

# 여러 개의 목적함수와 운행시간제약을 가진 버스일정계획

김우제<sup>†</sup>

대진대학교 산업시스템공학과

## A Bus Scheduling Problem with Multiple Objective Functions and Travel Time Constraint

Woo-Je Kim

Department of Industrial and Systems Engineering, Daejin University, Pochunkoon, Kyungkido, 487-711

A bus scheduling problem with multiple objective functions and travel time constraint is to determine the allocation of buses to customer service requests minimizing the number of buses and travel costs under the travel time restriction for each bus. For the scheduling, we first represent the scheduling problem using a graph and develop a hierarchical approach. Second, we develop a mathematical model based algorithm for the scheduling problem including heuristic methods. We tested the performance of the algorithm on instances with real data. As a result, the total number of buses and travel costs are reduced over about 10% comparing with that of current practice at the company.

**Keywords:** bus scheduling problem, travel time constraint, hierarchical approach

### 1. 서론

버스회사에서 대상으로 하고 있는 서비스 업무는 다음과 같은 여러 형태가 있다.

- 1) 하루 이내의 기간을 가진 관광객들을 위한 관광서비스 업무
- 2) 기업의 통근 서비스 업무
- 3) 하루 이상의 기간을 가진 관광객을 위한 관광 서비스 업무
- 4) 산업시찰용 수송 서비스 업무, 수학 여행 및 결혼식 하객 수송 서비스 업무, 대학 신입생들의 오리엔테이션 수송 서비스 업무, 현장 답사 등의 수송 서비스 업무 등

이 중 첫 번째 유형의 서비스 업무는 다시 두 가지 형태로 분류될 수 있다.

- 1-1) 하루에 여러 곳을 방문하는 관광 서비스 업무. 이 경우에는 버스가 지속적으로 고객과 같이 있으면서 고객을 내리고 태우기를 반복한다.

- 1-2) 한 곳을 방문하고 오랜 시간 후에 고객을 다시 태우는 관광 서비스 업무. 보통 하나의 정차에 3시간 이상 되는 경우가 이 경우인데, 이때에는 버스가 고객을 한 곳에 내려놓고 다른 버스가 이 고객들에 대한 다음 서비스를 제공할 수 있다. 그러므로 이러한 경우에는 정차시간이 긴 업무를 중심으로 두 개의 서비스 업무로 분리할 수 있다.

두 번째 부류에 속하는 기업의 통근 서비스 업무는 위의 서비스 유형 1-2) 형태와 유사하다. 오전 출근시에 회사원들을 일정 경로를 운행하여 출근시키고, 오후에 역으로 회사원들을 퇴근시키는 서비스를 수행한다. 그러므로 이 경우에도 출근 서비스 업무와 퇴근 서비스 업무로 분리할 수 있다.

한편, 세 번째와 네 번째 부류에 속하는 서비스 업무는 특별한 경우에 발생하고 그 숫자가 작아, 버스회사에서는 주로 수작업에 의하여 버스를 할당한다.

일반적으로 서비스 유형 1-1)에 속하는 서비스 업무의 출발

이 논문은 2001학년도 대진대학교 학술연구비 지원에 의한 것임.

<sup>†</sup>연락처: 김우제 교수, 487-711 경기도 포천군 포천읍 선단리 산11-1 대진대학교 산업시스템공학과, Fax : 031-539-2000,

e-mail : wjkim@road.daejin.ac.kr

2001년 12월 접수, 2회 수정 후 2002년 2월 게재 확정.

지점과 도착지점은 동일하고, 서비스 유형 1-2)와 서비스 유형 2)에 속하는 서비스 업무는 출발지점과 도착지점이 다르다.

본 연구의 대상이 되는 버스회사에서의 서비스 업무는 서비스 유형 1-1), 서비스 유형 1-2), 서비스 유형 2)의 부류에 속하는 서비스 업무를 대상으로 한다.

고객이 요구하는 각 서비스 업무는 다음과 같은 데이터를 가지고 있다.

- 서비스에 요구되는 버스의 형태
- 서비스의 출발시각, 출발 지점
- 서비스의 도착시각, 도착지점

본 연구에서 다루는 여러 개의 목적함수를 가진 버스일정 문제의 문제상황은 다음과 같다. 먼저 버스회사는 고객 서비스 업무를 효율적으로 응대하기 위해 대형버스, 중형버스, 및 소형버스 등의 여러 종류 차종을 보유하고 있으며, 이들 버스들은 전국에 여러 곳의 차고에 위치하고 있다. 이들 버스들은 각각 차종별로 보유대수가 한정되어 있다. 그러나 버스회사에서는 자사가 보유한 버스로 서비스 업무를 처리할 수 없을 경우에는 외부에서부터 용차를 하여야 하는데 이 비용이 상대적으로 크고, 또한 자사의 버스가 남는 경우에는 다른 버스회사에 빌려줄 수 있다.

고객이 요구한 서비스 업무는 서로 개별적으로 처리되어야 한다. 고객들은 자체적으로 별도의 차량을 배정받기 원하므로 노선과 시간대가 같다고 하더라도 두 개의 서비스 업무를 하나의 버스로 동시에 서비스 할 수 없다.

버스는 일련의 서비스 업무를 차례로 수행할 수 있다. 즉, 버스 차고를 출발하여 첫 번째 서비스 업무의 출발지점으로 간 후, 여러 업무를 처리하고, 마지막 업무의 도착지점에서 출발 하였던 버스차고로 돌아온다. 이 경우 버스의 업무시간은 차고를 출발하여 도착하기까지의 시간인데, 운전기사들은 이 업무시간을 기준으로 급여를 받고 있다. 이러한 이유 때문에 운전기사들은 하루의 운행시간을 최대로 하려고 한다. 그러나 버스회사에서는 운전기사의 안전상의 이유로 하루 13시간을 넘는 버스의 일정계획은 고려하지 않고 있다.

버스가 일련의 서비스 업무를 수행하는 경우에는 운전기사가 서비스 업무의 도착지점으로부터 다음 서비스 업무의 출발지점까지 운행하여야 하는데 이 운행은 공차운행이 된다. 또한, 다음 서비스 업무의 출발지점에 너무 일찍 도착하게 되면 다음 서비스 업무의 출발시각까지 기다려야만 한다. 이러한 공차운행과 대기시간은 버스회사의 입장에서는 아무런 수입이 없이 비용만 초래하는 요소이다.

버스회사에서는 다음과 같은 목적함수를 가지고 있다.

- 1) 목적함수 1: 모든 서비스 업무를 처리하는 데 사용되어지는 총차량수의 최소화
- 2) 목적함수 2: 총대기시간과 공차운행시간에 드는 비용의 최소화

버스회사에서는 용차 비용이 상대적으로 크기 때문에 운행

되는 총 차량의 수를 최소화하는 목적함수 1을 가장 중요한 목적함수로 간주한다. 목적함수 2는 실제 버스의 운행에 소요되는 비용을 최소화하는 목적함수이다.

이러한 버스일정계획문제는 차량일정문제(Vehicle scheduling problem)와 관련하여 폭넓게 연구되었는데 김갑환(1998), Bodin(1983), Mole(1979) 등의 논문에 잘 정리되어 있다. 김우제와 박순달(1988)은 복수차고, 복수차종, 차량일정문제에 대한 최적해법을 개발하였는데 이는 총운행거리만을 목적함수로 가지고 있으며, 차량의 운행거리제한은 가지고 있지 않았다. Baita(2000) 등은 실제 차량계획문제에서 발생하는 여러 제약조건을 추가한 차량일정문제에 대한 휴리스틱해법을 제시하였다. 현실성 있는 제약조건의 고려였으나 목적함수는 총 운행거리 하나만을 고려하였다. 또한, 박양병(1999)은 서비스 납기가 주어진 다목적 차량일정문제를 유전알고리즘으로 해결하였는데 차량의 운행시간제약은 고려하지 않았으나 납기 지연, 총운행거리, 총운행차량수를 목적함수로 고려하였다. 특히 관광버스에 관한 차량일정문제는 박순달(1987)에 의해 연구되어 그리디 휴리스틱(Greedy Heuristic)과 열제조기법을 이용한 휴리스틱 방법을 제안하였고 관광버스일정계획용 소프트웨어인 TBS를 개발하기도 하였다. 그러나 이러한 연구는 총운행거리를 최소화하는 데 초점을 맞추어졌으며 실제 버스회사에서 운영되고 있는 다목적 성질, 여러 종류의 차량, 여러 곳의 차고지, 차량운행제한시간, 외부용차문제 등의 현실적인 제약조건을 다루는 버스일정문제에 대해서는 다루어지지 않았다.

따라서 본 논문에서는 이러한 현실적인 제약조건과 여러 개의 목적함수가 주어진 상황에서의 버스일정계획문제를 다루고자 한다.

## 2. 네트워크 표현

서비스 업무를 정의하기 위해 다음 기호를 정의하자.

- $n$  : 총 서비스 업무의 수
- $a_i, b_i$  : 서비스 업무  $i$ 의 출발시각과 도착시각,  $i=1, 2, \dots, n$
- $c_i, d_i$  : 서비스 업무  $i$ 의 출발지점과 도착지점,  $i=1, 2, \dots, n$

여기서 모든 서비스 업무를  $a_i$ 를 기준으로 순서화한다.

유방향 네트워크에서 마디  $i$ 를 서비스 업무  $i$ 로 표현한다. 다음으로 버스가 서비스 업무  $i$ 를 수행한 후에 서비스 업무  $j$ 를 수행할 수 있으면 마디  $i$ 에서 마디  $j$ 로 가는 호  $(i, j)$ 를 포함시킨다. 하나의 버스가 서비스 업무  $i$ 를 수행한 후에 서비스 업무  $j$ 를 수행할 수 있는 조건은 다음과 같다.

$$d_i \text{에서 } c_j \text{까지의 운행시간} + b_i < a_j$$

이렇게 표현된 네트워크를  $G=(N, A)$ 라 하자.

단,  $N$ =마디의 집합 =  $\{1, 2, \dots, n\}$ ,  $A$ =호의 집합.

시간대별 서비스 업무에 차량을 배정하는 Carraresi와 Gallo의

차량일정계획문제에서 이와 유사한 네트워크가 이용되었다.(Carraresi, 1984)

네트워크  $G=(N, A)$ 에서  $N$ 을 서비스 업무가 출발시각을 기준으로 순서화하게 되면,  $j > i$ 이면  $(j, i) \notin A$ 이다. 이것은 네트워크  $G$ 는 비순환(acyclic) 네트워크임을 의미한다.

네트워크  $G$ 에서 하나의 마디로 구성된 집합 또는 하나 이상의 노드로 구성된 일련의 마디 집합을 단순체인(simple chain)이라고 정의하자. 즉,  $(i_1, i_2, \dots, i_k)$ 를 단순체인으로 정의한다. 단,  $(i_{r-1}, i_r) \in A, r = 2, 3, 4, \dots, k$ .

네트워크  $G$ 에서 하나의 버스가 서비스 업무  $i$ 를 마치고 서비스 업무  $j$ 를 수행하게 되면, 이 버스는 시간  $b_i$ 에 서비스 업무  $i$ 를 마치고 서비스 업무  $j$ 의 도착지점에서 서비스 업무  $j$ 의 출발지점으로 운행한다. 그러면 이때 이 버스의 대기시간은 다음과 같이 정의된다.

$$w_{ij} = a_j - b_i - d_{ij}$$

단,  $d_{ij}$ 는 서비스 업무  $i$ 의 도착지점에서 서비스 업무  $j$ 의 출발지점까지의 운행시간임.

이 경우  $w_{ij}$ 는 대기시간이며,  $d_{ij}$ 는 공차운행시간이 된다. 목적함수 2를 비용함수로 표현하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$c_{ij} = \alpha w_{ij} + \beta d_{ij}$$

여기서  $\alpha$ 는 대기시간에 따른 단위 비용으로 운전기사의 급여와 버스의 미사용으로 인한 기회비용 등이 포함된다.  $\beta$ 는 공차운행시간에 따른 단위 비용으로  $\alpha$ 에 추가적으로 유류비, 차량운영보전비 등이 더해진다.

목적함수 2는 모든 서비스 업무를 단순체인들로 표현할 때 발생하는 총 비용의 최소화이다.

### 3. 전반적인 해법 절차

다양한 차종을 요구하는 서비스 업무, 복수 차고, 버스의 운행시간 제한조건, 운행버스 수의 최소화와 공차 및 대기시간에 따른 운행비용 최소화 등의 조건을 가진 버스일정계획은 상당히 복잡하여 전체 문제를 수리계획 모형으로 표현하기가 어렵다. 따라서 이 문제는 단계적으로 해결하게 되는데, 전반적인 해법절차는 다음과 같다.

먼저 고객이 요구한 서비스 업무는 서로 개별적으로 처리되어야 하므로 소규모 차량을 요구하는 서비스 업무를 우선적으로 고려하여 처리한다. 이상적으로는 소형버스는 소규모 서비스 업무에 할당하고 대형버스는 대규모 서비스 업무에 할당하는 것이 적절하다. 그러나 소규모 서비스 업무가 많은 경우에는 소형버스가 부족할 수 있다. 이런 경우에는 소형버스를 용차를 하는 것보다는 자체적으로 보유하고 있는 대형버스로 처리할 수 있다면 보다 경제적이다. 소규모 서비스 업무를 먼저 고려하여 차량을 배정하고 차량을 배정받지 못한 소규모 서

비스 업무는 상위 차종과 혼합하여 서비스 업무를 할당하는 전략을 도입하였다.

다음 고려대상중인 서비스 업무의 집합에 대해 목적함수 1을 최소화할 수 있는 모형을 적용하고, 여러 개의 대안해 중에서 목적함수 2를 최소화하는 단순체인집합을 찾는다.

그런 다음 단순체인들이 운행시간제한조건을 만족하는 가능단순체인(feasible simple chain)인가를 확인하고 아닌 경우에는 이 단순체인들을 수정하여 가능단순체를 구한다.

구해진 가능단순체에 대해 차고를 할당하기 위한 모형을 적용하고 차량을 배정한다. 이러한 방법으로 모든 서비스 업무에 대해 버스일정계획을 수립한다.

전반적인 해법절차에 대한 흐름도는 <그림 1>과 같다.

#### 3.1 목적함수 1을 최소화하는 모형

주어진 서비스 업무에 대해 운행버스의 댓수를 최소화하는 문제는 네트워크  $G$ 에서 모든 마디들을 포함하는 최소크기단순체인(minimum cardinality simple chain)을 찾는 문제와 동일하다. 이것은 네트워크 이론에서 Dilworth의 최소연결분해문제(minimal chain decomposition problem)이다(Fulkerson, 1956). 이것의 효율적인 해법은 Fulkerson(1962)에 의해 개발된 최대크기 이중분할매칭(maximum cardinality bipartite matching) 해법이 기초가 된다. 이 해법은 마디집합  $N_1 = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}, N_2 = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$ 와 호의 집합  $A_1 = \{(R_i, C_j) : (i, j) \text{는 네트워크 } G \text{에서 } A \text{ 집합에 속한 호}\}$ 로 이루어진 이중분할 네트워크  $B = \{N_1, N_2; A_1\}$ 에서 최대크기매칭(maximum cardinality matching)을 찾는 과정을 포함한다. 여기서 네트워크  $B$ 에서의 최대크기매칭의 크기를  $r$ 이라고 하자. 그러면 네트워크  $G$ 에서 모든 마디들을 포함하는 단순체인의 최소수는  $n-r$ 이 된다. 이것은 모든 서비스 업무를 처리하기 위해서는 적어도  $n-r$ 대의 버스가 운행되어야 함을 의미한다. 네트워크  $B$ 에서 하나의 최대크기매칭으로부터  $n-r$ 개의 단순체인들은 쉬운 방법으로 찾아낼 수 있다(Fulkerson, 1962; Murty, 1992). 하나의 단순체인은 하나의 버스가 운행되는 서비스 업무의 방문 순서를 의미하는데 이를 버스운행경로라고 한다. 따라서 이 해법은 운행되는 총 차량의 수를 최소화하는 목적함수 1에 대한 효율적인 방법이다.

#### 3.2 목적함수 2를 최소화하는 단순체인을 위한 모형

여기서 이중분할 네트워크  $B$ 에서 최대크기매칭의 크기를  $r$ 이라고 하자. 그런데 최대크기매칭 문제는 여러 개의 대안해가 존재한다. 그런데 목적함수 1이 목적함수 2에 비하여 우선순위가 높으므로, 이를 해결할 수 있는 방법은 목적함수 1을 최소화하는 대안 최적해 중에서 목적함수 2를 최소화하는 해를 찾는 방법이다. 그러면 최소 비용을 가지는 최대크기매칭을 찾는 문제를 정형화하기 위해 다음 상수와 변수를 정의하자.

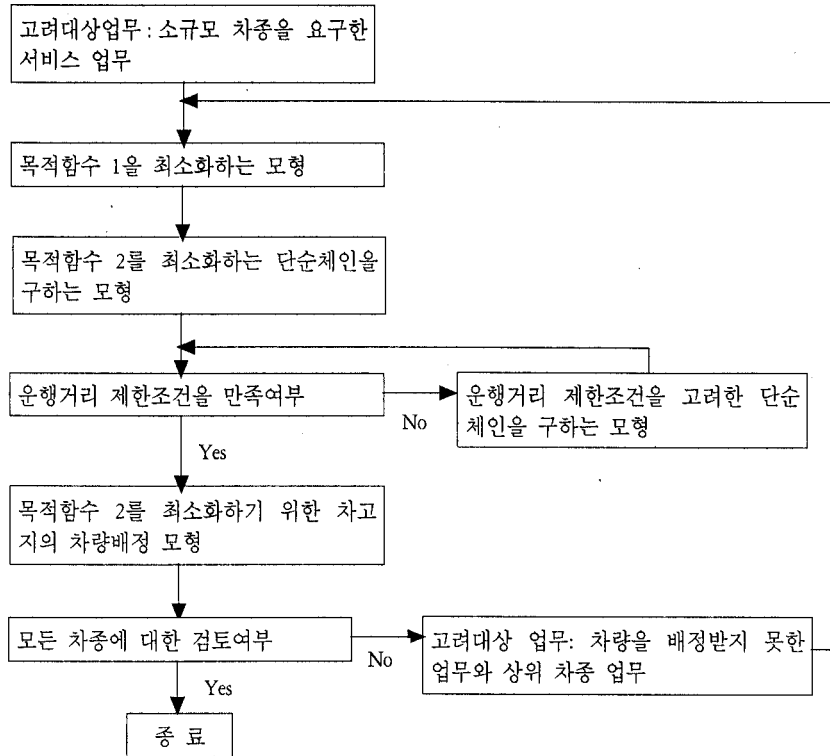


그림 1. 전반적인 해법 절차.

$c_{ij}$  : 네트워크  $B$ 에서  $(R_i, C_j)$ 의 비용계수  
 $x_{ij}$  : 1, 만약  $(R_i, C_j)$ 가 매칭에 포함되면  
 : 0, 그렇지 않으면

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \\ \text{s. t.} \quad & \sum_{i=1}^n x_{ij} \leq 1 \\ & \sum_{j=1}^n x_{ij} \leq 1 \\ & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij} = r \end{aligned}$$

$x_{ij} = 0$  만약  $(R_i, C_j)$ 가  $B$ 에서 호가 아닌 경우  
 $x_{ij} \in \{0, 1\}$  만약  $(R_i, C_j)$ 가  $B$ 에서 호인 경우

여기서  $r$ 은  $B$ 에서 최대크기매칭의 크기(cardinality)이므로 이 문제는 이중분할 네트워크  $B$ 에서 최소 비용을 가지는 최대 크기매칭을 찾는 문제가 된다. 그런데 이 문제는 유니모듈라(Unimodular)의 특성을 가지므로 LP 완화(Relaxation)를 하여도 정수해를 가진다. 그러므로 이 문제를 선형계획법(LP)으로 풀면 그 해는 네트워크  $B$ 에서의 최소 비용을 가지는 최대크기매칭을 의미한다. 그리고 그 해에 대응하는 버스운행경로를 구하면 최소의 차량으로 운행하면서 최소의 비용함수를 가진 차량일정계획을 수립할 수 있다.

### 3.3 운영거리 제한조건을 고려한 단순체인을 구하는 모형

다음으로 하나의 버스는 13시간 이상 운행할 수 없는데 위와

같은 방법으로 구한 단순체인들이 최대운행시간 제약조건을 만족하지 않는 경우에 처리하는 방법에 대해 논의하자.

먼저  $\zeta$ 를 네트워크  $G$ 에서  $i_k$ 과  $i_k$ 를 처음 서비스 업무와 마지막 서비스 업무로 하는 단순체인이라고 하자. 그러면 이 버스의 운전기사는 ( $\zeta$ 의 길이) +  $\lambda$ 만큼의 시간동안 운행하여야 한다. 단,  $\lambda$ 는 차고에서  $c_{i_k}$ 까지의 운행시간 +  $d_{i_k}$ 에서 차고까지의 운행시간을 의미한다. 여기서  $\lambda$ 는 처음 서비스 업무와 마지막 서비스 업무 그리고 차고의 위치에 의해 결정된다. 그러나 지금까지 구한 단순체인은 서비스 업무만을 가진 네트워크에서 고려되었으므로 차고로부터 처음 서비스 업무의 운행시간과 마지막 서비스 업무에서 차고까지의 운행시간을 정확하게 알 수가 없다. 따라서 여기서는 문제의 단순화를 위하여  $\lambda$ 를 상수로 고려한다. 즉,  $\lambda$ 에 대한 여유시간을 2시간으로 설정하여 단순체인의 길이가 11시간 이내면 가능단순체인으로 설정하였다.

가능단순체인만을 구하는 방법을 위해 제안된 휴리스틱 방법은 다음과 같다.

- ① 11시간 이상의 운행시간을 가진 단순체인 중 가장 긴 단순체인을 설정하여  $c_{ij}$ 의 값이 가장 큰 호를 제거하고 위에서 언급한 목적함수 2를 최소화하는 수리계획 모형을 다시 푼다.
- ② 만약 모든 단순체인이 가능단순체인이면 끝난다. 그렇지 않으면 단계 ①을 반복한다.

이 과정 과정은 모든 단순체인이 가능단순체인이 될 때까지

반복적으로 실시하게 되는데 주어진 문제의 실제회사의 적용 결과 4~5회만에 가능단순체인을 구할 수 있다.

### 3.4 차고지의 차량배정을 위한 모형

다음에는 가능단순체인들을 여러 개의 차고 중 어느 차고에서 출발하는 버스를 할당할 것인가를 결정하여야 한다. 버스는 여러 개의 차고에서 사용할 수 있고 부족한 경우에는 외부에서 용차를 할 수 있다. 이를 수송문제로 표현하기 위해 다음을 정의한다.

$s$  : 단순체인의 수

$c_m^i$  : 차고  $m$ 에서 단순체인  $i$ 의 첫 번째 서비스 업무의 출발 지점까지의 공차운행시간과 단순체인  $i$ 의 마지막 서비스 업무의 도착지점에서 차고  $m$ 까지의 운행시간의 합에 공차운행시간에 따른 단위비용  $\beta$ 를 곱한 값

$e_i$  : 단순체인  $i$ 에 외부에서부터 용차한 버스를 할당할 때 발생하는 비용

$N_m$  : 차고  $m$ 에서 각각 사용 가능한 버스의 수

그런데 일반적으로  $e_i$ 는  $c_m^i$ 보다 상대적으로 크므로 외부로부터 용차하는 차량대수는  $(s - \sum_m N_m)^+ = \text{Max} \{0, s - \sum_m N_m\}$ 가 된다. 그러면 버스에 대한  $(m+1)$ 개의 공급지(차고 1, 차고 2, ..., 차고  $m$ , 용차)가 있고, 각 공급지의 공급 가능량은 각각  $N_1, N_2, \dots, N_m, (s - N_1 - N_2)^+$ 이다. 그리고 각 단순체인은 하나의 버스를 할당받아야 하므로 버스를 단순체인에 할당하는 문제는  $((m+1) \times s)$ 의 수송문제가 된다. 이 수송문제를 풀어서 각 단순체인에 최적의 버스 할당을 할 수 있다.

## 4. 실험결과

버스의 운행시간제약을 가지고 있으며, 총운행대수와 총운행비용을 최소화하고자 하는 버스회사의 6일간의 서비스 업무들을 대상으로 실험을 하였다. 이들의 서비스 업무는 하루에 52개에서 62개의 업무가 있었으며, 차고의 위치는 두 곳 있었다. 그리고 이 버스회사에서 고려하고 있는 차종은 대형차종(45인승)과 소형차종(15인승)의 두 가지 형태를 가지고 있었다. 대형차종은 두 곳의 차고에 10대씩 총 20대가 운영되고 있었으며, 소형차종은 한 차고지에서만 5대가 운영되고 있었다. 그리고 하나의 버스의 일일 최대운행시간제한은 13시간으로 운영되고 있었다.

이 데이터에 대하여 단계적 해법을 적용하였으며, 목적함수 1을 최소화하는 모형과 목적함수 2를 최소화하는 단순체인을 위한 모형은 수리 모형지원 프로그램인 AMPL과 수리계획법 프로그램인 CPLEX를 이용하여 해를 구하였다.

6일치 실험데이터에 대한 실험결과와 현재 버스회사에서 운영하였던 버스 스케줄과의 비교는 <표 1>과 같다.

표 1. 실험 결과

번호	업무 수	목적 함수 1	목적 함수 2	기존 차량수	기존 총운행비용
1	62	14	1,718	16(12.5%)	1,888(9.0%)
2	59	14	1,654	17(17.6%)	1,756(5.8%)
3	53	12	1,684	14(14.3%)	1,825(7.7%)
4	55	13	1,553	15(13.3%)	1,784(13.0%)
5	52	11	1,345	12(8.3%)	1,523(11.7%)
6	55	11	1,624	11(0.0%)	1,701(4.5%)

이 실험 결과에서는 자사가 보유한 버스만이 사용되었으며, 외부 용차는 사용되지 않았다. 기존 차량수와 기존 총운행비용의 괄호안의 수치는 제안된 방법에 의한 버스일정계획이 현행 계획에 비해 개선된 정도를 나타낸다.

기존에 버스회사에서 작성하였던 방법은 기존에 운행하였던 운행스케줄 테이블을 근거로 소형서비스 업무를 우선적으로 버스에 할당하고 다음으로 대형서비스 업무를 버스에 할당하였다.

실험 결과 운행차량수와 관련된 목적함수 1은 현재 회사에서 운행하고 있는 차량의 수보다 평균 11% 개선되었으며, 가장 많은 경우는 17.6%까지 개선되었다. 총운행비용과 관련된 목적함수 2에 관련된 비용은 현재 회사에서 운영하는 것보다 평균 8.6% 감소하였으며, 최고 13%까지 개선되었다.

## 5. 결론

본 논문에서는 차고가 여러 곳을 운영하고 있으며, 여러 가지 종류의 버스를 운영하는 회사에서 버스의 운행시간제약하에 총운행대수와 총운행비용을 최소화하는 버스일정계획문제를 다루었다. 본 논문에서 정의된 버스일정계획문제는 실제 버스회사에서 운영되고 있는 현실적인 제한요소를 고려하였다.

본 논문에서는 여러 개의 목적함수와 운행시간제약을 만족하기 위해 단계적 해법을 제시하였다. 먼저 차종별로 대상 요구업무를 분류한 후 각 요구업무에 대하여 Dilworth의 최소연결분해문제를 풀어 총 운행 차량수를 최소화하였으며, 수리계획적 모형에 바탕을 두어 총 운행거리를 최소화하였다. 그리고 이 해에 대해 운행시간제약을 검사하여 휴리스틱 해법을 적용하여 운행시간제약조건을 만족시켰다.

본 논문에서는 실제 버스회사의 데이터를 구하여 본 논문에서 제시한 해법의 실험적 검증을 실시하였다. 실험 결과 현재 버스회사에서 운행하고 있는 차량의 수보다 평균 11% 정도 개선되었으며, 총 운행비용은 평균 8.6% 감소하였다.

본 논문에서는 버스일정계획문제에 대한 현실적 제한요소를 고려하였으므로 일반적인 차량일정계획문제에서의 운행

시간제약으로의 확장문제를 향후과제로 연구할 수 있다. 또한, 단계적 해법에 대한 개선과 전체 문제를 단계적으로 풀지 않고 수리모형화한 후 메타휴리스틱의 방법을 적용하는 방법에 대한 추후 연구가 필요하다.

## 참고문헌

- Barita, F., Pesenti, R., Ukovich, W. and Favaretto, D. (2000), A comparison of different solution approaches to the vehicle scheduling problem in a practical case, *Computers and Operations Research*, 27(13), 1249-1269.
- Bodin, L., Golden, B., Assad, A. and Ball, M. (1983), Routing and scheduling of vehicles and crews, *Computers and Operations Research*, 63-211.
- Carraraesi, P. and Gallo, G. (1984), Network models for vehicle and crew scheduling. *European Journal of Operational Research*, 16, 139-151.
- Ford, L. R. and Fulkerson, D. R. (1962), *Flows in Networks*. Princeton University Press: Princeton New Jersey.
- Fulkerson, D. R. (1956), Note on dilworth's decomposition theorem for partially

- ordered sets. *Proc. Amer. Math. Soc.*, 7, 701-702.
- Kim, K-H., Ko, C-S. and Shin, J-Y. (1998), A Review Study on Quantitative Models for Freight Transportation Planning and Operation, *IE Interfaces*, 11(1), 1-14.
- Kim, W-J. and Park, S-D. (1988), An exact algorithm for vehicle scheduling problem with multiple depots and multiple vehicle types. *Journal of Korean Operations Research and Management Science Society*, 13(2), 9-17.
- Mole, R. H. (1979), A survey of local delivery vehicle routing methodology, *Journal of Operational Research Society*, 30, 245-252.
- Murty, K. G. (1992), *Network Programming*, Prentice Hall: Englewood Cliffs, New Jersey.
- Park, Soondal, Jeong, B-J. and Jang, B-M. (1987), Tour Bus Scheduling Software(TBS), *Korean Management Science Review*, 4, 99-108.
- Park, S-D. and Jang, B-M. (1987), A Tour Bus Scheduling Method by Greedy Heuristic and Column Generation Techniques, *Journal of Military Operations Research Society-Korea*, 13(1), 101-115.
- Park, Y-B. (1999), Hybrid Genetic Algorithm for the Multiobjective Vehicle Scheduling Problems with Service Due Times, *Journal of Korean Operations Research and Management Science Society*, 24(2), 121-134.



김우제

서울대학교 산업공학과 학사

서울대학교 산업공학과 석사

서울대학교 산업공학과 박사

현재: 대전대학교 산업시스템공학과 부교수

관심분야: 물류관리, 컴퓨터응용 OR