經營情報論叢　第三十卷 第二號 2020年 12月

Newsvendor model을 활용한 예측배송(anticipatory shipping)의 모형화*

남 익 현**

《目　次》

Ⅰ. 서 론

본 논문에서는 아마존이 특허를 확보함으로써 언론의 화제가 되었던 예측배송(anticipatory shipping)에 대해 다루고자 한다. 아마존을 비롯한 수많은 e-commerce retailer들의 과제는 고객들에게 신속하게 주문받은 물건을 배송하는 것이다. 아마존은 on-line shopping의 선두주자로서 신속한 배달을 위해 다양한 기술을 구현해 왔다. 아마존은 prime member에게 많은 경우 48시간(two business days) 배달을 무료로 제공함으로써 수익의 급격한 증가를 이루었다. 구매한 물건을 즉시 사용할 수 있는 off-line 상점에 비교하여 고객의 주문시점으로부터 얼마나 빠른 시간 내에 고객에게 물건을 배달하는지가 전자상거래의 경쟁력에 매우 중요한 역할을 하는 것이다.

고객의 주문이 발생하기 이전에 고객의 수요를 예상하고 고객 근처에 물건을 배송하는 것을 '예측배송'이라고 한다. 이는 주문 이후의 물류과정을 최적화하여 배송시간을 최소화하는 것을 뛰어넘어, 고객의 주문이 실현되기도 전에 배송을 준비하는 것이다. on-line shopping의 입장에서는 주문 이전에 선제적으로 대응을 한다는 점에서 새로운 접근법이지만, 전통적인 off-line 유통의 관점에서 보면 유사성을 유추해 볼 수 있는 방안이라고 할 수 있다.

일반 소매상의 경우 고객에게 판매할 상품을 자신이 도매가로 구매하여 재고를 보유하는 것이 일반적인 현상이다. 이러한 재고보유는 고객의 수요를 '즉시' 충족시킬 수 있다는 장점을 위해 비용

* 본 연구는 서울대학교 경영정보연구소의 연구비 지원에 의해 이루어졌습니다.
** 서울대학교 경영대학 교수

과 위험을 감수하면서 투자한 것으로 볼 수 있다. 따라서 아마존의 예측배송은 이러한 off-line shopping의 '유통'을 on-line에 적용한 것으로 해석할 수 있다.

Ⅱ. 모형의 설정과 가정

on-line shopping에 있어 일반적으로 배송은 고객의 주문이 이루어지면서 시작된다. 따라서 이 경우 배송시간이 오래 걸린다는 문제점은 있지만 수요에 대한 불확실성은 사라지게 된다. 물론 반품이 발생할 수 있다는 측면에서는 어느 정도의 불확실성은 수용하여야 한다. on-line shopping에 있어 고객이 주문을 한 후 실제 물건을 받는데 걸리는 시간이 매우 중요하다. 이 시간이 단축되면 될수록 off-line shopping에 대한 상대적 단점을 극복하는 것이다.

따라서 이러한 배송시간의 단축이 e-retailer에게는 매우 중요한 과제가 된다. 이러한 목적을 위해 아마존이 보다 진취적으로 시도하는 것이 예측배송이라고 할 수 있다. 예측배송은 고객의 주문이 발생하기 이전에 고객 근처에 물건을 미리 배송해두는 것을 말한다. 고객들 밀도가 높은 지역창고에 선제적으로 물건을 배달하는 것을 의미한다. 예측배송이 성공을 하게 되는 경우는 예상대로 고객이 주문을 할 경우 보다 신속하게 배달을 해줄 수 있는 것이다. 이는 주문된 물건이 중앙 물류센터에서 출발하는 것이 아니라 고객 근처의 배송센터, 즉 지역창고에서 출발하게 되므로 배달시간의 단축이 가능해 지는 것이다. 이러한 배달시간의 단축은 속달요금 등의 추가수입을 얻을 수도 있고, 고객만족도 증가로 인해 수익의 확대를 도모할 수도 있다. 하지만 이를 위해서는 고객의 구매에 대한 물품, 시기, 수요량 등에 대한 예측정보의 정확성을 제고할 수 있는 경쟁력의 확보가 매우 중요하다.

그런데 예측배송을 실행하기 위해 선제적으로 배송을 실행하는 과정에 추가적인 물류비의 발생이 일어날 수 있다. 반대로 선제적 배송의 경우 집행시기의 유연성으로 인해 물류비 합리화를 통해 배송비를 감소시킬 수도 있다. 또한 다양한 확률적 현상에 의해 비용이 발생하는 문제가 있다. 예를 들어 예측과 어긋나서 고객의 수요 발생이 없을 경우 불필요한 재고의 발생이 생기며, 이를 처리할 때 salvage cost가 증가할 수 있다.

본 논문에서는 예측배송을 모형화하는 데 있어 다음과 같은 상황을 설정하고자 한다. 어떤 물건을 주문할 경우 배송기간에 따라 지불하는 비용이 달라지는 경우가 있다. 일례로 속달의 경우 추가비용을 지불하여야 한다. 우리 모형에서는 동일한 물건에 대해 속달과 일반배송 두 가지로 판매가 이루어진다. 속달을 위해서는 예측배송의 방식으로 고객 근처의 지역물류창고에 미리 배송을 해둔다고 한다. 일반배송의 경우 기존의 방식대로 중앙물류센터를 활용하여 재고를 보유하고 이를 활

용하여 고객의 수요에 대응한다.

우리는 의사결정변수로 속달을 위한 예측배송으로 재고 q_1을 확보하고, 일반배송용으로 q_2를 확보한다고 한다. 예측배송을 위한 속달의 경우 판매가가 r_1, 원가가 c_1이고 속달의 수요는 확률변수로 D_1로 표시하기로 하자. 여기서 일반배송의 경우, 수요는 D_2, 판매가와 원가는 (r_2, c_2)라고 하자. 수요의 확률밀도함수를 이변수함수 $f_{D_1, D_2}(x, y)$로 표시하자. 많은 경우 D_1와 D_2 사이에는 상관관계가 존재하는데, 우리는 보다 일반적인 형태로 이변수함수로 표현된다고 한 것이다.

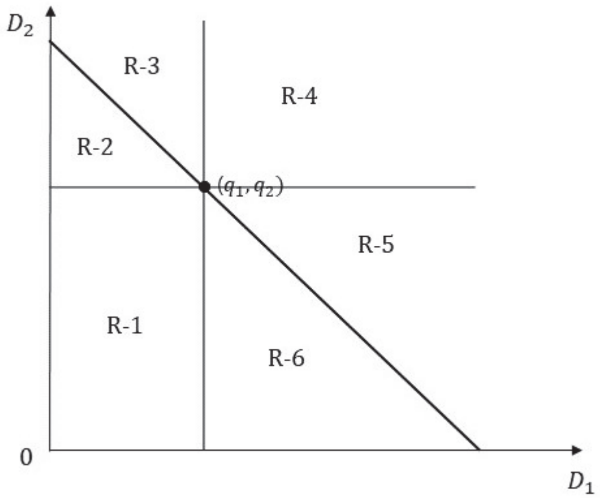
우리는 신속한 배송으로 인해 높은 가격을 행사할 수 있다고 보고 $r_2 > r_1$을 가정한다. 원가는 배송을 위한 물류비를 포함하는 것이며, 일률적으로 말할 수는 없다. 주문이 이루어지기 전에 배달시 트럭의 여유 용량을 미리 활용하는 경우 배달 원가를 감소시킬 수도 있고, 반대로 미리 배송을 하는 것이 추가비용을 발생시킬 수도 있다.

우리가 추가로 고려하고자 하는 것은 지역창고와 중앙물류센터에서 재고의 불균형이 발생했을 때의 대응방식에 관한 것이다. 만약 속달을 요구하는 고객이 있는데 지역창고에서 재고가 고갈된 경우 중앙물류센터에서 특송을 통해 대응을 할 수 있다. 가령 특송을 위해 항공편을 이용하는 것을 생각해 볼 수 있다. 반면에 지역창고의 재고가 남는데 이를 중앙물류센터에서의 수요를 충족시켜야 할 경우가 있다. 이때에도 지역창고에서 중앙물류센터로 특송으로 보내야 한다고 한다. 이러한 특송을 위한 비용은 기존의 비용에 추가하여 e만큼 발생한다고 가정하자. 이는 지역창고와 중앙물류센터 사이에서 재고의 pooling 을 할 수 있다는 것을 의미한다. 지역창고와 중앙물류센터가 상호 재고를 호환해 사용할 수 있다는 것이다. 즉 서로 상대방에서 필요할 때 재고를 이전시켜 추가 수익을 낼 수 있음을 의미한다. 이러한 재고 상호호환이 의미가 있기 위해서는 특송비용이 과다하면 안되므로 본 모형에서 $\min\{r_1 - c_1, r_2 - c_2\} > e$을 가정한다.

마지막으로 재고의 salvage value에 대해 살펴보자. 예측배송의 경우, 최종적으로 남는 재고에 대해 잔존가치는 s_1이라고 하자. 중앙물류센터에서 최종적으로 남는 재고의 잔존가치는 s_2로 표시하자. 여기서 '최종적'이라고 하는 이유는 각 창고에서 해당 수요를 초과하는 재고에서 다른 창고의 초과수요에 대응하기 위해 특송을 한 물량을 차감한 것이 최종 재고가 되는 것이다. 본 논문에서 분석을 하는데 반드시 필요한 것은 아니지만, 일반적으로 우리는 $s_1 < s_2$이라고 가정할 수 있다. 즉 지역창고에서 물건이 남는 경우 그 가치는 그 효용이 중앙창고의 경우에서 보다 작다고 할 수 있다. 왜냐하면 salvage를 위해 새로운 수요처로 이전을 하는 등 추가비용이 발생하기 때문이다.

Ⅲ. 이익함수

본 절에서는 재고수준을 (q_1,q_2)으로 결정하였을 경우 발생하는 이익함수를 구하고자 한다. 이익함수는 속달과 일반배송의 수요인 (D_1,D_2)에 의해 영향을 받는다. 수요 (D_1,D_2)는 확률변수이므로 (D_1,D_2)가 실현되는 영역에 따라 기업의 이익함수가 달라지게 된다. 우선 재고수준을 (q_1,q_2)으로 결정하였을 경우 (D_1,D_2)의 영역을 다음과 같이 6개의 영역으로 구분하여 이익함수를 구할 수 있다.



〈그림 1〉 수요영역의 분류

〔R-1〕

$$\pi = D_1 r_1 + D_2 r_2 + (q_1 - D_1)s_1 + (q_2 - D_2)s_2 - c_1 q_1 - c_2 q_2.$$

〔R-2〕

$$\pi = D_1 r_1 + q_2 r_2 + (D_2 - q_2)(r_2 - e) + (q_1 + q_2 - D_1 - D_2)s_1 - c_1 q_1 - c_2 q_2.$$

〔R-3〕

$$\pi = D_1 r_1 + q_2 r_2 + (q_1 - D_1)(r_2 - e) - c_1 q_1 - c_2 q_2.$$

〔R-4〕

$$\pi = (r_1 - c_1)q_1 + (r_2 - c_2)q_2.$$

〔R-5〕

$$\pi = q_1 r_1 + D_2 r_2 + (q_2 - D_2)(r_1 - e) - c_1 q_1 - c_2 q_2.$$

〔R-6〕

$$\pi = q_1 r_1 + D_2 r_2 + (D_1 - q_1)(r_1 - e) + (q_1 + q_2 - D_1 - D_2) s_2 - c_1 q_1 - c_2 q_2.$$

구체적인 예로서 〔R-2〕의 경우를 설명해 보자. 〔R-2〕에서는 $D_1 < q_1, D_2 > q_2$이므로 우선 속달의 경우, 즉 지역창고에는 D_1만큼이 판매되고 재고가 발생한다. 또한 일반배송의 경우, 즉 중앙창고에는 q_2가 판매량이 되고 재고부족이 발생한다. 따라서 수익은 $D_1 r_1 + q_2 r_2$이 된다. 그런데 지역창고에서 발생한 재고 $q_1 - D_1$를 활용하여 중앙창고에서의 초과수요에 대응을 할 수 있다. 중앙창고에서의 초과수요는 $D_2 - q_2$가 되는데, 우리는 이러한 초과수요량이 지역창고에서의 재고량 $q_1 - D_1$보다 작다는 것을 알 수 있다. 이는 〔R-2〕에서는 $D_1 + D_2 < q_1 + q_2$이므로, $D_2 - q_2 < q_1 - D_1$이 성립하기 때문이다. 따라서 특송비 e를 적용하여 지역창고에서 중앙창고로 초과수요분에 해당하는 $D_2 - q_2$를 배송한다. 그리고 나머지 재고량인 최종재고 $q_1 + q_2 - (D_1 + D_2)$은 지역창고에서 s_1으로 처분하게 된다. 특송에 의한 추가수익으로 $(D_2 - q_2)(r_2 - e)$만큼 중앙창고에서 발생하며, 잔존가치는 $(q_1 + q_2 - D_1 - D_2)s_1$이 되고, 구입원가는 $-c_1 q_1 - c_2 q_2$가 되는 것이다.

이들 영역별 이익함수에 대한 기댓값을 구해야 한다. 구체적인 한 예로서 이제 〔R-1〕에서의 이익함수 기댓값을 표현해 보면 다음과 같다.

$$\int_0^{q_1} \int_0^{q_2} [(r_1 - s_1)x + (r_2 - s_2)y + (s_1 - c_1)q_1 + (s_2 - c_2)q_2] f(x,y)\, dydx.$$

다른 영역에 대한 이익함수의 기댓값을 표현해 보면 다음과 같다. 식을 이해함에 있어 적분영역과 이중적분의 적분순서에 유념해야 한다. 아래 식에서 〔R-5〕와 〔R-6〕의 경우, 다른 영역에서와 달리 적분순서가 $dxdy$임에 유의해야 한다.

〔R-2〕

$$\int_0^{q_1} \int_{q_2}^{q_1 + q_2 - x} [(r_1 - s_1)x + (r_2 - e - s_1)y + (s_1 - c_1)q_1 + (s_1 + e - c_2)q_2] f(x,y)\, dydx.$$

〔R-3〕

$$\int_0^{q_1}\int_{q_1+q_2-x}^{\infty}[(r_1-r_2+e)x+(r_2-c_2)q_2+(r_2-e-c_1)q_1]f(x,y)dydx.$$

〔R-4〕

$$[(r_1-c_1)q_1+(r_2-c_2)q_2]\int_0^{\infty}\int_{q_2}^{\infty}f(x,y)dydx.$$

〔R-5〕

$$\int_0^{q_2}\int_{q_1+q_2-y}^{\infty}[(r_2-r_1+e)y+(r_1-c_1)q_1+(r_1-e-c_2)q_2]f(x,y)dxdy.$$

〔R-6〕

$$\int_0^{q_2}\int_{q_1}^{q_1+q_2-y}[(r_1-e-s_2)x+(r_2-s_2)y+(s_2+e-c_1)q_1+(s_2-c_2)q_2]f(x,y)dxdy.$$

이들 6개 영역에서의 기댓값을 모두 더하면 우리가 최대화해야 하는 이익함수의 기대값이 된다. 이 식으로부터 최적해 (q_1^*,q_2^*)를 구할 수 있다.

Ⅳ. 맺음말

본 논문에서는 동일한 물건에 대해 배송시간의 차별화를 통해 수익을 극대화하는 방안 중 하나로 예측배송을 다루었다. 예측배송은 기존에 재송시간을 단축하기 위한 다양한 노력에 비해 개념적으로 차이점이 분명하다고 할 수 있다. 고객의 주문이 발생하기 이전에 고객의 수요에 미리 대비하여 물량을 지역창고에 확보해 둔다는 점에서 특이하다고 할 수 있다.

이러한 예측배송을 활용할 때 당연히 발생하는 것이 고객의 수요에 대한 불확실성이다. 고객 수요에 대한 확률분포를 알 경우 우리는 기대이익을 최대화하기 위해 재고관리를 수행하여야 한다. 본 논문에서는 이러한 기대이익 함수를 이중적분식으로 표현해 볼 수 있음을 보여주었다.

향후 추가적인 조건을 도입하여 우리는 간결한 모형에 대해 보다 구체적인 결과를 도출하기 위한 연구가 필요할 것이다. 물론 예측배송 모형 자체도 중요하지만 예측배송 모형의 근본이 되는 고객 수요의 예측 자체에 대한 정교한 모델의 도출이 매우 중요할 것이다. 우리 모형에서 $f_{D_1,D_2}(x,y)$

로 표시한 수요함수의 확률밀도함수의 정확도를 개선하는 것이 본질적인 문제가 될 수 있다.

참 고 문 헌

1. Lee J. Krajewski, Manoi K. Malhotra, and Larry P. Ritzman, Operations Management, 11^{th} edition, Pearson Education Limited, 2016.
2. Hisashi Kurata, How does inventory pooling work when product availability influences customers' purchasing decisions?, Int. J. of Production Research, 2014, Vol. 52, No 22, pp 6739-6759.
3. 남익현, 뉴스 벤더 모형을 활용한 재고 통합의 모형화, 서울대학교 경영연구소 경영논집, 2019-12.