

실시간 차량 경로 계획 문제의 연구 동향

양 병 학*

*경원대학교 산업정보시스템공학과

A Survey on the Real Time Vehicle Routing Problems

Byoung Hak Yang*

*Department of Industrial Engineering, Kyungwon University

Abstract

During last two decades the transportation system has developed into very intelligent system with GIS, GPS and ITS. The practical transportation management system provides real time response module to manage the customer's order. We have surveyed research papers on the real time vehicle routing problem in last two decades to figure out the dynamic vehicle routing problem. The papers are classified by basic routing algorithms and by managing the dynamic events which are the order management, the routing re-optimization, the routing post-optimization and the waiting strategy.

Keyword : Real time, Dynamic Vehicle Routing Problems

1. 서론

차량경로문제(Vehicle routing problem: VRP)는 물류분야에서 오랜 기간 다루어졌던 문제이다. 지리정보시스템, 위치추적시스템, 지능형 교통관리시스템과 통신기술을 결합하면 현재의 차량의 위치, 고객의 요청, 도로 상황 등을 실시간으로 관리할 수 있게 되었다. 정보가 시간에 따라 변하는 상황에서 차량계획문제를 다룬다면 이를 동적 차량계획법 문제(Dynamic VRP: DVRP)라고 한다. DVRP에 대응하는 개념은 정적 차량계획법 문제(Static VRP: SVRP)이다. Ghiani et al. [24]은 DVRP에 대한 실제 사례로 동적 차량 관리, 공급자 관리 분배 시스템, 택배, 차량 견인, 다이얼 어 라이드(Dial a ride), 응급 구호, 콜택시 등을 들고 있다. DVRP의 특징은 Psaraftis [44]가 다음과 같이 제시하였다.

-시간 차원 : 배차관리자는 고객의 요청이나 다른 정보가 도착했을 때 모든 차량에 대한 위치 정보를 정해

진 시간 내에 알아야 한다.

-계획 기간 : 동적 문제에서는 연속적으로 의사 결정을 하게 되어 계획 기간이 무한할 수 있다.

-정보의 존재 : 동적 문제에서는 미래의 정보가 확정적이지 않다. 미래 정보의 가능한 형태는 예측이나 확률적 분포이다.

-단기적 의사결정: 동적 문제에서는 불확실한 미래 정보에 기반을 둔 장기적인 의사 결정을 하지 않는다. 동적인 고객의 요청에 단기적인 의사 결정을 한다.

-정보 갱신 : 차량과 관련된 정보는 일상적으로 변하게 된다.

-경로재설정과 재배정의 보장 : 새로운 정보가 들어 오면 경로의 수정과 재배정이 필요하다.

-연산 속도 : 동적인 환경에서는 가능하면 빠른 시간 내에 해결해야 한다.

-목적함수의 다양성 : 정적인 문제처럼 계획기간동안의 수송비의 최소화는 동적인 문제에서 의미가 없을 수 있다. 미래의 정보가 확실하지 않다면 알려진 정보만으로 최적화하는 것이 타당하다.

† 교신저자: 양병학, 경기도 성남시 수정구 복정동 산65 경원대학교 산업정보시스템공학과

M · P: 010-2772-5368, E-mail: byang@kyungwon.ac.kr

2008년 1월 접수; 2008년 2월 수정본 접수; 2008년 2월 게재확정

- 시간 제약의 유연성 : 동적인 문제에서는 시간 제약에 의해 고객의 요청이 즉시 거부되기보다는 시간 제약을 조정하려는 경향이 있다.

-고객 대기 관련 요소의 중요성 : 고객의 요청이 일정 수준을 넘으면 시스템은 혼돈 상황에 들어간다. 경로문제와 대기행렬 문제를 결합할 필요가 있다.

실시간 차량 계획 문제는 이론적인 연구결과를 기반으로 실용적인 시스템 개발과 사용 확대의 추세로 진입하고 있다. 이에 그 동안의 실시간 차량 계획 문제에 대한 연구 결과를 조사하여 정리하여 실용적인 시스템 개발의 연구 초석이 필요하였다. 본 논문에서 사용하는 차량계획문제에 대한 용어는 [표 1]과 같다.

[표 1] 용어 정의. 각 문제에 첫머리에 D를 첨가하면 Dynamic을, S를 첨가하면 Static, 마지막에 TW는 time window를 의미한다.

DARP	Dial-a-Ride Problem
PDP	Pick-up and Delivery Problems
TSP	Travelling Salesman Problem
VRP	Vehicle Routing Problem
VRSP	Vehicle Routing and Scheduling Problem
VSP	Vehicle Scheduling Problem
VDP	Vehicle Dispatching Problem
WDP	Waiting Drivers Problem
VRPCE	VRP in a Competitive Environment

2. 정적인 차량경로 문제의 해법

DVRP에 대한 조사를 하기 전에 먼저 SVRP에 대한 기본적인 연구 결과들을 정리했다. 분지한계법, 분지절단법과 셀 파티션 방법 등이 있다. 우수한 최적해법이 개발되었으나 해결할 수 있는 문제의 크기는 여전히 100개로 제한되어 있다. VRP문제에 대한 실용적 해법으로 사용되는 메타휴리스틱에는 유전해법, 시뮬레이티드 어닐링, 타부 서치와 개미 해법 등이 존재한다.

Solomon[48]은 차량 경로 설정에 대한 여러 가지 휴리스틱 방법을 제안 하였다. 그에 의하면 차량 경로는 경로 설정, 경로내 개선, 경로간 개선으로 나뉜다고 했다. 많이 사용되는 경로 휴리스틱은 [표2]와 같다.

3. 동적인 차량 경로 문제 해법

Larsen[35]은 문제의 동적 정도를 전체주문 중 동

적인 주문의 비율로 정의하였으며 거기에 동적 주문의 시간적 요소를 고려하여 동적 정도를 식으로 제시하였다. 그는 동적 정도에 따라 응급구호나 콜택시 사업을 강한 동적 문제로 분류하였고 장거리 위탁 수송이나 수리 서비스 사업을 중간 동적 문제, 공급자 관리 분배 시스템을 약한 동적 문제로 분류하였다. 약한 동적 문제에서는 경로 비용을 최소화 하는데 중점을 두고 있으며 강한 동적 문제에서는 반응 시간이 핵심인 것으로 분류하였다. 실시간 차량경로 문제의 해결 방안은 Ichoua [30]에 의하면 두 가지 접근법이 있다. 먼저 동적 이벤트가 발생할 때 마다 차량경로문제를 푸는 접근법이다. 이 접근법은 다시 매 연산마다 새로운 최적해를 해결하는 재최적화 전략과 지난 기간에 해결한 최적해를 새로운 상황에 적합한 형태로 변형하는 사후 최적화 전략으로 나뉜다. 사후최적화 전략은 여러 가지 휴리스틱, 유전해법, 타부 서치 등을 사용하고 있다. 두 번째는 추계적 방법으로 마코프 프로세스나 추계적 프로그래밍을 사용하는 전략이다. 이 전략들은 실제 문제에 적용하기에는 연산 시간과 문제의 크기가 너무 큰 것으로 보고되고 있다. 동적 차량 경로 문제를 DVRP, DPDP, DTSP, DDAR과 기타 문제들로 분류하여 조사하려고 한다.

3.1 DVRP(Dynamic Vehicle Routing Problem)

Benyahia과 Potvin[7]은 DVRP에 대한 해를 제공하는 실용적인 시스템을 설계하였다. 시스템에는 교통량 정보의 수집과 분석, 사건 인식, 교통량 우회, 최단거리 계산, 시간 예측, 새로운 주문의 처리는 삽입 전략, 경로 계획, 경로 변경 등의 모듈을 포함하고 있다.

Montemanni et al. [42]은 차량과 배차 시스템 간에 통신에 의해서 새로운 경로를 명령하는 구조를 가정하였다. 미리 설정된 시간대마다 재최적화를 수행하였다. 주문 접수, 차량 위치 파악과 처리된 주문확인을 담당하는 사건 처리 모듈에 의해서 DVRP문제를 SVRP 문제로 전환하고 개미해법을 이용하였다. 마지막으로 페로몬 보전 모듈을 이용하여 직전에 구한 최적해의 정보를 현재의 문제에 전달하도록 하였다. Ichoua et al. [31]은 시간에 종속된 경로 속도에서의 DVRP문제를 다루고 있다. 먼저 시간대에 무관한 VRP문제에 대한 타부서치 해법을 제시하였다. 다음으로 시간대에 따른 주행 시간을 모델 속에서 반영하도록 하였다. 지역 탐색은 교차교환을 변형하여 사용하였다. Tighe et al.[54]은 새로운 주문들 중 처리 가능한 주문과 불가능한 주문을 판별하는 fuzzy 통계 모듈을 제시하였다.

처리 가능한 주문을 차량에 배정하는 경우 통제 시스템은 주문과 차량의 적합도를 평가하여 적합도가 높게 평가된 차량에 높은 우선순위를 부여하였다. 경로를 개선하는 해법은 유전 해법을 사용하였다. Hemert와 Poutr[27]은 방문지들이 특정 지역에 몰려 있는 경우를 다루었으며 해법으로는 진화 해법을 사용하고 있다.

Angelelli et al. [4]은 새로운 주문을 다루는 세 가지 전략을 비교하였다. IMMEDIATE 전략은 알려진 모든 주문을 가능한 한 즉시 처리한다. DELAY 전략은 주문을 가능하면 늦게 처리한다. SMART 전략은 각 주문의 처리 시점을 판단하여 처리한다. 비교 실험 결과 SMART

전략이 가장 효율적인 전략으로 분석되었다. Woensel et al.[56]은 시간 종속적인 주행 시간 문제를 다루고 있다. 대기이론에 의해서 차량의 소통량을 분석하여 차량의 속도를 추산하였다. 동적 상황에서 차량 정체를 피하기 위해, 차량의 출발 시간을 결정하는 문제를 다루고 있다. 경로를 결정하는 해법으로는 타부 서치와 2-Opt를 사용하였다. Malandraki [38]는 속도를 시간의 단계별 함수로 가정한 정수계획법 모형을 제시고 분지한계법과 최근이웃 삽입 전략으로 소형 문제를 해결하였다.

[표 2] 경로 설정에 사용되는 휴리스틱들

경로 개설	선경로-후분할	모든 방문지에 대한 하나의 경로를 구축하고, 차량 용량 등에 의해서 여러 개의 경로로 분할하는 방법.
	절약기법	Clarke and Wright의 절약 기법으로 방문지를 결합하여 얻을 수 있는 절약이 큰 방문지들을 경로에 선택 하는 방법.
	최측근 이웃 삽입 전략	경로의 마지막 방문지에서 미배정된 방문지중 가장 가까운 방문지를 선택하는 방법.
	삽입 전략	새로운 방문지를 기존의 경로에 한 부분에 삽입하는 방법. Insertion1(추가 비용이 가장 작게 발생하는 곳으로 삽입), Insertion2(총 경로 비용을 최소화 하는 곳으로 삽입) Insertion3(주문의 위급함을 고려)이 있다.
	Sweep 전략	차량 기지를 평면상의 중심으로 놓고, 중심으로부터 직선을 시계 방향으로 회전 시키면서 주문들을 수집화 한다. 수집 내에서 Insertion 1 전략에 의해서 경로를 형성한다.
경로내 개선	2-Opt	경로 중 2개의 가지를 제거하고 다른 2개의 가지로 대체.
	3-Opt	경로를 3개의 부분 경로로 분할하고 이를 재조합.
	Or-Opt	Or에 의해서 제안되었으며 어떤 출발지와 도착지를 연결하는 하나의 가지를 경로에서 떼어내어 다른 위치에 삽입하는 전략.
경로간 개선	2-Opt*	서로 다른 두 경로를 각각 두개의 부분 경로로 분할하고 이를 교환.
	재배치	한 경로의 방문지를 제거하고 이 방문지를 다른 경로의 두 방문지 사이에 삽입.
	교환	두 경로상의 두 방문지를 서로 교환.
	교 차 교 환 (Cross-exchange)	Or-Opt를 경로간에 수행하는 것. 각 경로상의 출발지-도착지 가지를 서로 교환.
	배출 사슬 (Ejection chain)	한 방문지를 현재의 경로에서 제거하고 다른 경로에 삽입하고 해의 가능성을 위해 자신의 경로 중 다른 방문지를 배출. 배출되는 방문지를 또 다른 경로에 삽입하고 가능해가 찾아질 때까지 연쇄적으로 이루어짐.
	GENI-교환	재배치의 확장으로 한 방문지를 다른 경로에 삽입하되 인접하지 않은 두 방문지 사이에 삽입.
	λ -교환	경로에서 두 부분 경로 R_1 과 R_2 를 선정하고 R_1 과 R_2 에 속한 부분 경로 S_1 과 S_2 를 구한 후 S_1 과 S_2 를 교환한다.

Gendreau et al.[22]은 DVRPTW를 위한 타부 서치를 제시하였다. 경로 개선을 위해 경로의 분해와 재조합을 사용하였으며 분해된 부분 경로 문제들을 병렬 프로그램으로 처리하였다. 새로운 주문은 타부 서치중인 경로에 삽입하였다. 가능해가 발견되면 주문을 접수하고 가

능해가 발견되지 않으면 주문을 거절하였다. 차량 운행 중에 관제 시스템에서는 타부 서치를 계속하여 경로를 개선하였다.

Ichoua et al. [30]은 우회 전략에 대하여 연구하였다. 운행 중인 차량의 다음번 목적지 사이에 새로운 주

문을 삽입하였으며 이를 우회 전략이라 했다. 우회 전략에서 주문은 삽입 휴리스틱에 의해서 처리되었다. 주문을 다음 방문지 이후에 삽입하는 경우에는 타부 서치를 사용하였다. 시간여유가 있으면 최적화 문제를 풀도록 하였다.

Rhalibi와 Kelleher [46]는 컨테이너 트럭의 수송 문제를 다루고 있다. 컨테이너 차량의 경로계획을 수립한 이후 발생하는 주문이나 차량 고장 등과 같은 동적인 상황 등을 고려하였다. 유전해법을 이용하고, 경로 교환, λ -교환을 경로 수정 전략으로 사용하였다.

Tian et al. [53]은 서비스를 마친 차량에 다음 방문지를 지정하도록 하였다. 새로운 주문에 대해서는 경로 비용과 방문 시간대 제약에 따른 벌금 비용을 최소화할 목적으로 하는 2-Opt를 사용한 혼합 개미 해법을 도입했다.

Bent와 Hentenryck (2003)은 미래의 상황에 대응하기 위해 복수개의 경로 계획을 유지하였다. 새로운 주문에 대한 경로 계획을 준비한 복수개의 경로 계획으로부터 탐색했다. 또한 미래에 발생 가능한 주문들을 확률 분포로부터 샘플링 하여 복수개의 시나리오를 구성하고 그에 대응하는 경로 계획을 유지하였다. 장점은 복수개의 계획이나 시나리오를 유지하여 실제 주문이 발생했을 때 빠르게 대응할 수 있다는 점이다. 경로 계획의 수정은 재배치 전략을 사용하였다.

Li [37]는 시간에 종속된 주행 속도 문제를 다루었다.

주행 시간을 구하기 위한 최단거리해법은 라벨링 기법을 응용한 동적최단거리기법을 도입하였다. 해법으로 각 주문을 경로에 삽입하는 전략으로 경로를 형성하고 3-Opt 전략으로 해를 개선하였다.

Taniguchi와 Shimamoto [51]는 DVRPTW를 예측 VRPTW와 동적VRPTW의 두 종류로 분류하고 도로망의 주행 속도가 실시간으로 처리되는 경우의 차량경로문제를 다루었다. 예측VRPTW는 전일에 예측된 자료에 의해서 차량 경로 계획을 수립한다. 동적VRPTW는 전일에 차량 경로 계획을 수립하고, 차량이 방문지에 도착할 때 마다 도로 정보를 수정하고 경로 계획을 수정하였다. 해법은 유전 해법을 이용하였다.

Alvarenga et al. [2]은 정적인 VRPTW의 해법으로 쉘 파티션 방법을 사용하였다. 유전해법에 의해 유효한 지역해를 생성하고 쉘 파티션 기법에 의해서 최적해를 찾도록 하였다. 동적인 주문을 처리하기 위해서 진행 중인 유전 해법의 개체들에 새로운 주문의 삽입과 취소를 적용하였다. 이는 해법의 진행 중 과거의 정보와 새로운 정보를 혼합하여 유효한 해를 구할 수 있음을 의미한다.

Du et al. [15]은 3단계의 접근법을 사용하였다. 1단계는 모든 주문을 분할하고 분할된 주문들의 경로를 구했

다. 경로는 절약기법, 선입선출법, 최측근 이웃 삽입 전략, Insertion1, Sweep 전략에 의해서 구했다. 2단계로 경로간 개선으로는 재배치, 2-Opt를 사용하였다. 3단계 경로내 개선으로는 Or-Opt, 2-swap을 사용하였다. 실험에 의하면 새 주문으로 인한 추가 경로 비용을 최소화하기 위해서는 초기 경로는 Insertion1, 경로간 개선은 재배치, 경로내 개선은 Or-Opt의 조합이 최적이었으며, 고객의 만족을 높이기 위해서는 초기 경로에 최측근 이웃 삽입, 경로내 개선에 2-swap나 Or-Opt를 사용하는 것이 최적으로 보고하였다.

Song et al. [49]은 DVRPTW에서 재최적화의 시점에 관해 연구하였다. 말벌(Wasp) 에이전시를 사용하여 차량이 새로운 주문에 대응할 것인지를 결정하였다. 에이전시는 새 주문까지의 거리가 짧고 여유 용량이 크면 재최적화를 수행할 확률이 높아지도록 했다. 그들은 재최적화를 특정 시간 마다 수행하는 것보다 말벌 에이전시가 판단하여 재최적화를 수행하는 것이 더 우수하다는 것을 보였다.

Housroum et al. (2006)은 차량 운행 중 경로를 최적화하여 차량의 도착시 다음 방문지를 명령하도록 하였다. 해법은 진화 해법을 사용하였으며 개체는 고객 방문 순서 벡터를 사용하였다. 새로운 주문은 진화 해법의 개체에 삽입하여 반영하였다.

Benyahia et al. [8]은 주행 시간에 대하여 장기 예측, 단기 예측을 이용하여 예측하고, 실행에서는 실시간 자료를 반영하도록 하였다. 장기 예측에 의해서 거리 정보와 이미 알려진 주문에 대하여 삽입 전략과 교차 교환 전략에 의해서 초기 경로를 구했다. 새로운 주문에 대하여는 한계시간을 설정하여 기존 경로에 삽입하거나 거절하도록 하였다.

Chen과 Xu [10]는 DVRP에서 지역 탐색 전략을 사용하였다. 이들은 일정한 시간마다 재최적화를 수행하였다. 문제를 해결하기 위해 열제조(column generation)기법을 이용한 혼합정수계획법을 사용하였다. 연산 시간의 제약을 고려하여 생성되는 열제조의 수는 제한하였다. 실험에 의해 고전적 열제조 기법에 비하여 연산시간을 단축하고 해의 품질도 적절한 것으로 알려졌다.

Djadane et al. [13]은 유전해법을 개발하고, 새로운 주문은 삽입 전략에 의해 개체에 삽입하여 유전 해법으로 해를 개선시켰다. 방문시간대와 차량속도에 대하여 Fuzzy함수를 도입하여 평가하였다. 운행시간 최소화를 목적함수로 하며, 방문시간대의 만족 여부를 나타내는 고객만족도 지수를 fuzzy함수를 이용하여 정의하고 고객만족도 지수를 높이는 경로도 탐색하였다.

Potvin et al. [43]은 정적인 VRPTW를 위한 해법으로는 Insertion2 전략과 교차 교환을 실시하여 경로를 개

선하였다. 동적인 상황으로는 차량이 다음번 주문을 서비스할 수 없는 경우와 새로운 주문이 발생한 경우를 가정하였다. 새로운 주문은 Insertion2 전략과 교차 교환을 실시하였다.

Du et al. [16]은 분배센터에서 일상배송을 하는 경우의 실시간 차량계획문제를 다루었다. 해법은 Insertion2 전략과 경로간 개선으로 2-Opt를 사용하였다.

Donati et al.[14]은 시간중속 주행속도 환경을 다루었으며 새로운 주문은 고려하지 않았다. 개미 해법을 사용하였으며 지역 탐색으로는 경로내에서 2-Opt, 경로간에는 재배치, 교환, 가지 재배치, 가지 교환 전략을 사용하였다.

3.2 DPDP(Dynamic Pick-up and Delivery Problems)

Regan et al. [45]은 DPDP문제에서 주행 중인 차량의 다음번 방문지 사이에 새로운 주문을 삽입하는 우회 전략을 사용하여 경로 비용을 절약할 수 있음을 보였다.

Swihart와 Papastavrou [50]는 DPDP를 위한 세 가지 전략으로 Sectoring Policy (지역을 미리 나누고 주문을 처리한 차량은 같은 지역 내의 가장 시급한 주문을 처리), Stacker Crane Policy (주문들을 도착한 시점에 근거하여 그룹을 형성한다. 한 그룹 내의 주문들에 대하여 Stacker crane의 운행처럼 최적해를 산출)와 최근이웃전략 (한 주문을 수행하고 가장 가까운 다음 주문을 처리)을 제시하였다. 실험에 의하면 최근이웃전략이 우수한 것으로 보고되었다.

Jih와 Hsu[33]는 SPDPTW를 위한 유전 해법을 제시하였다. 목적함수는 경로비용과 차량대기비용이었다. DPDP를 위해서 목적 함수에 차량 지연과 적재량 초과 벌금을 추가 하였다. 해법은 사전계획 (처리해야할 주문과 차량의 위치 정보 등을 정리), 동적계획법 (정해진 계산 시간 내에서 동적계획법을 수행)과 유전해법 (동적계획법에서 구해진 초기해를 기반으로 유전 해법을 수행)의 3단계로 진행하였다. 유전해법을 동시에 사용한 것이 우수한 해를 찾아준다고 했다.

Slater[47]는 전자상거래 환경하의 차량경로의사결정 시스템을 제시하였다. 먼저 수요를 예측하여 가상 주문에 의한 가상 경로를 설정하였다. 가상 경로를 구하는 해법은 Solomon (1987)의 순차적 삽입 전략을 사용하였다. 실제 주문은 가상 경로상의 주문 중 가장 가까운 것으로 대체하여 가능성을 확인하고 경로 개선을 한다.

정해진 시간마다 재최적화를 수행하였다.

Mitrovic-Minic과 Laporte [41]는 대기 전략을 다루었

다. 대기 시간을 초기에 배정하면 총 우회시간은 감소하고 필요한 차량의 수는 증가 한다는 것을 보였다.

반대로 대기 시간을 후반에 배정하면 필요 차량의 수는 감소하고 우회 시간은 증가했다. 그들은 경로를 서비스 지역들로 분할하고 각 서비스 지역에 필요한 서비스 시간의 비율로 대기 시간을 분배하는 정책이 최적이라고 제안하였다.

Mitrovic-Minic et al. [40]은 계획시간을 단기간과 장기간의 두 단계로 분리하였다. 새로운 주문이 단기간에 있으면 삽입 전략으로 경로를 수정하고, 장기간에 속하면 타부 서치를 이용하여 경로를 수정하였다.

Fleischmann et al. [20]은 배정 규칙에 의한 계획, 배정 해법에 의한 계획, 삽입 해법에 의한 계획의 세 가지 해법을 제시하였다. 그들은 배정 해법에 의한 계획이 연산 시간과 해의 품질 면에서 우수하다고 했다.

Haghania와 Jung[26]은 시간중속적인 주행시간 문제를 다루었다. 차량과 관제소간에 실시간 통제가 가능하며 거리 정보도 실시간에 수정된다. 계획 기간을 시간대로 분할하고 매 2시간 마다 재최적화를 수행하였고 해법으로는 유전해법을 사용하였다.

Goel과 Gruhn[25]은 Road feeder services (RFS) 문제를 다루었다. 경로 계획은 Large Neighborhood Search (LNS: 현 경로의 k개 주문을 제거하고 k개의 새로운 주문으로 대체하여 개선이 있는지 탐색하는 것)을 사용하였으며 새 주문의 삽입 방법으로는 순차적 삽입 전략 (K개의 주문들을 랜덤하게 삽입하는 전략)과 경매 전략 (각 주문들이 각 차량에 삽입 가능한지 탐색하고, 삽입 가능한 주문들은 차량에 배정할 때의 비용을 추정하여 차량에 경매를 의뢰한다. 각 차량은 각 주문들로 부터 전달받은 입찰가에 의해서 주문을 경로에 삽입한다.)을 사용하였다.

Gendreau et al. [23]은 타부 서치를 이용한 해법을 제시하였다. 지역 탐색은 배출 사슬 전략을 사용하였다.

새로운 주문이 발생하지 않으면 타부 서치를 계속 수행하여 경로 최적화를 수행한다. 새로운 주문이 발생하면 타부서치 중의 기억장치에 저장된 우수 경로에 새로운 주문을 삽입하여 초기해를 만들고 타부 서치를 수행하였다.

Fabri와 Recht [17]는 단수차량 PDPTW을 위한 동적계획법을 제안하였다. 새로 발생한 주문에 대하여 기존의 각 경로에 삽입 가능하지를 단수차량 PDPTW해법으로 조사하였다. 처리 가능하면 추가 비용이 가장 작게 발생하는 경로에 추가하였다. 만약 고객이 요구하는 대응시간에 여유가 있으면 해를 개선하는 지역 탐색을 실시하였다.

Horn[28]은 실시간으로 변하는 주행 속도를 감안하여 두 지점간의 최단거리를 추정하는 방법을 제시하였다. 실시간으로 모든 경로상의 최단거리를 구하는 것은 상당한 계산이 요구되어 알려진 최단거리부터 실제 최단거리를

추정하는 방법을 도입하였다. 새로운 주문은 기존 경로에 삽입하는 전략을 사용하였다. 경로 비용을 개선하기 위해서는 경로간 재배치 전략을 사용하였다.

Angelelli et al.[3]은 처리 불가능한 주문은 별도 서비스를 이용하여 해결하는 것을 가정하고 주문의 연기 결정과 주문의 실행 시기 결정 문제를 다루었다. 새로운 주문을 거절하지 않고 일정한 시간마다 재최적화를 실시하였다. 목적함수는 연기하지 않는 서비스의 수 최대화, 경로 비용 최소화 등을 고려하였다.

3.3 DTSP(Dynamic Travelling Salesman Problem)

Malandraki와 Dial[39]은 시간 종속적인 주행을 단계별 함수로 가정한 DTSP에 대한 동적 계획법을 제시하였다. Larsen et al. [36]은 TSPTW에 대한 해법으로는 3-Opt를 사용했으며 실시간 주문에 대하여는 Or-Opt를 사용하였다. 한 주문을 처리한 후 다음 주문을 처리하기 전까지의 차량의 대기 전략으로 주문을 처리한 지점에서 대기하는 전략이 우수한 것으로 보고하였다. Jaillet와 Wagner[32]는 DTSP에 대한 기본 해법을 다음과 같이 제시하였다.

- (1) 차량이 차고지에 도착하면 알려진 주문에 대한 TSP의 최적해를 구한다.
- (2) 새로운 주문이 발생하면 다음의 둘 중하나를 선택한다.
 - (2a) 만약 주문지와 차고지까지의 거리가 차량으로부터 차고지까지의 거리보다 크면 차고지로 복귀하여 (1)을 수행한다.
 - (2b) 반대이면 새 주문은 무시하고 현재의 경로 계획을 수행한다.

여기서 TSP를 위한 해법으로는 반복적 투어 분할 휴리스틱을 사용하였다. 이 기본 해법을 다수 차량의 경

우에도 적용하도록 수정하였다.

3.4 DDAR(Dynamic Dial-a-Ride Problem)

Williamson[55] DAR문제를 작업자가 대화식으로 의사 결정할 수 있도록 하였다.

Teodorovic과 Radivojevic [52]은 차량의 주행 시간을 퍼지 로직에 의해서 산출하여 고객의 요구 시간대를 만족할 수 있는지를 판단하였다. 처리 가능한 주문에 대하여 퍼지 이론으로 최적화하도록 하였다.

Feuerstein과 Stougie [18]은 단일 차량에 대한 온라인 DAR 문제의 분석을 실시하였다. 그들은 많은 일정계획 문제가 단일 차량 DAR문제의 특수한 형태임을 보였다. Fu [21]는 추계적인 환경에서의 DAR의 일정계획을 다루었다. 그는 시간종속적인 주행 시간에서 차량이 원하는 시간대에 도착할 것인가를 추정하도록 하였다. 이를 통해서 새로운 주문의 처리 가능성을 빠른 시간 내에 판별하였다. 경로 최적화를 위해서는 인공지능 경망을 도입하였다.

Attanasio et al. [5]은 경로 최적화를 위해서 Cordeau와 Laporte [11]가 제시한 SDAR을 위한 타부 서치를 사용하였다. 새로운 주문에 대하여는 경로 삽입 가능성을 조사하고 가능한 주문은 타부 서치를 실시하였다.

Coslovich et al. [12]은 알려진 주문들에 대하여 off-line 상에서 2-Opt 최적화를 실시하였다. 이후 on-line으로 들어오는 주문들에 대하여 기존의 경로에 삽입하고 차량이 운행 중 일 때 더 좋은 경로가 있는지 탐색하여 경로를 수정한다.

Xiang et al. [71]은 빠르게 해를 개선하기 위한 휴리스틱으로 경로간 재배치 전략을 사용하였다. 이차 함수는 차량의 낭비시간으로 정의하여 낭비시간을 줄이는 해를 탐색하도록 하였다.

[표 3] 동적 차량 경로 계획 문제의 분류(DVRP)

연구자	문제의 유형	기본해법	동적 이벤트의 처리
Benyahia과 Potvin(2001)	DVRP	분지한계법	동적계획법,타부서치,유전해법,삽입전략
Montemanni et al(2003)	DVRP	개미해법	개미해법
Ichoua et al.(2003)	DVRP	타부서치	교차 교환
Tighe et al.(2004)	DVRP	유전해법	유전해법,fuzzy 시스템으로 동적 주문의 처리 여부를 결정
Hemert와 Poutr´(2004)	DVRP	진화해법	진화해법,방문지가 물려있는 경우를 고려
Woensel et al.(2008)	DVRP	타부서치	2-opt,대기이론으로 교통량을 분석하여 주행 시간 추정

3.5 기 타

Branke et al. [9]은 주문을 처리한 차량의 대기 전략을 결정하는 문제인 차량대기문제를 다루었다. 주문 처리율을 높이는 것을 목적함수로 하고 진화 해법을 사용하였다. Figliozzi et al.[19]은 경쟁적인 시장 환

경에서 동적 주문에 대한 비용과 가격의 결정을 다루는 VRPCE를 연구하였다. 주문이 들어오면 접수여부, 자차/용차 선택, 서비스 비용 등을 결정해야 한다. 또한 이 주문을 경쟁회사에서 접수할 수도 있다. 이 문제는 동적 계획법 문제의 성격을 가지고 있으며 동적 경매 문제로 해결하였다.

[표 4] 동적 차량 경로 계획 문제의 분류(DVRPTW)

연구자	문제의 유형	기본해법	동적 이벤트의 처리
Malandraki (1989, 1992)	DVRPTW	분지한계법	최근이웃삽입
Gendreau et al.(1999)	DVRPTW	타부서치	타부서치중 경로에 삽입,주행중인 차량이 다음 서비스를 수행하기전까지 경로 최적화 수행
Ichoua et al. (2000)	DVRPTW	타부서치	우회전략,타부서치,주행 중 다음번 방문지 사이에 새 주문 삽입
Rhalibi와 Kelleher(2003)	DVRPTW	유전해법	경로 교환, λ -교환
Tian et al. (2003)	DVRPTW	개미해법	2-opt와 개미해법
Bent와 Hentenryck(2003)	DVRPTW	복수계획	재배치 전략,미래를 대비해 복수개의 계획을 유지하고 대응
Li(2004).	DVRPTW	휴리스틱(삽입과 3-opt)	시간 종속 속도하의 최단경로, 라벨링 기법을 이용한 동적최단거리해법
T a n i g u c h i 와 Shimamoto(2004)	DVRPTW	유전해법	유전해법
Alvarenga et al.(2005)	DVRPTW	센파티셔닝과 유전해법	유전해법과 개체삽입
Du et al.(2005)	DVRPTW	세이빙 휴리스틱	초기경로, 경로간 개선,경로내 개선을 수행
Song et al. (2005)	DVRPTW	삽입전략	주문의 속정을 분석하여 재최적화 여부를 판단
Housroum et al.(2006)	DVRPTW	진화해법	삽입전략,차량의 운행중에 기지에서 재최적화를 수행
Benyahia et al(2006)	DVRPTW	삽입전략과 교차교환	한계시간을 설정하여 주문의 삽입 여부를 결정
Chen과 Xu(2006)	DVRPTW	열제조 기법기반 혼합정수계획법	일정기간마다 정적문제를 해결,연산 시간 단축을 위하여 열제조의 수를 제한
Djadane et al.(2006)	DVRPTW	유전해법	개체에 새로운 주문을 삽입하고 유전해법 수행
Potvin et al.(2006)	DVRPTW	비용 최소화 삽입 전략과 교차 교환	비용 최소화 삽입 전략과 교차 교환
Du et al. (2007)	DVRPTW	최소비용 삽입 전략과 경로간 개선으로 2-Opt	새로운 주문 고려하지 않고 주행 속도의 변화 고려
Donati et al.(2008)	DVRPTW	개미해법	새로운 주문 고려하지 않고 주행 속도의 변화 고려,지역 탐색으로는 경로내에서 2-Opt, 경로간에는 고객 재배치, 고객 교환, 가지 재배치, 가지 교환 전략

4. 연구 동향 분석

지금까지 알려진 연구 결과를 분야별로 정리한 것이

[표3,4,5]에 제시되었으며, 기존의 연구들을 기본해법, 주문의 처리, 주행시간의 처리, 동적 경로 최적화, 차량 대기 전략별로 살펴보았다.

[표 5] 동적 차량 경로 계획 문제의 분류(PDP,DTSP,DDAR,기타)

연구자	문제의 유형	기본해법	동적 이벤트의 처리
Regan et al. (1994, 1995)	DPDPTW	-	새로운 주문을 기존 경로에 삽입
S w i h a r t 와 Papastavrou(1999)	DPDPTW	-	최근이웃선택,지역분할전략, 스택터 크레인 전략, 최근 이웃 선택과의 비교 실험
Jih와 Hsu(1999)	DPDPTW	순차적 삽입 전략	가상 경로의 유사 방문지와 대체
Mitrovic-Minic 과 Laporte(2004)	DPDPTW	-	차량의 대기 시간 배분에 관한 연구, 지역별로 구분하고 지역의 서비 시간 비율로 대기 시간을 배정하는것이 최적
Mitrovic-Minic et al. (2004)	DPDPTW	타부서치	단기간은 삽입전략, 장기간은 타부 서치
Fleischmann et al. (2004)	DPDPTW	배정계획법	배정계획법
Haghania와 Jung(2005)	DPDPTW	유전해법	2시간마다 유전해법 수행
Goel과 Gruhn(2005)	DPDPTW	l a r g e Neighborhood 탐색	주문과 차량간에 경매 방식으로 배정
Gendreau et al.(2006)	DPDPTW	배출 사슬 탐색을 이용한 타부 서치	타부 서치중 발견된 우수 경로에 새로운 주문을 삽입하여 초기해 산출
Fabri와Recht(2006)	DPDPTW	단일 차량을 위한 동적계획법	새 주문을 현 경로에 삽입하는 비용을 단일 차량 동적 계획법으로 판단
Horn(2006)	DPDPTW	삽입 전략	삽입 전략과 재배치 전략,시간 종속적 주행 시간환경의 실시간 최단 경로 해법을 도입
Angelelli et al.(2007a)	DPDPTW	-	주문을 모두 수용하는 가정하에 일정 시간마다 최적 경로를 계산
Larsen et al.(2004)	DTSP	휴리스틱 3-opt	Or-opt,차량의 대기 장소로 마지막 작업장소를 제시
Jaillet와 Wagner(2007)	DTSP	Iterated Tour Partion 휴리스틱	Iterated Tour Partion 휴리스틱
Williamson(1992)	DDAR	작업자의 대화형 의사결정	작업자의 대화형 의사결정
Teodorovic과 Radivojevic (2000)	DDAR	퍼지로직	퍼지로직
Fu (1999, 2002a,b)	DDAR	인공신경망	인공신경망
Attanasio et al. (2004)	DDAR	타부서치	타부서치중 경로에 삽입
Coslovich et al. (2006)	DDARTW	2-Opt휴리스틱	삽입후 2-Opt휴리스틱,주문은 삽입 가능성만 고려, 주행 중 경로를 개선.
Xiang et al(2008)	DDAR	삽입과 교환전략	삽입과 교환전략,차량낭비시간을 줄이는 2차 목적함수를 사용
Branke et al.(2005)	WDP	진화해법과 휴리스틱	차량의 대기 방법
Figliozzi et al.(2007)	VRPCE	동적경매	접수여부, 자차/용차 선택, 서비스 비용 등을 결정

기본 경로 해법: 기본 해법은 동적 이벤트를 처리하기 전에 알려진 주문들에 대한 최적 경로 계획을 수립하는데 사용되었다. 기본 해법은 일반 차량경로문제와 마찬가지로 분지한계법, 셀 파티션, 휴리스틱, 진화해

법, 개미해법, 타부서치 등이 사용되었다. 기본 해법의 사용에 있어서 주요한 비용요소는 경로비용과 서비스 비용이었다. 서비스 비용은 고객의 주문 만족도이며 주로 시간대의 만족 여부였다. 기본 해법이 동적 상황에

서도 사용가능해야 함으로 연산 시간을 주요 선택 기준으로 평가한 연구가 많았다. 또한 기본 해법에서 구한 경로에 동적 이벤트에 의한 변경 상황을 신속하게 적용할 수 있는 방법들이 연구되었다. 그러한 예로는 유전해법을 기본 해법과 동적 주문 처리에 연계한 시도[27],[29],[51],[52]에서 발견할 수 있었다. 이런 유사한 시도는 개미 해법 [42],[53], 타부 서치 [22],[31]등에서도 발견된다.

주행시간의 추정 : 도로의 주행속도가 시간대별로 변화는 상황에 대한 처리이다. 주행 속도를 시간의 함수로 분류하면 선형적 함수 [1],[28], [31], 단계적 함수[43], 추계적 함수[21], 대기이론[56]등으로 분류할 수 있다. 각각의 함수에 의해서 미래의 주행 시간을 예측 하는 것이 가능하다. 이때 시간대별로 도로의 주행 속도가 달라짐으로 방문지까지의 최단 경로도 동적으로 변하게 된다. 이를 해결하기 위해서는 동적 환경의 최단 경로를 구하는 해법이 요구된다. 많은 연구가 정적 최단 경로 기법을 이용하여 동적 최단 경로문제 [3],[28]를 해결하고 있다. 또한 실시간으로 수집되는 도로 정보를 이용하여 주행 시간을 실시간으로 수정하고 이에 따라 경로를 수정하는 연구들도 수행되고 있다. 도로 상황이 변경된 것에 대응하기 위하여 관제 센터에서는 최적의 차량경로 계획을 반복적으로 개선하고 차량이 하나의 주문을 처리 했을 때마다 새로운 경로 계획을 차량에 전달하는 방식 [12],[22],[29]이 사용되기도 했다.

새로운 주문 : 새로운 주문의 접수 시 가장 중요한 의사 결정은 서비스의 가능여부이다. 실시간에 접수 가능여부는 기존 경로에 삽입 가능한지를 조사하여 결정하였다. 이때 차량경로비용은 낮은 우선순위로 고려하였다. 주문 처리 가능성을 좀 더 정교하게 고려한 방법으로는 퍼지시스템으로 주문의 처리 여부를 결정 [54]한 연구, 주문처리 시간에 대하여 합리적인 의사 결정 방법을 제시한 연구[4], 미리 복수개의 경로 계획을 준비하여 새로운 주문을 가장 유사한 대안으로 대응하는 연구[6] 등이 있었다. 또한 새로운 주문을 경쟁 회사와 다투는 상황을 고려하여 경매식 처리 방식[19]을 제안하기도 했다.

동적 경로의 개선 : 일단 접수된 주문에 대하여는 기존의 경로 계획에 삽입한 후 경로의 개선이 필요하다.

이때 가능한 방법은 재최적화와 사후최적화이다. 재최적화는 새로운 주문을 포함한 전체 주문에 대한 최적화문제를 다시 푸는 접근법으로 경로비용의 최적화에 유리하지만 실시간 대응에는 연산 시간이 길어지는 문제점이 있다. 따라서 재최적화를 일정한 시간대마다 수행하여 경로를 최적화하거나, 차량이 운행 중일 때

관제센터에서 재최적화를 수행하는 방법이 존재 한다.

그러나 많은 연구들은 실시간 대응에 무게를 두어 기존의 경로계획에 새로운 주문을 삽입한 후 경로를 개선하는 사후최적화를 사용하고 있다. 사후 최적화의 방법은 지역 탐색법과 각종 메타휴리스틱들이 사용되고 있다. 사용된 지역 탐색방법에는 경로내 탐색으로는 2-Opt, 3-Opt, Or-Opt 등이 사용되었으며 경로간 탐색으로는 2-Opt*, 재배치, 교환, 교차교환, 배출 사슬, λ -교환, 가지 교환, 가지 재배치 등이 사용되었다. 또한 연산 시간의 여유에 따라 사후최적화와 재최적화를 선택적으로 수행하기도 했다. 좀 더 정교하게 해를 개선하기 위해서는 이차 목적함수를 이용하기도 하였다[57].

이는 유전해법 등이 랜덤하게 해를 탐색하고, 타부 서치가 탐색 영역을 제한하는 것과는 다르게 이차함수에 의해서 탐색 방향을 설정 하는 것이다.

차량의 대기 장소 : 시간대를 지켜서 운행 중인 차량의 경우에 다음번 시간대까지의 대기 시간이 발생하는 경우가 발생한다. 이때 대기 장소를 어디로 해야 하는가의 연구와 대기 시간을 어떻게 배정할 것인가의 연구들이 있었다. 이 문제는 자동화 설비들의 대기 장소 문제와 유사한 문제들이다. 연구 결과에 의하면 대기 장소는 주문의 처리가 끝난 곳에서 다음 주문이나 새로운 주문을 대기하는 것이 우수한 것으로 보고되고 있으면, 대기 시간은 서비스 시간에 비례하게 분배하는 것이 적당한 것[9]으로 보고되고 있다.

5. 결론

최근의 정보 통신 기술은 실시간에 도로의 정보를 관리하는 것이 가능하다. 또한 고객은 실시간에 인터넷 등에 의해서 주문을 접수하고 실시간에 처리되기를 원하고 있다. 본 논문에서는 지난 20년간 차량 계획 문제에서 실시간 처리와 관련된 연구 논문을 수집하여 정리하였다. 실시간 차량 계획법 문제를 위한 기본 해법들은 일반차량계획법 문제에서 사용되는 해법들이 사용되고 있다. 그러나 실시간 상황에서는 연산 시간의 절감이 중요하고 동적인 주문을 처리하는 것과 연계하는 것이 중요하여 휴리스틱, 진화 해법, 타부 서치 등이 많이 사용되고 있다. 주문의 처리 가능성을 판별하기 위해서는 동적 주행시간의 추정, 주문 처리 비용, 경쟁사의 가격 등을 고려하여야 한다. 주문의 접수 이후에는 기존 경로에 삽입 후 재최적화나 사후 최적화를 수행하여야 한다. 재최적화는 정해진 시간마다 또는 차량의 운행시간을 이용하여 수행하고 있으며 사후최

적화는 실시간 반응이 중요한 경우에 많이 사용되고 있다. 재최적화와 사후최적화를 모두 사용할 수 있도록 하고 주문 반응 시간에 따라 선택적으로 사용하는 것이 적절하다고 판단된다. 재최적화와 사후최적화 모두 기본 해법과의 연계성이 중요하여 기본 해법의 선택 시 동적 이벤트의 처리를 고려하는 것이 적절하다고 판단된다. 주행 시간의 추정에 대하여는 예측과 실시간 수정이 가능해야 하며 동적인 최단거리 해법이 요구된다. 향후 본 연구에서 조사된 연구 결과들을 기반으로 한 실시간 차량 관제 시스템을 개발하려고 한다.

6. 참고 문헌

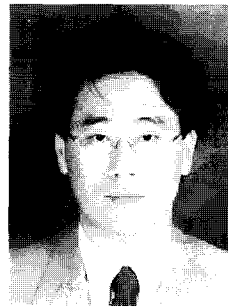
- [1] Ahn, B., Shin, J. (1991), Vehicle routing with time windows and time-varying congestion. *Journal of the Operational Research Society*, 42, 393-400.
- [2] Alvarenga, G.B., Silva, R.M.A., Mateus, G. R. (2005), A Hybrid Approach for the Dynamic Vehicle Routing Problem with Time Windows, *Proceedings of the Fifth International Conference on Hybrid Intelligent Systems*
- [3] Angelelli, E., Bianchessi, N., Mansini, R., Speranza, M.G. (2007a), Short term strategies for a dynamic multi-period routing problem, *Proceeding of Triennial Symposium on Transportation Analysis*
- [4] Angelelli, E., Savelsbergh, M.W.P., Speranza, M.G. (2007b), Competitive analysis of a dispatch policy for a dynamic multi-period routing problem, *Operations Research Letters* 35, 713 - 721
- [5] Attanasio, A., Cordeau, J., Ghiani, G., Laporte, G. (2004), Parallel Tabu search heuristics for the dynamic multi-vehicle dial-a-ride problem, *Parallel Computing* 30, 377-387
- [6] Bent, R., Hentenryck, P.V. (2003), Dynamic Vehicle Routing with Stochastic requests, *Proceedings of International Joint Conference on Artificial Intelligence*
- [7] Benyahia, I., Potvin, J.V. (2001), A Framework Architecture for Information Management in Dynamic Vehicle Dispatching, *Proceedings of International Conference on System Sciences*, 1-8
- [8] Benyahia, I., Potvin, J.V., Xu, Y. (2006), A Complex Applications Framework Supporting Tolerant Dynamic Vehicle Dispatching, *Proceedings of International Conference on Computer Systems and Applications*, 875- 881
- [9] Branke, J., Middendorf, M., Noeth, G., Dessouky, M. (2005), Waiting Strategies for Dynamic Vehicle Routing, *Transportation Science* 39(3) 298-312
- [10] Chen, Z.L., Xu, H. (2006), Dynamic Column Generation for Dynamic Vehicle Routing with Time Windows, *Transportation Science* 40(1) 74-88
- [11] Cordeau, J., Laporte, G. (2003), A Tabu search heuristic for the static multi-vehicle dial-a-ride problem, *Transportation Research B* 37, 579-594.
- [12] Coslovich, L., Pesenti, R., Ukovich, W. (2006), A two-phase insertion technique of unexpected customers for a dynamic dial-a-ride problem, *European Journal of Operational Research* 175, 1605-1615
- [13] Djadane, M., Goncalves, G., Hsu, T., Dupas, R. (2006), Dynamic Vehicle Routing Problems under Flexible Time Windows and Fuzzy Travel Times, *Proceedings of International Conference on Service Systems and Service Management*, 1519-1524
- [14] Donati, A. V., Montemanni, R., Casagrande, N., Rizzoli, E., Gambardella, L.M. (2008), Time dependent vehicle routing problem with a multi ant colony system, *European Journal of Operational Research* 185, 1174-1191
- [15] Du, T., Li, E.Y., Chou, D. (2005), Dynamic vehicle routing for online B2C delivery, *Omega* 33, 33 - 45
- [16] Du, T., Wang, F.K., Lu, P.Y. (2007), A real-time vehicle-dispatching system for consolidating milk runs, *Transportation Research Part E* 43, 565-577
- [17] Fabri, A., Recht, P. (2006), On dynamic pickup and delivery vehicle routing with several time windows and waiting times, *Transportation Research Part B* 40, 335-350
- [18] Feuerstein, E., Stougie, L., (2001) On-line single-server dial-a-ride problems. *Theoretical Computer Science* 268, 91-105
- [19] Figliozzi, M.A., Mahmassani, H.S., Jaillet, P.

- (2007), Pricing in Dynamic Vehicle Routing Problems, *Transportation Science* 41(3) 302-318
- [20] Fleischmann, B., Gnuzmann, S., Sandvoß, E. (2004), Dynamic Vehicle Routing Based on Online Traffic Information, *Transportation Science* 38(4) 420-433
- [21] Fu, L. (2002), Scheduling dial-a-ride paratransit under time varying, stochastic congestion. *Transportation Research Part B* 36, 485-506.
- [22] Gendreau, M., Franc, O. G., Potvin, J.Y., Taillard, E. (1999), Parallel Tabu Search for Real-Time Vehicle Routing and Dispatching, *Transportation Science* 33(4) 381-390
- [23] Gendreau, M., Franc, O.G., Potvin, J.Y., Se'guin, R. (2006), Neighborhood search heuristics for a dynamic vehicle dispatching problem with pick-ups and deliveries, *Transportation Research Part C* 14, 157-174
- [24] Ghiani, G., Guerriero, F., Laporte, G., Musmanno, R. (2003), Real-time vehicle routing: Solution concepts, algorithms and parallel computing strategies, *European Journal of Operational Research* 151, 1-11
- [25] Goel, A., Gruhn, V. (2005), Solving a Dynamic Real-Life Vehicle Routing Problem, *Operations Research Proceedings*, 367-372
- [26] Haghania, A., Jung, S. (2005), A dynamic vehicle routing problem with time-dependent travel times, *Computers & Operations Research* 32, 2959-2986
- [27] Hemert J.I.V., La Poutr', J.A. (2004), Dynamic Routing Problems with Fruitful Regions: Models and Evolutionary Computation, *LNCS* 3242, 692-701
- [28] Horn, M.E.T. (2006), On-Line Vehicle Routing and Scheduling With Time-Varying Travel Speeds, *Journal of Intelligent Transportation Systems* 10(1) 33-40
- [29] Housroum H., Hsu T., Dupas R. (2006), Goncalves G., A hybrid GA approach for solving the Dynamic Vehicle Routing Problem with Time Windows, *Information and Communication Technologies*, 787 - 792
- [30] Ichoua, S., Gendreau, M., Potvin, J.Y. (2000), Diversion issues in real-time vehicle dispatching, *Transportation Science* 34, 426-438
- [31] Ichoua, S., Gendreau, M., Potvin, J.V. (2003), Vehicle dispatching with time-dependent travel times, *European Journal of Operational Research* 144, 379-396
- [32] Jaillet, P., Wagner, M. R. (2007), Generalized Online Routing: New Competitive Ratios, *Resource Augmentation and Asymptotic Analyses, Operations Research*, accepted for publication
- [33] Jih, W.R., Hsu, J. Y. (1999), Dynamic Vehicle Routing Using Hybrid Genetic Algorithms, *Proceedings of International Conference on Robotics & Automation*, 453-458
- [34] Jonker, R., Volgenant, A. (1987), A shortest augmenting path algorithm for dense and sparse linear assignment problems, *Computing* 38, 325-340
- [35] Larsen, A. (2001), The dynamic vehicle routing problem, Ph.D. Thesis, Institute of Mathematical Modelling, Technical University of Denmark,
- [36] Larsen, A., Madsen, O. B. G., Solomon, M.M. (2004), The A Priori Dynamic Traveling Salesman Problem with Time Windows, *Transportation Science* 38(4) 459-472
- [37] Li, Q. (2004), Integration of Dynamic Vehicle Routing and Microscopic Traffic Simulation, *Proceedings of Intelligent Transportation Systems Conference*, 1023-1027
- [38] Malandraki, C., Daskin, M.S. (1992), Time dependent vehicle routing problems: Formulations, properties and heuristic algorithms. *Transportation Science* 26 (3) 185-200.
- [39] Malandraki, C., Dial, R.B. (1996), A restricted dynamic programming heuristic algorithm for the time dependent traveling salesman problem. *European Journal of Operational Research* 90, 45-55.
- [40] Mitrovic-Minic, S., Krishnamurti, R., Laporte, G. (2004), Double-horizon based heuristics for the dynamic pickup and delivery problem with time windows, *Transportation Research Part B* 38, 669-685
- [41] Mitrovic-Minic, S., R., Laporte, G. (2004), Waiting strategies for the dynamic pickup and delivery problem with time windows, *Transportation Research Part B* 38, 635-655
- [42] Montemanni, R., Gambardella, L.M., Rizzoli, A.E.,

- Donati, A.V. (2003), A new algorithm for a Dynamic Vehicle Routing Problem based on Ant Colony System, In Second International Workshop on Freight Transportation and Logistics
- [43] Potvin, J.V., Xu, Y., Benyahia, I. (2006), Vehicle routing and scheduling with dynamic travel times, *Computers & Operations Research* 33, 1129-1137
- [44] Psaraftis, H.N. (1995), Dynamic vehicle routing: Status and prospects, *Annals of Operations Research* 61, 143-164.
- [45] Regan, A.C., Mahmassani, H. S., Jaillet, P. (1995), Dynamic Decision Making for Commercial Fleet Operations Using Real-Time Information, *Transportation Research Record* 1537, 91-97
- [46] Rhalibi, A.E., Kelleher, G. (2003), An Approach to Dynamic Vehicle Routing, Rescheduling and Disruption Metrics, *Proceedings of International Conference on Systems, Man and Cybernetics* 4, 3613 - 3618
- [47] Slater, A. (2002), Specification for a dynamic vehicle routing and scheduling system, *International Journal of Transport Management* 1, 29-40
- [48] Solomon, M. M. (1987), Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints. *Operations Research* 35, 254-265.
- [49] Song, J., Hu, J. Tian, Y., Xu, Y. (2005), Re-optimization in Dynamic Vehicle Routing Problem Based on Wasp-like Agent Strategy, *Proceedings of International Conference on Intelligent Transportation Systems*, 688-693
- [50] Swihart, M.R., Papastavrou, J.D. (1999), A stochastic and dynamic model for the single-vehicle pick-up and delivery problem, *European Journal of Operational Research* 114, 447-464
- [51] Taniguchi, E., Shimamoto, H. (2004), Intelligent transportation system based dynamic vehicle routing and scheduling with variable travel times, *Transportation Research Part C* 12, 235-250
- [52] Teodorovic, D., Radivojevic, G. (2000), A fuzzy logic approach to dynamic Dial-A-Ride problem, *Fuzzy Sets and Systems* 116, 23-33
- [53] Tian, Y., Song, J., Yao, D., Hu, J. (2003), Dynamic Vehicle Routing Problem Using Hybrid Ant System, *Proceedings of Intelligent Transportation Systems*, 970-974
- [54] Tighe, A., Smith, F.S., Lyons, G. (2004), Priority Based Solver for a Real-Time Dynamic Vehicle Routing, *Proceedings of International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 6237-6242
- [55] Williamson, J.B. (1992), The on-line vehicle scheduler, *Proceedings of International Conference Information Decision Action Systems in Complex Organizations*, 49 - 53
- [56] Woensel, T.V., Kerbache, L., Peremans, H., Vandaele, N. (2008), Vehicle routing with dynamic travel times: A queueing approach, *European Journal of Operational Research* 186, 990-1007
- [57] Xiang, Z., Chu, C., Chen, H. (2008), The study of a dynamic dial-a-ride problem under time-dependent and stochastic environments, *European Journal of Operational Research* 185, 534-551

저 자 소 개

양 병 학



서울대학교 산업공학과에서 학사, 석사, 및 박사학위를 취득하였고 동경공업대학교, 테네시주립대학교에서 객원 연구원으로 활동하였다. 현재 경원대학교 산업정보시스템공학과 교수로 재직 중이다. 주요 관심분야는 물류관리, 공급사슬관리이다.

주소 : 경기도 성남시 수정구 복정동 산65 경원대학교 산업정보시스템공학과