택배차량용 내비게이션 시스템을 위한 다중목적경로탐색 알고리즘

심 진 범* · 한 영 근*
*명지대학교 산업경영공학과

A Multi-Purpose Route Searching Algorithm of GPS Navigation System for Home Delivery Trucks

Jin-Bum Sim* · Young-Geun Han*
*Department of Industrial and Management Engineering, Myongji University

Abstract

In order to determine home delivery service routes, conditions specified for each parcel such as customer-assigned delivery times and parcel contents should be considered, so the conventional route search algorithms have some limits to be applied for home delivery services. In this study, a multi-purpose route searching algorithm is suggested in order to deal with every requirement of deliveries that vary in delivery distances, contents and appointed times. A simulation study to verify the performances of the system with example data of Seoul and Kyungki provinces shows that it significantly improves the customer satisfaction and the productivity of delivery businesses.

Keywords : Multi-Purpose Route Searching Algorithm, GPS, Delivery Service

1. 서 론

대표적인 개별화물 배송수단인 택배산업은 전자상거래와 홈쇼핑 등이 활성화되면서 2009년에 택배화물 10억5천여개, 매출 2조8000억원을 넘을 만큼 소비자들에게 없어서는 안 될 필수 생활서비스로 급성장하였다.

배송물량의 증가로 인해 배송자들은 보통 하루에 100건 이상의 화물을 배송하고 있고 명절, 연말 등 물량이 몰리는 시기에는 하루에 200건 이상을 처리하기도 하는데, 배송지의 위치를 파악한 후에는 개별화물들을 배송하기 위한 배송경로를 배송자 임의로 산정하게 된다. 배송경로 산정시에는 배송시각이 지정되어 있는 화물이나 전날 미수취된 화물 등 다양한 요소들을 고려해야 한다. 따라서 배송자의 경험에 의존한 배송경로 산정방법으로는 효율적인 배송경로를 찾아내기 어려워 이는 곧 배송지연과 배송비용 상승의 요인으로 작용하게 된다.

이에 본 연구에서는 개별화물을 보다 효율적으로 배송하기 위하여 차량용 내비게이션 시스템에서 활용할 수 있는 택배차량용 다중목적경로탐색 알고리즘을 개발하였다.

✝ 이 논문은 2010년도 명지대학교 산업기술연구소 연구비 지원에 의한 것임.
✝ 교신저자: 한영근, 경기도 용인시 처인구 남동 산 38-2 명지대학교 산업경영공학과
Tel: 031-330-6454, E-mail: yghan@mju.ac.kr
2011년 6월 30일 접수; 2011년 9월 14일 수정본 접수; 2011년 9월 15일 게재확정

2. 다중목적경로탐색 알고리즘 개발

2.1 배송경로 문제

배송계획은 물류 거점 중 배송센터에서 말단 점포로 이동하는 물자의 흐름을 계획하는 것을 말한다. 배송계획에는 많은 문제가 포함되어 있으며, 배송경로의 설정, 화물인도, 스케쥴링 등이 그 대표적인 예라 할 수 있다.

그 중 배송비용에 큰 영향을 미치는 배송경로문제(Vehicle Routing Problem)는 트럭의 적재용량을 고려하여 그 트럭이 담당하는 배송구역을 설정하고, 배송센터로 돌아오기까지의 경로를 결정하는 문제이다.

이때 고려해야할 제약은 세 가지로 분류할 수 있다.

하나는 각 배송차량은 적재용량 이상의 화물을 한 번에 배송할 수 없다는 용량제약이다.

첫째는 각 배송차량이 적재용량 범위 내에서 어느 점포를 담당하는가에 대한 문제이며, 둘째는 할당된 점포를 어떠한 경로를 이용하여 배송하는가에 대한 문제이다[2]. 특히, 후자의 경우는 순회 세일즈맨 문제(TSP: Traveling Salesman Problem)로서 OR분야에서도 유명한 문제 중의 하나이며, 본 논문에서 개발하고자 하는 택배차량의 경로탐색문제의 경우도 이에 해당한다. 가정이나 기업 등으로의 택배 배송은 도착지터미널(택배영업소)에서 매일 트럭 등의 배송차량을 이용하여 소화물 상품에 대한 배송을 수행하고 있다. 도착지터미널을 출발한 배송차량은 담당지역의 배송지들을 순차적으로 돌면서 화물을 배송하거나 접수된 화물을 수거한 후 터미널로 돌아오는 이른바 순회배송에 의해 이루어진다. 따라서 배송 차량에 적절치 못한 배송경로가 설정되면 배송거리 및 배송비용이 증가하게 되고 배송자나 배송차량의 업무 효율성이 저하된다.

두 번째는 각 수요지로 지정된 배송차량에 의해 배송된다고 하는 할당(배분)의 문제이다. 마지막 제약은 배송차량은 배송센터를 출발하여 일정수의 점포를 순회 배송하여 배송센터로 되돌아온다는 배송차량의 순회경로의 제약이다. 목적함수는 각 배송차량의 배송거리나 배송비용의 합계이며, 이를 최소화하는 것이다. 이러한 배송문제는 다음과 같은 두 가지 문제를 포함하고 있다.

2.2 다중목적경로탐색 알고리즘

2.2.1 알고리즘 개요

본 연구에서 제안하는 택배차량용 경로탐색 알고리즘의 목표는 배송만족도를 높이기 위하여 각 개별화물의 특성 및 지정시각을 최대한 만족할 수 있되, 우회경로를 최소로 줄이는 배송경로를 찾아내는 것이다. 배송만족도 $F_1(x)$를 높이고 주행거리 $F_2(x)$를 줄이고자 하는 본 알고리즘의 다중목적함수는 다음 (식 2.1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Maximize\ \ satisfaction\ \{F_1(x)\}$$
$$Minimize\ \ mileage\ \{F_2(x)\} \qquad \text{(식 2.1)}$$

택배화물의 배송만족도 $F_1(x)$를 높이고자 하면 필연적으로 우회경로가 발생하기 때문에 이는 상대적으로 주행거리 $F_2(x)$의 증가를 야기시켜 두 함수들을 모두 최대 만족시키는 유일한 해는 존재하지 않는다.

따라서 상충된 각 목적값들을 동시에 최대로 만족시키지는 못하더라도 가중치 합법(Weighted Sum Method)에 의한 상대적인 비교를 통하여 최적해를 찾도록 하였다. 가중치 합법을 통하여 두 목적함수를 하나의 목적함수로 변환하면 (식 2.2)와 같다.

$$Maximize\ \ F(x) = w_1F_1(x) - w_2F_2(x) \qquad \text{(식 2.2)}$$
단, 가중치 $w_1 \geq 0,\ w_2 \geq 0,\ w_1 + w_2 = 1$

다중목적경로탐색 알고리즘은 [초기해 생성→교차링크 제거→배송지행렬 개선]의 절차로 진행되며 각 단계의 수행내용 및 절차를 [표 2-1]에 나타내었다.

[표 2-1] 다중목적경로탐색 단계별 수행내용

단계	수행내용
초기해 생성	각 개별화물의 물품에 따라 특성을 부여하고 그 특성에 부여된 비용을 계산하여 최소 비용이 발생하는 배송지로 순차적으로 탐색한다.
교차링크 제거	초기해는 개별화물의 배송만족도를 최대화할수 있으나 경우에 따라 배송경로가 매우 길어질 수 있다. 따라서 초기해로 생성된 경로에 2-최적법을 적용하여 교차링크를 제거한다.
배송지 행렬 개선	교차링크 제거로 인해 배송만족도가 크게 떨어진 배송지들을 재배치함으로써 배송지 행렬을 개선한다.

2.2.2 초기해 생성

다중목적경로탐색을 위하여 각 개별화물의 물품에 따라 특성을 부여하였으며, 부여된 특성에 따라 다음과 같은 특징을 갖는 배송지가 높은 우선순위를 갖도록 하였다.

① 현재의 위치로부터 거리가 가까운 배송지
② 부패위험도가 높은 물품의 배송지. 단, 초단기 부패 물품은 전용상품 이용
③ 현재 시간이 지정된 배송시각 제한에 근접한 배송지

초기해 생성 과정에서는 위의 3가지 우선순위를 각각의 배송비용($Cost$)으로 계산하여 출발점부터 n개의 배송지까지의 배송경로를 탐색할 때 각 단계에서 배송비용($Cost$)이 최저인 배송지를 선택하여 배송하도록 하며, 여기에 사용되는 총 배송비용($Cost$)은 거리비용(C_d), 배송시각비용(C_t), 부패위험도비용(C_c)으로 구성되며 이를 표현하면 (식 2.3)과 같다.

$$Minimize\ Cost = C_d + C_t + C_c \quad \text{(식 2.3)}$$

거리비용(C_d), 배송시각비용(C_t), 부패위험도비용(C_c)은 각각 다음과 같이 정의하였다.

가. 거리비용(C_d)

배송지 i, j간의 거리 $distance_{i,j}$는 Euclidean Distance를 이용하여 계산하며 배송지 i의 공간적 좌표는 (x_i, y_i)이고, 배송지 j는 (x_j, y_j)라 할 때 (식 2.4)와 같이 표현된다.

$$distance_{i,j} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad \text{(식 2.4)}$$

본 연구에서 사용하는 공간데이터는 TM(Transverse Mercator)좌표계를 사용하였다. TM좌표계는 지도상에 표시된 숫자와 숫자간격이 1,000m이며 좌표계에서 표현하는 숫자의 단위가 meter 이므로 예를들어 $distance_{i,j}$가 100이라면 실제 공간상에서 배송지 i와 j의 직선거리는 100m가 된다. 따라서 거리에 대한 비용(C_d)은 (식 2.5)와 같다.

$$C_d = distance_{i,j} \quad \text{(식 2.5)}$$

나. 배송시각비용(C_t)

배송시각의 제한을 가지는 배송상품은 오전배송과 지정시각배송 상품이다. 이 중 오전배송상품은 정오 이전이라면 배송시각은 문제가 되지 않는다. 하지만 지정시각배송상품은 일찍 배송하는 것이 아닌 지정된 시각에 정확히 배송하는 것이 목적이기 때문에 두 상품간에 서로 다른 기준의 비용을 적용하도록 하였다.

배송시각에 대한 비용은 최소비용($C_{\min}$)을 0으로 설정하고 오전배송은 정오(T_{noon})를, 지정시각배송은 지정시각(T_{custom})을 최소비용($C_{\min}$)으로 하고 직전 배송지(D_{j-1})의 예상 배송시각(T_{j-1})과의 시간간격이 커질수록 증가하게 하였다. 따라서 탐색시점과 정오(T_{noon})나 지정시각(T_{custom})과의 시간간격이 작아질수록 비용이 낮아져 우선 배송하게 되는 효과를 보이게 된다. 익일택배(일반택배)의 배송시각비용($C_{t(normal)}$)은 1의 상수값을 갖는다. 시간(T)의 단위를 분이라 하고 분당 증가량을 IM(Increase per Minute)이라 하면 (식 2.6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_t = C_{\min} + \{(T_{noon,custom} - T_{j-1}) \times IM\}\} \quad \text{(식 2.6)}$$

오전배송상품은 제한시간이 많이 남아있는 경우라도 익일택배(일반택배)보다 늦게 배송해야 할 이유는 없다. 따라서 오전배송상품의 비용은 익일택배의 비용인 1을 초과하지 않는다. 그러나 지정시각배송에서 제한시간이 많이 남아있는 경우, 즉 배송시각이 지정시각보다 현저히 이른 경우에는 오히려 배송만족도가 감소하므로 지정시각배송은 익일택배를 초과하는 배송시각비용을 가질 수 있다.

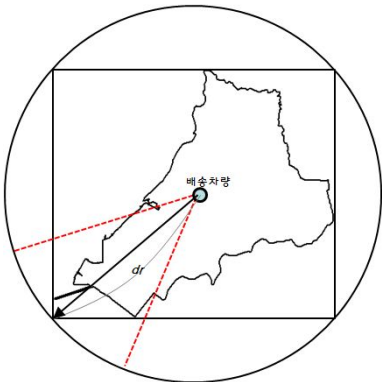
분당 증가량 IM을 구하기 위하여 배송차량이 담당 행정구역의 경계에 외접하는 원의 반지름 내의 영역을 현위치에서의 우선배송가능지역이라 가정하고 이를 이동하는 데 소요되는 시간을 계산하였다. 이를 위한 전제조건은 [표 2-2]과 같다.

[표 2-2] 분당 증가량 IM을 산출하기 위한 전제조건

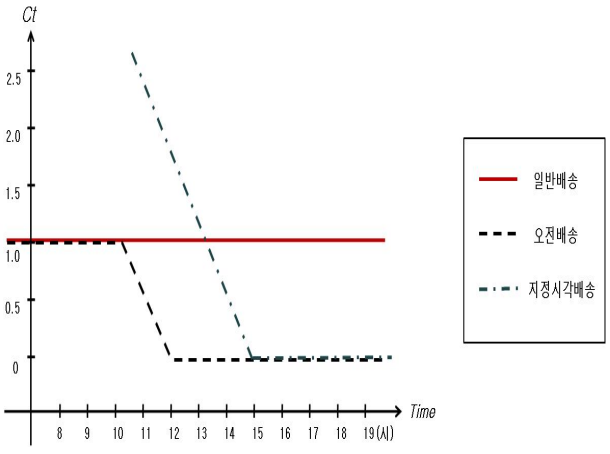
조건	설정값	설명
지역	서울, 경기	배송차량의 담당지역(서울:구, 경기:시/군/구)
평균속도	35 ㎞/h	배송차량의 평균 속도
인수시간	3분 30초	도착 후 고객과 화물 인수인계에 걸리는 시간
화물개수	150개	일일 배송 화물 개수
주변배송지경유	45°	우선배송지로의 경유지 후보 허용각도
우회경로 증가율	50%	우회경로 선택시의 이동거리 증가율

아래 <그림 2-1>에서와 같이 서울, 경기지역의 각 시/군/구의 반지름값(dr)의 평균은 12,849.8m이고(부록 1참고), 이를 위에서 가정한 시속 35㎞/h로 도달하려면 약 22분이 소요된다($60 \times 12.8498 \div 35 = 22.03$). 전체 배송지역을 8등분한 영역이 도달하는 도중에 경유하게 될 가능성을 가진 배송지라 하면 확률상 약 19개가 존재하므로($150개 \div 8 = 18.75$) 이를 인수인계하는 데에 66.5분($19 \times 3.5 = 66.5$)이 소요된다. 중간 경유지를 거치게 되어 발생되는 우회경로의 증가율을 50%라고 가정하면 이동 소요시간은 33분으로 증가한다($22분 \times 150\% = 33분$). 지정시각에 도착하려면 이동시간 33분과 경유지에서의 화물 인수인계시간 66.5분이 필요하므로 총 100분($33 + 66.5 = 99.5 \fallingdotseq 100$)이 필요하다. 따라서 지정시각의 100분 전부터 해당 배송지는 우선순위 가중치를 가져야 하므로 분당 증가량 IM은 0.01이 된다.

$$IM = (C_{t(normal)} - C_{\min}) \div 100(분) = (1-0) \div 100 = 0.01 \quad (식\ 2.7)$$



<그림 2-1> IM의 계산. 그림은 경기도 시흥시



<그림 2-2> 각 상품의 탐색시점에 따른 배송시각비용(15시 지정시각배송의 예)

[표 2-3] 상품별 배송시각비용 특성 요약

배송 상품	특성
일반	탐색시점에 관계없이 항상 1의 값을 가짐
오전	초기에는 일반배송과 같은 1의 값을 가지며 정오로부터 100분전인 10시 20분부터 분당 0.1씩 감소하여 정오부터 최저비용인 0을 가짐
지정 시각	지정된 시간부터 최저비용인 0을 가지며 지정시각 이전으로는 분당 0.1씩 증가함

결과적으로 T의 단위를 분으로 한 오전배송과 지정시각배송의 시간비용은 각각 다음과 같이 계산되며, 직전 배송지의 예상 배송시각(T_{j-1})이 T_{noon} 혹은 T_{custom}을 지난 경우에는 C_t는 최소비용을 가진다. 이를 <그림 2-2>와 같이 그래프로 표현하고 [표 2-3]에 상품별로 특징을 요약하였다.

a. 오전배송

오전배송상품은 정오(T_{noon}) 이전이라면 배송시각은 문제가 되지 않으므로 최대비용은 $C_{t(normal)}$이하가 된다. $C_{t(normal)}$은 상수 1이므로 이를 표현하면 다음과 같다.

$$C_t = C_{\min} + \{(T_{noon} - T_{j-1}) \times 0.01\} \quad 단,\ 0 \le C_t \le 1 \quad (식\ 2.8)$$

b. 지정시각배송

지정시각배송은 지정된 시각보다 지나치게 일찍 배송한 경우에도 문제가 발생한다. 따라서 비용(C_t)이 $C_{t(normal)}$을 초과할 수 있다. 이를 표현하면 다음과 같다.

$$C_t = C_{\min} + \{(T_{custom} - T_{j-1}) \times 0.01\} \quad 단,\ 0 \le C_t \quad (식\ 2.9)$$

다. 부패위험도비용(C_c)

화물의 내용물이 부패위험이 있는 경우 부패위험도에 따라 해당 배송지에 배송우선순위를 부여하였다. 부패위험도는 높음, 낮음, 없음의 3단계로 분류하고, [표 2-4]와 같이 각 단계에 해당하는 내용물의 예시를 나타내었다.

[표 2-4] 부패위험도 분류

위험도	설명	내용물 예시
높음	부패위험도가 높아 오전내 배송이 요구됨	어패류, 육류 등
낮음	부패위험이 있으므로 익일배송이 요구됨	채소, 발효식품, 가공식품 등
없음	부패위험도 없음	공산품, 통조림 등

부패위험도에 따른 비용은 최소비용($C_{\min}$)을 0으로 설정하고 부패위험도가 높은 경우 정오(T_{noon})를 최소비용($C_{\min}$)으로 하였다. 부패위험도가 낮은 경우는 익일배송이 요구되는데, 일반적으로 18시 이후에는 사무실에서 가정으로 퇴근하는 인구가 많아 수취인이 직접 수취하지 못하는 경우가 많다는 택배배송기사들의 의견에 따라 18시를 최소비용($C_{\min}$)으로 하였다. 직전 배송지(D_{j-1})의 예상 배송시각(T_{j-1})과 최소비용을 갖는 시각과의 시간간격이 커질수록 부패위험도비용(C_c)이 증가하게 되며, 탐색시점과 정오(T_{noon})나 18시와의 시간간격이 작아질수록 비용이 낮아져 우선적으로 배송하게 된다. 부패위험도가 없는 경우의 부패위험도비용($C_{c(normal)}$)은 1의 상수값을 갖는다. 시간(T)의 단위를 분이라 하고 분당 증가량을 IM(Increase per Minute)이라 하면,

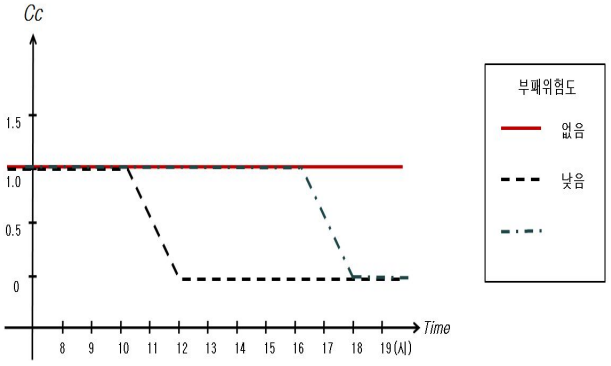
$$C_c = C_{\min} + \{(T_{noon,18시} - T_{j-1}) \times IM\} \quad \text{(식 2.10)}$$

과 같이 나타낼 수 있다.

부패위험이 있는 화물은 정오(T_{noon})나 18시와의 시간간격이 크더라도 일반화물보다 늦게 배송해야 할 이유는 없으므로 최대비용은 $C_{t(normal)}$이하가 된다. $C_{t(normal)}$은 상수 1이고, 분당 증가량(IM)은 배송시각비용(C_t) 계산시 사용된 분당 증가량(IM)과 동일하므로 이를 표현하면 다음과 같다.

$$C_c = C_{\min} + \{(T_{noon,18시} - T_{j-1}) \times 0.1\} \quad \text{(식 2.11)}$$
단, $0 \le C_c \le 1$

위의 과정은 <그림 2-3>과 같은 그래프로 나타낼 수 있으며 부패위험도별 특징을 요약하면 [표 2-5]와 같다.



<그림 2-3> 탐색시점에 따른 부패위험도별 비용

[표 2-5] 위험도별 부패위험비용 특성 요약

위험도	특성
높음	초기에는 일반배송과 같은 1의 값을 가지며 정오로부터 100분전인 10시 20분부터 분당 0.1씩 감소하여 정오부터 최저비용인 0을 가짐
낮음	초기에는 일반배송과 같은 1의 값을 가지며 18시로부터 100분전인 16시 20분부터 분당 0.1씩 감소하여 18시부터 최저비용인 0을 가짐
없음	탐색시점에 관계없이 항상 1의 값을 가짐

라. 표준화 기법 적용

본 알고리즘에서 비용으로 산정되는 거리, 부패위험도, 배송시각은 서로 단위 및 척도종류가 다르다. 때문에 각각의 비용에 표준화 기법을 적용하여 공통의 척도로 변화시켜 서로 다른 종류의 비용을 수학적으로 비교·계산하고자 한다. X를 원값, $\overline{X}$를 원값의 평균이라 하면 표준지수 SI(Standard Index)를 구하는 공식은 다음과 같다.

$$SI = \frac{X - \overline{X}}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X - \overline{X})^2}{n}}} \quad \text{(식 2.12)}$$

배송지 후보들의 거리, 배송시각, 부패위험도 비용을 표준지수로 변환한 값을 각각 SI_d, SI_t, SI_c라 하면 배송지 i, j간의 최종적인 총 비용은 다음과 같이 산정되고 $Cost_{i,j}$를 최소로 하는 배송지 j가 다음 방문지로 선택된다.

$$Next\ Destination = Minimize(Cost_{i,j}) = Minimize(SI_{di,j} + SI_{ti,j} + SI_{ci,j}) \quad \text{(식 2.13)}$$

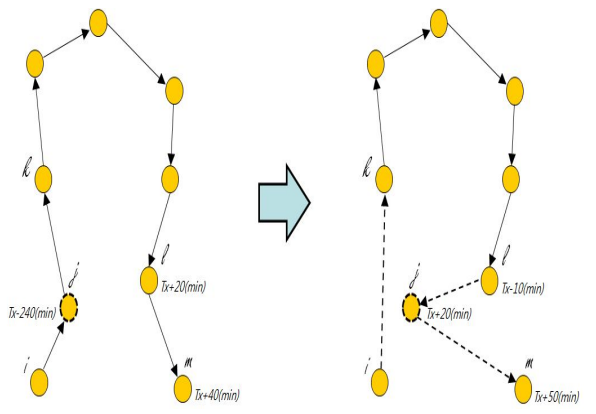
마. 순회경로 완성

모든 배송지가 방문될 때까지 "가~라"의 절차를 반복하여 출발지로부터 순차적으로 선택된 방문지를 연결하고 출발지를 종점으로 선택함으로써 순회경로를 완성시킴으로써 초기해 생성과정이 종료된다.

2.2.3 배송지행렬 개선

위에서 생성된 초기해는 개별화물들의 배송만족도를 최대화 할 수 있으나, 화물의 개수가 늘어나고 오전배송·지정시각배송 등 특수화물의 지리적 위치 산포도가 커질수록 우회경로가 증가하여 배송경로가 지나치게 길어질 수 있다. 따라서 초기해에 2-최적법(2-opt method)을 적용하여 교차링크를 제거하고, 이로인해 배송만족도가 크게 떨어진 배송지들을 <그림 2-4>와 같이 배송만족도가 높아질 수 있는 배송순서로 재배치함으로써 배송지행렬을 개선하도록 하였다.

아래 <그림 2-4>의 좌측과 같이 배송지정시각이 T_x인 [배송지 j]를 경유하는 배송경로가 $i \rightarrow j \rightarrow k$ 로 산출되고, [배송지 j]를 지나는 예상시각이 $T_x - 240(\min)$인 경우 [배송지 j]의 배송만족도는 매우 떨어지게 된다. 따라서 이를 위 <그림 2-4>의 우측과 같이 $i \rightarrow j \rightarrow k$를 $i \rightarrow k$로, $l \rightarrow m$을 $l \rightarrow j \rightarrow m$로 수정할 경우 약간의 우회경로가 발생하지만 [배송지 j]의 배송만족도는 매우 높아진다. 본 알고리즘에서는 이와같은 방법으로 배송지행렬을 개선하되, 과도한 우회경로 발생을 막기 위하여 [표 2-6]과 같은 보정계수(Calibration Factor)들을 설정하고, [표 2-7]에 정의한 제약조건을 만족하는 보정계수의 조합 중 배송 만족도와 주행거리의 만족도가 최적의 조합을 가지는 행렬을 취하도록 하였다. 여러 가지 배송계수의 조합 중 선택하도록 한 이유는 배송지들의 위치나 일반화물 및 특수화물의 개수, 배송지정시각 등이 매우 유동적이기 때문에 보정계수를 정할 수 없기 때문이다.



<그림 2-4> 배송순서 재배치에 의한 배송지행렬 개선

[표 2-6] 배송지행렬 개선을 위한 보정계수

만족도(CF_s)	거리(CF_d)	시간(CF_t)	횟수(CF_c)
%	m	분	회
40	600	30	1
50	800	60	2
	1000	90	
60	1200		3
70	1400	120	4
	1600	150	
80	1800	180	5
	2000		

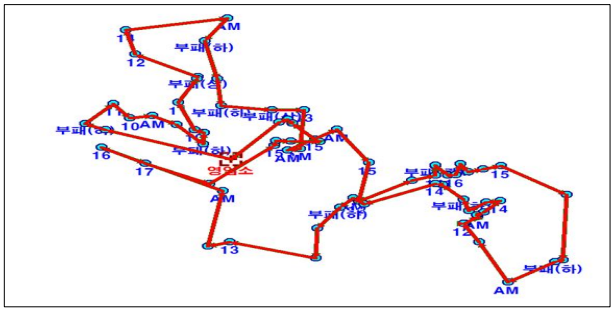
[표 2-7] 배송지행렬 개선의 제약조건

① 삽입위치 전후 배송지의 거리 $distance_{l,j}$와 $distance_{j,m}$이 CF_d이하일 것
② 배송지정시각T_x와 삽입위치 전후 예상배송시각과의 차가 CF_t이하일 것
③ 행렬개선횟수(Cycle)이 CF_c 이하일 것
④ 배송만족도가 CF_s이하인 배송지에 대하여 실행할 것

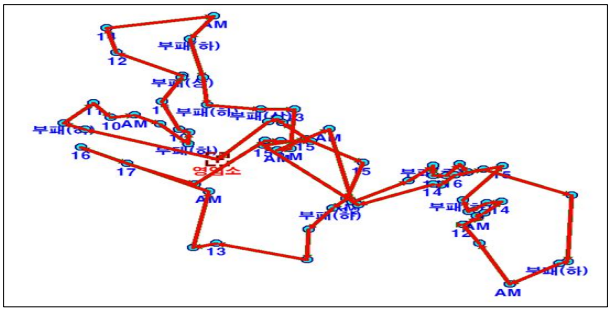
최종적으로 위의 보정계수들의 모든 조합인 총 1200가지의 배송지행렬이 개선된 해에 대하여 각각 배송만족도와 총 주행거리를 계산한다. 계산된 배송만족도와 총 주행거리를 초기해 생성에서 사용된 (식 2.12)과 같은 표준화를 통하여 배송만족도의 표준지수 SI_s로, 총 주행거리의 표준지수 SI_m으로 환산하고, 가중치를 부여하여 아래 (식 2.14)와 같이 목적함수에 대입하여 최대의 만족도를 가지는 해를 선택한다. (식 2.14)에서 w_s는 배송만족도 가중치, w_m은 주행거리 가중치를 나타낸다.

$$Optimum\ Solution = Maximize(w_s SI_s - w_m SI_m) \quad \text{(식 2.14)}$$

일반적으로 주행거리가 증가할수록 배송만족도 역시 증가하는 경향을 보이는데, 주행거리가 증가하면 배송시의 업무시간 및 배송비용이 증가하므로 배송상황이나 총 주행거리가 다소 증가하더라도 배송만족도를 보다 높일 수 있는 해를 찾고자 한다면 배송만족도 가중치를 증가시키는 등 배송자의 성향에 따라 배송만족도 가중치와 주행거리 가중치간의 적절한 배분이 필요할 것이다. 다음 <그림 2-5>는 배송만족도 가중치와 주행거리 가중치가 0.5로 동일하게 적용하여 탐색한 배송경로 탐색 결과를 나타내고, <그림 2-6>은 배송만족도와 주행거리 가중치가 0.8 : 0.2인 경우의 배송경로 탐색 결과 예시를 나타낸다. 배송만족도를 보다 높이기 위해 <그림 2-6>이 <그림 2-5>보다 주행거리가 다소 증가하였음을 볼 수 있다.



<그림 2-5> 배송만족도 가중치와 주행거리 가중치가 0.5로 동일한 경우의 배송경로



<그림 2-6> 배송만족도 가중치 0.8, 주행거리 가중치 0.2인 경우의 배송경로

3. 알고리즘 성능시험

3.1 성능시험의 개요

3.1.1 시험대상 및 범위

본 시험에서는 다중목적경로탐색 알고리즘을 통한 배송시 최근접법+2-최적법 대비 배송만족도와 주행거리 등의 증감률을 측정하고자 한다. 최근접법+2-최적법은 타 알고리즘과 비교하여 대부분의 경우에 최단거리의 배송 경로를 보여주기 때문에 이를 숙련된 배송자가 선택할 수 있는 배송 경로로 가정하였다.

시험지역은 서울특별시와 경기도를 대상으로 하였고 한명의 배송자는 서울특별시의 경우 하나의 구를 담당하도록, 경기도의 경우 하나의 시/군/구를 담당하도록 설정하였다.(서울 25개 구, 경기 44개 시/군/구)

화물정보 생성은 각 지역마다 무작위로 일반택배 80개, 오전택배 10개, 지정시각배송 20개, 부패물 10개, 미수령품 10개, 일반수거 10개, 지정시각수거 10개의 총 150개를 생성하였다. 시험은 각 지역별로 3회씩 실시하였으며 매회 화물정보를 재생성하여 시험결과의 일반성을 높이고자 하였다. 도착지터미널(택배영업소)의 위치는 편의상 생성된 화물이 분포된 지리적 위치의 중심점으로 설정하였으며, 시험은 다음 [표 3-1]과 같은 절차로 수행하였다.

[표 3-1] 성능시험 절차

Step1. 다음 시험지역을 선택한다.
Step2. 시험지역 내 임의화물정보를 생성한다.
Step3. 최근접법과 2-최적법으로 배송경로를 탐색후 시험결과를 저장한다.
Step4. 택배차량용 다중목적경로탐색 후 시험결과를 저장한다.
Step5. Step2부터 Step4까지 3회 반복한다.
Step6. 모든 지역의 시험이 완료될 때까지 Step1~Step5를 반복한다.

3.1.2 시험 전제조건

택배차량용 다중목적경로탐색의 성능평가 시험을 위하여 [표 3-2]와 같이 전제조건을 설정하였다. 본 알고리즘은 경로탐색시점의 시간과 각 배송지를 방문할 때의 예상배송시각이 중요한 요소로 작용한다.

[표 3-2] 시험의 전제조건

조건	설정값	설명
탐색시각	오전 08:00	경로탐색을 시작하는 시각
평균속도	35 ㎞/h	배송차량의 평균 속도
인수시간	3분 30초	고객과 화물 인수인계에 걸리는 시간
가중치	0.5 : 0.5	배송만족도 가중치(w_s) : 주행거리 가중치(w_m)

화물정보데이터는 다음 <그림 3-1>과 같은 임의화물정보생성기를 제작하여 생성하였다. 임의화물정보생성기는 선택된 지역 내의 지번을 무작위로 선택하여 지정된 개수만큼의 화물정보를 생성한다. 생성 시 "지정시각배송"과 "지정시각수거"는 지정시각 09시부터 18시까지를, "부패물"은 부패위험도 "높음"과 "낮음"을 무작위로 선정하도록 하였다.

<그림 3-1> 임의화물정보생성기 화면

3.1.3 평가항목

본 성능시험에서 평가하고자 하는 가장 주요한 항목은 고객의 배송만족도이며 이외에 배송거리와 과 배송업무시간을 본 시험의 평가항목으로 설정하였다. 배송만족도를 평가하는 기준은 아래 [표 3-3]과 같이 정의하였다. 배송만족도는 개개인의 성향에 따라 크게 좌우되는 기준이기 때문에 모든 고객들이 이와 같은 기준의 만족도를 가지지는 않을 것이다. 하지만 본 시험의 목적은 택배배송의 절대적인 만족도 값을 구하고자 함이 아니라, 현재의 택배 배송방식과 본 연구에서 제안하는 택배 배송방식의 비교에 따른 배송만족도의 증감 추이를 비교·분석하고자 함이다.

3.2 성능시험 결과

본 시험에서는 서울특별시 25개 구와 경기도 44개 시/군/구에 대하여 각 3회씩 150개의 임의화물을 생성하여 탐색방식별로 특화상품의 배송만족도를 측정하였으며 차수별 측정 결과는 다음 [표 3-4]와 같다.

시험의 전체 결과를 확인하기 위해 모든 차수의 시험 결과를 취합하면 다음 [표 3-5]와 같이 총 207회 수행한 시험결과에서 최대 115.50%(경기도 이천시, 차수 2), 전체평균 34.82%의 개선율을 보여주어 2-최적법과 비교하여 확실한 배송만족도 향상을 보여주었다.

[표 3-3] 배송만족도 측정 기준 (단, 만족도≥0)

종류	배송만족도 평가기준
오전택배	- 정오 이전에 배송시 100% - 정오이후 분당 0.5% 감소
지정시각 택배	- 지정시각에 배송시 100% - 지정시각과 시간차(분)당 0.3%감소
부패물	- 위험도높음: 정오까지 배송시 100% - 위험도낮음: 18시까지 배송시 100% - 이후부터 분당 0.5% 감소

[표 3-4] 차수별 특화상품 배송만족도 (단위:%)

차수	2-최적법	다중목적	개선율
1	50.07	67.82	36.13
2	49.85	65.48	32.06
3	49.62	67.47	36.28

[표 3-5] 취합된 특화상품 배송만족도 시험결과

시험번호	행정구역	차수	경로탐색방법				개선율(%)	최적보정계수			
			최근접법	2-최적법	초기해	다중목적		CFc	CFd	CFt	CFs
1	서울특별시 종로구	1	53.3	50.78	91.74	73.64	45.02	1	800	90	70
2	서울특별시 종로구	2	58.86	58.32	87.12	73.28	25.65	2	1200	150	80
3	서울특별시 종로구	3	50.24	52.02	85.16	76.58	47.21	3	1200	60	50
4	서울특별시 중구	1	51.14	55.34	90.64	80.78	45.97	2	1200	150	80
5	서울특별시 중구	2	60.68	58.58	88.04	75.08	28.17	2	1000	90	50
6	서울특별시 중구	3	61	51.26	90.24	66.76	30.24	3	600	150	50
7	서울특별시 용산구	1	63.56	55.84	90.38	66.42	18.95	3	1200	60	40
8	서울특별시 용산구	2	49.88	59.32	88.8	72.26	21.81	4	1000	90	40
9	서울특별시 용산구	3	54.38	54.34	89.26	80.5	48.14	2	1400	120	60
10	서울특별시 성동구	1	52.34	57.72	87.34	80.04	38.67	5	1000	180	50
⋮											
176	경기도 이천시	2	44.36	21.42	77.52	46.16	115.50	2	1800	180	40
⋮											
205	경기도 양평군	1	35.06	31.26	65.16	47.6	52.27	3	2000	60	80
206	경기도 양평군	2	38.68	34.08	65.1	38.2	12.09	3	2000	60	40
207	경기도 양평군	3	25.86	26.74	64.86	27.5	2.84	2	2000	30	40
평균			50.84	49.84	85.26	66.92	34.82				

4. 결론 및 추후 연구과제

본 연구는 택배차량용 내비게이션 시스템에서 개별화물을 보다 효율적으로 배송하기 위한 배송경로 탐색 방안으로서 택배차량용 다중목적경로탐색 알고리즘을 개발하였다. 서울과 경기 지역을 대상으로 성능평가를 실시한 결과 다중목적경로탐색 알고리즘은 택배 배송의 만족도를 크게 향상시킬 수 있었다. 다중목적경로탐색은 최근 다양한 배송특성을 가진 택배상품들의 배송조건을 만족시킬 수 있는 배송 경로를 배송자에게 제공함으로써 배송 준비단계에서 소요되는 시간을 줄여 업무효율을 향상시킬 수 있으며, 고객은 화물의 신선도가 유지되고 자신이 원하는 시간에 택배 서비스를 받을 수 있게 되어 화물 수취율이 높아지고 배송 만족도가 향상된다.

택배차량용 다중목적경로탐색 알고리즘은 대도시와 같은 상대적으로 작은 영역을 가지는 행정구역에서는 뚜렷한 효과를 나타냈으나, 큰 영역을 가지는 행정구역에서는 그 효과가 상대적으로 낮게 나타났다. 이러한 지역에 대하여 행정구역을 분할하여 배송하는 등의 알고리즘을 보완하기 위한 연구가 필요하다. 또한 최근 급속히 발달중인 텔레매틱스기술을 활용한다면 실제의 도로형상 및 실시간 교통정보를 고려함으로써 보다 효율적인 배송경로를 탐색할 수 있을 것이다.

5. 참 고 문 헌

[1] 김상우, “차량 경로문제의 배송시간 최소화를 위한 발견적 해법에 관한 연구”, 명지대학교 대학원 석사학위 논문, 2001.

[2] 김태현, 서창석, 권오경, 이철웅, 김준석, 박영재, 박찬익, “전략적 물류경영”, 도서출판 범한, 2007.

[3] 백관호, “외판원문제(TSP)를 위한 실용적인 근사해법”, 대한산업공학회 춘계공동학술대회 논문집, 2005: 768-772.

[4] 심진범, 한영근, “위치정보가 기록된 RFID를 이용한 택배차량용 내비게이션 시스템 개발에 관한 연구”, 대한안전경영과학회지, 제12권 제1호, 2010: 113-118.

[5] 심진범, 한영근, 2010, “RFID와 GIS기술을 활용한 개별화물 배송추적 및 일괄정산 시스템 개발에 관한 연구”, 대한안전경영과학회지, 제12권 제2호, 2010: 107-112.

[6] 최현옥, “그래프이론에서 TSP알고리즘의 지도방안 연구”, 전남대학교 교육대학원 석사학위 논문, 2007.

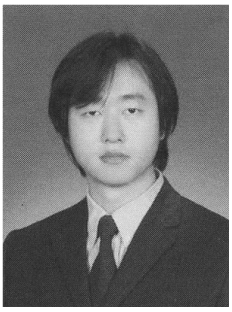
[7] 허창섭, “택배서비스의 고객요구 수용비율이 배송원가에 미치는 영향에 대한 연구”, 숭실대학교 중소기업대학원 석사학위 논문, 2010.

[8] Baker, B. M, & Ayechew, M. A., “A genetic algorithm for the vehicle routing problem”, Computers & Operation Research”, 2003: 787-800.

[9] Hamdy A. Taha., "Operations Research", Prentice Hall, 2003.

저 자 소 개

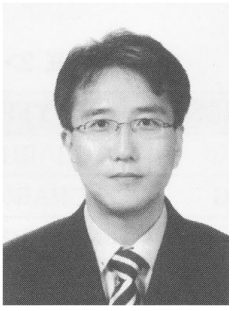
심 진 범



명지대학교 정보통신공학과 학사, 산업공학과 석사, 박사.
현 삼성전자 제조기술센터 책임.
주요 연구 관심분야는 자동화 S/W 개발, RFID와 GPS를 활용한 물류시스템 구축 등.

주소: 경기도 용인시 처인구 남동 산 38-2 명지대학교 산업경영공학과

한 영 근



서울대학교 기계설계학과 학사, 석사. 미국 펜실베니아주립대학교 산업공학과 박사. 현
명지대학교 산업경영공학과 교수.

주소: 경기도 용인시 처인구 남동 산 38-2 명지대학교 산업경영공학과