

고객의 시간요구와 비용을 고려한 택배 서비스 배송 규칙(ETD rule)의 개발

서창적

서강대학교 경영학과 교수
(cjsuh@sogang.ac.kr)

전희준*

서강대학교 경영연구소
(heajune@sogang.ac.kr)

국내 택배 서비스 기업들이 시행하고 있는 화물 집하와 배송 방법은 수요가 발생하는 순서에 따라 이루어지고 있다. 그리고 화물을 분배하여 목적지까지 배송하는 과정은 비용절감을 고려한 일괄 배송을 시행하고 있어 고객의 시간요구는 상대적으로 배제되어 있다. 이를 개선하기 위하여 기대 시간 배송 규칙(ETD rule)을 적용하여 현재의 택배 시스템을 개선할 수 있는 방법을 제시하였다. 기대 시간 배송 규칙은 최근 납기 우선 규칙(Early Due Date: EDD)과 Cut-off Time을 배송 시스템에 적용한 방법이다. 가상의 택배 서비스 시스템을 구현하여 검증한 결과 기대 시간 배송규칙을 사용하였을 때 고객이 원하는 시간 내에 배송된 화물의 수가 증가하였다. 또한 Cut-off Time을 조정함으로써 비용의 증가도 억제할 수 있었다. 최적의 Cut-off Time은 성공적인 배송횟수의 역수로 추정할 수 있는 서비스 실패 비용을 이용하여 얻을 수 있다. 서비스 제공 비용과 서비스 실패 비용은 역의 관계를 가지고 있어 총비용이 최소가 되는 배송횟수가 최적 Cut-off Time이 된다. 본 연구의 결과는 다음과 같은 시사점을 준다. 첫째, 고객이 원하는 배송시간을 파악하여 화물운송의 정보로 활용하는 것이 필요하다. 둘째, 기대시간 배송규칙을 사용하는 경우 서비스 신뢰성, 범위 및 비용을 고려할 수 있어 고객만족을 증가시킬 수 있다.

1. 서론

물류는 원재료 및 기자재에서부터 제품의 생산과 생산된 제품을 수요자에게 공급하기까지의 재화의 수송, 보관, 하역, 포장 및 정보처리 활동을 효과적으로 수행하기 위한 총체적인 관리활동이다. 상품이 그 생산과정의 최초 원료 수급단계로부터 최종 소비자에게 도달하기까지 이루어지는 제반 경제활동을 의미한다.

최근에는 제 3자 물류와 같이 물류 서비스에 대한 부분을 아웃소싱하여 전문적인 기업에 위탁하는 경우도 많다. 아웃소싱은 기업의 물류시스템을

새롭게 구축하는 경우 발생하는 비용이나 운영 미숙으로 인한 위험을 감소시킬 수 있다. 택배 서비스도 이러한 제 3자 물류 서비스의 하나로 개인이나 기업의 화물을 특정 기간 내에 원하는 장소로 배송하는 서비스이다.

택배 서비스의 경우 고객은 화물이 원하는 장소에 안전하게 배송되는 것을 중요한 요소로 생각하고 있다. 또한 빠른 배송이나 저렴한 비용도 중요하게 고려한다. 고객의 요구 중 정확한 장소로의 배송은 바코드의 성능을 향상시킴으로써 크게 개선되고 있다. 기존에 사용하던 바코드 시스템을 개선한 EAN-14이나 RFID 칩 등을 이용하여 보다 많은 양의 정보를 활용할 수 있게 정보 인식 시스

템이 변화되고 있어 배송의 정확성과 안전성은 한층 향상되고 있다. 그러나 고객의 또 다른 요구인 화물의 시간 내 배송이나 낮은 비용 등은 기업이 가지고 있는 시스템의 효율성에서 얻을 수 있는 경쟁우위이다. 따라서 빠르고 저렴한 택배 서비스를 제공하기 위해서 기업은 시스템을 개선할 수 있는 다양한 방법을 시도해야 한다.

이를 위해 본 연구에서는 고객의 시간요구를 고려한 우선순위 규칙을 사용함으로써 현재의 택배 시스템을 개선할 수 있는 방법을 제시한다. 또한 우선순위 규칙에 고객의 시간요구만을 고려하였을 때에는 잦은 배송으로 인해 높은 비용이 발생하게 되므로 Cut-off Time¹⁾을 조정하여 비용을 감소시키는 방법을 모색한다. 그리고 Cut-off Time을 조정한 결과가 배송 비용에 미치는 영향을 확인하여 최적의 배송횟수를 찾는 방법을 개발한다.

제시된 연구 모형을 검증하기 위하여 시뮬레이션을 활용하였다. 화물이 고객이 요구한 시간 내에 도착한 성공횟수와 고객의 요구시간을 활용한 기대 시간 배송규칙(Expected Time Delivery; ETD)을 적용했을 때 요구 시간 내에 도착한 성공횟수를 산출하여 차이를 비교하였다. 또한 각 상황에 따라 차량 소요와 운행거리를 기준으로 비용을 산출하여 차이를 비교하였다. Cut-off Time을 조정함으로써 성공횟수와 비용이 각각의 상황에 어떠한 차이를 가지는지도 확인하였다.

II. 집하와 배송문제

택배 서비스의 운영적 요소 중 가장 중요한 요소는 집하 및 배송 문제이다. 집하 및 배송 방법의 효율성에 의해 화물 운송의 속도와 비용이 결정된다. 집하 및 배송 문제는 차량의 가용한 용량이나 배차 방법에 의해서도 결정되지만 가장 중요한 영역은 배송 차량의 운행 방법이다. 따라서 차량 경로 문제를 기준으로 집하 및 배송을 효율적으로 운영할 수 있는 방법을 찾는 것이 필요하다.

차량 경로 문제는 모형에 사용하는 환경이나 목적에 따라 일반적인 차량 경로 문제(vehicle routing problem: VRP)와 집하 및 배송문제(pickup and delivery problem: PDP), 동적차량경로 문제(dynamic vehicle routing problem: DVRP) 등으로 구분할 수 있다. 그러나 이들의 구분이 항상 명확하게 구분되는 것은 아니고 효율적인 배송 방법을 찾기 위해 다양한 접근 방법을 찾게 된다. 일례로 Toth와 Vigo(1999)가 제안한 Cluster first route second 방법은 일반적 차량 경로 문제의 변형인 백홀(backhaul)이 있는 경우의 배송 문제를 해결하기 위한 기법이지만 집하 및 배송 문제를 해결하기 위해서도 사용된다.

일반적인 차량 경로 문제는 배송 방법을 대상으로 모형을 구축하며, 배송시의 운행거리를 최소화하여 최소 비용을 얻는 방법을 찾게 된다. 그러나 모형이 복잡하고, 사용되는 변수들이 다양하기 때문에 휴리스틱을 통해 만족해를 얻는 경우가 많다. 차량 경로 문제에서 많이 쓰이는 휴리스틱 기법은 Clarke-Wright 방법이 있다. 이 방법은 두 개의

1) Cut-off Time은 집하된 화물을 배송하기 위해 설정된 시간을 의미한다.

수요가 발생했을 때, Depot에서 각각의 수요지로 왕복 이동하는 거리와 각 수요지와 Depot를 하나의 경로로 설정하여 운행하는 거리를 비교하여 감소되는 운행거리를 단축거리로 지정한다. 그리고 이러한 단축거리가 가장 큰 지점을 연결하여 경로를 구성하는 방법이다(Clarke and Wright, 1964).

일반적인 차량 배송 문제를 보다 현실적으로 접근하기 위하여 시간제약을 적용시키고, 백홀이나 재고 및 배차 등의 요소들을 포함시켜 모형을 구축하고 있다(Golden and Assad, 1986). 시간제약을 포함시킴으로써 화물을 다루는 시스템의 용량을 무한대로 증가시키지 않고도 사용할 수 있도록 도와주게 된다. 차량이 운행할 때 가용한 모든 용량을 다 사용하지 못하고 일정 부분 비어있는 공간을 인정하게 된다. 재고의 적용은 경로문제에 재고의 보충을 포함시키는 것을 의미하는 것으로 고객에게 운송하게 되는 시점이 재고의 수준이나 재고 정책, 배차 비용 등에 영향을 받는 것을 포함시킬 수 있게 된다.

차량경로문제에서 정형화되어 있는 문제의 형태 및 제약조건이외에도 보다 더 구체적인 현실을 반영하기 위한 여러 요소들이 있다. Golden과 Assad (1988)는 구체적인 문제구성을 위한 요소로서 지리적 요소, 운전자 요소, 수요에 대한 요소 등으로 구분할 수 있으며, 이들 요소의 반영이 모형의 설명력과 효율성 간의 상쇄작용을 일으킨다고 설명하고 있다.

일반적인 집하 및 배송 문제는 운송요구를 만족시키기 위하여 경로를 어떻게 구성하는지에 대한 문제로 생각해 볼 수 있어 단순한 화물 배송뿐 아니라 다양한 운송 방법에 대해 접근할 수 있다(Savelsbergh and Sol, 1995; Aldaihani, 2002).

집하 및 배송 문제에서는 수요지를 연결하는

경로 중 최단경로를 찾는 외판원 문제(travelling salesperson problem)나 최단경로에서 차량의 운송량을 고려하여 다수 차량 경로로 분할하는 문제(vehicle routing problem)로 나누어 접근하게 된다. 일반적으로 외판원 문제는 단일 차량을 대상으로 최적 경로를 산출하는 데에 목적을 두고 있으며, 다중차량 경로는 최적 경로에 다수의 차량을 분할하여 수요를 충족시키는 방법으로 효율적인 차량의 할당을 목적으로 두고 있다.

Mosheiov(1998)는 외판원 문제나 다수 차량 경로로 분할하는 문제 등은 하나의 기법만을 이용하여 사용하는 것보다는 두 가지 방법을 혼용하여 사용하는 것이 더 좋은 방법이 된다고 주장하였다. 외판원 문제의 경우 단일 차량을 기준으로 최적의 경로를 선정하기 때문에 다수의 차량을 이용하는 현실과 차이를 보이고 있다. 다수 차량 경로로 분할하는 경우에는 최적 경로를 찾는 시간이 많이 소요된다. 따라서 두 방법을 동시에 활용하여 외판원 문제의 해법을 통해 최적 경로를 찾고, 수요와 차량의 용량을 고려하여 다수 차량으로 분할하는 것이 보다 좋은 해가 될 수 있다.

동적차량경로문제는 차량 경로의 환경요소가 시간 흐름에 따라 변화하는 것을 고려하여 확률적인 모형을 구축하고 경로문제의 해법을 찾는 방법이다(Bertsimas and Ryzin, 1991). 동적차량경로 문제를 이용하여 시간에 따라 다르게 발생하는 수요나 도로사정 등을 반영함으로써 보다 현실적인 모형을 구축할 수 있다. 그러나 이러한 동적차량경로 문제를 수립하기 위해서는 고려해야 하는 요소들의 수가 많고 복잡하다는 특성을 가진다(Psarafitis, 1988). 특히 제공하는 정보가 시간차원을 고려하여 적용되어야 하며 동일한 모형에서도 상황에 따라 서로 다른 목적함수와 제약조건이 나올 수 있

다는 점은 모형을 구축하기 어렵게 만드는 요소가 된다. 따라서 이러한 요소 중 일부만을 고려하여 연구에 활용함으로써 기존 연구가 지니고 있던 한계점을 보완하면서 모형을 개선시키는 것이 보다 효과적인 것이다.

III. ETD rule의 개념 및 분석 방법의 설계

3.1 ETD rule의 개념

일반적인 택배 서비스 시스템은 고객의 수요가 발생했을 때 가장 가까운 Depot에서 고객의 위치로 이동하여 화물을 수령하고, 개별 Depot에서의 적재 용량이 초과하거나 일괄적으로 출발하는 운송시간에 근접하는 경우 화물을 분배센터나 터미널로 운송하여 지역별로 분류한 후 운송하는 방식을 따르고 있다. 이러한 시스템을 활용하는 경우는 대량운송으로 인해 규모의 경제를 이룰 수는 있지만 고객이 원하는 배송 시간을 고려하지 않는 표준화된 서비스만을 제공하는 경우라 할 수 있다.

현재 대부분의 택배 서비스 기업들은 선입선출 규칙(First In First Out: FIFO)과 일괄적인 배송을 이용하여 화물을 운송하고 있다. 본 연구에서는 최근 납기 우선 규칙(Early Due Date: EDD)과 Cut-off Time을 배송 시스템에 적용한 기대 시간 배송 규칙(Expected Time Delivery: ETD)을 활용하고 있다. 기대 시간 배송 규칙은 <표 1>과 같은 단계에 따라 배송하는 것을 말한다.

단계 1에서 계산되는 우선순위 값은 0에 근접할수록 높은 우선순위를 가지게 된다. 우선순위 값이 0 미만일 때에는 고객의 원하는 시간에 배송할 수 없으나 고객의 요구시간에 근접하여 배송할 수 있도록 가장 근접한 Cut-off Time에 우선 배송하게 된다. 단계 2에서는 집하된 화물을 Depot나 분배센터 중 어떠한 장소로 이동시킬지를 결정하는 과정이다. 수식 (1)을 이용하여 다음 Cut-off Time까지 남은 시간과 우선순위 값과 비교하여 우선순위 값이 큰 경우에는 Depot로 이동하게 되고, 작은 경우에는 분배센터로 이동하게 된다. Depot로 이동한 화물은 (2)의 수식에 따라 분배센터로 이동한다. 마지막으로 단계 3에서는 Cut-off Time을 조정하여 비용이 적은 운송횟수를 찾아보게 된다.

<표 1> 기대시간 배송규칙의 단계

단계	내용
우선순위의 계산	$\text{우선순위}(PI) = \text{고객의 요구시간}(et) - (\text{집하소요시간}(put) + \text{분배센터 이동시간}(tst) + \text{목적지 이동시간}(odt))$ 집하소요시간 = Clarke-Wright 방법을 이용한 최단 경로 이용
집하된 화물의 이동	$\text{우선순위}(PI) \geq \text{운송시간}(put + tst + odt) + \text{Next Cut-off Time} - \text{누적 수요 발생 시간}(ctd) \quad (1)$ $\text{Next Cut-off Time} - (\text{Depot내 대기시간} + tst + odt) = 0 \text{을 충족, 분배센터로 이동} \quad (2)$
Cut-off Time의 고려	고객의 요구 시간을 고려하는 경우 증가하게 되는 운송비용을 감소시키기 위하여 Cut-off Time을 조정

Cut-off Time을 조정하는 것은 서비스 신뢰성과 서비스 범위를 고려하는 것이다(Leung and Cheung, 2000). 서비스 신뢰성은 정시도착이 가능한 시간 범위를 제공하며, 서비스 범위는 고객이 서비스를 활용할 수 있는 가용 시간의 범위를 제공해주게 된다. 이들 서비스 신뢰성과 서비스 범위는 서로 상충되는 관계를 가지고 있다. 즉, 서비스 범위를 높이면 서비스 신뢰성이 낮아지며, 서비스 신뢰성을 높이면 서비스 범위가 낮아지는 결과를 초래하게 된다. 따라서 서비스 신뢰성과 범위를 적절히 보완한 Cut-off Time의 설정이 중요하게 된다.

3.2 분석방법의 설계

모형에서는 기존의 방법과 ETD 규칙을 적용한 방법을 이용하여 정시 도착한 화물의 수와 운송비용을 계산하여 비교하게 된다. 본 연구에서 검증하고자 하는 택배 서비스 시스템의 효과를 수식으로 정리한다면 목적함수는 운송비용의 최소화를 통해 얻을 수 있다. i 는 수요의 발생을 구분하기 위해 사용한 첨자이고, j 는 Depot를 구분하기 위해 사용한 첨자이다. 또한 k 는 모형의 반복 횟수를 표시하기 위해 사용된 첨자이다. i 의 범위는 난수를 통해 얻기 때문에 반복 횟수마다의 범위가 바뀌게 되지만 j 는 모형에 사용되는 Depot의 수가 한정되어 있으므로 1에서 8까지의 범위를 가지게 된다. 또한 반복횟수는 120일로 한정하였기 때문에 k 도 1에서 120까지의 범위를 가지게 된다. 모형의 수식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Min } Z &= \sum_i \sum_j \sum_k (ldsc_{ijk} + tsd_{ijk} + odd_{ijk}) \times vtc \\ &\quad + (ldtc_j + ltcc_k) \times ftc \\ (i &= 1 \text{ to } I, j = 1 \text{ to } 8, k = 1 \text{ to } 120) \end{aligned}$$

- $ldsc_{ijk}$: Depot j 에서 수요 발생 i 에 대해 집하차량이 이동한 거리
- tsd_{ijk} : 수요 발생 i 에 대한 Depot j 에서 분배센터까지의 거리
- odd_{ijk} : Depot j 에서 발생한 수요 i 의 분배센터와 목적지의 거리
- vtc : 단위당 변동비용
- ftc : 고정비용
- $ldtc_j$: j 번째 Depot에서 차량의 최대 소요량
- $ltcc_k$: 분배센터에서 목적지까지 이동하는 차량의 최대 소요량
- k : k 번째 iteration

운송비용은 수요가 발생했을 때 수요를 충족시키기 위해 집하차량이 이동한 거리와 Depot에서 배송센터로 차량이 이동한 거리, 배송센터에서 목적지까지 이동한 거리로 얻을 수 있고, 각 Depot에서 필요한 차량에 소요되는 비용을 고정비로 보았다. Depot에서 필요한 차량은 최소비용을 계산하기 위하여 필요시 한 대씩 증차할 수 있다고 가정하였다. 최종 비용을 계산할 때에는 모형의 반복 시행 중 가장 많은 차량 소요를 이용하였다. 최대 값을 이용한 이유는 각 Depot에서 차량의 최대 소요량을 보유하고 있을 때 변화하는 수요를 원활히 충족시킬 수 있기 때문이다. 다음으로는 기본적인 환경 변수들인 수요의 발생과 차량의 용량, 기대 시간의 범위 등에 대해 값의 범위를 지정하였다.

- 수요 $a_s \leq td_i \leq a_e$
- 소화물무게(kg) $pw_i = \{ 10.9, 20.9, 31.2 \}$
- 트럭적재용량 $\sum_i pw_i \leq \beta_i$
- 기대시간 $v_s \leq et_i \leq v_e$

- td_i : i 번째 수요발생 시간
- pw_i : i 번째 발생한 수요의 운송화물무게

- eti : i 번째 수요가 발생했을 때 고객이 원하는 요구 시간
- a_s : 영업 시작 시간(오전 8시, 단위: 분)
- a_e : 영업 종료 시간(오후 6시, 단위: 분)
- β_i : i 번째 트럭의 적재용량
- v_s : 고객의 최단 요구시간(1일, 단위: 분)
- v_e : 고객의 최장 요구시간(2일, 단위: 분)

3.3 모형에 사용된 변수의 정의

본 연구에서는 수요발생에 따른 집하 방법과 운송차량의 수, 운송차량의 집하시간, 지선 및 간선의 이동시간에 대한 변수를 사용하여 모형을 구축한다. Depot의 수는 기존의 자료를 활용하였으며, 수요의 발생은 지수분포를 가지는 난수를 발생시켜 사용하였다. 그 밖에 원하는 목적지, 목적지까지의 거리, 원하는 배송시간, 운송화물 무게 등의 변수에 대해서는 일양분포를 가지는 난수를 발생시켜 사용하였다. 이를 정리하면 <표 2>와 같다.

수요발생 지역은 두개의 난수로 x 좌표와 y 좌표로 선정하였고 각 좌표의 단위는 1km로 지정하였

다. 고객의 요구 시간은 우선순위 규칙의 효과를 원활히 검증하기 위해 최장 2일의 기대시간을 부여하였다. 운송 대상지역은 크게 4개의 권역을 고려하여 대전, 광주, 대구, 부산 지역의 분배센터를 대상으로 설정하였다. 대전까지는 150km, 광주까지는 280km, 대구와 부산은 각각 330km, 420km의 거리를 갖는다고 설정하였다. 운송화물은 10.7kg, 20.9kg, 31.2kg 중 하나의 무게를 갖는다고 가정하였다. 화물을 집하하는 Depot의 수는 분배센터 당 8개의 Depot를 이용하여 화물을 집하하는 것으로 선정하였다.²⁾

3.4 모형을 구성하는 환경의 설정

발생한 수요에 대한 집하 Depot는 설정된 지역 범위 내에 가장 가까운 Depot에서 화물을 집하하도록 하였다. 또한 집하의 대부분이 도심지역에서 이루어지기 때문에 격자거리 산출법으로 거리를 계산하였다.

이후 설명되는 계산식은 모든 반복에 동일하게 적용되기 때문에 반복을 표현하는 k 를 제거하고

<표 2> 모형에 사용된 변수의 정의

변수	설명
수요의 발생(td)	· 지수분포의 시간간격을 가지는 난수로 생성, $\lambda=1/12$
수요발생지역(dsc)	· 일양분포를 가지고 있는 난수로 생성하여 좌표를 설정, $\{0, 1\}$
요구시간(et)	· 고객이 원하는 목적지까지 운송 요구시간으로 하루에서 최대 2일까지의 요구시간을 부여하여, 분단위로 생성
운송지역(cdp)	· 일양분포를 가지고 있는 난수로 생성하여 대전, 광주, 대구, 부산 지역을 설정, $\{0, 1\}$
운송화물무게(pw)	· 일양분포를 가지고 있는 난수로 생성하여 10.7kg, 20.9kg, 31.2kg 등의 세 가지 무게를 부여, $\{0, 1\}$

2) 사용된 자료는 상공회의소에서 발간한 "2003년 택배 서비스 산업의 현황과 전망조사"를 기준으로 설정하였고, 하나의 분배센터가 포괄하는 지역을 625km로 설정하였다.

표현하였다.

$$mdsc_i = \text{Min} \{ |dsc_i - depotc_j| \} \quad (3)$$

$mdsc_i$: 수요지와 각 Depot의 거리 중 최소값
 dsc_i : i 번째 수요의 발생 좌표
 $depotc_j$: j 번째 Depot의 좌표

수식 (3)의 활용으로 수요가 발생했을 때 가장 가까운 Depot에서 화물을 집하한다. 각 수요지의 좌표와 각 Depot의 좌표를 이용하여 거리의 차이를 구하고 이 중 가장 거리 차이가 적은 Depot에서 해당 화물을 집하하도록 설정하였다. 집하하는 과정에서는 수식 (4)를 이용하여 우선순위를 결정하게 된다.

$$PI_i = et_i - (put_i^* + tst_i^* + odt_i^{**}) \quad (4)$$

$$put_i = \left[\frac{\text{Min}(|dsc_i - dsc_{i+1}|), dst_{i+1}}{60/40} \right] \quad (5)$$

PI_i : i 번째 수요의 우선순위 값
 et_i : i 번째 수요가 발생했을 때 고객이 원하는 요구 시간
 put_i : i 번째 수요가 발생했을 때의 집하 소요시간
 tst_i : i 번째 수요의 운송시간(Depot~분배센터)
 odt_i : i 번째 수요의 운송시간(분배센터~최종목적지)
 dst_i : Depot에서 i 번째 수요지 사이의 거리
 * : 지선간 운송속도 : 40km/h
 ** : 간선간 운송속도 : 80km/h

수식 (4)를 활용하여 고객의 요구시간과 화물의 운송시간을 이용하여 우선순위를 결정한다. 운송시간은 화물을 집하하는 데에 소요되는 집하시간과 Depot에서 분배센터까지의 운송시간, 분배센터에서 최종 목적지까지의 운송시간으로 구성되어 있다. 수

식 (5)는 Depot에서 수요지로 이동하는 시간과 이전 수요지에서 다음 수요지로 이동하는 시간 중 보다 짧은 시간이 선택되도록 조정하는 식이다.

화물의 집하를 위해 이동하는 최단 거리와 미리 지정되어 있는 Depot와 분배센터, 분배센터와 목적지까지의 거리를 이용하여 시간을 계산하였다. 수요지와 Depot, Depot와 분배센터는 지선으로 분배센터에서 목적지까지는 간선으로 사용한다.

우선순위를 결정하고 난 이후, 화물차량의 이동은 수요발생 시간 간격과 Depot에서의 이동시간과의 관계를 통해 얻을 수 있다. 여기에서는 추가 차량의 필요여부도 같이 확인할 수 있다.

$$dtc_j = \left\{ \begin{array}{l} \text{If } \text{Min} (td_{i+1} - td_i, cut_i) \\ = cut_i \text{ then } 0, \\ \text{else if } \text{Max}(|dsc_i - dsc_{i+1}|) \\ \times 60/40, cut_{i+1} \} \\ = cut_{i+1} \text{ then } 0, \text{ otherwise } 1 \end{array} \right. \quad (6)$$

$$ndtc_j = \sum dtc_j - \# \text{ of } (ctd_j \geq ctt_j) \quad (7)$$

dtc_j : Depot j 에서의 차량 소요, {0, 1}
 $ndtc_j$: Depot j 에서 사용된 총 차량 수
 td_i : i 번째 수요발생 시간
 ctd_j : Depot j 에서의 누적 수요발생 시간
 ctt_j : l 번째 차량의 누적 사용시간

수식 (6)을 이용하여 차량의 소요를 결정하게 되며 차량이 Depot로 복귀할 것인지 다음 수요지로 이동할 것인지도 같이 결정한다. 수식 (6)은 다음 수요의 발생시간을 보고, 처음 수요지에서 Depot까지 이동하는 시간이 다음 수요가 발생하는 시간보다 크면 차량소요가 발생하지 않고 작으면 차량 소요가 발생한다는 것을 의미한다. 그리고 수요가 발생했을 때 Depot에서 새로운 차량이 출

발할 것인지 아니면 수요지에 나와 있는 차량이 다음 수요지로 이동할 것인지를 결정하는 방법을 보여주고 있다. 차량의 소요량을 최소화하고, 동시에 실시간 수요 정보를 이용한다고 가정하였기 때문에 포함된 수식이다.

수식 (7)은 배송이 끝나서 Depot으로 복귀한 차량을 활용하는 방법을 제시한 식으로 여유시간이 존재하는 차량을 배차하기 위해 사용된 방법이다. 개별 차량의 누적 사용시간이 누적 수요시간보다 작거나 같을 때 다음 발생하는 수요를 충족시키기 위하여 차량이 이동하는 것을 의미한다. 화물 적재량이 트럭의 운송적재량을 초과할 수 없다고 선정하였으며, Depot의 가용 적재량은 Depot에서 분배센터로 이동하는 차량의 적재량으로 가정하였다.

$$TC_k = (ldsc_i + tsd_i + odd_i) \times vtc + (ldtc_j + lttc) \times ftc \quad (8)$$

$$ncdp = \text{count}\{et_i - (dst_i + tst_i + odt_i) \geq 0\} \quad (9)$$

$$ldtc = \text{Max}\{ndtc_j\} \quad (10)$$

- TC_k : 운송비와 고정비의 합
- $ncdp$: 정시 배달된 화물의 수
- $ldsc_i$: i 번째 수요 발생에 대해 집하차량이 이동한 거리
- tsd_i : i 번째 수요의 거리(Depot~분배센터)
- odd_i : i 번째 수요의 거리(분배센터~최종목적지)
- vtc : 단위당 변동비용
- ftc : 고정비용
- $ldtc_j$: j 번째 Depot에서 차량의 최대 소요량
- $lttc$: 분배센터에서 목적지까지 이동하는 차량의 최대 소요량

수식 (8)은 운송비를 활용한 변동비와 차량 비용을 이용하여 얻은 고정비를 이용하여 총비용을 계산하는 수식이다. 지선에서 이동한 거리는 수식 (5)에서 얻은 자료를 이용하여 집하 차량이 이동한 최소 거리를 계산하였으며, 대기시간을 고려하여 분배센터로 이동한 거리 및 분배센터에서 목적지까지 이동한 거리를 이용하여 운송비를 계산하였다. 이 방법은 Clarke-Wright 방법을 이용하여 집하차량이 보다 짧은 거리를 이동하게끔 조정된 것이다. 수식 (9)는 정시 배달된 화물의 수를 나타내기 위하여 사용한 것으로 고객의 요구시간에서 운송시간을 뺀 값이 0보다 크거나 같으면 정시 배달을 한 것으로 계산하였다. 수식 (10)은 모든 시뮬레이션 시행 결과 각 Depot에서 사용된 최대 차량 수를 계산함으로써 수요의 변동에 상관없이 기업이 보유하고 있어야 하는 차량의 수를 비용계산에 산정될 수 있도록 하였다.

3.5 모형 실행 방법

시뮬레이션은 두 단계로 나누어 실행하였다. 대부분의 택배 서비스 회사에서는 GPS나 무선이동통신 장비를 이용하여 실시간으로 고객의 수요를 확인한 후 Depot에서 직접 수요지까지 이동하여 화물을 수거하거나 이미 수요가 발생되어 화물의 집하를 위해 출발한 차량이 이동하여 화물을 수거하게 된다. 이는 동적차량경로문제에서도 제시된 내용으로 이러한 실시간 집하를 적용시켜야 운송 차량의 수를 정확히 측정할 수 있다. 수요와 집하장소를 결정하는 부분과 이때의 데이터를 저장하여 집하하는 차량을 결정하고, 수거, 최종 목적지까지 배송하는 과정으로 나누었다. 설명된 수식을 통해 모형을 검증하기 위한 시뮬레이션 운영방법

〈표 3〉 모형에 대한 개략적 Pidgin Algol

```

begin
For i: = 1,2,...,I do
  Creat random number td, dsc_1, dsc_2, et, cdp, pw
  Let ldtci, dsti, tsti, odti, ndtci, mdsci = 0
  Compute mdsci = Min { |dsci - depotj| } then select Depot
  Compute dsti, tsti, odti for all tdi

  Compute PIi = eti - ( puti + tsti + odti )
  Compute puti = [ Min { ( |dsci - dsci+1| ), dsti+1 } ]×60/40
  If PIi ≥ ( puti + tsti + odti ) + ( next Cut-off Time - ctdj )
    then transport Depot, otherwise transport Distribution Center
  save data
end
begin
read data for tdi, dsti, PIi, dsci, ctdj, mdsci, ldsci, tsdi, oddi, tsti, odti
let vtc and ftc constant
If Min ( tdi+1 - tdi, cuti ) = cuti then 0 ,
  else if Max{(|dsci - dsci+1|)×60/40, cuti+1} = cuti+1 then 0 , otherwise 1
Compute ndtcj = Σdtcj - # of ( ctdj ≥ ctti )
Compute ldtc = Max { ndtcj }
Compute ldsci = Min ( |dsci - dsci+1| , mdsci+1 )

Compute TCk = (ldsci + tsdi + oddi)×vtc + (ldtci+lttc)×ftc
ncdp = count { eti - (dsti + tsti + odti) ≥ 0 }
end
    
```

을 정리하여 〈표 3〉과 같은 pidgin algol³⁾을 작성하였다.

IV. 모형 실행 결과의 분석

4.1 자료의 타당성 검증

본 연구는 택배 서비스 산업에서 화물을 운송하

는 기준을 조정하여 고객의 시간요구에 맞게 화물을 운송하는 방법을 제시하고자 시뮬레이션을 이용하였다. 몬테 카를로 시뮬레이션은 난수를 발생시켜 상황을 설정하기 때문에 사용된 각 난수들의 분포가 미리 지정된 방법에 의해 발생하였는지의 여부를 확인하여 자료의 타당성을 검증하게 된다 (Law and Kelton, 1991). 모형에 사용된 난수 생성과 동일한 방법으로 1,000개의 난수를 발생시켜 단일표본 K-S 분석(Kolmogorov-Smirnov Analysis)을 실시하였고, 독립성을 가지고 있는지

3) pidgin algol은 algorithm을 제시하는 연구에서 많이 사용하고 있다. 일종의 pseudo program language로 모든 algorithm을 프로그래밍 언어로 다 설명하는 것이 아니라 가장 근본이 되는 내용만 추려서 설명하는 것을 말한다.

를 검정하기 위해 런 검증(Runs above and below the mean Analysis)을 실시하였다. <표 4>는 발생시킨 난수가 적합성을 가지고 있는지를 검정한 결과이다. <표 4>를 살펴보면 모형을 검정하기 위해 발생시킨 모든 난수는 K-S's Z 값에 대한 유의도가 모두 유의수준 0.05를 기준으로 유의수준보다 크기 때문에 각 난수의 분포가 가정된 분포와 차이가 없다는 가설을 기각시킬 수 없다.

따라서 사용된 모든 난수는 연구목적에 적합한 분포를 이루고 있다고 결론내릴 수 있다. 생성된 난수의 독립성을 검정해본 결과 모든 생성된 난수는 Z값에 대한 유의도가 유의수준 0.05를 기준으로 모두 유의수준보다 크기 때문에 난수의 발생이 독립적이라는 가설을 기각할 수 없다. 따라서 모형에 사용된 난수들은 적합하다고 결론내릴 수 있다. 모형이 가지고 있는 현실에 대한 반영 정도는 1회 배송의 결과를 이용하여 분석하였다. 1회 배송의 결과가 인터뷰를 통해 수집한 현실에서의 배송 성공 횟수와 비슷한 결과를 보이고 있어 적합성이 높다고 평가할 수 있다.

4.2 시뮬레이션 결과의 분석

연구에서 검증해보고자 하는 결과는 택배 서비스 시스템에서 우선순위 규칙을 조정하였을 때 정시 도착횟수가 기존의 시스템에 비해 차이가 있는지의 여부와 이때 운송비용이 차이가 발생하는지를 알고자 하였다. 시뮬레이션 프로그램은 Visual Basic 언어와 EXCEL 을 이용하여 작성하였다. 총 120번의 반복을 통해 얻은 결과를 대상으로 SPSS 프로그램(ver. 11.5)을 이용하여 분석하였다.

모형을 검증하기 위해 고객이 원하는 시간에 배달된 화물의 수가 운송기준에 따라 차이가 있는지를 분석하였다. 집단은 1회 배송한 결과와 화물의 우선순위 값을 고려하여 필요한 경우에 배송하는 방법 중 2회 배송과 3회 배송, 필요한 시기마다 배송을 하는 잦은 배송으로 집단을 선정한 후 일원 분산 분석(one-way ANOVA)을 이용하여 집단간 정시배달 횟수의 차이를 검정하였다.

1회 배송은 현재 대부분의 택배 서비스 제공 기업에서 사용하고 있는 방법으로 일괄 배송을 함으로써 규모의 경제를 추구하는 배송 형태이고 잦은

<표 4> 단일표본 K-S 분석과 런 검증을 통한 적합도 검정

구분	수요	X좌표	Y좌표	시간	목적지	무게
K-S's Z	0.721	0.811	0.896	0.578	0.560	0.611
런 검증(Z)	0.316	0.127	-0.696	1.076	-1.266	-0.569

* : $p < 0.05$

<표 5> Cut-off Time의 설정

	1회 배송	2회 배송	3회 배송	잦은 배송
Cut-off Time	오후 7시	오후 12시 오후 7시	오전 10시 오후 3시 오후 7시	배송수요가 존재할 때마다

배송은 배송의 필요성이 발생할 때마다 배송을 하는 것을 말한다. 2회 배송과 3회 배송은 1회 배송의 단점과 잦은 배송의 단점을 보완하기 위하여 배송횟수를 조정하기 위하여 선정하였다. 이 중 2회 배송은 동일 차량의 왕복운행이 가능하도록 배송 출발 시간을 설정하였다. Cut-off time에 의해서 결정되는 배송횟수는 <표 5>에 정리되었다.

따라서 운송기준에 따라 화물의 정시도착은 서로 차이를 보이고 있다는 결론을 얻을 수 있었다. 어떠한 집단에 의해서 평균의 차이가 발생했는지를 검증해보기 위해 Tukey HSD 방법을 이용하여 사후검정을 실시하였다. 사후검정에 대한 분석결과를 살펴보면 2회 배송과 3회 배송이 동질적인 집

단으로, 나머지 배송은 서로 다른 집단으로 구분되었다. 일괄적인 배송 방법이 가장 낮은 정시도착 성공횟수를 보이며, 고객 요구 시간의 충족만을 고려한 잦은 배송방법이 가장 높은 성공횟수가 나타났다. <표 7>에 나타난 집단별 비용차이를 검정한 분석결과는 F분포의 값은 81538045로 유의수준을 0.05로 보았을 때 집단간 차이가 존재하지 않는다는 귀무가설을 기각할 수 있다. 따라서 운송기준에 따라 비용은 서로 차이를 보이고 있다는 결론을 얻었다. 사후검정에 대한 분석결과를 살펴보면 모든 집단이 서로 다른 집단으로 구분되었다. 따라서 운송기준에 의해 서로 다른 배송횟수를 대상으로 분석한 결과 서로 다른 비용을 가지고 있

<표 6> 모형 실행 결과의 분석(단위: 배송횟수)

ANOVA 분석결과 - F값 : 230.592*						
Test 방법	집단	자료의 수	집단 구분			
			1	2	3	4
Tukey HSD	1회 배송	120	652.87			
	2회 배송	120		841.40		
	3회 배송	120		870.73		
	잦은 배송	120			958.40	

* : p < 0.05

<표 7> 모형 실행 결과의 분석 (단위: 1,000원)

ANOVA 분석결과 - F값 : 81538045*						
Test 방법	집단	자료의 수	집단 구분			
			1	2	3	4
Tukey HSD	1회 배송	120		64540		
	2회 배송	120	62121			
	3회 배송	120			66842	
	잦은 배송	120				148119

* : p < 0.05

러나 운영시간을 고려했을 때 차량을 증가시키지 않고 배송을 실시할 수 있는 배송횟수는 2회이기 때문에 3회 이상 배송을 하는 경우에는 고정비와 변동비가 같이 증가하므로 비용이 1회 배송 때보다도 증가하게 된다.

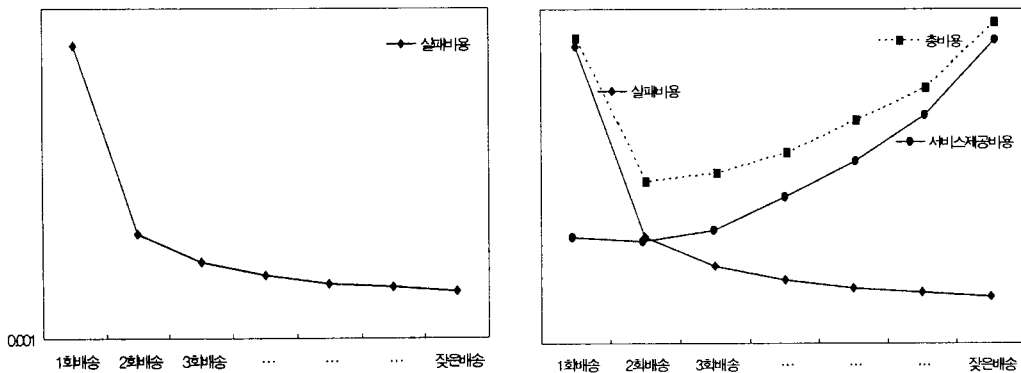
고객의 요구시간 내에 성공적으로 배송한 횟수는 서비스 실패 비용과 밀접한 관계를 가지고 있다. 배송착오에 대해 기업이 보상금을 지급한다면 배송실패가 많으면 많을수록 비용이 증가하기 때문에 성공적인 배송횟수의 역수가 배상 착오에 대한 서비스 보증 금액이 될 것이다. 서비스 보증은 고객에게 미리 적정 수준의 서비스 수준을 제시하고 만약 서비스 실패가 발생했을 경우 이에 대해 보상을 실시하는 것을 말한다. 따라서 고객이 중요하게 고려하는 대상과 내용에 대해 무조건적인 서비스 보증을 실시해야 한다(Hart, 1988). 따라서 서비스 실패 비용을 서비스 보증에 소요되는 금액만으로 제한한다면 배송 성공횟수의 역수를 서비스 실패 비용이라 볼 수 있고 서비스 실패 비용이 가지는 그래프의 형태를 추정할 수 있게 된다. <그림 2>의 첫 번째 그래프는 성공적으로 배송한 횟수를 고려한 서비스 실패 비용을 추정하여 도식화

한 것이다.

성공적인 배달 횟수와 연관된 서비스 실패 비용을 포함시킨다면 본 연구에서 고려하고 있는 운송에 관련된 총비용은 고정비와 변동비로 얻을 수 있는 서비스 제공 비용과 서비스 실패 비용으로 구성되며 이는 <그림 2>의 두 번째 그래프와 같은 형태를 가지게 된다고 추정할 수 있다.

<그림 2>의 두 번째 그래프는 서비스 제공비용과 실패 비용을 쉽게 이해하기 위해 추정된 비용의 형태를 도식화한 것으로 서비스 제공비용과 실패 비용의 절대적인 수치가 같아진다는 의미는 아니다. 비용의 절대적인 수치는 실패 비용으로 제시한 서비스 보증을 어느 정도의 수준으로 책정하는지에 따라 변화할 수 있는 것이다. 단지 각 비용이 위와 같은 형태를 가지는 그래프로 추정할 수 있고, 추정된 그래프를 활용하면 비용의 성격을 알 수 있기 때문에 총비용을 최소화하는 배송횟수를 구할 수 있다. 이러한 배송횟수는 고객의 요구를 어느 정도 만족시켜주면서 기업에게도 부담을 최소화할 수 있는 수준이 된다.

<그림 2> 서비스 실패 비용의 추정과 서비스 제공비용과의 관계



V. 결론

본 연구는 기대 시간 배송 규칙을 이용하여 원하는 시간 내에 화물을 배송할 수 있는 우선순위 규칙을 제시하였다. 실제 본 연구를 수행하기에 앞서 문제점으로 지적되었던 부분은 비용이 급격히 증가하기 때문에 이러한 방법의 유효성이 떨어질 것이라는 점이었다. 그러나 연구결과에서는 이러한 비용의 증가를 Cut-off Time을 조정함으로써 억제할 수 있었고 화물의 정시 도착횟수도 증가시킬 수 있음을 확인하였다. 또한 화물의 정시 도착횟수가 서비스 실패비용으로 인한 서비스 보충비용과 밀접한 관계가 있음을 보여줌으로써 서비스 제공 비용과 서비스 실패비용의 합을 최소화시킬 수 있는 운송횟수를 제시하였다.

본 연구의 시사점을 정리해보면 첫째, 화물을 집하하는 과정이나 수요가 발생한 시점에 고객이 원하는 배송시간을 파악하여 화물운송의 정보로 활용하는 것이 유용하다는 점이다. 고객이 원하는 요구시간을 확인하고 이를 충족시켜줌으로써 고객의 만족을 증가시킬 수 있고, 만약 고객이 만족시켜줄 수 없는 요구시간을 가지고 있더라도 화물을 집하하는 과정에서 피드백(feedback)함으로써 고객의 불만을 최소화시킬 수 있다.

둘째, 고객의 요구시간을 감안하여 선정한 우선순위 규칙을 활용하라는 점이다. 대부분의 택배 서비스 회사에서는 선입선출을 기준으로 화물을 운송한다. 이러한 방법은 기업의 운영을 보다 쉽게 해줄 수는 있지만 고객을 만족시키는 데는 아무런 효과도 제공해주지 못한다. 따라서 본 연구에서 제시한 기대 시간 배송 규칙을 사용함으로써 고객의 만족을 향상시키는 것이 바람직하다.

셋째, Cut-off Time을 조정하는 것이 필요하다는 것이다. 연구 결과에서 나타났듯이 Cut-off Time은 서비스 신뢰성이라는 정시 도착 가능성과 서비스 범위라는 고객이 활용할 수 있는 화물운송 가능 시간의 관계를 설명해주고 있는 것 뿐 아니라 이를 확장하여 비용의 개념에서도 접근함으로써 최적의 Cut-off Time 횟수와 낮은 비용, 높은 정시도착 횟수를 제공해 줄 수 있다. 따라서 본 연구에서 제시된 방법인 기대 시간 배송 법칙을 각 단계별로 사용함으로써 비용을 줄이면서 고객의 요구를 충족시킬 수 있다.

본 연구는 일괄배송만을 대상으로 기대시간배송 규칙을 사용한 경우와의 차이점을 비교해 보고 있다. 따라서 추후 연구에서는 고객의 요구가 반영되고 있는 최근의 시스템과의 비교가 필요할 것이다. 이 외에도 연구의 한계점으로 지적할 수 있는 부분이 있다. 모형에서는 서비스 수준의 증가만을 고려하여 모형의 적합성을 평가했는데, 다른 운영적 요소들에 대한 분석도 필요하다. 차량의 소요량이나 수요변화에 따른 영향 등과 같은 운영적 요소들이 모형이 미치는 영향을 추가적으로 분석해야 할 것이다. 또한 수요가 발생하여 화물을 집하하는 경우와 다른 지역에서 발생한 수요를 충족시키는 배송인 백홀(backhaul)을 고려하지 않고 모형을 구성한 것도 한계로 지적될 수 있다. 그러나 백홀을 고려하게 되면 모형이 고려해야 하는 범위가 너무 커지기 때문에 모형의 간결성을 해칠 수 있다. 따라서 백홀을 고려하는 경우에는 적용 대상을 현재의 모형보다 간결해야 효과적이게 된다. 또한 비용을 가정할 때 노동력의 이용율을 최대한으로 높이는 방법을 사용하였기 때문에 간선 운송자의 경우 이를 모형대로 적용하기에 어려움이 존재한다. 간선 운송자의 노동 이용율을 최대한으로 높인다면 저항

이 발생할 수도 있어 이를 고려한다면 비용은 조금 높아질 수 있다. 그리고 본 연구에서는 접근하지 못하였던 지리적 요소와 운전자 요소, 수요에 대한 요소를 조정하고, 교통체증이나 도로사정 등의 요소를 고려하여 본다면 보다 유용한 연구가 될 것이다.

참고문헌

- 대한상공회의소 2003년 6월 23일 보도자료, "2003 택배 서비스 산업 현황과 전망 조사," 1-5.
- Aldaihani, M. M. (2002), "Hybrid Scheduling Methods for the General Routing Problem." Faculty of the Graduate School University of Southern California Dissertation(Ph. D).
- Bertsimas, D. J. and G. van Ryzin (1991), "A Stochastic and Dynamic Vehicle Routing Problem in The Euclidean Plane," *Operations Research*, 39, 4, 601-614.
- Clarke, G. and J. W. Wright (1964), "Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points," *Operations Research*, 12, 4, 568-581.
- Golden, B. L. and A. A. Assad (1986), "Perspectives on Vehicle Routing Exciting New Developments," *Operations Research*, 34, 5, 803-810.
- Hart, C. (1988), "The Power of Unconditional Service Guarantees," *Harvard Business Review*, 66, 4, 54-62.
- Law, A. M. and W. D. Kelton (1991), *Simulation Modeling & Analysis*, Singapore, McGraw-Hill.
- Leung, L. C. and W. Cheung (2000), "An Integrated Decision Methodology for Designing and Operating an Air-Express Courier's Distribution Network," *Decision Sciences*, 31, 1, 105-127.
- Mosheiov, G. (1998), "Vehicle Routing with Pick-up and Delivery: Tour Partitioning Heuristics," *Computers and Industrial Engineering*, 34, 3, 669-684.
- Psaraftis, H. N. (1988), "Dynamic Vehicle Routing Problems," *Vehicle Routing: Methods and Studies*, ed Golden, B. L. and Assad, A. A., Studies in Management Science and Systems, 16, North Holland, Amsterdam, 223-248.
- Savelsbergh, M. W. P. and M. Sol (1995), "The General Pickup and Delivery Problem," *Transportation Science*, 29, 1, 17-29.
- Toth, P. and D. Vigo (1999), "A Heuristic Algorithm for the Symmetric and Asymmetric Vehicle Routing Problems with Backhauls," *European Journal of Operational Research*, 113, 3, 528-543.

Development of a Priority Rule(ETD rule) in Small Package Delivery Service Considering Customer Expected Time and Cost Requirements

Chang-Juck Suh* · Hea-June Jeon**

Abstract

This study addresses small package delivery service system taking advantage of an priority rule to improve efficiency and effectiveness. This rule considers customer expected time and cost requirement. Most delivery service companies in Korea have used demand occurrence order for pickup and routing rule, and have made some parcels received until Cut-off Time into a bundle for delivery. Consequently, customer expected time requirement has been relatively excluded because the process adopts bundle delivery which focuses on cost reduction.

To improve these problems, We propose ETD(Expected Time Delivery) rule. ETD rule is the method that incorporates Early Due Date and Cut-off Time into delivery system.

We test the ETD rule using Monte Carlo simulation to make artificial delivery systems. The results of this simulation provide desirable things. ETD rule increased the number of successful delivery parcels significantly. And the increase of cost would be controlled by adjusting Cut-off Time. The best Cut-off Time could be found through the relation of service failure cost and service operation cost. Because service operation cost and service failure cost have inverse relationship, Service failure cost could be estimated by the number of successful delivery parcels. Therefore, the number of delivery that total cost of service operation and failure are minimized is the optimal Cut-off Time.

* Professor, Department of Business Administration, Sogang University.

** Researcher, Institute for Business Research, Sogang University.

The findings of this research are as follows: first, customer expected delivery due date can be used as the information of parcel delivery. Second, service reliability, coverage, and cost can be considered through ETD rule enhancing customer satisfaction.

Key words: small package delivery service, pick up and routing, cut-off time, ETD(Expected Time Delivery) rule