

동적인 환경하에서의 차량경로계획 수립을 위한 발견적 기법에 관한 연구

- GPS와 전자지도의 활용을 중심으로 -

A Study on the Heuristics Algorithm for a establishing Vehicle Scheduling Plan under dynamic environments

- With the emphasis on the GPS and Digital Map -

박 영 태*
김 용 우**
강 승 우***

목 차

- I. 서론
- II. 문제의 정의 및 상황
- III. 발견적 기법
- IV. GPS/전자지도의 활용
- V. 적용 사례
- VI. 결론

I. 서론

정보기술의 발달과 더불어 나타난 GPS(위치추적시스템)와 전자지도의 이용은 보다 정밀한 대화형 배차계획시스템의 개발이 가능한 환경을 만들어 가고 있다. 이에 본 연구에서는 이러한 시대적 환경에 부응하고자 가장 일반적인 단일차고 배송스케줄링 시 나타나는 귀환

* 동의대학교 상경대학 무역학과 조교수, 경영학박사(gregory@dongeui.ac.kr).

** 한국보건산업진흥원 연구원(gkimyw@khidi.or.kr).

*** 경기개발연구원 초빙책임연구원, 공학박사(sarzo@kri.re.kr).

차량의 공차율 감소와 수시로 발생하는 주문에 대한 대응이 필요한 환경에서의 소화물을 집하 및 배송하는 업체의 배차계획시스템을 다루어 보고자 한다.

일반적으로 배송업체에서는 배차계획을 작성할 때 크게 두 가지로 나누고 있는데, 첫째 이미 집하된 화물의 배송내역에 따라 배차스케줄을 작성하는 정적(Static)인 경우와, 둘째 배송차량의 운행 중에 발생된 고객주문에 따라 이미 작성된 배차스케줄을 수정하는 동적(Dynamic)인 경우로 나누고 있다. 전자는 차량의 배차스케줄을 작성하기 이전에 이미 접수된 집하 내역과 화물의 배송 목적지에 따라 분류한 배송내역에 기초하여 배차담당자가 배차스케줄을 한번에 일괄적으로 작성하는 경우이며, 후자는 차량이 출발한 이후에 수시로 접수된 주문 중에 일부를 귀환차량의 공차율 감소와 고객서비스의 향상을 위하여 배차담당자가 적정 차량을 검색하여 운행중인 차량의 배차스케줄을 변경하는 경우이다.

실제 대부분의 배송업체에서는 차량 배차스케줄 작성 시 단순한 정적인 경우의 배차스케줄을 작성하는 업무를 고려하고 있었는바, 동적인 상황을 고려하기에는 차량의 운행효율이 떨어진다는 문제점이 있었다. 즉, 수시로 발생하는 주문을 효율적으로 처리하기 위해서는 정확한 차량의 위치 파악과 차량과의 정보전달이 필요한데 그것이 용이하지 않았기 때문이다.

따라서 본 연구에서는 기 서술한 GPS와 전자지도를 이용한 대화형 배차계획시스템을 이용하여 동적인 상황을 고려할 때 시간제약이 있는 차량경로문제와 Pickup & Delivery 문제를 혼합한 형태의 차량경로문제(Dynamic Pickup & Delivery VRP With Time Window)의 해법에 관하여 연구하고자 한다.

이에, 본 연구의 목적은 현실적인 배차환경에서 배차담당자가 배차계획 작성시 의사결정을 지원할 수 있고 총 운행거리와 운행시간, 소요차량수의 감축, 고객서비스를 향상시킬 수 있는 발전적 해법을 제시하고 GPS와 전자지도를 활용한 배차지원시스템의 개발 이용에 관하여 고찰하여 보고자 한다. 이를 위해 본 연구에서 제시한 발전적 해법은 실제 환경의 배송업체 적용사례를 통하여 GPS와 전자지도를 이용한 배차지원 시스템의 활용방안을 제시하였다.

II. 문제의 정의 및 상황

1. 문제의 정의

일반적으로 배차계획문제는 방문순서나 방문시간의 제약조건의 유무에 따라 다음과 같이 구분된다. 즉, 수요지점에 대한 방문시간 제약이나 방문순서의 선행관계 제약이 없으면 차량 경로문제 VRP(Vehicle Routing Problem)라 하며, 방문시각이 미리 확정적으로 주어지면 차량일정문제 VSP (Vehicle Scheduling Problem)라 한다. 또한 방문순서의 선행관계와 방문시

간의 상 하한이 주어지면, 차량경로 및 일정문제 VRSP(Vehicle Routing and Scheduling Problem)라고 하며, 일반적으로 포괄적인 의미로서의 배차계획문제는 이 차량경로 및 일정 문제를 일컫는다. 이와 함께, 배차문제 VRSP는 정적인 경우와 동적인 경우로 나뉘어지는데 배차계획이 한번 정해지면 바뀌지 않는 경우를 정적(Static)이라 하고 반면에 주문이 접수되는 대로 배차담당자의 지시를 통해서 기존의 배차계획이 수정되는 경우를 동적(Dynamic)이라 한다.

실제 Pickup과 Delivery를 동시에 고려하는 문제를 PDP(Pickup & Delivery Problem)라 하는데 여기에서 각각의 차량은 차량용량이 주어져 있고 각각의 수송요구에는 화물의 크기와 Pickup 지점, Delivery 지점이 주어져 있다. 따라서, 각 화물의 Pickup 지점과 Delivery 지점의 묶음 사이에는 환적을 하지 않고 한 차량에 의해서 수송되어진다. 이러한 Pickup & Delivery 문제는 정적인(Static) 분야와 동적인(Dynamic) 분야로 대변된다.[Bodin 1983]

1) Static PDP

대부분의 Dial-a-ride 문제가 여기에 속한다. Baker(1980)는 4가지 기존연구방법, 즉 Nonlinear programming, Dynamic programming, Lagrangean relaxation, Classical branch & bound 중 time window 제약이 있는 single vehicle static pickup & delivery 문제에서는 branch & bound algorithm이 가장 효율적임을 주장하였다. Bodin, Sexton(1980)은 배송희망 시간 조건이 있는 single vehicle dial-a-ride 문제를 확장하여 multiple vehicle dial-a-ride 문제에 적용하였다. 여기서는 two phase algorithm이 사용되었는데, 첫 번째 phase에서는 고객을 차량에 할당하는 단일차량경로문제로 초기 가능 해를 만들었고, 두 번째 phase에서는 더 나은 해를 위해 고객을 차량에 재 할당하였다. Jaw et. al(1981)은 three phase algorithm을 사용하였는데, 첫번째 phase에서는 그룹화, 두번째 phase에서는 clustering, 세번째 phase에서는 routing을 하는 것이었다. 여기서 허용오차가 U인 desired pickup과 delivery time의 제약이 있는 문제에 대해 insertion algorithm을 제시하였다.

2) Dynamic PDP

Psaraftis(1980)는 Static immediately request dial-a-ride problem에서의 Dynamic programming algorithm을 확장하였다. 또한 고객의 무한연기를 막기 위해 특별한 우선 순위 제약을 두었다. Wilson(1977)은 Multiple vehicle static 경우의 확장된 알고리즘(Insertion, Branch & bound algorithm)을 사용하였다. Savelsbergh(1997)는 실제 상황의 문제를 대상으로 한 PDP 문제에서 Branch & price algorithm을 이용하였으며 두 가지 시스템 즉 General transfer system과 Direct transfer system을 고려하는 특정회사의 업무 중 Direct transfer system에서 기존의 일괄처리방식과 새로운 정보기술(DRIVE)을 이용한 방식에서의 차량운행효율을 비교 분석하였다.

본 연구에서 다루는 문제는 Static VRSP와 Dynamic VRSP로 나뉘어 지는데 Static VRSP에서는 하나의 차량이 Pickup과 Delivery를 동시에 수행한다는 점에서 일반적인 PDP 문제를 따르고 있지만, Pickup과 Delivery에는 Depot를 중심으로 화물의 환적이 있는, 즉 Pickup과 Delivery 업무를 각각의 방문처로 구분한다는 점에서는 일반적인 PDP 문제와는 다르며, Dynamic VRSP에서도 역시 추가되는 Pickup에 대해 환적을 하는, 즉 추가되는 주문에 대한 Delivery를 Depot로 규정하는 점에서 일반적인 VRP 문제와 유사하다. 따라서 본 연구는 PDP와 VRSP의 혼합형태로 볼 수 있을 것이다. 여기서 Dynamic VRSP의 경우는 Static VRSP에 의해 형성된 차량의 경로가 수시로 변경되므로 동적인 배차환경이라 할 수 있다.

2. 문제의 상황

본 연구에서 다루고자 하는 문제의 평가기준과 제약조건은 다음과 같다.

1) 평가기준

발견적 해법에 의해 배차스케줄을 작성하고 나면 스케줄에 따라 배차스케줄을 평가할 수 있는바, Dynamic VRSP에서는 고객이 주문시점에서 최대한 빠른 서비스를 원한다. 고객요구시간(Time window)은 서비스허용 시간대로써 고객들이 수·배송 주문시 서비스를 허용하는 가장 빠른 시각을 하한(Earliest Pickup Time, Earliest Delivery Time)으로 가장 늦은 시각을 상한(Latest Pickup Time, Latest Delivery Time)으로 지정한다. 차량이 Time Window의 하한 이후에 도착하면 하한시간으로부터 차량도착시간까지는 고객의 대기시간이 발생하게 된다. 따라서 이러한 경우 Pick up Time Window의 하한에서 Pickup 시점까지의 대기시간(Waiting Time)과 Pickup Time Window의 하한에서 Delivery까지의 주문리드타임(Lead Time), 차량운행거리(Travel Distance), 차량운행시간(Travel Time), 소요차량대수(Number of Vehicles) 등을 평가항목으로 한다. Static VRSP에서는 고객의 요구시간(Time Window)을 지켜 주는 것이 중요하므로 Time Window를 반드시 지키는 상황에서 차량운행거리와 차량운행시간, 소요차량대수 등을 평가 항목으로 한다.

2) 제약조건

본 연구에서는 배차스케줄작성 시 다음과 같은 사항을 전제조건으로 한다. 첫째, Time Window(Pickup과 Delivery Time Window)를 반드시 지켜야 한다. 둘째, 고객 배송 시간의 하한은 현재시각에 Lead Time을 더한 시간보다는 크도록 설정이 되어야 한다. 셋째, 차량의 용량을 넘어서 배송하여서는 안 되며, 추가로 발생하는 Pickup은 Delivery를 고려한 차량의 적재용량을 초과하여서는 안된다. 넷째, 차량의 최대 운행거리(시간)를 넘어서 배송하여서는 안되며 다섯째, 차종은 적재량이 동일한 하나의 차종으로 구성되어야 한다.

Ⅲ. 발견적 기법

본 해법은 일반주문과 긴급주문으로 구분되는 주문환경에서 먼저 일반주문에 대해 Static한 경로형성 후, 수시로 발생하는 주문에 대해 Dynamic하게 경로수정을 하는 것이다. 여기에서는 Static VRSP와 Dynamic VRSP로 구분하였으며, 해의 산정을 위해서 기존의 Clark-Wright의 Saving Method와 이를 수정변환한 Node Insertion Saving Method를 제시하였다.

1. 기법에 대한 용어정의

본 연구의 해법을 설명하는데 필요한 용어부터 우선 정의하고자 한다.

i : 지점의 일련번호로 i 가 1인 경우는 차고(depot)를 뜻함 ($i=1, \dots, N$)

ET_i : 지점 i 의 방문희망시간대(Time Window)의 하한(Earliest Time)

LT_i : 지점 i 의 방문희망시간대(Time Window)의 상한(Latest Time)

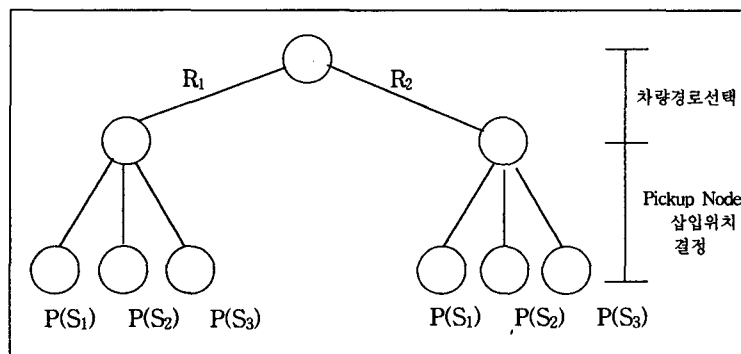
NI_i : 지점 i 가 Pickup Point인지 Delivery Point인지를 나타내주는 구분(Index)으로써 NI_i 가 "0"이면 Pickup Node이고 NI_i 가 "1"이면 Delivery Node이다.

q_i : 지점 i 의 수요량

d_{ij} : 지점 i 에서 지점 j 까지의 거리

2. Pickup Node 삽입을 위한 경로설정 Tree 구조

<그림 3-1> Pickup Node의 삽입을 위한 경로설정 Tree 구조



R_j : Pickup node 삽입을 위한 k 번째 차량경로, 단 ($j=1..k$)

$P(S_m)$: k 번째 차량경로의 m 번째 Node S_m 다음에 삽입되는 새로운 Pickup Node

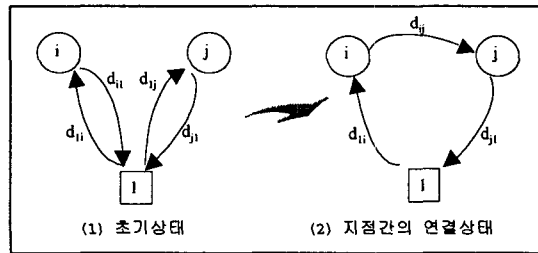
3. 절약값 산정

여기서의 절약 S_{ij} 는 발견적 기법1과, 발견적 기법2에서 사용된다.

1) S_{ij} (초기경로 형성의 Saving)

여기서 절약이란 그림(1)에서 그림(2)로 변환시 거리의 감소치를 말한다.

<그림 3-2> Clark-Wright의 Saving Method

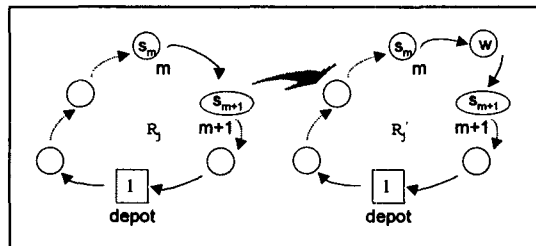


<그림 3-2>의 (1)의 경우 총거리는 $d_{ii} + d_{ij} + d_{ji} + d_{ii}$ 이고 (2)의 경우의 총 거리는 $d_{ii} + d_{ij} + d_{ji}$ 이다. 이 두 경우 그 차이 S_{ij} 는 $d_{ii} + d_{ji} - d_{ij}$ 이며, 이 S_{ij} 를 절약이라 한다.

2) S_{j, s_m} (차량경로 R_j 에 Node w 삽입시 사용한 절약)

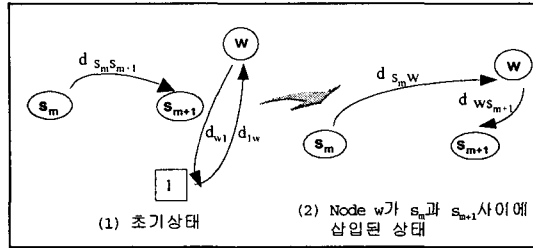
여기서의 절약 S_{j, s_m} 는 발견적 기법2와 긴급 배차스케줄에서 사용되었다.

<그림 3-3> Node w 가 삽입될 때의 경로변화



<그림 3-3>는 경로 R_j 의 m 번째 Node s_m 과 $m+1$ 번째 Node s_{m+1} 사이에 Node w 가 삽입될 때의 경로 변화를 보여주고 있다.

<그림 3-4> Node 삽입시 사용한 절약



<그림 3-4>의 (1)의 경우 총거리는 $d_{s_m s_{m+1}} + d_{1w} + d_{w1}$ 이고 (2)의 경우 총거리는 $d_{s_m w} + d_{w s_{m+1}}$ 이다. 이 두 경우 그 차이 S_{j, s_m} 은 $d_{s_m s_{m+1}} + d_{1w} + d_{w1} - d_{s_m w} - d_{w s_{m+1}}$ 이다. 이 S_{j, s_m} 를 경로 R_j 의 m 번째 Node S_m 과 $m+1$ 번째 Node S_{m+1} 사이에 새로운 Node w 를 삽입할 때의 절약이라 한다면, 여기서 s_m 은 차량경로 R_j 의 m 번째 방문지점이고 S_{m+1} 은 $m+1$ 번째 방문지점이다. w 는 삽입지점(insert node)으로 p (pickup node) 또는 d (delivery node)이며, 지점 1은 차고지(depot)이다.

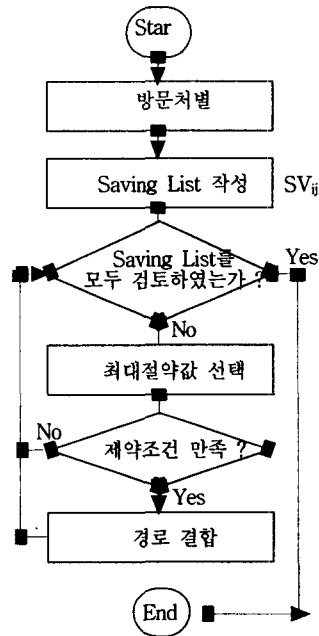
4. 배차스케줄 작성절차

배차스케줄 작성에는 차량출발 이전에 미리 알고 있는 일반주문에 대하여 배차스케줄을 작성하는 Static VRSP와 차량출발 이후에 추가적으로 발생하는 주문에 대해 배차스케줄을 작성하는 Dynamic VRSP가 있다.

본 연구에서는 일정기간 동안 주문한 주문 리스트에 대하여 Static VRSP에 의해 배송스케줄을 작성하는 것과 Dynamic VRSP를 이용하여 배송스케줄을 작성하는 것에 대하여 해법을 제시하고 이를 비교 검토하였다.

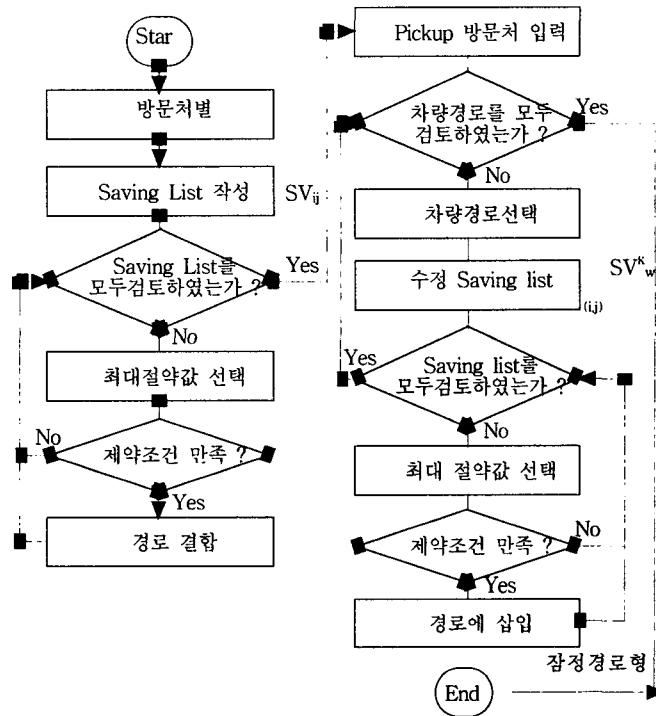
1) Static VRSP 작성 절차 흐름도 : 일반적인 Saving 기법에 의한 초기경로형성 알고리즘.

<그림 3-5> Static VRSP 작성 절차 흐름도



2) Dynamic VRSP 작성절차 흐름도 : 방문처에 대해 먼저 배차스케줄을 작성하고, 추가로 발생하는 Pickup 방문처를 작성된 배차스케줄의 적정경로에 삽입하는 Node 삽입 알고리즘.

<그림 3-6> Dynamic VRSP 작성 절차 흐름도

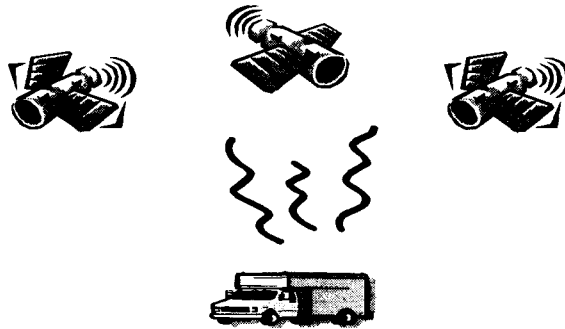


IV. GPS/전자지도의 활용

1. GPS/전자지도의 개요

GPS란 위치 정보를 GPS수신기로 3개 이상의 위성으로부터 정확한 시간과 거리를 측정하여 3개의 각각 다른 거리를 삼각 방법에 의하여 현 위치를 정확히 계산하는 시스템이다. 즉 위치를 정확히 아는 위성에서 출발한 위성신호를 수신하여 전파의 도달 시간 측정으로 사용자의 위치를 계산하는 것을 말한다.

<그림 4-1> GPS의 위치측정 원리

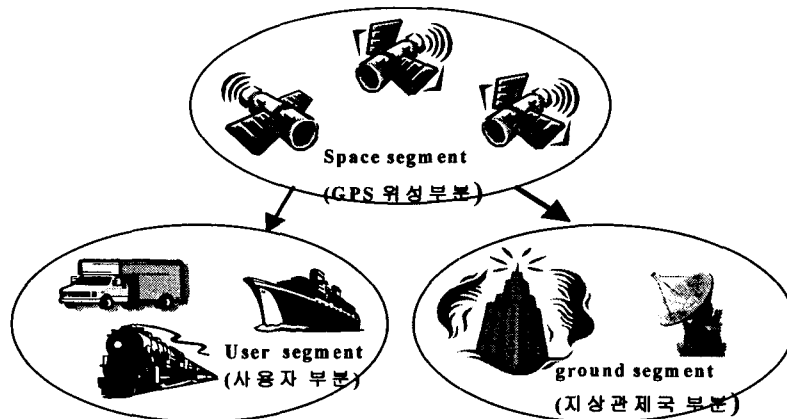


$$R = C \times T \text{ (pseudo-range)}$$

여기서, C : speed of light / T : transmission time를 말한다.

다음의 <그림 4-2>는 GPS의 구성도이다.

<그림 4-2> GPS의 구성도

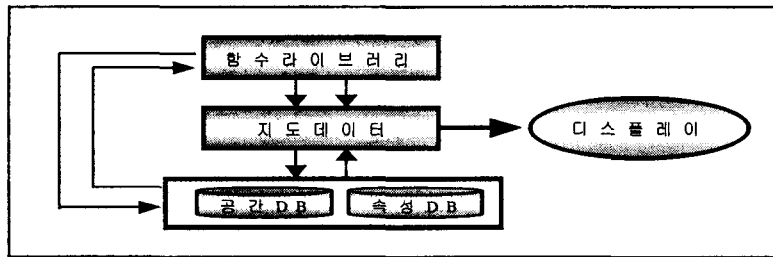


GPS 수신기의 구성요소는 다음과 같다. 첫째, 하드웨어로 이에 는 안테나, RF(Radio Frequency) 구성요소, 신호처리 프로세서가 포함된다. 둘째, 데이터 처리 소프트웨어로 이에 는 위성신호추적 알고리즘과 항법 알고리즘 등이 포함된다.

또한 전자지도란 지리적 요소의 공간 데이터와 이와 관련된 속성데이터를 처리하는 소프

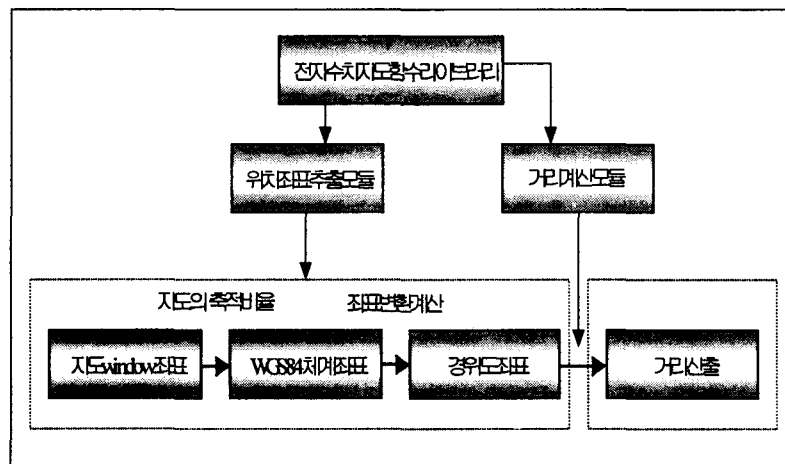
트웨어로써 공간데이터와 속성데이터로 나누어 데이터베이스화하고, 이를 서로 연계함으로써 통합된 환경을 제공하는 시스템을 말한다. 전자지도는 자료구조의 유형에 따라 래스터(raster)라 불리는 자료구조를 갖는 격자(mesh)에 의한 형태와 벡터(vector) 형식의 자료를 갖는 폴리곤베이스(polygon-base)의 형태로 구분된다. 폴리곤베이스의 형태는 현상학적 데이터구조의 제공과 압축된 데이터 구조, 위성의 상호연결성, 도형과 비도형 데이터의 수정 및 일반화가 가능하다는 장점으로 인해 현재 전자지도를 개발하는 데 많이 쓰이는 형태이다. 본 연구에서 이용되는 전자지도도 Polygon-base의 형태이다. 전자지도는 지도데이터와 공간별, 속성별로 구축된 지도데이터베이스 그리고 전자지도 함수라이브러리로 구성되어 있다. 다음 <그림 4-3>은 전자지도의 구성도이다.

<그림 4-3> 전자지도의 구성도



다음의 <그림 4-4>는 위치좌표추출 모듈과 거리계산 모듈의 구성도이다.

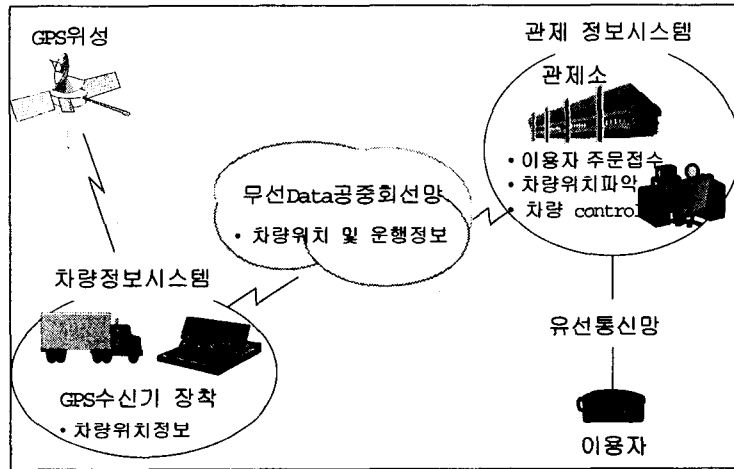
<그림 4-4> 위치좌표추출 모듈과 거리계산모듈의 구성도



2. GPS/전자지도의 활용

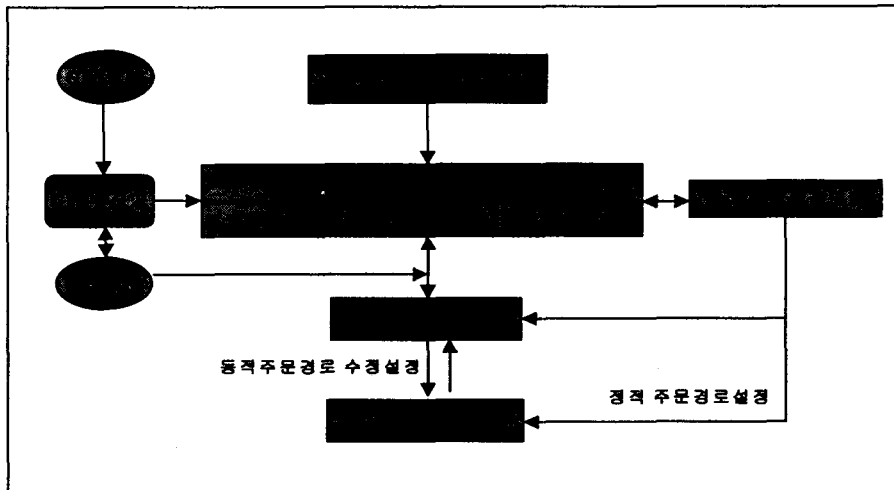
GPS와 전자지도를 활용하는 원리를 간단히 설명하면 GPS수신기가 GPS위성으로 데이터를 전송하면, 위성은 그 수신기의 위치를 위도와 경도로 찾아 다시 수신기로 전송해 주고 GPS 수신기는 자기가 가지고 있는 전자지도상에 그 위도와 경도를 표시해 주면 현재 자신의 위치를 지도 위에 표시하게 되는데, 이러한 GPS를 활용한 차량관제시스템의 구조는 <그림 4-5>와 같다.

<그림 4-5> GPS를 활용한 차량관제시스템



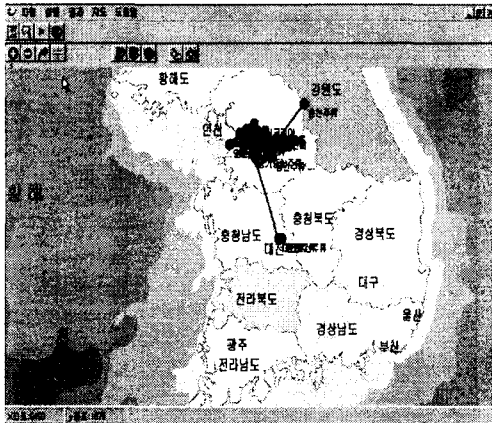
본 연구에서 GPS와 전자지도의 활용을 위한 시스템의 구조는 <그림 4-6>과 같다.

<그림 4-6> 시스템의 구조

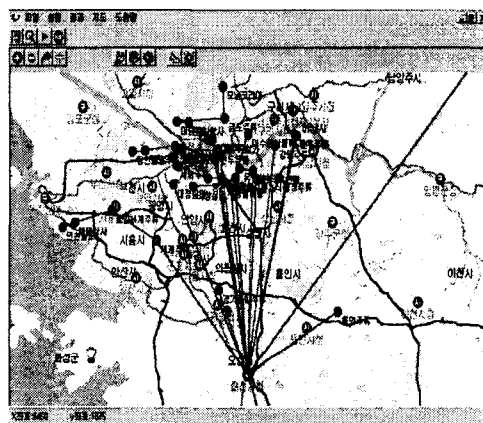


V. 적용 사례

본 연구에서는 GPS와 전자지도를 이용한 배차스케줄링 기법을 적용 사례를 통해 그 활용성을 살펴보았다. 적용업체는 경기도 오산에 물류센터를 두고 수입제품을 경기도 및 충청, 강원 일대의 거래처에 배송하는 업체였고 각 거래처에서 수시로 반품을 요청하는 상황이었어서 그 즉시 반품물량을 회수해야 하는 상황이었다. 다음의 <그림 5-1>은 정적인 배차스케줄링을 결정한 결과를 전자지도에 차량별로 경로를 나타낸 그림이다.

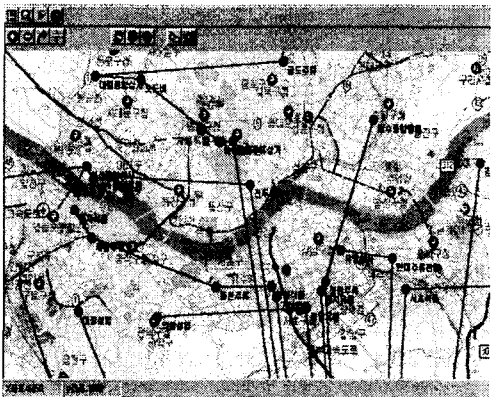


<그림 5-1> 정적상황의 차량경로설정

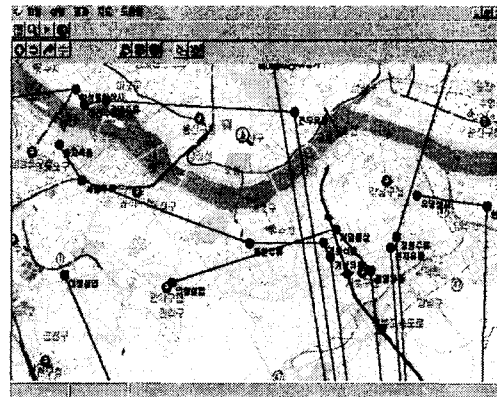


<그림 5-2> 정적인 상황 확대화면

GPS의 정보를 받아 반품을 요청한 거래처의 정보가 전자지도에 위치가 표시된다. 다음의 <그림 5-3>은 반품을 요청한 거래처의 위치가 GPS의 정보를 받아 전자지도에 나타난 그림이며, <그림 5-4>는 반품거래처를 인근 차량경로 중에 반품물량을 집하할 수 있는 차량의 적재용량과 거리를 기준으로 기존경로에 삽입 후 재설정 되어진 경로의 결과를 나타낸 그림이다.



<그림 5-3> 반품요청 거래처 정보



<그림 5-4> 경로변경 후

VI. 결론

본 연구에서는 기존 배송업체의 현실적인 문제점 즉 Dynamic한 주문상황이 발생하는 실제 배송 환경에서 하나의 차량이 두 가지 업무를 동시에 수행할 수 있는 해법에 대해 운행거리와 운행시간, 차량소요대수를 줄이고 고객서비스를 향상시킬 수 있는 방안을 연구하였다. 본 연구에서는 차량출발이전에 미리 알고 있는 일반 주문에 대해서는 배차스케줄을 작성하는 방식과 추가적으로 발생하는 주문을 기존경로에 삽입하여 배차스케줄을 수정하는 두 가지 방식에 대하여 일정기간동안의 데이터를 입력하여 비교 검토하여 보았다. 또한 본 연구에서의 발견적 해법을 적용한 배차지원시스템은 GPS와 전자지도를 활용하여 사용자가 차량의 운행경로, 위치파악과 더불어 주문발생 시 기존운행차량의 최적경로를 수정할 수 있도록 의사결정을 지원할 수 있는 시스템의 활용방안을 제시하여 보았다. 다만, 본 연구의 한계로는 해의 신뢰성을 확보하기 위해서는 장기간의 데이터를 통해서 보다 많은 전산 실험이 있어야 할 것으로 사료되는바, 이는 추후 과제로 별도 연구할 예정이다.

참고문헌

- Bodin, L., Golden, B., Assad, A. and Ball, M., "Vehicle Routing of Vehicles and Crews : The State of the art.", 『Computers and Operations Res.』, Vol.10, No.2, 1983.
- Gendreau, M. and Laporte, G., "Single-Vehicle Routing and Scheduling to Minimize the Number of Delays", 『Transportation Science』, Vol.29, No.1, pp.56-61, 1995.
- Jaw, J., Odoni, A., Psaraftis, H. and Wilson, N., "A heuristic algorithm for the multi vehicle many to many advanced request dial-a-ride problem", Version 2. presented at the ORSA/TIMS Meeting. Houston, Texas, 1981.
- Laporte, G., Mercure, H. and Norbert, Y., "An Exact Algorithm for the Aaymmetrical Capacitated Vehicle Routing Problem," 『Networks』, 16, pp.33-46, 1986.
- Psaraftis, H., "A Dynamic Programming Solution to the Single Vehicle Many-to-Many Immediate Request Dial-a-Ride Problem", 『Transportation Sciences』, 14, pp.130-154, 1980.
- Savelsbergh, M. and Sol, M., "The General Pickup and Delivery Problem", 『Transportation Science』, Vol.29, pp.17-29, 1995.
- Solomon M., "Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints", 『Operation Research』, Vol.35, No.2, pp.254-265, 1987.
- Wilson, N. and Miller, E., "Advanced dial-a-ride algorithms research project", Phase II. Interim report, pp.77-31, Cambridge, Mass., MIT, Dept. of Civil Engng, 1977.

Abstract

A Study on the Heuristics Algorithm for a establishing Vehicle Scheduling Plan under dynamic environments

- With the emphasis on the GPS and Digital Map -

Park, Young-tae

Kim, Yong-woo

Kang, Seung-woo

The most transport companies are placing increasing emphasis on powerful new techniques for planning their vehicle operations. They have tried to improve their vehicle control and customer service capability by adopting the advanced information technology, such as GPS(Global Position System) and Using Digital Map. But researches on the VRSP(vehicle routing & schedule problem) in this situation were very few. The purpose of this research is to develop vehicle scheduling heuristics for making a real-time dynamic VRSP under the situation that GPS and using Digital Map are equipped to the transport company. Modified savings techniques are suggested for the heuristic method and an insertion technique is suggested for the dynamic VRSP. The urgent vehicle schedule is based on the regular vehicle schedule. This study suggest on VRSP system using GPS and Digital Map and the performance of the suggested heuristics is illustrated through an real case example.

Key Words : GPS, VRSP, Digital Map.