

Bullwhip 효과

남익현*

〈目 次〉

I. 들어가며	IV. 고정 조달기간
II. 재고모형	V. 의미
III. 채적효과와 동적 조달기간 예시	

I. 들어가며

본 논문에서는 공급사슬에서 무수히 언급되는 bullwhip effect 혹은 ripple effect에 대해 다루기로 한다. 이러한 효과는 실제 수요 변화가 공급사슬을 거슬러 올라가면서 증폭이 되는 것을 말한다. 이러한 채적효과는 전체 공급사슬의 비용을 증가시켜 효율을 잠식하는 문제를 발생시킨다. 이러한 채적효과에 대한 대응책으로 흔히 언급되는 것이 실제 수요에 대한 정보를 실시간으로 확보함으로써 주문의 증폭을 방지하는 방안이다. 하지만 이러한 대응방안은 어느 정도 문제점을 내포하고 있다. 공급업체의 입장에서 실시간으로 실제수요를 알 수 있다고 하더라도 자신들에게 들어오는 주문이 증폭되어 들어온다면 이를 실제 수요로 조정하도록 설득하는 것이 쉽지 않다. 만약 공급사슬의 모든 이해당사자가 하나의 주체일 경우 실시간 정보를 활용하면 전체 최적을 위한 의사결정이 이루어질 것이지만 현실적으로 공급사슬 상의 여러 당사자들이 각자 자신의 이익을 최대화하려는 경우가 일반적이다. 따라서 이러한 경우 실시간 수요정보를 얻는다는 것 자체가 해결책으로는 타당하지 못하다.

채적효과에 대한 연구는 많이 이루어졌는데, 그 중 몇 가지를 살펴보기로 하자. 우선 Lee et al.(1997)의 연구에서는 채적효과의 주된 원인으로 다음의 4가지를 들고 있다.

- 수요예측 조정(demand forecast updating): 공급사슬에서 주문을 하는 경우 조달기간을 고려하고, 안전재고를 포함하여 주문을 하게 되는데 조달기간이 길 경우 안전재고 수량도 증가하면서 공급사슬상의 수요변화가 증폭된다.

* 서울대학교 경영대학 교수

- 묶음주문(order batching): 주문당사자들은 주문을 자주할 경우 과도한 주문처리비용 및 소량조달로 인한 운송비용의 증가를 감수하게 될 수 있다. 이러한 연유로 주문을 모아서 대량으로 주문을 하게 됨에 따라 공급사슬상의 채찍효과가 나타날 수 있다.
- 가격변동(price fluctuation): 특별할인이나 판촉이 있는 경우 급격한 주문증가를 초래하고 정상가로 돌아간 직후에는 주문이 급감하는 현상이 발생하게 된다.
- 물량분배 및 재고부족 게임(rationing and shortage gaming): 수요가 공급을 초과할 경우 실제 공급량을 주문량에 따라 배분하는 경우가 있다. 이러한 배분 규칙을 예상하고 수요자는 자신의 실제 수요보다 많은 주문을 하여 수요가 왜곡되는 경우가 있다.

S. Paik & P. Bagchi(2006)에서는 기존의 연구에서 밝혀진 채찍효과와 9가지 가능한 원인을 선정하여 채찍효과에 미치는 영향에 대해 연구하고 있다. 이들 9가지 가능 원인에는 Lee et al. (1997)의 4가지에 더해 조달 지연(material delay), 정보 지연(information delay), 생산용량 한계(capacity limit), 설비고장(machine breakdown), 공급사슬 단계 숫자(level of echelons)를 추가하여 9가지 원인이 주문의 변동성에 미치는 영향을 밝히고 있다. 방법론으로는 시뮬레이션과 통계적 분석기법을 활용하고 있다.

R. Croson과 K. Donohue(2006)에서는 채찍효과를 행위론적 관점에서 다루고 있다. 채찍효과와 원인들로 알려진 것들을 제거한 상황에서도 채찍효과가 존재함을 실험을 통해 보인다. 이러한 현상의 원인으로 설명하는 것이 이미 주문을 하였으나 도착하지 않은 것들에 대해 과도하게 할인을 하여 생각하는 경향을 들고 있다.

본 논문에서는 수요예측 조정에 해당하는 내용을 보다 구체적으로 다루고자 한다.

II. 재고모형

이번 절에서는 재고모형에 대해 설명하기로 하자. 먼저 설명하려는 모형은 order-up-to model이다. 이는 재주문점에 재고수준이 도달할 경우 최적수준으로 재고가 도달하도록 주문량을 결정하는 것이다. 물론 이를 적용하기 위한 전제는 재고수준을 항상 파악할 수 있다는 것이지만 현재 POS 시스템, RFID 등에 의해 재고수준은 상당부분 실시간으로 파악된다고 볼 수 있다. 재주문점(reorder point)은 재주문시 조달기간 동안 재고를 확보하여야 하므로 일반적으로 다음의 식으로 구성된다.

$$RP = E(D)LT$$

여기서 RP는 reorder point를, E(D)는 단위시간당 평균 수요를, LT는 조달기간을, SS는 안전재고를 나타낸다.

일반적으로 조달기간이 일정한 경우 조달기간 동안 사용할 재고를 확보하여야 하므로 조달기간의 평균적 수요량과 이에 더해 수요량의 변동성을 고려하여 적정량의 안전재고를 추가 확보하고 있어야 한다. 이러한 내용이 위의 재주문점을 계산하는 공식에 나타난 것이다. 그런데 조달기간이라고 하는 것이 일정하다는 것은 일반적으로 타당하지 못하다. 이는 고객의 주문량이 증가할 경우 이를 모두 처리하는데 시간이 더 소요되므로 조달기간이 늘어나고, 반대의 경우 조달기간이 줄어든다는 것이다. 따라서 일차적으로 고려해 볼 수 있는 대응방안은 조달기간을 확률변수로 보고 모형에 반영하는 것이다. 하지만 재고모형에서 보다 정확하게 반영하기 위해서는 조달기간을 고객의 주문량에 의해 결정되는 변수로 반영하는 것이다. 실제 현장에서는 항상 일정한 조달기간을 고객에게 제공하는 것이 아니라 현재 주문상황과 생산현황을 검토하여 조달기간을 동적으로 제공하는 경우가 많다.

동적으로 조달기간을 제시하는 것은 주문자에게 보다 정확한 정보를 제공하여 주문자가 미리 대비할 수 있도록 하는 장점이 있을 것이다. 하지만 채찍효과와 함께 고려해 볼 때 증폭된 주문량에 의해 조달기간이 길어지고 이로 인해 추가적인 가수요가 발생하여 채찍효과를 더욱 증폭시킬 우려가 있는 것이다. 따라서 오히려 기존의 방식대로 조달기간을 고정하여 주문자에게 인용하는 것은 변동되는 조달기간으로 인해 증감의 폭이 확대되는 문제를 경감시킬 수 있다. 하지만 이 경우 충분한 생산설비를 확보하여 여유 생산능력을 보유하고 있거나 초과근무를 활용하거나 하는 등의 대책을 갖고 있어야 주문량에 상관없이 조달기간을 맞출 수 있을 것이다. 그리고 이러한 대응책을 시행하기 위해서는 상당한 비용이 발생할 것이다. 따라서 이들 총비용을 고려하여 최적의 대응방안을 찾아야 하는 것이다.

본 논문에서는 이와 같이 동적으로 조정된 조달기간을 제시하는 것에 대응하여 기존의 고정된 조달기간을 제시하는 것을 비교한다.

이러한 재주문점 모형과 대비되는 것으로 주기적 주문 모형(periodic review model)이 있다. 주기적 주문모형에서는 일정 주기마다 재고수준을 점검한 후 일정 수준 이하로 떨어진 경우 주문을 하고 그렇지 않으면 다음 주기까지 기다린다. 본 논문에서는 주기적 주문 모형을 사용하여 채찍효과를 보이고자 한다. 그리고 고객 주문량에 따라 조달기간이 영향을 받는다는 사실을 고려하여 주문에 반영을 한다. 매 주기 초에 고객의 수요를 보고 또한 조달기간에 대한 정보를 확보한 후 주

문량을 결정한다고 하자. 여기서 가정하기를 조달기간이 증가할 경우 이에 비례하여 주문량을 늘린다고 하자. 그 이유는 새로 파악된 수요가 조달기간 동안 유지될 것으로 보고 길어진 조달기간 동안의 수요를 추가주문으로 확보하여야 한다고 보는 것이다.

Ⅲ. 채찍효과와 동적 조달기간 예시

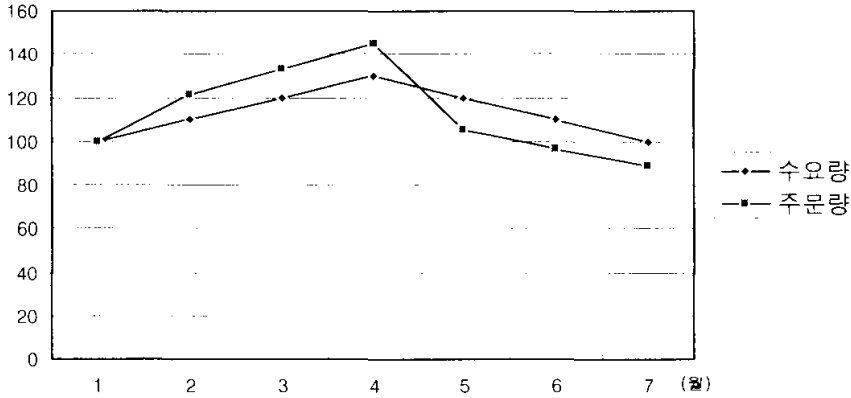
본 절에서는 채찍효과를 예제를 통해 보이고자 한다. 물론 채찍효과에 대한 다양한 원인들이 파악되고 있지만 우리는 하나의 예시로 채찍효과를 살펴보고자 한다. 본 예시에서는 7개월 동안의 수요량이 증가와 감소를 통해 하나의 주기를 형성한다. 예시를 위해 몇 가지 가정을 하기로 하자. 일반적인 재주문점 모형에서는 조달기간이 길어지면 재주문점을 높여 이전의 경우 보다 높은 재고 수준에서 재주문에 들어간다. 이는 이론적으로 길어진 조달기간만큼 미리 주문을 하는 것에 비유할 수 있다. 하지만 우리는 주기적 주문을 한다고 가정을 하여 이러한 조정은 어렵다고 보기로 하자. 우리의 예시에서는 매월 초 고객 수요와 조달기간을 파악한 후 주문량을 결정한다고 하자.

월	1	2	3	4	5	6	7
수요량	100	110	120	130	120	110	100

공급 업체의 생산용량은 월 100개이라고 가정하자. 수요량에 대한 확률적 불확실성은 없다고 보자. 주문량은 우리의 가정에 의해 조달기간이 길어짐에 따라 그에 비례하여 증가하게 된다. 따라서 월별 주문량을 계산해 보면 다음의 표와 같이 나온다.

월	1	2	3	4	5	6	7
주문량	100	121	133	145	105	97	89

계산의 예를 들어 보기로 하자. 2월의 경우 고객의 수요가 110이어서 공급업체로부터 $110/100 = 1.1$ 의 조달기간을 통지 받게 된다. 따라서 추가된 0.1의 조달기간을 보정하기 위해 주문량을 $110 \times 1.1 = 121$ 을 하게 된다. 그런데 2월 말에는 조달된 121개에서 실수요 110개를 제거하면 11개의 재고가 발생하게 된다. 3월의 경우 마찬가지로 원래 주문량은 $120 \times 1.2 = 144$ 이어야 하지만 2월에 재고로 11개가 확보되어 있으므로 $144 - 11 = 133$ 개의 주문을 하게 된다.



〈월별 수요량 및 주문량〉

위 그래프에서 볼 수 있듯이 실제 수요변동에 비해 증폭이 확대되면서 변동 전체주기도 짧아지는 것을 볼 수 있다.

가령 주문 시 실제 조달기간을 통지 받고 조달기간이 예상보다 클 경우 발생 가능한 재고부족을 고려하여 주문량을 늘리게 된다. 반대로 조달기간이 짧을 경우 주문량을 감소시킴으로써 대응하게 된다.

다음에 보다 일반적인 경우를 살펴보기로 하자. 우리가 다루려는 것은 수요가 a, b만큼 추가적으로 증가하는 경우이다. 1월의 수요 d는 생산용량에 해당하는 표준수량이라고 가정하자.

월	1	2	3
수요량	d	d+a	d+a+b

앞에서와 마찬가지로 주문량을 구하면 다음의 표와 같다.

월	1	2	3
주문량	d	$(d+a)^2/d$	$(d^2+2ab+b^2+2bd+ad)/d$

이들 자료로부터 수요증가율과 주문량증가율을 구해보면 다음과 같다.

수요증가율	$(d+a)/d$	$(d+a+b)/(d+a)$
주문증가율	$[(d+a)/d]^2$	$[(d+a+b)/(d+a)]^2 - a/(d+a)$

1월에서 2월로 이전할 경우 수요 증가에 따라 수요증가율보다 주문증가율이 큰 것은 자명하다. 즉 1월에서 2월로 갈 경우 채찍효과가 발생한다. 2월에서 3월로 갈 경우 수요증가율과 주문증가율을 비교하여 보자. 이때에는 주문증가율이 수요증가율보다 당연히 큰 것이 아니고 조건부로 성립하게 된다. 즉

$$b(d+a+b) > a(d+a)$$

가 성립할 경우 수요증가율보다 주문증가율이 더 커져 채찍효과가 나타나게 된다. 이를 해석해 보면 좌측은 2-3월에 증가된 조달기간과 이로 인한 추가 소요량으로 해석할 수 있으며 우측은 1-2월에 해당하는 추가 소요량이다.

IV. 고정 조달기간

앞서 다룬 내용은 수요증가에 따라 조달기간도 동적으로 변경되면서 이로 인해 채찍효과가 발생하는 상황을 설명하였다. 조달기간에 대한 동적인 조정 및 고지는 주문자에게 도움을 주는 것으로 알려져 있지만 반면 채찍효과를 증폭시키는 문제도 발생한다. 따라서 본 절에서는 하나의 대안으로써, 공급업체에서 조달기간을 일정하게 제시하는 방안을 살펴보기로 하자.

위의 예시에서 공급업체에서 고객의 수요 혹은 주문량과 상관없이 일정한 조달기간을 제시하게 되면 수요증가와 주문증가가 일치하게 되어 채찍효과가 없어지게 된다. 하지만 공급업체의 입장에서 조달기간을 일정하게 유지하는 데에는 추가적인 조치가 필요하며 그로 인한 추가 비용이 소요된다. 먼저 생각해 볼 수 있는 것이 생산용량을 넉넉하게 확보하는 것이다. 상당한 주문량이 들어와도 약속된 조달기간에 제공할 수 있도록 생산용량을 충분히 확보하는 것이다. 다른 대안으로는 작업자의 초과근무시간을 활용하는 것을 생각해 볼 수 있으며 주문량이 적을 때 미리 생산하여 재고를 보유함으로써 미래의 주문량 증가에 대응하는 방안도 있다. 극단적으로는 조달기간을 지키지 않고 그에 따른 벌금을 지불하는 방안도 있다. 하지만 이러한 모든 방안들에는 추가적인 비용이 발생하는 것이다. 하지만 앞서 언급하였던 채찍효과에 따른 비용도 클 것이므로 조달기간을 동적으로 제시하는 것이 항상 최적의 방안은 아닐 것이다.

많은 이들이 주장하듯 조달기간을 동적으로 제시하는 것이 반드시 최적이라는 보장은 없으며 동적인 조달기간이 오히려 채찍효과를 일으키는 원인이 됨을 보았다. 하지만 조달기간을 일정하게 유지하는 것 또한 추가비용이 소요되므로 두 가지 대안을 비용측면에서 비교할 필요가 있는 것이다.

V. 의 미

우리가 다룬 채찍효과는 일상적으로 수없이 발생하는 것을 볼 수 있다. 최근 발생하였던 원유를 포함한 원자재 가격의 폭등과 폭락, 주식 시장에서의 가변성 등도 미래 경제상황의 불확실성에 따라 발생하는 것도 있지만 채찍효과에 의한 부분도 상당할 것이다. 가령 원자재 가격이 상승하리라는 예상하에서는 필요 이상으로 초과주문을 냄으로써 오히려 조달기간 연장, 가격상승 등의 부작용이 증폭되어 나타나게 된다. 반대로 수요감소가 예상될 경우 보다 급격하게 주문의 감소가 일어난다. 이러한 경우 거시적 관점에서의 채찍효과가 발생한 것으로 볼 수 있다. 이 경우 정부가 채찍효과를 감소시키기 위한 안정대책을 세워야 하는데 우리가 언급한 내용이 하나의 방향설정에 도움을 줄 것이다.

참 고 문 헌

1. Rachel Croson and Karen Donohue, Behavioral Causes of the Bullwhip Effect and the Observed Value of Inventory Information, Management Science, Vol. 52, No. 3, March 2006, pp. 323-336.
2. Hau L. Lee, V. Padmanabhan and Seungjin Whang, MIT Sloan Management Review, Spring 1997, Vol. 38, No. 3, pp. 93-102, The Bullwhip Effect in Supply Chains
3. Seung-Kuk Paik and Prabir K. Bagchi, Supply Chain Forum, Vol. 7, No. 1, pp. 94-104, 2006