

The flexible routing with flex for the fast delivery

TaeJoon Park*, Yerim Chung*

*Ph.D candidate, Dept. of Yonsei School of Business, Yonsei University, Seoul, Korea

*Associate professor, Dept. of Yonsei School of Business, Yonsei University, Seoul, Korea

[Abstract]

In this paper, we propose “flexible routing with flex” to provide fast delivery by using the flexible routing for the delivery vehicle and crowd-shipper named flex. To this end, we have introduced an algorithm that can build the delivery plan for delivery vehicles and flexes. The introduced algorithm uses the 2-opt algorithm to construct routes with low complexity and acceptable quality, and the revised saving algorithm to assign customer orders to the flex. The algorithm allows the vehicle and the flex to function complement each other without separating the delivery vehicle from the flex. The experiments consider the 3 different instances named Random, Mixed, Cluster, and show that “the flexible routing with flex” has a better result than “vehicle only”. The sensitivity analysis of the flex cost and time penalty shows “the flexible routing with flex” can provide better service not only to the customers who are serviced by flex but also to the customers who are serviced by the delivery vehicle.

▶ **Key words:** Vehicle Routing Problem, Crowd-shipping, Flexible routing, Simulation, Fast delivery

[요 약]

본 논문의 목적은 빠른 배송을 위한 배송 차량의 유연 회차와 크라우드슈핑(Crowd Shipping) 배달원인 플렉스를 활용한 “유연 회차와 플렉스” 방식을 제안하고, 풀이 알고리즘을 제안하는 것이다. 알고리즘은 선행 연구에서 성능이 검증된 2-opt를 사용하여 차량 경로를 계산하고, 절약 휴리스틱(Saving heuristic)을 변형한 방식으로 플렉스에 할당할 고객을 계산한다. 알고리즘은 차량과 플렉스를 분리하는 것이 아니라, 상호 보완적으로 운용될 수 있게 한다. 이를 위해 차량 정보가 플렉스 할당 과정에 고려되도록 하였다. 본 연구의 실험은 다양한 도심지의 상황을 상정한 Random, Mixed, Cluster 인스턴스로 구성되었다. 실험 결과 모든 인스턴스에서는 플렉스의 사용이 차량 유연 회차의 효율성을 높여주는 것을 확인하였다. 또 플렉스와 배송 지연 시간 비용에 대한 민감도 분석에서는 “유연 회차와 플렉스”가 차량만을 사용하는 방식의 차량 대수에 따라 값에 차이를 보였지만, 플렉스 비용이나 배송 지연 시간 비용이 200% 증가하는 경우에도 우위를 유지하는 것을 확인하였다. 본 연구의 결과는 플렉스가 차량과 연계되어 활용되는 경우, 플렉스에 의해 서비스되는 고객뿐만 아니라 차량으로 서비스되는 고객들의 서비스 품질을 높일 수 있음을 보여준다.

▶ **주제어:** 차량일정계획, 크라우드슈핑, 유연 회차, 시뮬레이션, 빠른 배송

-
- First Author: TaeJoon Park, Corresponding Author: Yerim Chung
 - *TaeJoon Park (xoxoqkr@naver.com), Dept. of Yonsei School of Business, Yonsei University
 - *Yerim Chung (yerimchung@yonsei.ac.kr), Dept. of Yonsei School of Business, Yonsei University
 - Received: 2021. 07. 22, Revised: 2021. 08. 30, Accepted: 2021. 08. 30.

I. Introduction

배송 속도에 대한 물류 산업의 관심은 고객들의 빠른 배송 선호가 가속화되는 상황에서 높아지고 있다. 고객이 접수 후 다음날 배송을 받을 수 있는 익일배송과 비교하였을 때, 빠른 배송은 접수 후 2~8시간 이내에 배송을 완료한다. 하지만 기존 물류 시스템은 익일배송을 상정하여 설계되었기 때문에 이를 통한 빠른 배송의 수행은 비효율적이다. 예를 들어 차량이 분배센터에서 화물을 싣고 나가는 라운드를 보면, 익일배송은 1라운드가 필요하다. 하지만 배송 시간을 단축하려면, 라운드의 수를 증가시켜서 고객 화물이 분배센터에서 대기하는 시간을 줄여야 한다. 이는 라운드의 수 나아가서는 어떤 차량을 언제 회차시킬 것인지와 같은 추가적인 의사결정이 필요하다.

“유연 회차”는 차량과 고객 정보를 활용해, 회차(라운드) 수를 유연하게 조절하는 배송 차량 운영 방식이다. 라운드 수 증가는 빠른 배송을 가능케 하지만, 동시에 차량의 분배센터 왕복 운행 횟수를 증가시킴으로써, 차량 운행 거리를 증가시킨다. 때문에 물류사는 라운드 수를 최소화 하면서, 고객에게 빠른 배송을 제공할 수 있는 유연한 회차가 필요하다. ICT 기술의 발달로 물류사는 운행 중인 차량과 고객에 대한 정보를 실시간으로 수집할 수 있고, 이를 운영 과정에서 활용할 수 있다.[8] 선행연구에서도 ICT를 활용하는 경우 배송 차량의 경로가 유의미하게 단축될 수 있음을 보여주고 있다.[3]

물류사는 배송에 일반인이 참여하는 크라우드shipping (crowd shipping)을 기존의 배송 차량과 함께 운영함으로써, 라운드와 라운드 사이에 발생하는 고객들의 주문에 더 빠르게 대응할 수 있다. 여기서 크라우드shipping에서 배송을 수행하는 일반인들은 플렉스(Flex)라고 불린다. 플렉스는 물류사로부터 수수료를 받고 주문들을 배송한다. 물류사 입장에서 플렉스에게 지급하는 배송 수수료는 배송 차량을 이용하는 비용보다 많이 들지만, 플렉스는 배송 차량이 수행하기 어려운 고객들을 담당한다는 장점이 있다. 예를 들어 배송 차량의 라운드 사이에 발생하는 고객이나 외진 곳의 고객들이 배송 차량이 수행하기 어려운 고객에 해당한다.

본 연구에서 제안하는 ‘유연 회차와 플렉스를 활용한 배송 서비스’는 배송 차량의 유연한 운용과 플렉스를 모두 사용한다. 본 연구의 알고리즘은 검증되어 있는 휴리스틱을 기반으로 구성되어, 실시간으로 발생하는 고객과 차량 경로의 변화에 대응한다. 본 연구의 알고리즘은 차량 경로와 회차, 그리고 플렉스에 할당되는 고객들을 유기적으로 결정하기 때문에, 이를 통해 차량의 유연한 회차 외에도 차량과 플렉스의 시너지를 추가로 기대할 수 있다.

이를 위해 2장에서는 유연 회차와 플렉스와 관련된 선행연구를 살펴본다. 3장에서는 구체적인 문제 상황을 제시하고, 4장에서 유연 회차와 플렉스를 고려한 운영 계획을 계산할 수 있는 알고리즘을 살펴본다. 5장에서는 실제 물류 상황을 기반으로 생성된 3종류의 인스턴스에 대한 실험 결과를 통해, 본 연구에서 제안하는 유연 회차와 플렉스의 효과를 확인한다. 마지막으로 6장에서는 본 연구의 결론과 의의를 정리한다.

II. Related works

본 연구에서 ‘유연 회차’는 고객 주문에 대한 정보가 실시간으로 도착하는 상황에서, 회차 차량과 회차 시점을 결정한다.[Table 1] 이를 위해서는 사전에 고객에 대한 정보를 모두 알려진 상황에서 차량 경로를 계산하는 오프라인 차량일정계획(Offline Vehicle Routing Problem: Offline-VRP)과는 다른 접근이 필요하다. 이러한 문제 상황은 고객에 대한 확률 정보가 사전에 알려진 상태에서 실시간으로 발생하는 고객을 처리하는 확률적 수요 하에서의 차량일정계획문제(Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands: VRPSD)나 고객에 대한 사전 정보가 없는 상태에서 실시간으로 발생하는 고객을 처리하는 온라인 일정계획문제(Online Vehicle Routing Problem: Online-VRP)와 연관성이 있다.

VRPSD이 실시간으로 발생하는 고객에게 대응하는 방식은 확률적인 제약 기회 방식(chance-constrained)과 재경로(recourse) 방식으로 나뉜다. 제약 기회 방식은 고객의 발생이 확률적이라는 점을 이용하여, 새로운 고객으로 인해 변경되는 경로의 길이가 임계점보다 짧은 확률을 최대화하는 차량 경로를 계산한다[7]. 이를 위해 가상의 고객을 생성하고, 이를 경로에 삽입하는 비용이 계산된다. 재경로 방식은 발생한 고객의 수가 기준보다 많아지면, 운행 중인 차량 경로를 다시 계산한다[4]. 재경로 방식은 제약 기회 방식과 비교하였을 때, 각 경로를 독립적으로 처리하기 때문에 연산이 빠르다는 장점을 가진다[1].

VRPSD에서 차량 회차는 (1)다른 차량과의 연계, (2)분배센터에서 차량의 대기 여부를 주요한 요소로 가진다. (1)은 회차 과정에서 차량의 경로를 구성할 때, 현재 운행 중인 다른 차량의 경로도 함께 고려하는 것이다. 예를 들어 현재 분배센터에서 작업 중인 차량 B와 회차가 예상되는 차량 A를 생각해 보자. 이때, 재경로 방식은 곧 있을 차량 A의 회차를 위해 차량 B에 대기 중인 고객의 일부만을 싣

는다. 이를 통해 전체 시스템의 운영 효율을 높일 수 있다 [4]. (2)는 분배센터에서 차량의 회차를 지연시킴으로써, 사이에 발생한 고객들이 추가로 차량에 적재될 수 있도록 하는 것이다. [12]에서는 배송 차량이 1대이면 대기 시간이 없는 ‘즉시 출발’이, 차량이 2대 이상이면 다른 차량을 고려한 ‘대기 후 출발’이 더 짧은 운행 시간을 가진다. 유사하게 [13]과 [15]에서도 회차를 위해 분배센터에 도착한 차량을 일정 범위 내에서 대기시킴으로써 경로 길이의 감소와 고객 서비스 품질의 증가를 확인하였다.

Online-VRP은 고객에 대한 사전 정보가 없는 상황에서 차량의 경로를 계산한다. Online-VRP에서 차량 회차는 대기 중인 고객 수나 차량 경로 길이와 같은 배송 시스템의 상태가 사전에 설정한 임계점을 넘기는 경우에 수행된다. [6]은 주문과 차고지의 위치에 따라 차량의 회차 여부를 계산하는 Point-At-Home(PAH)방식을 제안한다. PAH 방식은 단순하지만, 사전에 모든 고객의 정보를 사용하는 경우와 비교하여, 경로 길이의 증가를 2배 이하로 제한한다[10]. 이는 다수의 차량을 고려하는 PAH-m에서도 동일하게 유지된다[11].

플렉스는 차량 경로에서 제거될 때 차량 경로 길이의 단축이 크게 발생할 수 있는 고객, 즉 배송 차량이 방문하기 어려운 고객을 담당한다. 플렉스와 관련된 연구들은 플렉스만으로 구성된 경로 계획[9][15]이나, 플렉스를 활용한 물류 시스템[14]를 고려하기 때문에, 본 연구에서의 플렉스 사용과는 차이점을 가진다. 기존 연구에서는 고객의 삽입 비용을 최소화하면서 경로를 구성하는데, 이를 반대로 사용하면 경로에서 제거되는 경우의 제거 비용이 가장 큰 고객(물류사의 시각에서는 차량 운행 비용을 가장 많이 줄일 수 있는 고객)을 탐색할 수 있다. 절약 알고리즘(Saving algorithm)은 경로 계산에 대표적인 알고리즘인 경로에 삽입되는 비용이 작은 순서대로 고객을 경로에 추가하는 방식으로 경로를 구성한다[3]. 나아가 고객이 특정 시간에 배송을 희망하는 문제에서는 절약 알고리즘에 시간 비용을 함께 고려하는 I1 알고리즘이 효과적임으로 알려져 있다[2]. 이를 통해 본 연구의 플렉스에 할당되는 고객은 차량 경로에서 제거될 때 비용 감소가 커야 하며, 비용 계산에서는 I1 알고리즘의 비용 계산 구조를 활용할 수 있다는 점을 알 수 있다.

본 연구에서는 VRPSD와 Online-VRP에서 다루고 있는 “유연 회차(detour)” 구성과 “플렉스” 할당 고객 결정이라는 2가지 의사결정을 동시에 고려한다. 이는 유연 회차와 플렉스 의사결정이 유기적으로 이루어져야 함을 의미한다. 두 의사결정의 유기적인 소통은 본 연구가 선행연구들과 비교하였을 때 가지는 차별성이다. 동시에 본 연구의 또

다른 차별성은 본 연구가 플렉스에 관한 관심이 높아지는 현재 상황을 고려한다는 점이다.

Table 1. Literature overview

Literature	Description
[1][5]	Solving VRPSD using chance-constrained strategy
[2][4]	Solving VRP / Determining the customer insertion position on the route
[7]	Solving VRPSD using recourse strategy
[9][14][16]	Solving the flex routing problem / Introducing the flex added delivery system
[10][11]	Solving the Online-VRP using PAH(PAH-m) heuristic
[12][13][14]	Solving VRPSD / Determining the vehicle departure time at the depot

III. Problem

물류사는 일반 고객과 빠른 고객에게 배송 서비스를 제공한다. 일반 고객의 화물은 전날 발생한 후, 운행을 위해 분배센터에 위치한다. 일반 고객은 운행 시작 후 4시간 이내에 배송되어야 한다. 물류사는 빠른 고객에 대한 정보를 사전에 알 수 없다. 빠른 고객은 발생 후 2시간 이내에 배송되어야 하고, 배송 시간이 2시간을 넘을 때는 지연 비용이 발생한다.

문제의 목표는 k대의 배송 차량과 플렉스를 이용해 모든 고객을 서비스하는 최소 비용의 운행계획을 계산하는 것이다. 차량은 분배센터에서 고객의 집을 신고 운행을 시작한다. 차량 비용은 고정비와 운행 시간에 비례하는 운영비로 나뉜다. 차량이 회차를 하는 경우, 차량은 현재 향하고 있는 고객까지 방문 후, 차고지로 복귀한다. 이때 회차한 차량에 실려 있던 고객은 차량의 다음 라운드에 서비스되거나, 플렉스에 할당된다. 플렉스는 매 건당 일정액의 수수료를 받고 배송을 한다. 플렉스는 실시간으로 발생하며, 주문을 수행하거나 일정 시간 동안 주문을 받지 못하면 시스템에서 사라진다.

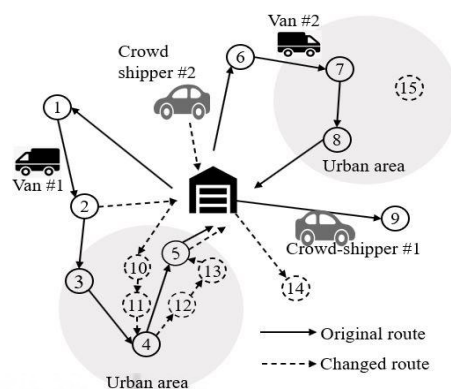


Fig. 1. Example of the flexible routing with flex

예를 들어 [Fig 1]을 보면, 2대의 배송 차량이 분배센터 (0)를 출발해 실선으로 된 경로 (0-1-2-3-4-5-0)와 (0-6-7-8-0)를 운행하고 있다. 플렉스1은 고객 9로 이동하고 있다. 이때, 고객 11,12,13,14,15가 새롭게 접수되었다. 발생한 고객을 서비스하기 위해, 차량1의 경로는 (0-1-2-3-4-5-0)에서 (0-1-2-0-10-11-4-12-13-5-0)로 수정된다. 고객 3은 차량1이 회차를 위해 분배센터에 도착하면, 차량에서 내려진 후 플렉스에 할당된다. 이는 고객 3이 새로운 라운드에서 차량1의 경로에 포함되는 비용보다 플렉스에 할당하는 비용이 더 적기 때문이다. 고객 15는 고객 14에 비해서 분배센터와의 거리는 더 멀지만, 주문이 많은 도심지역에 위치하기 때문에 이후에 차량 경로에 포함될 확률이 높다. 따라서 고객 15 보다 고객 14가 먼저 플렉스2에 할당되었다.

IV. Simulation

알고리즘은 시간을 설정하고(line1), 전날 접수된 일반 고객에 대한 차량 경로를 계산하면서 시작한다(line2). RouteConstruct는 K-Means 군집화 알고리즘으로 분류된 k개의 고객군에 대해, 2-opt를 사용해 경로를 계산한다. 알고리즘은 종료 시점 t_{end} 에 도달할 때까지 수행된다(line3). 분배센터에 대기 중인 유휴 차량이 있는 경우, 대기 중인 고객들로 구성된 경로를 할당한다(line4-6). 회차는 현재 운행 중인 차량들 중 회차 이익 $Profit(v,t,C,c_T,c_{CF})$ 이 0보다 큰 차량 중 가장 큰 회차 이익을 가지는 차량에 대해 수행된다(line7-12). 회차 이익이 0보다 큰 차량의 집합인 P에서, 회차 이익이 가장 큰 차량을 분배센터 회차 시킨다(line13-14). 이후 차량 v에 대한 경로를 계산하고, 만약 차량 v에서 내려진 고객이 있는 경우에는 해당 고객을 플렉스에 우선 할당한다(line15-16). 회차할 차량이 없는 경우에는 차고지에서 대기 중인 고객들을 플렉스에 할당한다(line17-18). 이러한 과정은 일정 시간마다 반복적으로 수행된다(line20).

Main(V, CF, C, $c_T, c_{CF}, I_{min}, r_{CF}, t_{end}$)	
1	$t \leftarrow 0$
2	$S \leftarrow \text{RouteConstruct}(V, C)$
3	While $t < t_{end}$ do
4	if Idle vehicle exist then
5	Construct route by 2-opt for Idle vehicle
6	end if
7	P: Profitable vehicle set
8	for $v \in V$ do
9	if $Profit(v,t,C,c_T,c_{CF}) > 0$ and Interval from last return time of $v >$ then
10	$P \leftarrow P \cup \{v\}$
11	end if
12	end for
13	if P is not empty then
14	$v = \text{argmax}_{v \in V} \{profit(v,t,C,c_T,c_{CF})\}$
15	Construct route for v
16	Assign unloaded customer of v to Flex
17	else
18	CFAssign (CF,C, r_{CF})
19	end if
20	$t \leftarrow t + \text{interval}$

RouteConstruct(V,C) : 차량 경로는 사용 가능한 차량의 수를 K로 가지는 K-Means 군집화 알고리즘이 군집화한 고객 군에 대해, 2-opt 알고리즘을 사용하여 경로를 계산한다. RouteConstruct(V, C)는 경로 계산에 고객의 위치 정보만을 활용하는데, 이는 고객들의 배송 희망시간이 발생 후 2시간으로 모두 같은 문제 상황에서 전체 경로의 길이를 단축시키는 것이 전체 지연 시간을 감소시키는데 더 효과적이기 때문이다.

Profit(v,t,C,c_T,c_{CF}): Profit(v,t,C,c_T,c_{CF})는 차량 v의 t시점 회차로 발생하는 회차 이익과 비용을 더한 회차 순이익을 계산한다. 회차 이익은 플렉스에 할당되어야 할 고객을 차량 경로에 추가함으로써 절약할 수 있는 플렉스 수수료이다. 회차 비용은 회차로 인해 기존에 차량에 실려 있던 고객의 배송이 지연되면서 발생하는 시간 비용이다. 시간 비용은 기존과 회차 후 경로의 비교를 통해 계산된다. 기존 경로의 시간 비용은 차량이 기존 경로대로 운행하는 경우에 발생하는 배송 지연 시간의 합이다. 이는 고객들에 대해 희망 배송 종료 시점보다 지연된 시간의 합이다. 동일하게 회차 후 경로의 시간 비용은 회차가 반영된 경로의 운행에서 발생하는 배송 지연 시간의 합이다.

회차 이익은 차량 회차가 없는 경우에 플렉스에 의해 수행되었을 고객의 수수료의 합이다. 회차 후 새롭게 추가된 고객 중 배송 희망시간의 종료 시점이 차량의 가장 이른 회차 시점보다 빠른 경우는 회차가 없다면 플렉스에 의해 수행되어야 한다. 차량의 회차는 이 고객의 플렉스 수수료를 절약시켜주기 때문에, 이는 회차 이익으로 계산된다.

Profit(v, t, C, c_T, c_{CF})	
1	$e_{old} \leftarrow 0$
2	$e_{new} \leftarrow 0$
3	$n \leftarrow 0$
4	for c in r_{old} do
5	• $e_{old} \leftarrow e_{old} + \max(t_c - t_e, 0)$
6	endfor
7	for c in r_{new} do
8	• if c in r_{old} then
9	•• $e_{new} \leftarrow e_{new} + \max(t_c - t_e, 0)$
10	• else
11	•• if $t_e < t_{earliest}$ then
12	••• $n \leftarrow n + 1$
13	•• endif
14	• endif
15	endfor
16	return $n * c_{CF} - (e_{new} - e_{old}) * c_T$

Profit(v, t, C, c_T, c_{CF})는 e_{old}, e_{new}, n 을 정의하면서 시작한다.(line1-3) 이후 기존 경로(r_{old})로 운행하는 경우에 발생하는 지연 시간을 계산한다.(line4-6) 지연 시간은 고객의 서비스 시점이 희망 배송 시간보다 늦을 때 발생한다.(line5) 회차를 고려하는 경로(r_{new})에서는 고객이 기존 경로(r_{old})의 고객인지, 새롭게 추가된 고객인지에 따라 다르게 계산된다.(line7-14) 기존 경로(r_{old})의 고객인 경우는 배송 지연 시간을 계산한다(line9). 새로운 고객에 대해서는 회차가 발생하지 않는 경우 해당 고객이 플렉스로서 서비스받아야 하는지를 계산한다.(line11) 회차 이익은 차량의 회차가 대체하는 고객의 수에 플렉스 건당 수수료를 곱한 것이며, 회차 비용은 증가한 배송 지연 시간에 배송 지연 시간 비용을 곱한 값이다.(line16) 이 과정에서 Profit(v, t, C, c_T, c_{CF})는 고객의 시간당 지연 비용인 c_T 과 플렉스의 건당 수수료인 c_{CF} 의 영향을 받는다.

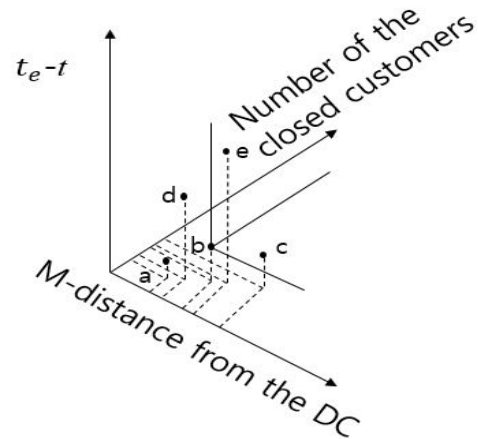


Fig. 2. Example of the Pareto dominance count

CPAssign(CF, C, r_{CF}) : 플렉스의 목표는 (1)유연 회차 지원과 (2)차량 경로 효율성 증가이다. (1)을 위해 CPAssign(CF, C, r_{CF})은 유연 회차로 배송 지연 시간이 증가하는 고객을 플렉스에 먼저 할당한다. 차량의 회차가 결정되면, 차량이 분배센터에 도착할 때까지 분배센터의 고객을 플렉스에 할당하는 것을 일시적으로 멈춘다. 차량에 실려 있던 고객들은 현재 분배 센터에서 대기하는 고객들보다 더 대기 시간이 긴 고객이다. 이 때문에 차량의 분배 센터에 도착 후, 차량에 실려 있던 고객 중 배송 지연 시간이 큰 고객들을 플렉스에 우선 할당함으로써 총 배송 지연 시간을 감소시킬 수 있다.

(2)를 위해 CPAssign(CF, C, r_{CF})은 차량에 의해 수행되는 비용이 큰 고객을 플렉스에 할당한다. 이때, r_{CF} 는 고객이 플렉스에 할당되기 위한 최소 대기 시간이다. r_{CF} 가 커질수록 플렉스에 할당되기까지 고객이 대기하는 시간이 길어지게 되고, 이는 고객들이 차량에 할당될 기회가 더 많아짐을 의미한다. 큰 r_{CF} 에서 고객은 분배센터에 더 오래 대기하게 되고, 이로 인해 고객이 차량 경로에 포함될 확률이 높아지기 때문이다. 분배센터에서 r_{CF} 이상 대기한 고객에 대해서 인접한 고객의 수, 분배센터와의 거리, 잔여 시간을 고려한 고객 삽입 비용을 기반으로 한 플렉스 할당 순위를 계산한다.

인접한 고객의 수와 차고지와와의 거리는 고객이 경로에 삽입되는 경로 비용과 관련 있고, 잔여 배송 시간은 고객의 배송 지연 비용과 관련되어 있다. 단위가 다른 3가지 요인을 모두 고려하기 위해서 “파레토 지배 수(pareto dominance count)”개념을 사용한다. 파레토 지배 수에서는 대상 A의 모든 요인 값이 대상 B의 모든 요인 값보다 작은 경우, A가 B를 지배한다고 표현한다. 차고지와와의

거리를 값이 작을수록 비용이 큰 값으로 표현하기 위해 M-차고지와의 거리로 변환한다.

예를 들어 [Fig 2]에서 고객 b가 고객 c, 고객 e보다 고객과 인접한 다른 고객의 수, 잔여 시간이 작고, 분배센터와의 거리는 크기 때문에 고객 c, 고객 e를 지배하고 있다. 단, [Fig 2]에서는 축 방향의 통일을 위해 차고지와의 거리를 M-분배센터와의 거리로 표기하였다.

V. Experiments

1. System design and instances

본 연구의 물류 시스템은 [Fig 3]과 같다. 실험에서는 실시간으로 발생하는 고객 주문이 존재한다. 고객의 주문이 발생하면, 이는 실시간으로 배송 시스템에 보고된다. 다만 시스템은 차량 회차, 클라우드 쉬핑으로의 고객 할당 의사결정을 t시간 마다 수행하기 때문에, 발생한 고객들은 잠시 대기하게 된다. 의사결정 시점이 되면, 시스템은 차량들의 위치와 적재된 고객을 갱신한 후, 시스템에 대기 중이던 t시간 동안 발생한 고객들에 대해서 차량 회차, 클라우드 쉬핑으로의 고객 할당 의사결정을 수행하게 된다. 이후 회차가 결정된 차량에게 회차를 명령하게 된다. 또 시스템은 클라우드 쉬핑으로 서비스 하는 것이 결정된 고객을 대기하던 클라우드 쉬퍼가 수행할 수 있도록 한다.

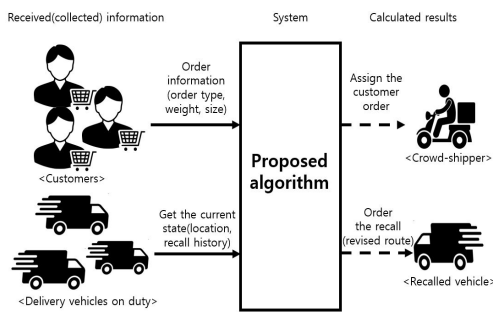


Fig. 3. System design

인스턴스는 서울시 1개 행정구를 모방하여 가로, 세로 5km의 25km²면적의 지역에 분포된 390명의 고객과 중심부에 있는 1개의 분배센터로 이루어져 있다. 전체 고객 중 100명은 일반 고객으로 운행 시작 후 4시간 이내에 서비스받기를 희망한다. 나머지 290명의 빠른 고객은 운행을 시작한 이후에 실시간으로 발생하며, 발생 후 2시간 이내에 서비스받기를 희망한다.

[Table 2]는 실험의 파라미터를 보여준다. 고객 지연 시간 비용인 c_T 은 분당 10원으로 한다. 한국 시장에서 C사

가 주간 클라우드쉬핑의 1건당 수수료를 900원을 책정한 것을 참고하여, 실험에서 플렉스 수수료 r_{CF} 는 건당 1000원으로 한다. 배송 차량과 플렉스의 이동 속도는 15km/hr로, 이는 도심지역의 차량 평균 속도 18.5km/hr에 배송 과정 중의 정차를 고려하기 위해 감속 계수 0.8을 곱한 값이다. 플렉스 할당에 영향을 미치는 r_{CF} 은 0과 10 사이 값을 가진다. r_{CF} 가 0인 경우는 고객이 발생 후 바로 플렉스 할당에 고려될 수 있음을 의미하고, r_{CF} 값이 커질수록 플렉스에 고려되기까지 기다리는 시간이 길어진다.

Table 2. Parameter values

Parameter	Value
c_T	10
c_{CF}	1000
s_v	15km/hr
r_{CF}	0~10

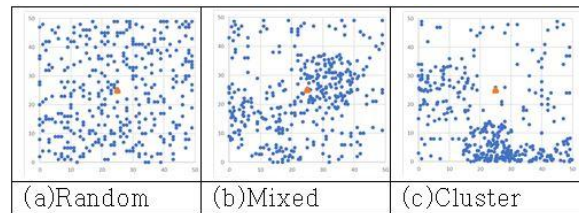


Fig. 4. Customer distribution of each instance type

인스턴스 유형은 고객 중 군집을 이루는 고객들의 비율에 따라 Random, Mixed, Cluster로 나뉜다.[Fig 4] Random은 군집이 존재하지 않는 시나리오이며, Mixed는 50%의 고객이 군집을 이루는 시나리오, Cluster는 70%의 고객이 군집을 이루는 유형이다. 군집을 이루는 고객들은 4개의 중심을 가지는 Matern cluster process를 통해 생성되었다. 인스턴스 유형들을 통해 다양한 형태의 지역들이 표현되었다. Random은 저층 건축물이 다수를 차지하는 구도심 지역, Mixed는 고밀 구역과 그 주변부로 되어 있는 부심 지역, Cluster는 고층 건축물이 다수를 차지하는 신도심 지역을 표현한다.

2. Impact of the flexible routing with flex in the 3 different instances

[Table 3]은 각 시나리오 유형별 10개의 인스턴스에 대하여 각 배송 전략별로 20회 반복 수행한 값들의 평균값을 보여준다. [Table 3]은 Random, Mixed, Clustered 인스턴스에 대해 차량 2대로 유연 회차와 플렉스를 사용하는 시나리오(*-V2F)와 그 비교 대상으로 차량을 2,3,4대 사

Table 3. The simulation results for the flexible routing with flex scenarios (*-V2F) and vehicle only scenarios(*-V2,*-V3,*-V4) in the Random, Mixed, clustered instances. The number of the Generated customer is 390 and flex is 150. The table shows the average result of the 20 repeated simulation runs.

Instance		Random				Mixed				Clustered			
Scenario		R-V2F	R-V2	R-V3	R-V4	M-V2F	M1-V2	M-V3	M-V4	C-V2F	C-V2	C-V3	C-V4
# of served customer		334.9	150.6	259.1	352.4	342.0	153.7	292.8	369.8	340.0	154.7	286.9	366.2
Average delivery latency(min)		37.2	138.7	54.0	26.8	37.1	111.2	42.3	18.9	35.7	115.2	43.7	19.7
Average customer lead time(min)		89.9	203.4	117.2	73.2	86.8	186.7	104.8	67.0	87.3	188.9	107.2	67.5
# of customer served by the vehicle		264.4	390	390	390	266.2	390.0	390.0	390	265.1	390.0	390.0	390
Average customer lead time served by vehicle (min)		111.8	203.4	117.2	73.2	108.1	186.7	104.8	67.0	109.1	188.9	107.2	67.5
# of customer served by the flex		126.6	-	-	-	124.7	-	-	-	125.9	-	-	-
# empty call back		9.6	2.9	11.6	38.7	12.7	3.1	17.1	50.2	12.4	3.2	16.7	48.9
# flexible call back		3.4	5.2	9.8	5.6	2.7	5.8	7.4	2.4	2.7	5.7	7.6	3
Average vehicle operation time(min)		921.4	1128.5	961.4	874	894.3	1093.5	934.2	843.0	898.2	1097.5	937.6	847.7
Vehicle operation time per customer(min)		7.0	5.8	7.4	9.0	6.7	5.6	7.2	8.6	6.8	5.6	7.2	8.7
# of delayed delivery customers	Latency:0~60 min	38.9	54.2	79.7	34.3	28.8	67.0	65.5	18.0	30.9	66.1	66.3	21.1
	Latency:60~120 min	8.5	55.7	39	3.3	6.6	63.3	22.6	1.3	6.2	60.3	25.6	1.7
	Latency:120 min ~	7.7	129.5	12.2	0	12.4	105.9	9.1	1.0	12.9	109.0	11.4	1.1

용하는 시나리오(*-V2,*-V3,*-V4)의 결과를 보여준다. 이를 통해 유연 회차와 플렉스 방식의 효율성을 차량만을 사용하는 기존의 방식과 비교 분석하고자 한다.

모든 유형의 인스턴스에서 유연 회차와 플렉스를 혼용하는 방식(*-V2F)은 차량만을 2,3대 사용하는 시나리오(*-V2, *-V3)에 대해서는 정시 배송 고객 수, 고객 평균 리드타임 등 모든 값에서 우위를 가진다. 또 차량 4대를 이용하는 시나리오와 비교하였을 때는 우위 폭이 감소하지만, 여전히 차량 4대와 유사한 결과를 보여준다. 정시 배송 고객 수는 *-V2F가 *-V3에 대해서는 평균 15.2% 더 많은 수의 고객들을 희망배송시간 내에 배송하였다. *-V4는 *-V2F보다 6.1% 더 많은 정시 배송 고객 수를 가지지만, 운행에 필요한 차량 수가 *-V2F보다 2배 더 많은 단점을 가진다.

인스턴스 유형 별로 보면, Mixed와 Clustered에 비해서 Random이 더 긴 차량 운행 시간을 가진다. 이는 지리적으로 더 퍼져있는 Random의 고객들로 인해, 차량 운행 거리가 증가하였기 때문이다. 차량의 회차 수는 R-V2F에서 13회, M-V2F의 15.4회, C-V2F의 15.1회로 고객이 무작위로 분포한 Random에서 제일 적었다. 세 유형의 인스턴스 모두 차량이 서비스한 고객은 265명 전후로 유사하다. Random에서는 고객 간 거리가 더 길데, 이는 Random에서 수행된 차량의 회차가 Mixed나 Clustered

유형의 회차에 비해 더 많은 수의 고객의 짐을 실었음을 보여준다. 또 R-V2F에서 전체 회차 중 유연 회차의 비율은 26.2%로, 이는 M-V2F의 17.5%와 C-V2F의 17.8%와 비교하여 높은 값이다.

평균 배송 지연 시간은 지연 배송을 받은 고객들의 지연 시간의 평균이다. 문제 상황에서 고객은 2시간 혹은 4시간 이내에 배송받기를 원하기 때문에, 이 시간보다 늦은 배송에 대해서는 지연 시간이 발생하고, 이는 비용으로 계산된다. 인스턴스 평균 *-V2F가 *-V3 대비 27.1% 더 짧은 평균 배송 지연 시간을 가지고, *-V4와 비교하였을 때는 40.6% 더 긴 평균 배송 지연 시간을 가진다. *-V2F, *-V3, *-V4 모두 고객의 평균 배송 시간은 3시간 이내로 이는 고객에게 약속한 배송 시간인 2시간의 50% 이내이다. 하지만 *-V3의 경우 지연 배송을 받은 고객 수의 평균이 *-V2F보다 인스턴스 유형에 따라 50~70명이 더 많으므로 *-V2F가 *-V3보다 고객 만족에 있어서 우위에 있다. 반대로 *-V4의 경우 평균 지연 배송 고객 수가 *-V2F보다 인스턴스에 따라 16~18명이 더 적기 때문에 *-V2F와 *-V4는 고객 만족 측면에서는 유사한 수준이라고 볼 수 있다.

모든 인스턴스 유형에서 *-V2F의 플렉스와 차량이 서비스한 고객의 평균 리드타임은 큰 차이를 가진다. 이는 플렉스에 할당된 고객은 분배센터를 출발 후 바로 고객에

게 도착하는 반면, 차량에 할당된 고객은 여러 고객을 방문하는 밀크런(milk-run)방식의 경로에 의해 서비스받기 때문이다. 플렉스가 처리한 고객은 전체의 32% 수준으로, 이는 플렉스가 *-V3 시나리오에서 차량 1대가 처리하는 고객들을 담당하고 있음을 보여준다.

회차는 차량 운행의 효율성에 영향을 미치기 때문에, 플렉스가 회차에 미치는 영향에 대한 분석이 필요하다. 유연 회차는 빠른 고객을 서비스하기 위해 필수적이지만, 동시에 차량에 실려 있는 고객의 리드타임을 증가시키기 때문에 최소화될 필요가 있다. 동일하게 차량 2대를 이용하는 *-V2F와 *-V2를 비교하면, 플렉스를 이용하는 *-V2F에서 인스턴스 평균 유연 회차 수는 2.93회로 이는 차량만을 사용하는 *-V2의 5.56회보다 52% 더 작다. 이를 통해 플렉스가 고객들의 평균 리드 타임을 줄이는 것 외에도, 추가로 유연 회차 수를 감소시키는 것을 확인할 수 있다. 다만 회차 수 분석에서 *-V2F와 *-V3, *-V4를 비교하기는 어려운데, 이는 *-V3와 *-V4에서 빈 회차와 유연 회차 수가 증가하는 것은 *-V2F보다 운행 차량 수가 늘어나면서 차량 1대가 서비스하는 고객의 수가 작아진 것의 영향이기 때문이다. 이는 고객 리드타임을 단축하기 위해, 운행에 투입되는 차량의 수를 늘리는 것이 전체 경로의 비효율을 증가시킬 수 있음을 보여준다.

고객 1명당 차량 운행 시간(분)은 고객 1명을 서비스하기 위해 차량이 운행한 시간이다. 이 값은 차량 회차 수와 비례하여 값이 커지는데, 이는 차량 회차가 많아질수록, 차량의 운행 효율이 낮아지기 때문이다. *-V2F는 *-V3, *-V4과 비교하였을 때, 고객 1명당 차량 운행 시간이 더 짧고 이를 통해 플렉스의 사용이 차량 운행 효율성에도 긍정적인 영향을 미침을 확인할 수 있다.

3. Cost sensitivity analysis

유연 회차와 플렉스의 운영에는 플렉스 수수료와 고객의 지연 배송 시간 비용이 큰 영향을 미친다. 플렉스 수수료가 상승하게 되면, 플렉스 이용보다 차량의 추가 투입 비용이 더 작을 수 있기 때문이다. 이는 고객의 지연 배송 시간 비용도 마찬가지로, 지연 배송 비용이 매우 높은 경우에는 *-V4와 같이 다수의 차량으로 배송을 수행하는 것이 타당하다. 본 연구에서는 3가지 비용이 발생하는데, 차량 운행 비용, 플렉스 1건당 지불 수수료, 지연 배송 비용이다. 차량 운행 비용은 차량 구입비, 보험료 등을 포함하는 고정비와 임금, 운행비를 포함하는 변동비로 구성되어 있다. 본 연구에서는 차량 1대의 고정비를 35000원으로 변동비를 시간당 10000원으로 계산한다. 플렉스 1건당 수

수로(c_{CF})는 국내 C사의 주간 크라우드쉬핑 수수료 900원을 참고하여, 1000원으로 설정한다. 지연 배송 비용은 지연된 시간에 따라 0~60분, 60~120분, 120분 초과로 3가지로 나눈다. 이는 실질적으로 시장에서 지연 비용이 지연된 배송된 시간에 정확히 비례하는 방식보다는 구간으로 나눈 방식이 적용되기 쉽기 때문이다. 각각에 해당하는 고객에 대하여 500, 1500, 3500원의 보상을 하는데, 이는 가장 큰 보상인 3500원을 기본 배송료인 3500원의 전액 환불로 설정하였기 때문이다.

Table 4. Sensitivity analysis of the total cost when r_{CF} is 3 and instance type is Random. *: when the flexible routing with Flex is more cost effective than R-V3. **: when the flexible routing with Flex is more cost effective than both R-V3 and R-V4.

		Time cost weight				
		1	1.5	2	2.5	3
Flex cost weight	1	653165.7**	736090.7**	819015.7*	901940.7*	984865.7*
	1.5	694465.7**	777390.7**	860315.7*	943240.7*	1026166*
	2	735765.7**	818690.7*	901615.7*	984540.7*	1067466*
	2.5	777065.7	859990.7	942915.7*	1025841*	1108766*
	3	818365.7	901290.7	984215.7	1067141	1150066
R-V3		766575.2	857025.2	947475.2	1037925	1128375
R-V4		762521.5	782146.5	801771.5	821396.5	841021.5

[Table 4]는 Random 유형 인스턴스에서 r_{CF} 가 3인 유연 회차 플렉스 운영 방식에 대해, 플렉스 수수료와 지연 배송 시간 비용이 변화에 따른 총 비용의 변화를 보여준다. [Table 4]은 R-V2F의 비교군으로 R-V3과 R-V4의 총 비용을 함께 보여준다. [Table 4]의 값은 시간 비용과 플렉스 비용의 가중치에 해당하는 총 비용이다. 예를 들어 시간 비용 가중치가 1이고, 플렉스 비용 가중치가 1인 경우는 비용에 변화가 없는 시나리오이다. 시간 비용 가중치가 2이고, 플렉스 비용 가중치가 2인 경우는 지연 배송에 대한 각 구간의 비용이 2배 증가하고, 플렉스 수수료가 2배 증가한 시나리오의 결과를 보여준다.

플렉스 가중치의 변화는 플렉스를 이용하는 R-V2F의 비용에만 영향을 미친다. [Table 4]에서 **가 표시된 값은 R-V2F가 R-V3과 R-V4 모두에 대해 더 낮은 비용을 가지는 경우이다. 시간 비용 가중치는 1인 경우 플렉스 가중치가 1~2인 구간에서는 R-V2F가 비용 우위를 보이고, 플렉스 가중치가 2.5 이상인 경우부터는 비용 우위가 사라지

는 것을 볼 수 있다. 이는 플렉스 비용의 2배로 증가하는 상황까지는 차량만을 사용하는 R-V3과 R-V4 보다 R-V2F가 더 낮은 비용을 가짐을 의미한다. 이는 플렉스 비용의 변화에 대한 R-V2F의 강건성을 보여준다.

시간 비용 가중치의 변화는 모든 방식의 비용을 증가시킨다. 시간 비용 가중치의 증가에 대해서는 R-V4의 변화가 가장 적는데, 이는 R-V4이 가장 많은 수의 고객을 시간 내에 배송하였기 때문이다. R-V2F는 R-V3과 비교하였을 때 시간 비용 가중치에 대해 비용 우위를 가진다. 다만 R-V4와의 비교에서는 R-V2F는 시간 가중치가 1.5보다 터지는 경우부터는 열세에 있다. 하지만 시간 비용 가중치가 2인 경우는 물류사는 고객에게 최대 10500원을 배상하는 상황인데, 이는 현실성이 낮기 때문에 실제로 발생할 가능성이 낮다.

[Table 4]을 통해 우리는 R-V2F가 R-V3, R-V4와 비교하였을 때, 플렉스 수수료의 변화뿐 아니라, 고객 시간 비용의 변화 속에서도 비용 우위를 유지할 수 있음을 확인하였다.

4. Flex allocation changes based on the flex allocation parameter r_{CF}

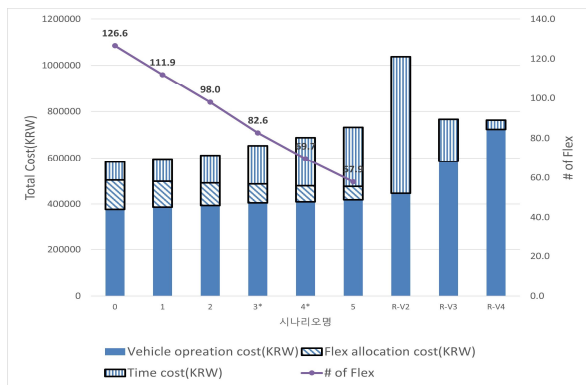


Fig. 5. Total cost and number of the used flex in the Random instance by the different r_{CF}

물류사는 플렉스를 얼마나 적극적으로 사용할 것인지를 r_{CF} 를 통해 조절한다. 실제 현장에서 매일 사용할 수 있는 플렉스의 수에는 변동성이 존재하기 때문에, r_{CF} 를 사용해 이용하는 플렉스의 수를 조절하는 방법은 운영 계획에 필수적인 요소이다.

r_{CF} 는 CPAssign(CF,C, r_{CF})에서 고객이 플렉스 할당에 고려되는데 필요한 대기 시간을 결정함으로써, 플렉스에 할당되는 고객들의 수를 조정한다. 작은 r_{CF} 는 CPAssign(CF,C, r_{CF})가 생성된 고객을 바로 플렉스에 할

당하게 한다. 반대로 큰 r_{CF} 는 CPAssign(CF,C, r_{CF})가 플렉스에 고객을 할당하기 전, 고객을 분배센터에서 대기 시킴으로써, 고객이 차량에 할당될 확률을 높인다. 이를 통해 큰 r_{CF} 는 플렉스에 할당되는 고객의 수를 줄인다.

[Fig 5]의 r_{CF} 가 0인 시나리오에서 물류사는 고객이 접수된 직후에 플랫폼에 고객을 공개한다. 때문에 r_{CF} 가 0~6인 경우 중 가장 많은 수의 고객이 플렉스를 통해 서비스되었고, 총 비용 역시 가장 낮다. 하지만 이는 시장에 물류사가 이용할 수 있는 플렉스가 충분하다는 가정을 필요로 한다. 플렉스의 수는 물류사가 통제할 수 없는 외부 요인이다. 때문에 물류사는 가용 플렉스의 수가 감소하는 경우에는 r_{CF} 를 증가시킴으로써, 플렉스에 할당되는 고객의 수를 줄일 수 있다.

[Fig 5]에서 플렉스에 할당되는 고객의 수가 줄어들면, 고객들의 지연 배송 시간이 증가하고, 이는 총 비용을 상승시키게 된다. 사용 플렉스가 69명인 r_{CF} 가 4인 시나리오에서는 고객들의 지연 배송 시간이 차량 3대를 사용하는 R-V3보다 커지면서, 시간 비용이 많이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 플렉스가 충분하지 않은 상황에서는 R-V2F가 차량만을 이용하는 시나리오에 대해 가졌던 비용 우위와 서비스 품질 우위가 모두 사라질 수 있음을 의미한다. 때문에 물류사는 시장의 플렉스 수에 대한 보수적인 예측을 통한 의사결정을 수행할 필요가 있다.

[Table 5]은 Random 유형 인스턴스에서 r_{CF} 가 다른 R-V2F 시나리오와 차량만을 사용하는 R-V2,R-V3,R-V4의 결과 값을 보여준다. r_{CF} 가 증가할수록, 정시 배송 고객 수는 감소하고 평균 배송 지연 시간과 고객 평균 리드타임은 증가한다. 이는 플렉스 고객 리드타임(분)에서와 같이 r_{CF} 의 증가가 고객이 플렉스에 할당되기까지 걸리는 시간을 증가시키기 때문이다. 재미있는 사실은 플렉스로 서비스한 고객이 감소하는 수보다, 정시 배송 고객 수가 더 크게 감소한다는 점이다. 이러한 경향은 r_{CF} 가 커질수록 강해진다. 예를 들어 r_{CF} 가 0에서 1로 증가하는 경우에는 플렉스 고객 수는 14.7명 감소하고, 정시 배송 고객 수가 14.1명 감소하였다. 하지만 r_{CF} 가 1에서 2로 증가하는 경우에는 플렉스 고객 수는 13.9명 감소하고, 정시 배송 고객 수가 20.1명으로 감소하였는데 이는 플렉스 고객이 1명이 감소하면서 정시 배송 고객 1.4명이 감소된 것이다. 이는 플렉스가 고객을 서비스하는 것과 더불어 차량 경로에서 비효율적인 고객을 대신 수행함으로써 차량 운행의 효율성도 증가시킬 수 있음을 보여준다.

Table 5. Changed customer, flex, vehicle states based on the flex parameter r_{CF} in the Random type instance. *:when the service quality is competitive with R-V3.

Scenario	R-V2F						R-V2	R-V3	R-V4
	r_{CF}	0	1	2	3	4*			
# of On-time delivery customer	334.9	320.8	300.7	275	253.6	232.7	150.6	259.1	352.4
Average delivery latency(min)	37.2	41.8	41.9	53.1	59.7	67.8	138.6	54.0	26.8
Average customer lead time(min)	89.9	98.9	107.3	119.4	129.6	139.7	203.4	117.2	73.1
# of customer served by the flex	126.6	111.9	98	82.6	69.7	57.9	-	-	-
Customer average lead time served by the flex(min)	44.4	53.5	64.4	76.0	88.3	99.4	-	-	-
# empty call back	9.6	8	6.1	5.1	4.6	4.1	2.9	11.6	38.7
# flexible call back	3.4	4.6	5.3	6.4	5.5	5.7	5.2	9.8	5.6

차량만을 사용하는 시나리오와의 비교를 위해 [Table 5]에서 값들이 R-V3과 유사한 r_{CF} 가 4인 시나리오를 보자. R-V2F 시나리오에서 차량의 총 운행 시간이 R-V3보다 5% 길었지만, 플렉스를 이용하는 시나리오에서는 차량 1대가 160.2명의 고객을 수행하였는데, 이는 R-V3에서 차량 1대가 130명을 서비스한 것보다 23% 더 많은 값을 가지는 것은 플렉스의 사용이 차량의 회차 횟수를 줄이고, 차량 경로의 효율성을 높일 수 있음을 보여준다.

사업 모델을 구축하는 것에 대한 동기를 제공한다. 다만 각 노동자의 공급에 변동성이 존재하기 때문에, 고객에게는 일정한 품질의 서비스를 제공해야 하는 물류사로서는 이에 대한 대응방안이 필요하다. 본 연구에서는 플렉스를 사용하는 과정에서 알고리즘의 파라미터를 조정하여, 전체 운영에서 사용하는 플렉스의 수를 조절하는 방식을 소개함으로써, 플렉스 공급의 변동성에 대한 물류사의 대응이 가능하도록 하였다.

VI. Conclusions

배송 속도가 소비자들의 구매 선택에 큰 영향을 미치게 되면서, 많은 기업이 더 빠르고 차별화된 배송 서비스를 제공하고 있다. 하지만 기존의 물류 시스템을 통해 이러한 서비스를 제공하는 것에는 큰 비용이 필요하다. 이에 대응하기 위해서 본 연구에서는 유연한 차량 운영과 이를 보조할 수 있는 클라우드워킹인 플렉스를 활용하는 배송 방식을 제안한다. 본 연구에서는 이를 위한 경로 구성 알고리즘을 소개하고, 다양한 인스턴스에서 시뮬레이션을 통해 유연 회차와 플렉스를 사용하는 시나리오와 차량만을 사용하는 시나리오를 다양한 유형의 인스턴스에서 비교 분석하였다. 특히 본 연구의 알고리즘에서 배송 차량과 플렉스의 사용이 유기적으로 연결되어 있으므로, 차량과 플렉스 간의 긍정적인 시너지효과를 창출할 수 있다. 실험 결과는 플렉스를 사용하는 것이 차량을 추가로 투입하는 시나리오보다 더 효과적이며, 나아가 플렉스로 인해 차량 경로의 효율성도 향상됨을 확인하였다.

본 연구에서 각 노동자(Gig worker)인 플렉스를 활용한 차량 운영 계획을 소개하였다. 각 경제(Gig economy)의 찬반을 떠나서, 본 연구의 결과는 각 노동자를 활용하는 것이 물류사의 총 비용을 감소시킬 수 있음을 보여준다. 이를 통해 본 연구는 물류 산업에서 각 노동자를 활용한

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the 'BK21 FOUR (Fostering Outstanding Universities for Research)' in 2021

This research was supported by the Yonsei University Research Fund of 2019 (2019-22-0077).

REFERENCES

- [1] Ak, A., & Erera, A. L., "A paired-vehicle recourse strategy for the vehicle-routing problem with stochastic demands," *Transportation science*, Vol. 41, No. 2, pp.222-237, 2007.05.
- [2] Bräysy, O., & Gendreau, M., "Vehicle routing problem with time windows, Part I: Route construction and local search algorithms," *Transportation science*, Vol. 39, No. 1, pp.104-118, 2005.02.
- [3] Chen, S., Yin, Y., Chen, B., Gao, Y., & Yang, J. "A Variable Neighbourhood Search Algorithm for Solving Dynamic Vehicle Routing Problem Under Industry 4.0," In *International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation* pp. 666-673. Springer, Singapore. 2020.10.
- [4] Clarke, G., & Wright, J. W., "Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points," *Operations research*, Vol.

- 12, No. 4, pp.568-581, 1964.08.
- [5] Erera, A. L., & Daganzo, C. F., "A dynamic scheme for stochastic vehicle routing," Report, Georgia Institute of Technology, 2003.
- [6] G. Ausiello, E. Feuerstein, S. Leonardi, L. Stougie, and M. Talamo, "Algorithms for the on-line travelling salesman," *Algorithmica*, Vol. 29, No. 4, pp.560-581, 2001.04.
- [7] G. Laporte, F.V. Louveaux, and H. Mercure, "Models and exact solutions for a class of stochastic location-routing problems," *European Journal of Operational Research*, Vol. 39, pp.71-78, 1989.03.
- [8] Gmira, M., Gendreau, M., Lodi, A., & Potvin, J. Y., "Managing in real-time a vehicle routing plan with time-dependent travel times on a road network," CIRRELT. 2019.
- [9] Hong, J., Lee, M., Cheong, T., & Lee, H. C., "Routing for an on-demand logistics service," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol.103, pp.328-351, 2019.06.
- [10] Jaillet, P., & Wagner, M. R., "Online vehicle routing problems: A survey. In *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges*," Springer, Boston, MA., pp. 221-237, 2008.
- [11] Jaillet, P., & Wagner, M. R., "Generalized online routing: New competitive ratios, resource augmentation, and asymptotic analyses," *Operations research*, Vol. 56, No. 3, pp.745-757, 2008.01.
- [12] J. Branke, M. Middendorf, G. Noeth, and M. Dessouky, "Waiting strategies for dynamic vehicle routing," *Transportation Science*, Vol. 39, No. 3, pp.298-312, 2005.08.
- [13] J.- Y. Potvin, Y. Xu, and I. Benyahia, "Vehicle routing and scheduling with dynamic travel times," *Computers & Operations Research*, Vol. 33, pp.1129-1137, 2006.04.
- [14] Macrina, G., Pugliese, L. D. P., Guerriero, F., & Laporte, G., "Crowd-shipping with time windows and transshipment nodes." *Computers & Operations Research*, Vol.113, 104806, 2020.01.
- [15] S. Mitrovic-Minic and G. Laporte, "Waiting strategies for the dynamic pick up and delivery problem with time windows," *Transportation Research B*, Vol. 38, pp.635-655, 2004.08.
- [16] Yildiz, B., & Savelsbergh, M. "Service and capacity planning in crowd-sourced delivery," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, Vol.100, pp.177-199, 2019.03.

Authors



TaeJoon Park received the M.S. degree in Business Administration from Yonsei University in 2017 and has been in PhD. degree program since 2017. He is interested in logistics optimization, new technologies

for logistics, and machine learning algorithms.



Yerim Chung received the B.S. degree in Business Administration from Yonsei University, Korea, in 2000. She received the M.S. and Ph.D. degree in Applied Mathematics and Computer Science from

Paris 1 University, France, in 2004 and 2010, respectively. Dr. Chung joined the faculty of Business School at Yonsei University, Seoul, Korea, in 2011. She is interested in inverse optimization, transportation science and network effects.