투입 차량 대수가 모두 운행상의 제약조건이 되어 수요기반 배차간격에 의한 운행은 불가능해진다. 따라서 운행시간 기반 배차간격이 최적 배차간격으로 선택된다. 단, 운행시간 기반 배차간격이 선택되는 경우 수요 충족 조건을 달성할 수 없으며, 수요 충족을 위해서는 차량을 추가 투입하거나 혼잡도를 상향 조정할 수밖에 없음을 인지해야 한다. 또한 일반적으로 시내버스 배차간격이 분 단위로 설정하기 때문에 계산된 배차간격은 모두 정숫값이 되어야 함도 인지하여야 한다.

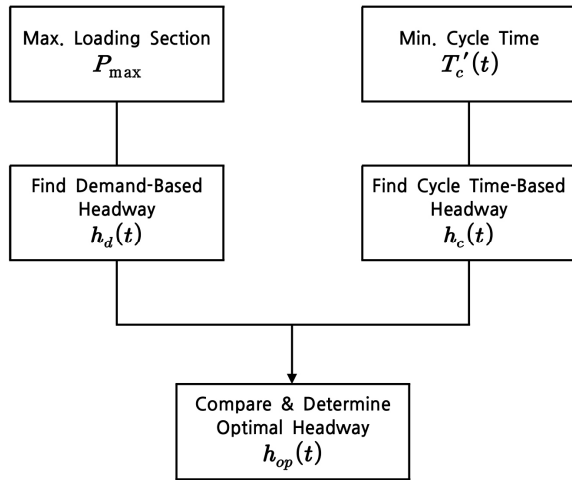


Fig. 2. Process of Model Construction

위 기술된 최적 배차간격 도출 과정이 Fig. 2에 표현되어 있으며 그 과정을 요약하면 다음과 같다.

교통카드 자료로부터 각 노선의 시간대별 최대 재차 인원을 도출하여 Eq. (4)에 따라 수요를 충족하는 시간대별 배차간격을 도출한다. 한편, BIMS 자료로부터 현실적 노선별 시간대별 왕복 운영시간을 도출하여 주어진 차량 대수를 조건으로 Eq. (5)로부터 왕복 운영시간 기준 배차간격을 도출한다. 도출된 두 개의 상호 다른 배차간격 중 큰 값이 최적 배차간격이 되며, 최적값은 각 시간대별로 결정된다.

6. 모형적용 사례

6.1 노선별 최대재차인원 도출

각 시내버스 노선별 시간대별 최대 재차 인원을 파악하기 위해 수집된 부산시 교통카드 자료를 활용하였다. 앞서 언급하였듯이 최대 재차 인원 파악을 위해 각 노선의 시간대별 정류장 승하차 인원을 파악하여야 하나, 카드 정보에 기록된 모든 이용자의 승차 정류장과 달리 환승 통행을 제외하고 하차 정류장 정보가 부재한 통행이 약 70%에 이르기 때문에 하차 정류장 추정이 초점이 되었다. 본 연구에서는 하차 정류장 추정을 위해 알려진 통행 사슬 기법의 기본적인 가정을 적용하였다.

통행사슬 기법은 하차정보가 부재한 교통카드 자료로부터 하차 지점 추정을 위해 광범위하게 적용되고 있는 기법으로 통행에 대한 다양한 가정을 전제로 하고 있으나, 본 연구에서는 연속 통행인 선탑 통행 하차 정류장이 후탑통행 승차 정류장과 가장 인접한 선탑 통행 노선의 정류장이 된다는 가정과 하루 최종 통행의 하차 정류장은 최초 통행 승차 정류장과 가장 인접한 최종 통행 노선의 정류장이 된다는 두 가지 가정을 적용하였다. 통행 사슬 기법 적용

시 추정률은 90%에 이르며, 정확도는 70% 이상인 것으로 보고되고 있다(Alsger, 2016). 추정된 하차 정류장으로부터 통행 방향을 파악하기 위해 정류장 리스트에 제시된 노선별 정류장 순서를 활용하였고, 추정된 값을 기준으로 노선별 정류장 별 승하차 승객수를 산정하였다. 하차지점이 추정되지 않거나 교통카드 자료 중 결측 및 에러 등의 사유로 제외된 통행과 현금 승차자 등을 포함한 전수화된 재차 인원 산정을 위해 부산시 시내버스 운송조합이 제공하는 2015년 6월 노선별 승차 자료와 BIMS의 노선별 승차 자료를 활용하였다. 마지막으로 노선별로 정리된 정류장별 승차자 수와 하차자 수를 시간대별로 정리하여 시간대별 최대 재차 구간 및 인원을 도출하였다. 방대한 자료로 인해 자료 분석 과정에 상당한 시간이 소요되었으며, 자료 정리 및 분석은 Visual-Basic for EXCEL 과 Oracle SQL Developer를 활용하였다.

6.2 노선별 최적배차간격 도출

추출된 최대 재차 인원 정보와 혼잡도를 1.0으로 가정하였고, 시내버스 차량 용량은 도로용량 편람(2013)에 제시된 차내 서비스 수준 B에 해당되는 도시형 버스 31인대, 좌석형 좌석수인 34인대로 가정하여 구축된 모형으로부터 최적 배차간격을 도출하였다. Table 3에 시내버스 10번 노선을 사례로 모형을 적용한 결과가 제시되어 있다.

과도하게 낮은 재차 수요로 인해 도출된 배차간격이 60분이 초과되는 경우는 60분으로 조정하였다. Table 3에 제시되어 있듯이 오전 8시 출발 차량의 최적 배차간격은 수요기반에 비해 운영시간 기반 배차간격이 큰 값으로 나타나 운영시간 기반 배차간격이 선택되었고 나머지 시간대는 모두 수요기반 배차간격이 최적값으로 선택되었다.

Table 4는 시내버스 노선 27번을 사례로 도출된 최적 배차간격에 의한 서비스 수준과 계획 서비스 수준을 비교하였다. 27번 노선은 차량 대수 22대, 침두와 비침두 배차간격 6분과 7분, 왕복 운영시간 137분 및 일 운행횟수 176회로 운행되고 있다. 오전 침두 시간대에는 혼잡도가 극심한 것으로 나타났고, 기타 시간대는 오전 9시 및 오후 6시를 제외하고 양호한 서비스 수준으로 나타났다. 언급하였듯이 운영시간 기반 배차간격 선택 시 서비스 수준 B에 해당되는 수요 충족은 불가능하다. 예를 들면, 오전 7시대 서비스 수준 B를 유지하기 위해서는 28대의 차량이 필요하다. 따라서 22대 이상 투입이 요구되는 시간대는 도출된 최적 배차간격으로는 차량 대수 부족으로 모두 수요 충족이 불가능한 상황이라 할 수 있다. 반면, 수요기반 배차간격이 선택된 시간대는 주어진 22대의 차량으로 최소 왕복 운영시간 내에 계획 서비스 수준의 유지가 가능하다.

Table 3. Route 10: Hourly Demand-based Headway, Cycle time-based Headway and Optimal Headway

Origin Start Hours of Day	P _{max} (prs/h)	Min. Cycle Time (min)	Demand-based h (min)	C-time-based h (min)	Optimal h (min)
4	32	128	58	6	58
5	49	139	37	7	37
6	82	149	22	7	22
7 (peak)	181	155	10	8	10
8 (peak)	245	168	7	8	8
9	142	166	13	8	13
10	102	167	18	8	18
11	94	157	19	8	19
12	100	150	18	7	18
13	87	155	21	8	21
14	84	161	22	8	22
15	96	163	19	8	19
16 (peak)	107	171	17	8	17
17 (peak)	105	175	17	9	17
18	159	167	11	8	11
19	101	159	18	8	18
20	70	129	26	6	26
21	81	122	22	6	22
22	96	114	19	6	19

Table 4. Route 27: Comparison of Hourly Planned and Optimal LOS

Origin Start Hours of Day	P _{max} (prs/h)	Min. Cycle Time (min)	Planned LOS	Vehs Req. for Planned LOS	Demand-based h (min)	C-time-based h (min)	Optimal h (min)	LOS for Optimal h (min)
4	61	117	A	20	30	5	30	B
5	173	118	B	21	10	5	10	B
6	206	123	B	26	9	5	9	B
7 (peak)	527	135	E	28	3	6	6	E
8 (peak)	468	144	D	24	3	6	6	D
9	362	146	C	23	5	6	6	C
10	290	138	B	23	6	6	6	B
11	281	138	B	24	6	6	6	B
12	266	142	B	23	6	6	6	B
13	268	141	B	24	6	6	6	B
14	258	147	B	25	7	6	7	B
15	202	153	B	22	9	6	9	B
16 (peak)	261	148	B	21	7	6	7	B
17 (peak)	283	144	B	27	6	6	6	B
18	310	137	C	27	5	6	6	C
19	232	137	B	24	8	6	8	B
20	224	123	B	22	8	5	8	B
21	219	111	B	22	8	5	8	B
22	174	109	B	21	10	4	10	B

7. 결론

본 연구는 부산시 시내버스를 사례로 시행되고 있는 운행계획의 적정성을 검증하여 문제점을 파악하고, 현실 적용성을 고려한 시내 버스 최적 배차간격 도출을 시도하였다. 적정성 검증 결과 부산시가 시내버스 운영을 위해 적용하고 있는 노선별 운행계획은 현실적 여건이 충분히 고려되지 않아 대부분의 노선이 제시된 운행횟수 준수에 상당한 애로를 겪고 있는 것으로 파악되었으며, 주요 사유는 비현실적 계획 배차간격과 운행시간으로 파악되었다. 구축된 최적 배차간격 모형은 투입 차량 대수를 고정 값으로 가정하고 도로 여건과 운행환경을 고려한 최소 운행시간 제약조건과 해당 노선의 현실적 수요 충족을 위한 시간대별 배차간격의 도출을 목적으로 하였다. 구축된 모형을 부산시 10번과 27번 노선에 적용하여 모형의 적용성을 검증하였다. 본 연구는 교통카드 및 BIMS (Bus Information Management System)가 제공하는 방대한 자료 (Big- Data)로부터 필요정보를 수집하여 적정성 검토와 최적 배차간격 도출을 위한 필요정보를 추출하였으며, 필요 자료와 정보 추출 과정도 요약하였다.

도출된 배차간격에 의해 버스 시간 계획표를 작성하여 운용할 시 수요 충족과 더불어 현실 여건에 보다 부합하는 운행이 가능하여 이용자와 운영자 모두에게 유리한 결과를 보일 것으로 기대한다. 또한, 본 연구의 결과는 회차별 알고리즘 도출 등 보다 정밀한 연구를 위한 선행 연구로서 또한 교통 Big-Data의 활용을 위한 유용한 사례가 될 것으로 기대한다.

References

- Alsger, A., Assemi, B., Mesbah, M. and Ferreira, L. (2016). "Validating and improving public transport origin-destination estimation algorithm using smart card fare data." *ELSEVIER, Transportation Research Part C*, Vol. 68, pp. 490-509.
- Ceder, A. (1981). "Practical methodology for determining dynamic changes in bus travel times." *Transportation Research Record* 798, National Academy Press, Washington DC, pp. 18-22.
- Ceder, A. (2002). "Urban transit scheduling, framework, review and examples." *Journal of Urban Planning and Development*, Vol. 128, No. 4, pp. 225-244.
- Furth, P. G. and Wilson, N. (1981). "Setting frequencies on bus route: Theory and practice." *Transportation Research Record* 818, Washington DC, pp. 1-7.
- Im, Y. T. and Jang, J. S. (2010). "A study on optimal headway of transit considering route choice." *Journal of Korean Society of Transportation*, Vol. 2010, No. 1, pp. 620-625 (in Korean).
- Jeon, S. W. (2015). *A study on optimal bus scheduling and headway based on GA*, Master's Thesis, University of Seoul (in Korean).
- Jeong, Y. S. (1997). *An analysis of bus travel time and development of optimal bus headway model*, Master's Thesis, Myongji University (in Korean).
- Kim, W. G., Son, B. S., Chung, J. H. and Lee, J. H. (2008). "Development of real-time optimal bus scheduling models." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers D*, Vol. 28, No. 5D, pp. 587-595 (in Korean).
- Lee, H. S., Chang, H. H., Kim, Y. C. and Hwang, K. S. (2009). "A development of evaluation index for bus demand-elastic schedule management." *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transportation Systems*, Vol. 8, No. 2, pp. 1-13 (in Korean).
- Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs (MLTMA) (2013). *Korea Highway Capacity Manual* (in Korean).
- Newell, G. F. (1971). "Dispatching policies for a transportation route." *Transportation Science*, Vol. 5, pp. 91-105.
- Park, J. S. (2007). *Analysis on optimal spacings and efficiency of hierarchical structure for a grid transit network*, Ph. D. Dissertation, Seoul University (in Korean).
- Park, M. K. (2015). *Improvement of optimal bus scheduling model based on transit smart card data*, Master's Thesis, Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST) (in Korean).
- Rine, R. (1998). *Transit cooperative research program 30, transit scheduling: Basic and advanced manuals*, National Academy Press, Washington DC.
- Ryu, B. Y., Yang, S. T. and Bae, S. H. (2009). "Improvement of optimal bus headway for intermodal transfer station." *Journal of the Korean Society of Civil Engineers D*, Vol. 29, No. 1D, pp. 17-23 (in Korean).
- Vuchic, V. R. (2005). *Urban transit: operations, planning and economics, 1.4 scheduling of service*, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, USA.