

# 승객 수송 문제의 최적화

박준혁<sup>1</sup> · 김병인<sup>1\*</sup> · 김성배<sup>2</sup> · Surya Sahoo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>POSTECH 산업경영공학과 / <sup>2</sup>Institute of Information Technology, Inc.(IIT)

## Optimization of Passenger Transportation Problem

Junhyuk Park<sup>1</sup> · Byung-In Kim<sup>1</sup> · Seongbae Kim<sup>2</sup> · Surya Sahoo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH, Pohang 790-784

<sup>2</sup>Institute of Information Technology, Inc. (IIT), Texas 77354, USA

In this paper, we present the study of a real passenger transportation system. Passenger transportation problem aims to transport passengers from bus stops to their destinations by a fleet of vehicles while satisfying various constraints such as vehicle capacity, maximum allowable riding time in a bus, and time windows at destinations. Our problem also has special issues such as mixed loading, consideration of afternoon problem together with morning problem, and transferring passengers between vehicles. Our solution approach consists of three serial procedures: bus route generation, bus scheduling, and post optimization. Efficient heuristic algorithms were developed and implemented for the procedures. The proposed solution approach has been successfully applied to several real world problem instances and could reduce about 10% to 15% of buses.

**Keyword:** combinatorial optimization, passenger transportation, vehicle routing

### 1. 서론

승객 수송 문제는 다수의 승객들을 출발지로부터 그들의 목적지까지 수송하는 최적 계획을 세우는 것으로서, 예로는 스쿨버스 라우팅 문제(School bus routing problem), 통근 버스 라우팅 문제(Commuter bus routing problem) 등이 있다. 특히 스쿨버스의 경우 미국에서만 약 44만대가 운영되고 있으며, 2천 4백만 명에 달하는 학생들이 서비스를 이용하는 등 미국 내에서 가장 거대한 공공운송 사업이다. 스쿨버스 라우팅 문제에 대한 보다 자세한 내용은 Park and Kim(2010)에 기술되어 있다.

승객 수송 문제에서는 여러 개의 승차지점과 하차지점이 존재하며, 승객들은 승차지점에서 버스에 탑승하여, 자신의 목적지인 하차지점에서 하차하게 된다. 각 승차지점에서는 여러 목적지로 향하는 승객이 탑승 가능하며, 한 대의 버스는 여러

곳의 목적지점을 방문할 수 있다. 스쿨버스 문제의 경우 승차지점은 스쿨버스 정류소, 하차지점은 학교로 볼 수 있다.

승객 수송 문제는 널리 알려진 최적화 문제인 차량 경로 문제(Vehicle routing problem, 이하 VRP)와 유사하나 화물이 아닌 사람의 수송을 다루는 문제이므로 몇 가지 추가적인 제약 조건을 필요로 한다. 일반적으로 사용되는 제약 조건으로는 차량의 용량(Vehicle capacity), 승객이 차량에 머무를 수 있는 최대 시간(Maximum allowable riding time in a bus), 목적지에 도착해야 하는 시간을 지정한 시간 창(Time window) 등이 있다. 또 많은 연구에서 다루지는 않았지만 혼승(Mixed loading)이나 환승(Transfer) 등도 고려될 수 있다. 혼승이란 한 차량에 여러 목적지로 가는 승객을 동시에 태우는 것을 허용하는 것으로, Bodin and Berman(1979), Braca *et al.*(1997), Spada *et al.*(2005) 등 일부 기존 연구에서 고려하였으나 거의 다루어지지 않는 조건이다. 혼

본 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2009-0069798). 대한산업공학회에서 산학협력프로젝트경진대회가 진행될 수 있도록 재원을 마련해 준 (주)벤엘엔지니어링에 감사드립니다.

\*연락처 : 김병인 교수, 790-784 포항시 남구 효자동 산 31번지 포항공과대학교 산업경영공학과, Fax: 054-279-2870,

E-mail : bkim@postech.ac.kr

투고일(2009년 12월 10일), 심사일(1차 : 2010년 04월 12일, 2차 : 2010년 05월 06일), 게재확정일(2010년 05월 06일).

승을 허용하면 A학교 학생과 B학교 학생을 동시에 같은 버스에 싣는 것이 가능해진다. 환승의 경우도 기존 스쿨버스 연구에서 거의 다루어지지 않은 주제로서, 환승이 허용되면 목적지에 도착하기까지 여러 대의 버스를 갈아타는 승객이 존재하게 된다.

본 연구에서는 다양한 제약 조건을 만족시키는 승객 수송 문제의 가능해(Feasible solution)를 빠른 시간에 만들 수 있는 휴리스틱 알고리즘과 프로그램을 개발하였다. 개발된 프로그램은 큰 사이즈의 문제(예, 4,000개의 승객 승차지점, 200개의 목적지점, 차량 160대 가량)에서도 빠른 시간(예, 30초 이내)에 가능 해를 구할 수 있었으며, 3개의 도시의 승객수송문제에 적용해 본 결과 실제 운영되고 있는 계획에 비하여 약 10~15%의 차량 감소 효과를 거둘 수 있었다. 본 연구에서 개발된 프로그램은 미국 IIT(Institute of Information Technology, Inc.)사의 인터넷 기반 GIS 응용 프로그램의 핵심 엔진으로 사용되고 있으며 현재 미국에서 10,000여대의 버스를 소유하고 있는 승객 수송 회사에 적용되고 있다.

본 연구에서는 승객 수송 문제를 하위 문제(Sub-problems)인 차량 경로 결정 문제, 차량 스케줄링 문제, Post optimization으로 세분화하여 해결하였다. 제 2장에서는 승객 수송 문제의 관련 연구들을 소개하고, 제 3장에서는 초기해 생성과 관련된 하위 문제인 차량 경로 결정 문제, 차량 스케줄링 문제를 다룬다. 제 3장에서는 Post optimization의 알고리즘으로 경로 재할당과 환승 재할당 알고리즘에 대해서 설명하며 제 4장에서는 하교(퇴근) 문제와 환승 문제에 대해서 다룬다. 마지막으로 제 5장에서는 본 연구에서 개발한 프로그램의 기대 효과에 대하여 기술하고 결론을 맺는다.

## 2. 승객 수송 문제 관련 연구

본 연구에서 고려한 문제와 가장 유사한 기존 문제는 스쿨버스 라우팅 문제 (School bus routing problem, 이하 SBRP)이다. SBRP는 여러 지역에 분포되어 있는 학생들을 해당 학교까지 효과적으로 이동시키는 계획을 세워주는 것으로 버스 스탭 결정 문제와 경로 결정 문제, 버스 스케줄링 문제를 포함하고 있다. SBRP는 하나의 학교에 대한 문제를 푸는 single-school 문제와 여러 학교에 대한 문제를 푸는 multi-school 문제로 나눌 수 있다. Single-school SBRP 문제의 경우 VRP와 거의 유사하며, 버스 스탭 결정 문제와 경로 결정 문제를 함께 고려할 경우 Location-routing problem(이하 LRP)의 범주에 속하는 것으로 볼 수 있다.

그러나 VRP와 LRP 모두 NP-hard 문제이기 때문에 exact approach로 해를 구하는 것이 쉽지 않다.

실제로 SBRP를 위한 수리 모형을 제안한 몇몇 연구가 존재하지만, 실제로 수리 모형을 이용하여 해를 구한 연구는 거의 없다. 수리 모형은 주로 혼합정수계획법(Mixed Integer Programming, 이하 MIP) 모형이나 비선형정수계획법(Nonlinear Mixed Integer Programming, 이하 NLMIP) 모형이 주로 쓰였다. 많은 연구에서는 SBRP의 하위 문제들을 수리 모형을 이용하여 풀었다. Gavish and Shlifer(1979)는 경로 결정 문제를 NLMIP 모형으로 풀었으며, White(1982)는 Gavish and Shlifer(1979)의 모형을 확장하였다. Desrosiers *et al.*(1986)는 학교의 time window를 결정하는 MIP 모형을 제안하였다. Swersey and Ballard(1984)는 경로가 주어진 상태에서 수리 모형을 이용하여 버스 스케줄링 문제만을 풀었다. Bowerman *et al.*(1995)는 버스 스탭 결정 문제와 경로 결정 문제를 동시에 고려하는 NLMIP 모형을 제시하였다. Braca *et al.*(1997)은 SBRP를 집합분할문제(set partitioning model)로 나타내었다. 그러나 모형화를 위하여 모든 가능 해(feasible solution)의 집합이 주어졌다고 가정하였기 때문에 모형을 이용하여 해를 구할 수는 없었다. Li and Fu (2002)는 경로 결정 문제를 위한 NLMIP 모형을 제안하였으나 이를 이용해 해를 구하진 않았다. Ripplinger(2005)는 경로 결정 문제를 MIP 모형으로 나타냈지만 실제로는 휴리스틱 알고리즘을 통해 경로를 구하였다. Spada *et al.*(2005) 역시 NLMIP 모형을 제시하였지만 이를 이용하여 해를 구하진 않았다. Shittkat *et al.*(2006)은 single-school SBRP 문제를 MIP 모형으로 나타내고 이를 풀었지만 매우 작은 사이즈의 문제만을 다루었다. Kara and Bektas(2006)은 single-school SBRP 문제를 multiple traveling salesman problem으로 나타내었다. Fugenschuh (2009)는 버스 스케줄링 문제를 MIP 모형으로 나타내었다.

위에서 알 수 있듯이 SBRP와 관련한 연구에서 수리 모형을 이용하여 해를 구한 경우는 많지 않고, 대부분 SBRP의 하위 문제만을 다뤘음을 확인할 수 있다. 또한 수리 모형을 이용한 경우에도 비교적 간단하고 크기가 작은 문제만을 다뤘다. 따라서 본 연구에서도 exact approach 보다는 휴리스틱 알고리즘을 개발하는데 초점을 맞추었다.

## 3. 초기해 생성

승객의 하차지점의 집합을  $D(p = 1, 2, \dots, m)$ , 그리고 목적지  $p$

- |   |
|---|
| <p>Step 0. 목적지들을 Time Window에 따라 오름차순 정렬함. <math>p = 1</math></p> <p>Step 1. <math>S_p</math>를 구함</p> <p>Step 2. 승차지점 집합 <math>S_p</math>와 목적지 <math>p</math>를 이용하여 경로 결정 (차량 경로 결정 문제)</p> <p>Step 3. 구해진 경로들을 차량에 할당함 (차량 스케줄링 문제)</p> <p>Step 4. <math>p = m</math>이면 Step 5로 감. 아니면 <math>p = p+1</math> 하고 Step 1으로 돌아감</p> <p>Step 5. Post optimization Process(경로 재할당, 환승 재할당)</p> |
|---|

Figure 1. 승객 수송 문제 해결을 위한 알고리즘

로 가는 승객의 승차지점 집합을  $S_i(i = 1, \dots, n)$ 라고 정의한다. <Figure 1>은 승객 수송 문제 해결을 위한 알고리즘을 간략히 나타낸 것이다. 본 연구에서 제안한 승객 수송 문제의 해법은 크게 초기해를 얻는 단계(차량 경로 결정 문제, 차량 스케줄링 문제)와 초기해를 개선하는 프로세스인 Post optimization(경로 재할당, 혼승 재할당) 단계로 나뉜다.

### 3.1 차량 경로 결정 문제

차량 경로 결정 문제는 한 목적지  $p$ 와 그 목적지로 향하는 승차지점의 집합  $S_p$ 만 고려하여 차량의 경로를 결정하는 문제이다. <Figure 2>는 Step 1에서 구해진 승차지점의 집합  $S_p$ 에 대한 가능해(Feasible Solution)의 예이다. 본 연구에서는 차량 경로 결정 문제를 해결하기 위하여 Sweep 알고리즘(Gillett and Miller, 1974)을 변형한 Sweep-based construction 알고리즘을 개발하였다. 차량 경로결정문제에서는 차량 종류의 용량과 최대 승차 시간은

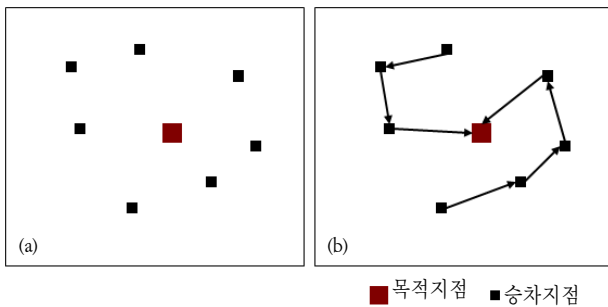


Figure 2. 가능해(Feasible solution)의 예

고려되지만 개개의 차량의 가용 여부(Availability)는 고려되지 않는다.

<Figure 3>은 Sweep-based construction 알고리즘을 이용하여 구한 경로의 예를 나타낸 것이다. 우선 임의의 시작점을 선정하고 각 승차지점을 도착지와의 극각(Polar angle)에 따라서 순서(Index)를 매긴다. 그런 후에 경로에 포함되지 않은 승차지점 가운데 Index가 가장 작은 지점과 목적지점을 포함하는 경로를 생성한다. 그리고 현재 경로에 포함된 모든 승차지점으로부터 경로에 포함되지 않은 승차지점들까지의 거리를 구하여 최소 값을 갖는 승차지점을 경로에 새롭게 포함시키고 외판원문제(Traveling Salesman Algorithm; TSP) 알고리즘을 적용하여 경로를 구한다. 본 연구에서 사용한 TSP 알고리즘은 삽입 기반의 알고리즘으로 탐욕적으로(Greedy) 승차지점을 경로에 추가한 후에 2-opt 알고리즘을 사용하여 개선하였다. 만약 경로가 제약 조건을 만족한다면 다른 승차지점을 추가해보고, 제약 조건을 위반한다면 마지막에 추가된 승차지점을 경로에서 제외시킨 후에 경로를 완성한다. 경로를 마무리한 후 아직 어떤 경로에도 편성되지 않은 승차지점들이 있으면 최소 Index 승차지점과 목적지점을 포함하는 경로를 생성한 후 위의 과정을 반복한다.

### 3.2 차량 스케줄링 문제

차량 스케줄링 문제는 차량 경로 결정 문제에서 구한 경로들을 서비스 가능한 차량에 할당하는 것을 의미한다. 본 연구에서는 차량-경로 간의 할당을 Assignment problem(AP)로 나타내었다. 차량의 수와 경로의 수가 다른 경우에는 Dummy 차량

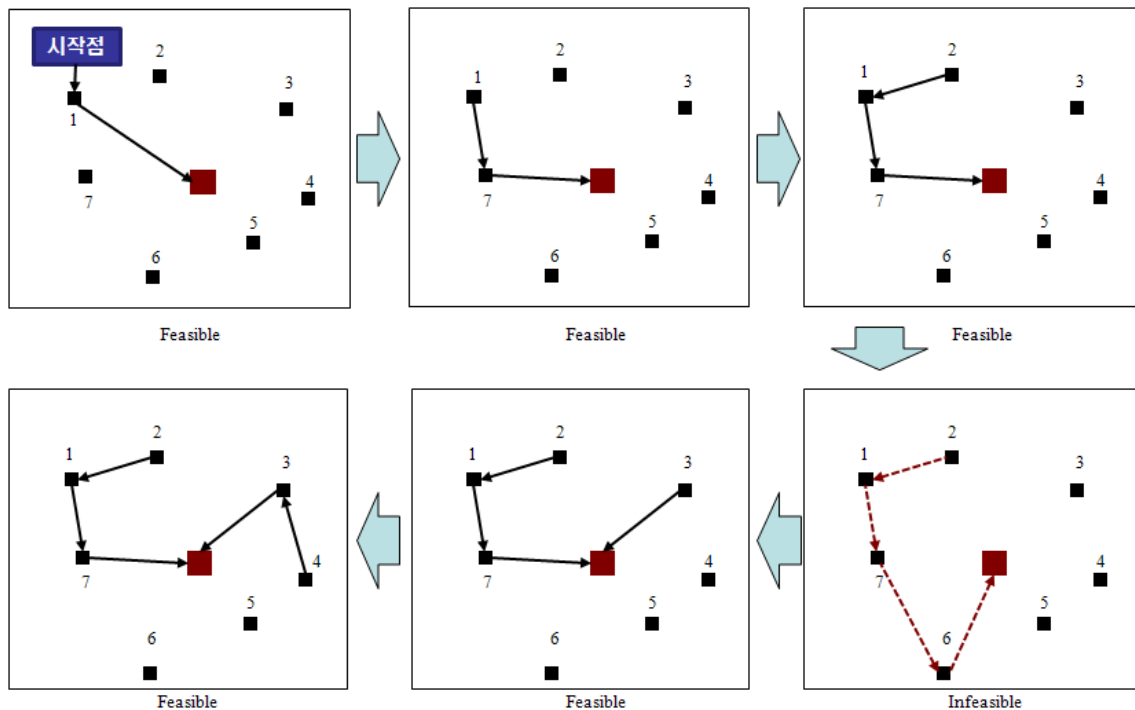


Figure 3. Sweep-based construction 알고리즘으로 구한 경로의 예

이나 Dummy 경로를 생성하였고, Assignment cost는 차량의 현재 위치와 경로의 시작점 간의 거리이며 목적식은 필요 차량 수의 최소화를 우선으로 하고 다음으로 전체 차량 이동거리의 최소화로 하였다. 차량과 경로간의 Cost를 정할 때에 경로 상의 승객 수가 차량의 용량보다 크거나 차량이 정해진 Time Window 안에 승객을 목적지까지 수송할 수 없다면 Cost를 무한대( $\infty$ )로 설정한다. 이렇게 세워진 AP 모델은 Hungarian Algorithm (Kuhn, 1955)을 사용하여 해를 구하였다.

<Figure 4>는 차량 3대일 때 주어진 경로를 할당하는 차량 스케줄링 문제의 예이다. <Figure 4>에서 차량 A와 B의 경우 이전에 다른 경로를 서비스했기 때문에 현재 위치가 마지막 목적지인 반면, 차량 C는 다른 경로를 서비스하지 않았기 때문에 현재 위치가 차고지인 상태이다. 점선으로 표시된 경로는 승객 없이 빈차로 이동한 경로(Empty travel)이다. 이 상태에서 새로이 경로 2개가 추가된다면(그림의 동그라미 안의 경로들) 차량 3대와 경로 2개간의 AP 모델을 만들어서 차량-경로 간의 할당을 수행한다. <Figure 4>의 예에서는 각각 차량 A, B가 새로운 경로에 할당되었음을 확인할 수 있다. 경로 할당 이후에는 차량의 현재 위치와 도착 시간을 업데이트한다.

그러나 현재 알고리즘에서는 차량 경로 결정 문제에서 차량의 가용성(Availability)을 고려하지 않고 경로를 구하기 때문에 경로에 할당할 가능한(Feasible) 차량이 없는 경우가 발생할 수 있다. 이처럼 AP 모델을 통해서 Feasible한 차량-경로 할당을 구할 수 없다면 차량 경로 결정 문제에서 구한 경로를 무시하고 새로 경로를 생성하는데 이때에는 차량의 가용성을 고려하면서 차량 경로를 생성한다. <Figure 5>는 차량의 가용성을 고려하지 않은 경로와 고려한 경로의 비교이다. (a)의 경우 경로 자체의 길이는 짧으나 차량의 위치를 고려하지 않았기 때문에 차량 A가 경로의 승객들을 Time Window 내에 목적지로 수송하지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 그러나 (b)의 경우 Empty travel을 제외한 경로 자체의 길이는 (a)보다 길지만 경로의 시작점이 차량의 현재 위치와 가깝기 때문에 (a)보다 Time window 내에 목적지에 도착하기 용이하다.

#### 4. Post Optimization

차량 경로 결정 문제와 차량 스케줄링 문제를 통해 얻어진 초

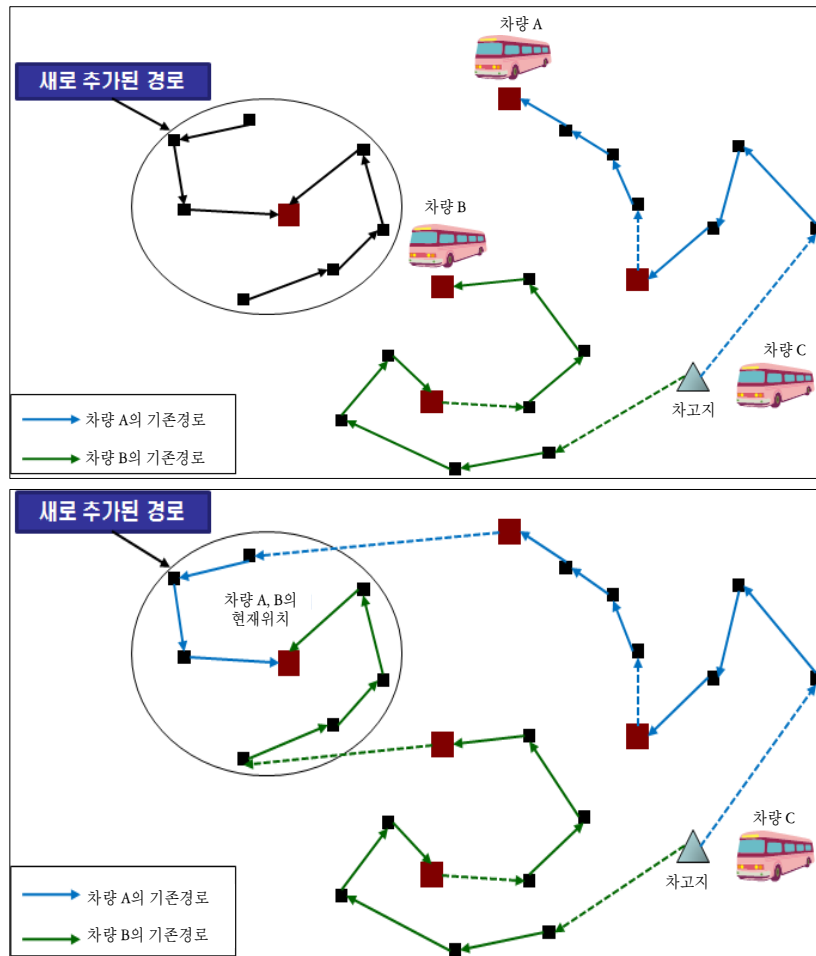


Figure 4. 차량 스케줄링의 예(차량 3대)

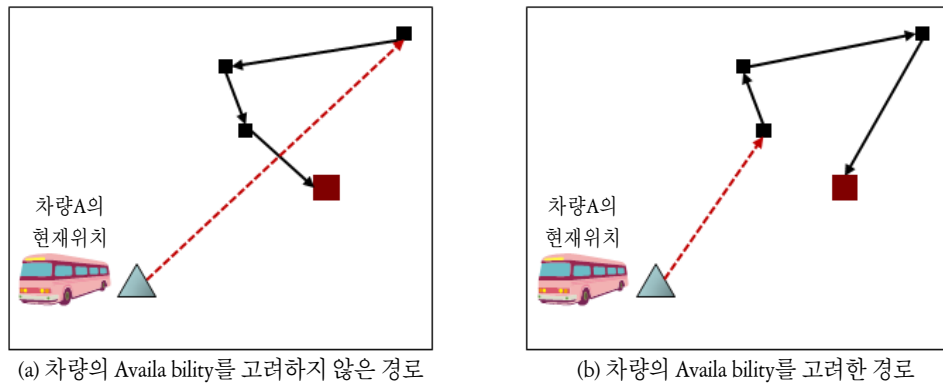


Figure 5. 차량의 가용성을 고려하지 않은 경로와 고려한 경로의 비교

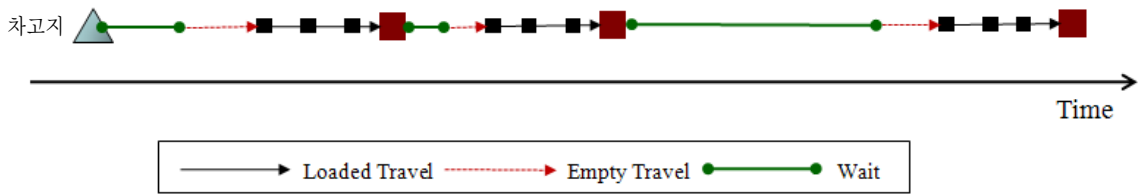


Figure 6. 초기 경로의 구조

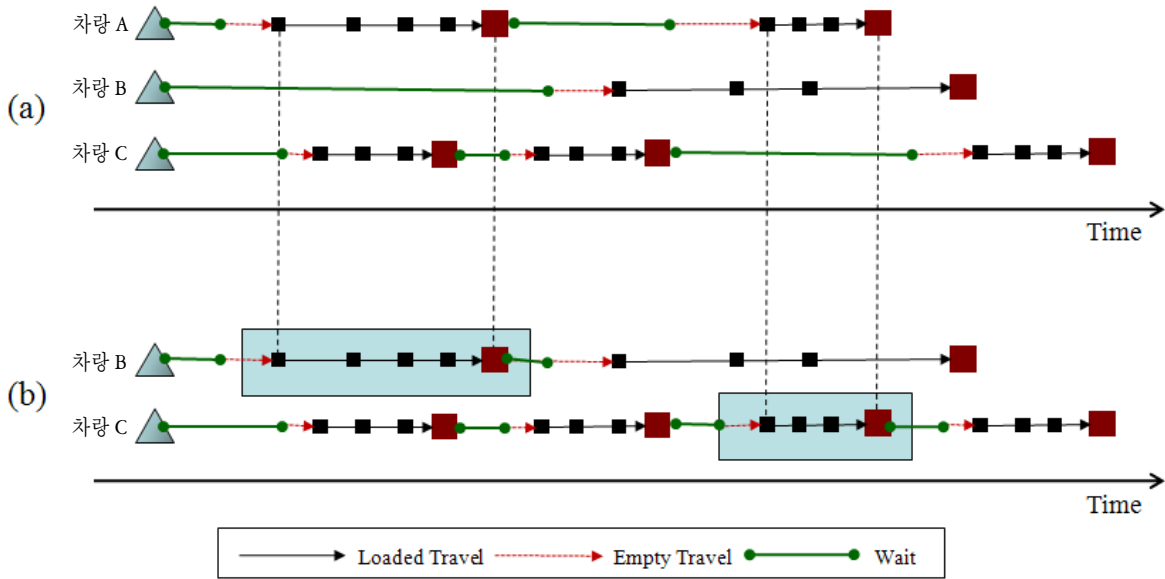


Figure 7. 경로 재할당 알고리즘

기 경로를 개선하기 위해서 본 연구에서는 Post optimization 프로세스를 제안하였다. Post optimization은 크게 경로 재할당과 혼승 재할당의 두 단계로 나뉜다. <Figure 6>는 차량 경로 결정 문제와 차량 스케줄링 문제를 통해 얻어진 초기 경로의 구조를 나타낸 것이다. <Figure 6>에서와 같이 차량은 차고지를 출발하여 승차지점들을 거쳐서 승객을 태워 목적지까지 수송한다. 이때 한 차량에는 반드시 같은 목적지로 향하는 승객들만이 탑승할 수 있다. 즉, 초기 경로에서는 혼승이 허용되지 않는다. 그리고 차량들은 다음 목적지의 Time Window에 맞추기 위해서 일정 시간 대기하는 것이 가능하며 이때 기다리는 시

간(Wait time)이 발생하게 된다.

#### 4.1 경로 재할당

경로 재할당은 사용되는 차량의 수를 줄이기 위해 경로를 재할당하는 알고리즘이다. <Figure 7>은 경로 재할당 알고리즘을 설명한 것이다. (a)와 같이 초기 경로에서 차량들의 기다리는 시간이 존재하는데 경로 재할당 알고리즘에서는 이 기다리는 구간에 다른 차량의 경로를 삽입할 수 있다면 해당 경로를 옮기는 방법이다. (a)에서 차량 A가 서비스하는 두 개의 경

로는 각각 차량 B와 차량 C의 기다리는 구간으로 옮기는 것이 가능하데 이와 같이 차량 A의 경로를 각각 차량 B와 C로 옮기면 사용되는 차량의 수를 한 대 줄일 수 있다.

4.2 혼승(Mixed loading) 재할당

혼승을 허용하면 한 차량에 동시에 여러 목적지로 가는 승객을 싣는 것이 가능해진다. 스쿨버스 문제의 경우라면 한 버스에 동시에 여러 학교의 학생을 싣는 것이 가능해진다는 의미이다. 혼승을 허용하면 차량을 탄력적으로 운용할 수 있기 때문에 차량 사용을 줄일 수 있지만 스쿨버스의 경우 정책적으로 혼승이 허용되지 않는 경우도 많다. 이러한 점을 감안하여 본 연구에서도 혼승 재할당 알고리즘의 경우는 문제에 따라 선택적으로 수행하도록 하였다.

<Figure 8>은 혼승 재할당을 이용하여 사용 차량의 수를 줄일 수 있는 예이다. 그림과 같이 3개의 승차지점과 3개의 목적지점이 있는 경우, 혼승을 허용하지 않는다면 과도한 수의 차

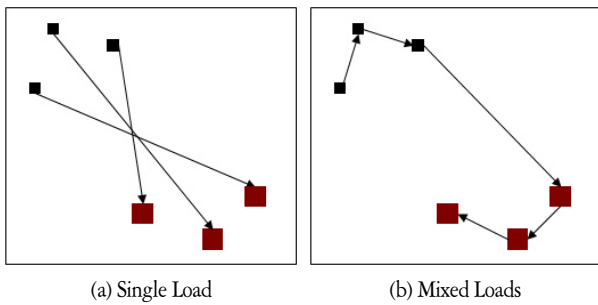


Figure 8. 혼승 재할당 알고리즘의 활용

```

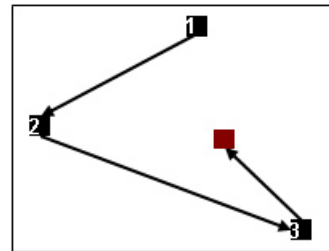
Given a set of single load route  $R = \{R_1, \dots, R_k\}$ 
 $C(b, R_j)$  = the minimum feasible insertion cost of  $b$  to route  $R_j$ 
 $C^*(b)$  = the minimum feasible insertion cost of  $b$  (to any routes)
SET  $R^* := R$ 
FOR  $i = 1$  to  $K-1$  DO {
   $R := R^*$ 
  REPEAT {
    Consider a stop  $b$  from route  $R_i$ 
    SET  $C^*(b) := \infty$ 
    FOR  $j = i+1$  to  $K$  DO {
      IF the place of work associated with stop  $b$  is not in route  $R_j$ 
      THEN insert that place of work to  $R_j$ 
      Find the minimum cost feasible insert position of  $b$  to route  $R_j$ 
      IF  $C(b, R_j) < C^*(b)$ 
      THEN move  $b$  to  $R_j$ , set  $C^*(b) := C(b, R_j)$ , and update  $R_j$ 
    }
  } UNTIL all the stops in route  $R_i$  is considered
  IF all the bus stops in route  $R_i$  is moved to other routes
  THEN delete route  $R_i$  from the set  $R$  and  $R^* := R$ 
  ELSE  $R := R^*$ 
}
Output the  $R^*$  as the solution
    
```

Figure 9. 혼승 재할당 알고리즘

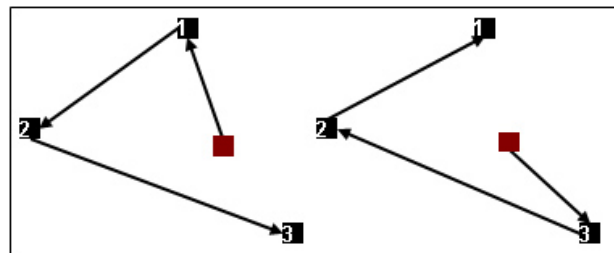
량이 사용되지만 혼승을 허용한다면 사용 차량의 수를 줄이는 것이 가능해진다. 본 연구에서 사용한 혼승 재할당 알고리즘은 <Figure 9>와 같다. Park et al.(2009)에서 이 혼승 재할당 알고리즘의 성능을 분석하였는데 24개의 벤치마크 문제에 대하여 평균 16% (최대 28%, 최소 8%)의 사용 차량 수 감소 효과를 거둘 수 있었다.

5. 기타 이슈

앞에서 다룬 내용은 주로 스쿨버스의 등교(혹은 통근 버스의 출근)에 관한 내용이다. 그러나 승객 수송 문제에서는 등교(출근) 뿐만 아니라 하교(퇴근) 문제에 관한 고려 또한 필요하다. <Figure 10>는 등교 계획과 하교 계획의 비교이다. 등교 계획은 승차지점을 방문하여 승객(학생)들을 싣고 목적지(학교)까지 수송하는 계획이나 하교 계획은 반대로 목적지점에서 학생들을 싣고 승차한 지점까지 수송하는 계획이다. 일반적으로 하교 계획은 등교 계획을 그대로 이용하여 등교 경로와 같은 순서로 승차지점을 방문하거나, 등교 경로의 역순으로 방문하는 두 가지 방법이 가능하다. 그 외에도 등교 계획과 별개로 하교 계획을 세우는 것도 가능하다. 이 경우는 하교 문제를 등교 문제로 바꾼 후 등교 계획에 사용한 알고리즘을 그대로 사용하여 하교 계획을 세울 수 있다. 본 연구에서는 위에서 언급한 3가지의 하교 계획 방법을 모두 구현하였고, 사용자가 정책에 맞게 선택하도록 하였다. 하교계획 수립 시 등교계획 순이나 역순을 취하는 방법은 개념적으로는 쉬운 방법이나 알고리즘적으로 구현하기는 등교문제나 하교문제의 해를 개별적으로



등교계획



하교계획

(좌: 등교경로의 같은순서, 우: 등교 경로의 역순)

Figure 10. 등교 계획과 하교 계획의 비교

찾는 것보다 복잡하고 어려워진다.

환승(Transfer)은 기존 연구에서 거의 다루어지지 않은 이슈이지만 실제 버스 시스템에서는 고려하는 경우가 있다. Russell and Morrel(1986)은 장애 학생을 수송하는 문제에서 환승을 고려한 알고리즘을 개발하였고, Cortes *et al.*(2010)은 Pickup and delivery problem에서 환승을 고려한 연구를 하였다. 환승을 고려하는 경우는 대부분 1회의 환승을 허용하나 일부 경우는 2회까지 환승을 허용하는 곳도 있다. 환승을 하는 승객들은 대부분 교외의 주거 지역에서 시내의 목적지로 이동하는 승객들로서, 환승 지점 (Transfer station)은 주로 시 경계 지역에 위치한다. 본 연구에서는 환승하는 승객들을 메인 알고리즘을 수행하기 전에 Pre-process로 따로 처리하였다. 이때 환승하는 승객의 정보(환승 지점, 환승 횟수 등)은 미리 주어졌다고 가정하였다.

### 6. 기대 효과 및 결론

본 연구를 통해 개발된 프로그램은 <Figure 11>에서 보이는 바와 같은 IIT사의 웹 기반 GIS 응용프로그램인 eRouteLogistics™에 탑재되어 활용되고 있다. 현재 미국에서 10,000여대의 버스를 소유하고 있는 승객 수송 회사에서 프로그램을 적용하고 있는데, 이 회사는 한 도시(Site) 당 50~200대의 버스를 운영하고 있으며, 1대의 운영비는 인건비 포함 연간 약 \$150,000정도이다. 개발된 프로그램을 3개 Site에 시범 적용한 결과 현재 운영하고 있는 것과 비교하여 약 10%~15%가량의 차량 감소 효

과를 거둘 수 있었다. 이 회사가 운영하는 전체 Site에 적용할 준비중인데 실제 적용을 하게 되면 1,000여대의 차량 감소, 약 \$150million의 비용 절감이 실현될 것으로 기대한다.

본 논문에서는 승객 수송문제를 소개하였고 문제의 해법을 위한 방법론과 각 문제에 대한 휴리스틱 해법을 제안하고 개략적으로 기술하였다. 제안된 방법론은 시스템화 되어 실제 문제에 적용되어 그 효과를 검증하였다. 하지만 최적해나 lower bound대비 방법론의 효율성 검증에 대한 연구는 앞으로 이루어져야 한다. 또한 각각의 알고리즘에 대한 보다 자세한 기술이나 실험결과에 대해서는 별도의 논문들로 정리하여 발표할 계획이다.

### 참고문헌

Bodin, L. D. and Berman, L. (1979), Routing and scheduling of school buses by computer, *Transportation Science*, **13**, 113-129.

Bowerman, R., Hall, B., and Calamai, P. (1995), A multi-objective optimization approach to urban school bus routing : formulation and solution method. *Transportation Research Part A*, **29**(2), 107-123.

Braca, J., Bramel, J., Posner, B., and Simchi-Levi, D. (1997), A Computerized Approach to the New York City School Bus Routing Problem, *IIE Transactions*, **29**, 693-702.

Cortés, C. E., Matamala, M., and Contardo, C. (2010), The pickup and delivery problem with transfers : formulation and a branch-and-cut solution method, *European Journal of Operational Research*, **200**, 711-724.

Desrosiers, J., Ferland, J. A., Rousseau, J.-M., Lapalme, G., and Chapleau, L. (1986), TRANSCOL : a multi-period school bus routing and scheduling system, *TIMS Studies in the Management Sciences*, **22**, 47-71.

Fügenschuh, A. (2009), Solving a school bus scheduling problem with integer programming, *European Journal of Operational Research*, **193**(3), 867-884.

Gavish, B. and Shlifer, E. (1979), An approach for solving a class of transportation scheduling problems, *European Journal of Operational Research*, **3**(2), 122-134.

Gillett, B. E. and Miller, L. R. (1974), A heuristic algorithm for the vehicle dispatch problem, *Operations Research*, **22**, 340-349.

Kara, I. and Bektas, T. (2006), Integer linear programming formulations of multiple salesman problems and its variation, *European Journal of Operational Research*, **174**(3), 1449-1458.

Kuhn, H. W. (1955), The Hungarian Method for the assignment problem, *Naval Research Logistics Quarterly*, **2**, 83-97.

Li, L. and Fu, Z. (2002), The school bus routing problem: a case study, *Journal of the Operational Research Society*, **53**, 552 - 558.

Park, J., Tae, H., and Kim, B. (2009), The Effects of Allowing Mixed Loads in the Commuter Bus Routing Problem, *Proceedings of the 10th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference*, December 14-16, 2009, Kitakyushu, Japan.

Park, J. and Kim, B. (2010), The School Bus Routing Problem : A Review, *European Journal of Operational Research*, **202**(2), 311-319.

Ripplinger, D. (2005), Rural school vehicle routing problem, *Transportation Research Record*, **1992**, 105-110.

Russell, R. A. and Morrel, R. B. (1986), Routing special-education school buses, *Interfaces* **16**(5), 56-64.

Schittkat, P., Sevaux, M., and Sörensen, K. (2006), A mathematical formulation for a school bus routing problem, *Proceedings of the IEEE 2006 International Conference on Service Systems and Service Management*.

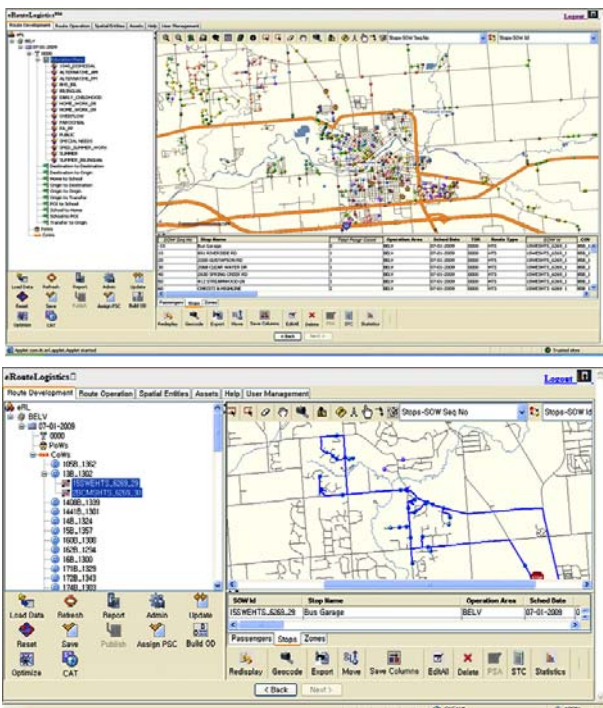


Figure 11. 알고리즘이 적용되고 있는 미국 IIT사 eRouteLogistics™ 화면

Spada, M., Bierlaire, M., Liebling, and Th. M. (2005), Decision-aiding methodology for the school bus routing and scheduling problem, *Transportation Science*, **39**, 477-490.

Swersey, A. J. and Ballard, W. (1984), Scheduling school buses, *Management*

*Science*, **30**(7), 844 - 853.

White, G. P. (1982), An improvement in Gavish-Shlifer algorithm for a class of transportation scheduling problems, *European Journal of Operational Research* **9**(2), 190-193.

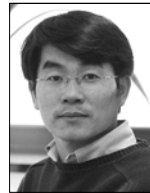


### 박준혁

포항공과대학교 산업경영공학과 석·박사  
통합과정.

2005년 포항공과대학교 산업공학사.

관심분야 : vehicle routing problem, metaheuristics



### 김병인

포항공과대학교 산업경영공학과 부교수.

포항공과대학교 산업공학 학사/석사, 미 런슬레이 공대 산업공학 박사. LG전자 생산기술원 주임연구원, 미 멤피스대 조교수, 미 Institute of Information Technology사 R&D Director 등 역임.

관심분야 : vehicle routing problem, generic simulation, 최적화



### 김성배

미Institute of Information Technology 사 CTO.  
한양대학교 산업공학사, 미 Texas A&M 산업공학 석·박사. 미 FedEx Express 사 Operations Research Advisor 등 역임, 미 Institute of Information Technology사 공동창업.

관심분야 : Logistics solution



### Surya Sahoo

미 Institute of Information Technology 사 CEO.  
Regional Engineering College, India 학사, 미 멤피스대 토목공학 석·박사, 미 ESRI 사 System Analyst, 미 FedEx Express 사 GIS Advisor 등 역임, 미 Institute of Information Technology사 창업.

관심분야 : Logistics solution