

공급사슬 중단에 대비한 공급업체의 수와 주문량 및 보완주문 최적화 방안에 관한 연구

김정연¹ · 서용원^{2*}

¹중앙대학교 대학원 경영학과, ²중앙대학교 경영경제대학 경영학부

Joint Optimization of the Number of Suppliers and the
Order Quantities Considering Compensation Orders under
Supply Chain Disruptions

Zhen-yan Jin¹ · Yong Won Seo²

¹Department of Business Administration, The Graduate School of Chung-Ang University

²Department of Business Administration, Chung-Ang University

■ Abstract ■

In this study, we develop an optimal sourcing strategy considering compensation orders to mitigate the supply chain disruption risks. We considered two-echelon supply chain consisting of a single buyer and multiple suppliers who have fixed transaction cost and probabilistic disruption risks. Under this setting, we provide the joint optimization method to determine the number of suppliers and the order quantities. Through numerical examples, we provide managerial implications on the sourcing strategy by investigating changes in the order quantities and the number of suppliers due to the degree of supply chain disruption risks.

Keywords : Supply Chain Disruption, Sourcing Strategy, Compensation Orders

1. 서 론

최근 자연 재해, 정치·사회적 불안요인 등으로 공급업체 중단(disruption)의 발생이 빈번해지고 있으며, 이에 따라 기업과 연관되어 있는 공급업체 중단이 기업 성과에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 관심이 고조되고 있다.

공급업체 중단이 기업에 중대한 영향을 미치는 경우는 주변에서 쉽게 찾아볼 수 있다. 2000년 New Mexico주에 소재한 Philips 공장에 발생한 화재로 Philips 공장과 연관된 Nokia와 Ericsson은 화재 사건에 대해 서로 다른 대응을 하였으며, 이러한 상반된 대응으로 인하여 차후 휴대폰 시장에서의 승패가 결정된 사례가 있다[21]. 2008년 인도네시아에서는 반둥군의 집중 폭우로 인하여 섬유 및 의류산업에 심각한 피해를 입었으며, 특히 GDP의 약 2~3%, 수출량의 7%를 차지하는 섬유산업이 큰 피해를 입게 됨에 따라 인도네시아 경제 전반에 큰 타격은 받았으며, 인도네시아산 섬유를 수입하는 여러 국가에서도 수입 물량의 차질을 겪게 되었다. 2011년에는 일본 후쿠시마에서 발생한 대지진으로 인하여 아이패드 시장출시가 연기된 바 있으며[5], 원자력 발전소의 지진 피해로 인한 방사능 유출에 따라 일본산 식재료의 공급이 중단되고 이에 따른 대체제품의 가격 상승을 초래하기도 하였다[8]. 뿐만 아니라 일본 가나가와현에 제조공장을 둔 영국 핸드메이드 코스메틱 브랜드인 러쉬가 화장품 공급에 차질을 빚기도 하였다. 한편 2012년에는 방글라데시의 수도 다카 인근에 위치한 라나 플라자에 화재가 발생하여 의류공장이 붕괴하는 사고가 일어났으며, 이로 인하여 해당 의류공장에 전체 물량의 60% 이상을 의존하고 있던 H&M은 큰 비용의 손해를 보았다.

위 사례와 같이 공급업체 중단은 다양한 산업에 영향을 미치고 있으며 공급업체 중단 영향의 심각성은 더욱 부각되고 있는 실정이지만[2], 많은 기업들은 시장에서 경쟁우위를 달성하기 위해 아웃소싱(outsourcing) 확대, 공급자 집중화[4], JIT, Lean 공급사슬 등을 통해 비용 감소를 도모하고 효율성을

추구하고 있다. 이로 인해 공급사슬 파트너들 간의 상호 의존성이 더욱 증대됨에 따라 화재, 홍수, 지진 등 공급사슬에서 발생한 사고 및 위협의 파급 속도와 범위가 광범위해지고 있다[6]. 이러한 공급사슬 위협이 핵심 공급업체에 발생하였을 경우, 공급업체와 거래 관계에 있는 도·소매상은 대규모의 손실을 볼 수 밖에 없다. 하나의 예로서, 단일조달 정책을 운영하고 있던 크라이슬러(Chrysler)에서는 2008년에 핵심공급업체인 Plastech Engineered Products의 납품 중단으로 인한 큰 손해를 입은 사례가 있다[3].

이러한 공급사슬 중단 위협에 대응하기 위한 전략은 여러 연구에서 다루어진 바 있다. 예로서 Tomlin[31]의 연구에서는 공급사슬의 위협에 대비하기 위하여 재고통제전략, 조달전략 및 수용전략을 제시한 바 있다. 여기서 재고통제전략은 주문량과 재고량을 결정하는 것이고, 조달전략은 대체품을 활용하거나 이원조달전략(dual sourcing)을 활용하는 것이며, 수용전략은 공급사슬 중단으로 발생하는 비용이 위협에 대응하는 비용보다 더 클 경우 어떠한 조치도 취하지 않는 것이다. Tomlin[31]의 연구에서는 다양한 공급사슬 중단 상황 아래, 최적 전략의 선택 또는 전략의 혼합을 통하여 공급사슬 중단 위협에 대응하는 방안을 제시하였다. 이러한 대응 전략 외에도 Li and Fung의 경우에서처럼 한 공급업체 용량 중 30%에서 70%만 활용하는 30/70 규칙에 따라 다수의 공급업체의 용량으로 위협을 분산시키는 전략을 통해 위협에 대응할 수도 있다[17]. 한편으로, 알리바바(alibaba)와 같은 온라인 B2B 업체를 통해 버추얼 소싱(virtual sourcing)이나 크라우드 소싱(crowd sourcing)과 같이 무수히 많은 공급업체들로부터의 조달을 가능하게 하는 비즈니스 모델을 활용함으로써 핵심 공급업체의 중단 발생에 효과적으로 대비할 수도 있다. 그러나 이러한 경우에는 공급업체에 대한 사전정보가 없거나 검증이 되지 않거나, 제공되는 제품들의 품질에 문제가 발생할 수 있다는 단점이 있다.

본 연구에서는 공급사슬 중단 위협으로 발생하는 비용을 최소화 하는 조달정책을 제안하는 것을 목적

으로 하고 있다. 이에 대해 다중 조달정책 아래 공급업체 중단에 대비한 최적 공급업체 수와 공급업체에 대한 주문량을 결정하고, 공급업체 중단으로 공급량이 수요보다 작은 경우를 대비하여 부족한 양만큼 추가 주문할 수 있는 보완주문정책(compensation order)을 고려한 최적 방안에 대한 수리모형을 수립 및 제시하였다. 본 연구의 수리모형은 이항분포에 기반한 확률적 최적화 모형(stochastic optimization model)이나 수익의 복잡성으로 인해 최적 공급업체의 수와 최적 주문량의 근사 값의 도출을 위해 이항분포를 잘린 균등분포(truncated uniform distribution)로 근사하는 방안을 제시하였다.

2. 이론적 배경

공급사슬 위험을 야기하는 요인 중에서 아웃소싱 활용, 핵심 공급업체 생산능력 제한, 빈번한 자연재해 발생 등은 조달정책을 결정하기 위한 중요한 요인이다. 공급사슬 위험 요인을 고려한 조달정책을 단일, 이원, 다중 조달로 구분하여 살펴보면 다음과 같다.

단일 조달정책은 단일 공급업체를 대상으로 공급업체의 신뢰성(reliability) 수준을 고려하여 공급사슬 위험에 대응하기 위한 주문정책 도출을 목적으로 한다. Henig and Gerchak[16]은 임의 수율(yield)을 갖는 단일한 공급업체에 대한 정기발주 생산/재고 모형(periodic review production/inventory model)을 개발하였으며, Moinzadeh and Aggarwal[20]은 일정한 생산 및 수요율을 가지고 임의 중단이 발생하는 공급업체에 대한 (s, S)재고 정책을 수립하였다. Palar[24]는 공급업체의 기계 고장 등 공급사슬 중단 사건을 고려하여 세미 마코프 프로세스(semi-markov process)로 모형을 수립하였으며, 수요와 리드타임을 확률적으로 가정한 연속적 재고관리 시스템(continuous review system)을 활용하여 주문정책을 결정하였다. Xia et al.[32]은 경제적 주문량 모형(EQ)을 바탕으로 설치기간의 변동성을 고려하여 주문량을 결정하였다.

이원 조달정책은 두 개의 공급업체를 고려하여 공

급사슬 위험에 대응하기 위한 주문정책 도출을 목적으로 한다. Anupindi and Akella[9]은 두 개의 비신뢰적인 공급업체가 존재하는 공급사슬에 대해 수요와 각 공급업체로부터의 리드타임이 확률적인 경우를 가정하여 주문량을 결정하였다. Palar and Perry[23]와 Guler and Palar[15]의 연구에서는 공급업체의 중단 및 복구기간과 일정한 수요를 고려하였다. 먼저 Palar and Perry[23]는 두 공급업체의 실패 간격 및 복구 시간이 지수함수를 따를 때 두 공급업체의 최적 주문정책에 대해 연구하였으며, Guler and Palar[15]는 해당기간이 일랑 분포(erglang distribution)를 따를 때 두 공급업체의 최적 주문정책에 대해 연구하였다. 반면 Tomlin and Wang[30]의 연구에서는 단일 기간에 수율이 불확실한 두 공급업체를 고려하였으며, 하나의 공급업체는 신뢰적(reliable)이고 다른 하나의 공급업체는 비신뢰적이라는 가정 아래 각 공급업체에 대한 주문정책을 수립하였다. 한편 Tomlin[31]의 연구에서는 두 공급업체에 대한 용량 제약 조건을 고려하였으며, Chopra et al.[12]은 뉴스벤더 모형을 기반으로 비신뢰적인 공급업체의 위험을 공급량 불확실성(recurrent risk)과 공급 중단 사건(disruption risk)으로 구분하고 신뢰적인 공급업체와 비신뢰적인 공급업체에 대한 최적 주문량을 결정하였다. Xanthopoulos et al.[32]은 뉴스벤더 모형을 적용하여 재고정책과 중단위험 사이의 상충관계를 밝혔으며, 특히 위의 선행연구들과는 달리 두 공급업체 모두 비신뢰적이라는 가정 아래 각 공급업체에 대한 주문정책을 수립하였다. Qi et al.[25]의 경우에는 두 공급업체의 도매가격과 신뢰도(reliability)가 서로 다르다는 가정 아래, 게임이론을 적용하여 도매가격과 신뢰도에 따른 조달전략을 제시하였다.

앞에서 언급한 바와 같이, 최근 기업에서는 아웃소싱 활용이나 핵심 공급업체 생산능력 제한, 자연재해 등과같이 공급사슬 위험으로 인해 발생하는 비용을 최소화하기 위해 예비(back-up)공급업체와 거래하는 등의 다중 조달전략을 활용하고 있다. 또한 공급사슬 위험에 따라 발생하는 비용을 최소화하는 예비공급업체 수를 결정하는 것이 중요한 이슈로 떠오르고

있어, 주어진 주문량 하에서 최적 공급업체의 수를 결정하는 연구와 최적 공급업체 수 및 주문량을 동시에 결정하는 연구로 구분하여 살펴볼 필요가 있다.

먼저, 주어진 주문량 하에서의 최적 공급업체 수 결정에 대한 선행연구로서, Berger et al.[10]은 공급사슬 위험이 존재하는 상황에서의 공급업체 수를 결정하는 방법에 대한 연구를 하였다. Ruiz-Torres and Mahmoodi[27, 28]은 각각의 단일 공급업체의 중단 확률이 서로 다르다는 가정 아래, 각 공급업체의 중단 발생 확률이 낮을 경우 단일 공급업체를 가지고 있는 것이 최적이지만, 각 공급업체의 중단 발생 확률이 높아질수록 여러 공급업체에 주문하는 것이 최적이라고 제시하였다. Sarkar and Mohapatra[29]는 Berger et al.[10]의 연구를 확장하여 “Semi-Super-event”를 고려한 최적 공급업체 수를 결정하였으며, 공급업체 선정에 지역적인 요소를 고려할 때 단일 지역에서 공급업체를 선정하는 것보다 서로 다른 지역에서 공급업체를 선정하는 것이 더욱 효과적인 전략이라고 제안하였다. Yang and Qian[34]의 연구에서는 공급사슬 중단에 따라 공급받지 못한 물품에 대하여, 중단되지 않은 공급업체의 용량(capacity)을 활용하여 보충하는 보완주문정책을 고려하였으며, 이때 각 공급업체의 용량을 모두 동일하다고 가정하여 최적 공급업체의 수를 결정하였다. Meena et al.[18]은 Yang and Qian[34]의 연구를 확장하여 각 공급업체의 중단 발생 확률과 용량이 서로 다르고, 확정적인 수요를 각 공급업체에게 균등하게 나누어 주문한다는 가정 아래 최적 공급업체 수를 결정하였다.

다음으로 최적 공급업체 수 및 주문량 동시 결정에 대한 선행연구로서, Dada et al.[13]은 공급업체의 수율 불확실성을 고려한 다중조달 정책을 연구하였다. Federgruen and Yang[14]은 Dada et al.[13]의 연구와는 달리 공급업체에 대한 고정비용과 서비스 수준을 고려한 상태에서 공급업체의 수율 불확실성을 고려한 다중 조달정책을 연구하였으며, Federgruen and Yang[14]은 공급업체의 변동비와 서비스수준 및 재고고갈비용을 고려한 주문정책을 제시하였다. Merzifonluoglu and Feng[19]은 공급업체의 변동

비, 고정비용 및 용량을 가정한 상태에서 공급업체 수율의 불확실성을 고려한 다중 조달정책을 연구하였으며, 김정연, 서용원[2]의 연구에서는 확률적 수요 및 공급사슬 중단확률을 고려하여 최적 주문량 및 공급업체의 수를 결정하였다. Ray and Jenamani[26]의 경우에는 공급업체의 공급비용 및 중단발생 확률이 서로 다르고, 고정비용 및 용량제약을 고려하지 않은 상태에서의 다중 조달정책을 연구하였다.

위와 같이 뉴스벤더 모형을 기반으로 최적 공급업체 수를 결정하는 선행연구[27, 28, 34]와 최적 주문량과 공급업체 수를 별도로 결정하는 선행연구[18, 34]가 활발하게 진행되어 오고 있음을 확인하였다. 그러나 주문량 및 공급업체 수를 동시에 결정하는 선행연구[2, 13, 14, 26]는 상대적으로 적으며, 이러한 연구에서는 대부분 확률적 수율(yield uncertainty)을 고려하고 있다. 하지만 이러한 선행연구들은 2011년 일본 대지진이나 태국 홍수 등 공급업체의 공급불능 상황을 설명하기에 부족함이 있으며, 2010년 이후 자연재해의 발생률이 지속적으로 증가함에 따라 관련 업체들의 피해도 증가하고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 공급업체의 공급불능이라는 중단 상황에 중점을 두고, 이러한 중단 위험을 고려했을 때의 최적 주문량 및 공급업체 수를 동시에 결정하는 정책을 제시하고자 한다. 또한 최적 주문량 및 공급업체 수 결정 시 Yang and Qian[34]의 연구에서 제시한 보완주문정책을 고려함으로써 선행연구와의 차별성을 확보하였다.

3. 모형수립

3.1 가정사항

본 연구에서는 하나의 구매업체가 다수의 잠재적인 공급업체 군과 거래하는 2계층 공급사슬구조를 고려한다. 기존 선행연구에서 설정한 가정사항과 유사하게 단일 제품에 대하여 모든 공급업체가 제공하는 제품의 품질 및 공급가격은 동일하다고 가정하며, 각 공급업체의 용량은 유한하며 각 공급업체에 대하

여 일정한 거래비용이 발생한다고 가정한다. 또한 각 공급업체의 중단 발생확률은 동일하고, 제품에 대한 수요는 구매업체에서 일정기간 동안 확정적으로 발생한다고 가정한다. 기간이 경과한 후의 수요는 소멸되고 이월주문은 허용하지 않으며, 이 때 남은 제품은 폐기 처분되고 잔존가격은 고려하지 않는다. 수요기간을 대비한 제품 생산은 수요기간 시작 전에 완료되어야 하며, 구매업체는 수요에 대비한 총 주문량을 각 공급업체에 균등하게 나누어 주문하며, 부분주문은 허용하지 않는 것으로 가정한다.

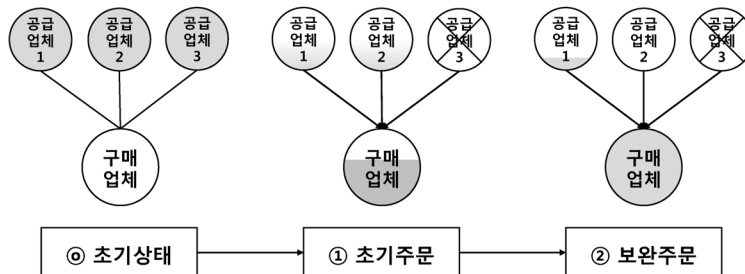
단, 각 공급업체의 중단발생 확률은 모두 동일하나 중단되지 않은 공급업체 수는 이항분포를 따르며, 구매업체는 중단으로 인해 공급받지 못한 주문량을 중단되지 않은 공급업체의 잔여용량 내에서 보완주문할 수 있다고 가정한다. 이는 충족되지 않은 수요에 대한 보완주문량까지 고려하였음을 의미하며, 충족되지 않은 수요의 양이 중단되지 않은 공급업체의 총 잔존 용량보다 큰 경우에는 주문 상실(lost sale)로 처리되어 재고고갈비용이 발생한다고 가정한다.

3.2 모형의 수립

본 연구에서는 구매업체의 비용을 최소화하는 최적 공급업체 수 및 주문량 결정 모형을 제시한다. 구매업체는 공급업체의 중단 확률을 고려하여 사전에 적정 공급업체 수를 결정함으로써, 공급업체 중단 발생 시 해당 수량만큼 보완주문이 가능하도록 여유 용량을 확보할 수 있다. 본 연구모형의 기본적인 개념은 [그림 1]과 같다.

위의 그림과 같이, 구매업체는 사전정보를 알 수 없는 다수의 잠재적 공급업체에 연결되어 있다. 구매업체는 각각의 공급업체에 초기주문을 하게 되고, 해당 공급업체들은 자신들이 보유한 용량 범위 내에서 구매업체의 주문량에 따라 공급을 하게 된다. 그림의 음영 표시된 부분은 공급업체별 용량을 나타내고 있다. ‘① 초기주문’에서는 공급업체들의 구매업체의 주문량에 대응하여 공급한다. 이 때 중단이 발생한 공급업체는 제품을 공급할 수 없는 상태가 되며, 구매업체는 공급업체 중단으로 인한 수요 미충족분 만큼의 수량을 중단되지 않은 공급업체에 보완주문을 할 수 있다. 그림에 표현된 음영 부분과 같이 주문 단계에 따라 공급업체의 용량은 점점 줄어들고, 이에 따라 구매업체의 재고수량이 증가한다. 공급업체의 남아 있는 공급용량 및 구매업체의 재고수량은 그림에서 음영부분으로 표시하였다.

만약 ‘① 초기주문’에 의한 공급량이 수요를 충족시키는 경우에 구매업체는 보완주문을 하지 않으며, 구매업체의 총비용은 초기주문 시의 공급업체 수만큼 발생한 거래비용과 중단 되지 않은 공급업체들로부터 공급받은 수량만큼의 주문비용의 합으로 결정된다. 그러나 ‘① 초기주문’에 의한 공급량이 수요를 충족시키지 못하는 경우에 구매업체는 중단되지 않은 공급업체들에게 보완주문을 해야 하며, 중단되지 않은 공급업체들은 초기의 용량에서 초기주문 대응 수량을 차감한 잔여 용량 범위 내에서 구매업체에 공급할 수 있다. 이러한 경우, 구매업체는 보완주문 수량에 대해 초기주문 시의 비용보다 높은 비용을 지불



[그림 1] 연구모형의 기본 개념

해야 하며, 보완주문 후의 수요 미충족분에 대한 재고고갈비용을 부담해야 한다.

비용 측면에서 살펴보면, 수요 미충족분에 대한 보완주문을 고려하여 초기주문 시 다수의 공급업체에 주문을 하는 방법은 거래비용이 증가한다는 단점을 가지고 있다. 그러나 공급업체 수만큼 잔여 용량을 충분히 확보할 수 있어 수요 미충족에 따른 재고고갈비용을 상당부분 절약할 수 있다. 반면 극소수의 공급업체 주문을 하는 경우, 거래비용이 감소한다는 장점이 있지만, 공급업체의 잔여 용량 부족으로 보완주문이 어려워 재고고갈비용이 증가할 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 총비용을 최소화하는 범위 내에서, 공급업체의 중단에 대비한 보완주문정책과 최적 공급업체 수 및 주문량을 결정하는 방법을 제시하고자 한다.

3.3 기호정의

가정사항에 따라 기본 연구모형을 수식화하기 위해 다음과 같이 기호를 정의한다.

- D : 확정적 수요
- p : 각 공급업체의 중단발생확률 *i.i.d Bernoulli*
- K : 각 공급업체의 용량
- n : 주문하는 총 공급업체의 수
- q : 개별 공급업체에 대한 주문량 $q \leq K$
- Q : 총 주문량 $Q = nq$
- v : 중단되지 않은 공급업체의 수 $v \sim B(n, (1-p))$
- c : 초기 주문량에 대한 단위당 공급비용
- e : 보완주문에 대한 단위당 공급비용 $c < e$
- W : 개별 공급업체에 대한 거래비용
- β : 단위당 재고고갈비용 $e < \beta$

4. 모형의 수식화

앞의 기호 정의에 따라 보완주문정책 고려 시 공급사슬 중단을 대비한 최적 공급업체 수 및 주문량 결정 모형을 다음과 같이 도출한다. n 개의 공급업체

에 각각 q 개씩 나누어 주문을 할 때, 구매업체의 총비용은

$$TC(n, q) = nW + cvq + eMn[v(K-q), (D-vq)^+] \quad (1) \\ + \beta[(D-vq)^+] - Mn[v(K-q), (D-vq)^+]$$

이다. 여기서 nW 는 주문을 한 공급업체들에 대한 거래비용이고, cvq 는 중단되지 않는 공급업체로부터 공급받은 제품에 대한 공급비용을 의미하며, 중단되지 않는 공급업체로부터 공급받은 양이 수요보다 작은 경우에 구매업체는 보완주문을 하게 된다.

식 (1)에서 $Mn[v(K-q), (D-vq)^+]$ 는 보완주문량을 결정하는 함수로서, $v(K-q)$ 는 잔여용량, $(D-vq)^+$ 는 수요 미충족분에 대한 수식을 나타낸다. 이 중 수요 미충족분 $(D-vq)^+$ 는 positive part function으로서 수요 대비 공급량의 크기에 따라 그 값이 결정되며, 만약 vq 가 D 보다 작은 경우($(D-vq)^+ > 0$)에는 $(D-vq)$ 가 되며, vq 가 D 보다 큰 경우($(D-vq)^+ < 0$)에는 $(D-vq)^+ = 0$ 이 된다. 따라서 보완주문량 $Mn[v(K-q), (D-vq)^+]$ 는 수요 미충족분 $(D-vq)^+$ 에 의해 결정이 되며, 잔여용량 $v(K-q)$ 와 수요 미충족분 $(D-vq)^+$ 의 크기에 따라 아래와 같이 결정된다.

Case 1 : 수요가 공급량보다 크고($D > vq$) 수요 미충족분이 잔여용량보다 큰 경우($D-vq > v(K-q)$), 중단되지 않는 공급업체의 수는 $v \leq D/K$, 보완주문량은 $v(K-q)$, 수요 미충족분은 $D-vq-v(K-q) = D-vK$ 이다.

Case 2 : 수요가 공급량보다 크고($D > vq$) 수요 미충족분이 잔여용량보다 작은 경우($D-vq \leq v(K-q)$), 중단되지 않는 공급업체의 수는 $D/K < v \leq D/q$, 보완주문량은 $D-vq$, 보완주문으로 수요 미충족분을 충족하였으므로 재고고갈비용은 발생하지 않는다.

Case 3 : 수요가 공급량보다 작은 경우($D \leq vq$), 중단되지 않는 공급업체의 수는 $D/q < v \leq n$, 초기주문으로 수요를 충족하였으므로 보완주문을 하지 않아도 된다.

위의 경우에 따라 식 (1)의 기대값을 취하면 다음과 같다.

$$E[TC(n, q)] = \sum_{v=0}^{\lfloor \frac{D}{K} \rfloor} \{nW + cvq + ev(K-q) + \beta(D-vK)\} \binom{n}{v} (1-p)^v p^{n-v} \\ + \sum_{\lfloor \frac{D}{K} \rfloor}^{\lfloor \frac{D}{q} \rfloor} \{nW + cvq + e(D-vq)\} \binom{n}{v} (1-p)^v p^{n-v} \\ + \sum_{\lfloor \frac{D}{q} \rfloor}^{\lfloor \frac{n}{q} \rfloor} \{nW + cvq\} \binom{n}{v} (1-p)^v p^{n-v} \quad (2)$$

식 (2)에서 중단되지 않는 공급업체의 수 v 는 정수로 계산되어야하기 때문에 바닥함수(floor function) 및 천장함수(ceiling function)의 정의에 따라 구간이 결정된다. 이러한 구간은 위의 경우에 따라 구분되며, 각 구간별로 공급업체의 수 v 가 시작되는 값은 천장함수를 v 가 끝나는 값은 바닥함수를 따른다. 예시로써 Case1에 해당하는 구간의 공급업체 수 v 는 $0D/K$ 의 범위 내에서 결정되며, 여기서 D/K 의 값이 2.3개와 같이 소수점으로 계산될 시에는 바닥함수의 정의에 따라 $v=2$ 가 된다. 반면 Case 2의 공급업체 수 v 는 $D/K \sim D/q$ 의 범위 내에서 결정되며, 여기서 D/K 의 값이 2.3개와 같이 소수점으로 계산될 시에는

천장함수의 정의에 따라 $v=3$ 이 된다.

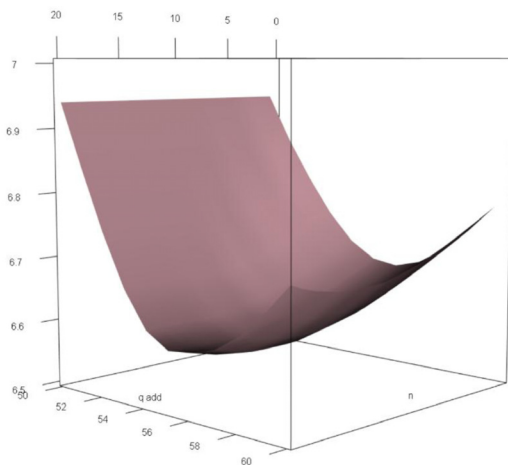
본 연구에서는 최적의 공급업체 수 및 주문량 결정을 위해, 구매업체의 기대비용 수식을 최소화 하는 공급업체의 수 n 과 각 공급업체에 대한 주문량 q 를 결정하고자 한다. 이 후의 수치예제에서 보다 상세히 살펴보겠지만 아래 그림과 같이 구매업체의 총비용 $TC(n, q)$ 를 최소로 하는 n 과 q 의 조합이 존재한다. 그러나 위에서 도출한 정확한 기대비용 수식을 직접 분석하는 것은 복잡하기 때문에, 다음 절에서 총비용 $TC(n, q)$ 를 구하기 위한 근사방법을 제안하고, 이를 통한 최적 공급업체 수 및 주문량에 대한 근사값을 도출하는 방법을 제시한다.

4.1 근사방법

본 연구에서는 총비용 $TC(n, q)$ 에 대한 근사방법을 다음과 같이 고려한다. 정확한 식에서 중단이 발생하지 않는 공급업체 수 v 는 $B(n, (1-p))$ 를 따르며, 이를 균등분포로 근사한다. $B(n, (1-p))$ 의 평균 $\mu = n(1-p)$, 표준편차 $\sigma = \sqrt{np(1-p)}$ 이므로 평균에서 2σ 범위에 대부분의 확률이 존재함을 감안하여 $v \sim U(\mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma)$ 로 근사한다. 여기서, $\sigma = \sqrt{np(1-p)}$ 의 식을 직접 적용하면 분석의 복잡성이 증가하여, 이를 다음과 같이 추가적으로 근사한다.

구매업체의 총 주문량 Q 는 공급업체 수 v 와 공급업체별 주문량 q 의 곱으로 계산된다. 즉, 총 주문량 $Q = nq$ 이다. 여기서 총 주문량 Q 는 공급업체의 중단을 고려하여 수요보다 큰 값이 되는 것이 일반적이다. 공급업체의 수가 많아지면 p 의 비율로 공급업체의 중단이 발생함에 따라 같은 비율로 주문량 대비 공급량이 감소하게 되므로, 총 주문량이 Q 라면 실제 공급량은 $Q(1-p)$ 에 근접한 값이 된다. 이 값이 수요를 충족해야 하므로 근사적으로 $Q(1-p) \approx D$ 가 되며, 이는 중단되지 않는 공급업체로부터 공급받은 총 주문량 $Q(1-p)$ 가 수요 D 에 가까운 수치로 나타남에 근거한다.

한편 위의 $Q = nq$ 에서 공급업체 수 n 은 총 주문량 Q 를 공급업체별 주문량 q 로 나눈 값을 확인할 수



[그림 2] 구매업체의 총비용을 최소화 하는 공급업체의 수와 주문량

있다($n = Q/q$). 여기서 공급업체별 주문량 q 를 공급업체별 용량 K 로 근사하면 $n \approx Q/K$ 가 되고, Q 에 $Q \approx D/(1-p)$ 를 대입하여 $n \approx D/K(1-p)$ 의 식을 구할 수 있다. 이 식을 표준편차 $\sqrt{np(1-p)}$ 에 대입하게 되면 $\sqrt{pD/K}$ 가 되어 중단이 발생하지 않는 공급업체 수 v 는 $(n(1-p) - 2\sqrt{pD/K}, n(1-p) + 2\sqrt{pD/K})$ 범위의 균등분포를 따르는 것으로 근사할 수 있다. 이러한 근사방법에 따라 구매업체의 기대비용은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} E_a[TC(n_a, q_a)] & \quad (3) \\ &= \int_{\frac{D}{K}}^{\frac{D}{K}} \{nW + cvq + ev(K - q) \\ & \quad + \beta(D - vK)\} f(v) dv \\ & \quad + \int_{\frac{D}{K}}^{\frac{D}{K}} \{nW + cvq + e(D - vq)\} f(v) dv \\ & \quad + \int_{\frac{D}{K}}^{n(1-p) + 2\sqrt{\frac{pD}{K}}} \{nW + cvq\} f(v) dv \end{aligned}$$

여기서 다음의 성질이 성립된다.

Proposition 1 :

구매업체의 기대비용 $E_a[TC(n_a, q_a)]$ 는 n 과 q 에 대하여 유일한 극소점을 갖는다.

Proof)

구매업체의 기대비용 $E_a[TC(n_a, q_a)]$ 을 n 과 q 에 대해 각각 편미분을 취하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_a[TC(n_a, q_a)]}{\partial n} &= W + cq(1-p) \quad (4) \\ & \quad + \frac{nK(\beta - e)(1-p)^2 \sqrt{K}}{4\sqrt{pD}} \\ & \quad + \frac{enq(1-p)^2 \sqrt{K}}{4\sqrt{pD}} - \frac{K(\beta - e)(1-p)}{2} \\ & \quad - \frac{eq(1-p)}{2} - \frac{\beta D(1-p) \sqrt{K}}{4\sqrt{pD}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_a[TC(n_a, q_a)]}{\partial q} &= cn(1-p) \quad (5) \\ & \quad - \frac{eD^2 \sqrt{K}}{8\sqrt{pDq^2}} + \frac{en^2(1-p)^2 \sqrt{K}}{8\sqrt{pD}} \\ & \quad - \frac{en(1-p)}{2} + \frac{e\sqrt{pD}}{2\sqrt{K}} \end{aligned}$$

식 (4), 식 (5)를 통하여 헤시안 행렬(hessian matrix)을 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} H(E[TC(n_a, q_a)]) & \quad (6) \\ &= \begin{bmatrix} \frac{eD^2 \sqrt{K}}{4\sqrt{pDq^3}} & \frac{c(1-p) + \frac{en(1-p)^2 \sqrt{K}}{4\sqrt{pD}} - \frac{e(1-p)}{2}}{2} \\ \frac{c(1-p) + \frac{en(1-p)^2 \sqrt{K}}{4\sqrt{pD}} - \frac{e(1-p)}{2}}{2} & \frac{K(\beta - e)(1-p)^2 \sqrt{K} + \frac{eq(1-p)^2 \sqrt{K}}{4\sqrt{pD}}}{4\sqrt{pD}} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

여기서 헤시안 행렬 정형성을 검증하면 다음과 같다.

$$D_1 = \frac{eD^2 \sqrt{K}}{8\sqrt{pDq^3}} > 0 \quad (7)$$

여기서 $e > 0$, $n > 0$, $q^3 > 0$, $D^2 > 0$ 이다. 또한 중단발생 확률 p 는 $0 \leq p \ll 1$ 이므로 $D_1 > 0$ 임이 검증된다.

$$\begin{aligned} D_2 &= \left(\frac{eD^2 \sqrt{K}}{4\sqrt{pDq^3}} \right) \left(\frac{K(\beta - e)(1-p)^2 \sqrt{K}}{4\sqrt{pD}} + \frac{eq(1-p)^2 \sqrt{K}}{4\sqrt{pD}} \right) \\ & \quad - \left(\frac{c(1-p) + \frac{en(1-p)^2 \sqrt{K}}{4\sqrt{pD}} - \frac{e(1-p)}{2}}{2} \right)^2 \quad (8) \end{aligned}$$

이를 정리하면

$$\begin{aligned} D_2 &= \frac{eKD(1-p)^2(\beta K - eK + eq)}{16pq^3} \quad (9) \\ & \quad - \frac{4(2c - e)^2(1-p)^2 pD + 4(2c - e)en(1-p)^3 \sqrt{pDK} + e^2 n^2(1-p)^4 K}{16pD} \end{aligned}$$

가 된다. 여기서 $c \geq 0$, $e \geq 0$, $\beta \geq 0$, $c < e < \beta$, $c + e < \beta$ 이며, $e^2 < ec$, $e^2 < e\beta$ 이다. $q \leq K < D$, $n \geq 0$, $0 \leq p \ll 1$, $(1-p)^2 > (1-p)^3 > (1-p)^4$ 이기 때문에 $D_2 > 0$ 이 검증된다. 즉 $D_1 > 0$ 이고, $D_2 > 0$ 에 따라 Positive Definite가 되기 때문에 구매업체의 기대비용 $E_a[TC(n_a, q_a)]$ 는 q_a , n_a 의 전 구간에서 볼록함수이다. ■

위의 Proposition에서 구매업체의 기대비용 $E_a[TC(n_a, q_a)]$ 가 n_a 와 q_a 에 대해 유일한 극점을 갖는 볼록함수임을 검증하였다. n_a 와 q_a 는 각각에 대해 편미분을 취함으로써 $E_a[TC(n_a, q_a)]$ 가 최소가 되는 해를 쉽게 찾을 수 있으며 다음과 같은 정리가 성립한다.

Theorem 1 :

구매업체의 기대비용 $E_a[TC(n_a, q_a)]$ 를 최소화 하는 가 n_a^* 와 q_a^* 는 다음의 관계식을 갖는다.

$$n_a^* = \frac{\beta D - \frac{4W\sqrt{pD}}{(1-p)\sqrt{K}} + 2\sqrt{\frac{pD}{K}}(\beta - e) - 2\sqrt{\frac{pD}{K}}(1-p)(2c-e)q}{K(1-p)(\beta - e) + e(1-p)q} \quad (10)$$

$$q_a^* = \sqrt{\frac{eD^2}{4(2c-e)(1-p)\sqrt{\frac{pD}{K}}n + e(1-p)^2n^2 + \frac{4epD}{K}}} \quad (11)$$

Proof)

Proposition 1에 따라 식 (4)와 식 (5)의 값이 0이 되도록 하는 n_a 와 q_a 의 값을 구하면 $E_a[TC(n_a, q_a)]$ 의 최소값을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_a[TC(n_a, q_a)]}{\partial n_a} &= W + cq(1-p) \\ &+ \frac{nK(\beta - e)(1-p)^2\sqrt{K}}{4\sqrt{pD}} + \frac{enq(1-p)^2\sqrt{K}}{4\sqrt{pD}} \\ &- \frac{K(\beta - e)(1-p)}{2} \\ &- \frac{eq(1-p)}{2} - \frac{\beta D(1-p)\sqrt{K}}{4\sqrt{pD}} = 0 \end{aligned}$$

일 때, $E_a[TC(n_a, q_a)]$ 를 최소화 하는 n_a^* 는

$$n_a^* = \frac{\beta D - \frac{4W\sqrt{pD}}{(1-p)\sqrt{K}} + 2\sqrt{\frac{pD}{K}}(\beta - e) - 2\sqrt{\frac{pD}{K}}(1-p)(2c-e)q}{K(1-p)(\beta - e) + e(1-p)q} \quad (12)$$

이고,

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_a[TC(n_a, q_a)]}{\partial q_a} &= cn(1-p) - \frac{eD^2\sqrt{K}}{8\sqrt{pD}q^2} \\ &+ \frac{en^2(1-p)^2\sqrt{K}}{8\sqrt{pD}} - \frac{en(1-p)}{2} + \frac{e\sqrt{pD}}{2\sqrt{K}} = 0 \end{aligned}$$

일 때, $E_a[TC(n_a, q_a)]$ 를 최소화 하는 q_a^* 는

$$q_a^* = \sqrt{\frac{eD^2}{4(2c-e)(1-p)\sqrt{\frac{pD}{K}}n + e(1-p)^2n^2 + \frac{4epD}{K}}} \quad (13)$$

가 되어, 증명이 성립된다. ■

Proposition 1에 의해 구매업체의 기대비용을 최소화 하는 n_a 와 q_a 가 존재함을 알 수 있으며 정리에 의해 n_a^* 와 q_a^* 는 식 (12)와 식 (13)의 관계식을 가지는 것을 알 수 있다. 그러나 식 (12)와 식 (13)을 통해 n_a^* 와 q_a^* 의 닫힌 형태(closed form)의 식을 찾아내는 것은 복잡하다. 따라서 본 연구에서는 다음에서 제시하는 반복적 알고리즘(iterative algorithm)을 통하여 구매업체의 기대비용을 최소화 하는 n_a^* 와 q_a^* 를 찾고자 한다.

Algorithm 1:

Step 1 : $n_0 = D/K(1-p)$ 로 둔다.

식 (13)에 의해

$$q_0 = \sqrt{\frac{eD^2}{4D(2c-e)K\sqrt{\frac{pD}{K}} + eD^2 + 4epKD}}$$

를 구하며, 이때의 기대비용 $E_0[TC(n_0, q_0)]$ 를 구할 수 있다.

Step 2 : $n_i = f(q_{i-1})$ 로 두고, $q_i = f(n_i)$ 및 $E_i[TC(n_i, q_i)]$ 를 구한다. 여기서 $i=1$ 로 둔다.

Step 3 : $E_i[TC(n_i, q_i)] - E_{i-1}[TC(n_{i-1}, q_{i-1})] < \epsilon$ 이면 중단하며, 이때 n_{i-1} 과 q_{i-1} 이 최적이 된다. 그렇지 않으면, $i=i+1$ 로 두고 단계 2로 돌아간다. 여기서 ϵ 은 무시할만한 수준의 비용의 차이를 나타낸다.

Step 4 : 단계 3에서 구한 n_{i-1} 과 q_{i-1} 가 정수이면 $n_a^* = n_{i-1}$ 이고, $q_a^* = q_{i-1}$ 이며, 이 때 구매업체의 기대비용은 $E_{i-1}[TC(n_{i-1}, q_{i-1})]$ 이다. 만약, n_{i-1} 과 q_{i-1} 가 정수가 아니면 단계 5를 실행한다.

Step 5: $n_U = \lceil n_{i-1} \rceil$, $n_L = \lfloor n_{i-1} \rfloor$ 로 두고, $q_U = \lceil f(n_U) \rceil$, $q_L = \lfloor f(n_U) \rfloor$ 를 구하고 이에 대한 구매업체의 기대비용을 $E_{i-1}[TC(n_U, q_U)]$, $E_{i-1}[TC(n_U, q_L)]$, $E_{i-1}[TC(n_L, q_U)]$, $E_{i-1}[TC(n_L, q_L)]$ 을 각각 구한 후 이 중 가장 작은 기대비용을 나타내는 n 과 q 의 조합을 최적 공급업체의 수와 주문량으로 선택한다.

5. 수치예제

본 연구에서는 다음의 수치예제를 통하여 연구모형으로부터 제시한 조달 정책의 효과에 대해 살펴보고, 연구모형의 원식과 근사방법을 수치예제로 비교 분석함으로써, 본 연구에서 제시하고 있는 근사방법의 적정성 및 타당성을 검증하고자 한다. 수치예제에서, 근사방법의 허용오차한계 ϵ 은 1로 두고 구매업체의 비용을 최소화 하는 최적의 공급업체 수와 주문량의 조합을 찾는다. 근사방법은 평균 16회 반복으로 최적의 공급업체 수와 주문량의 조합을 얻을 수 있어 높은 효율성을 보여주었다.

5.1 공급업체 중단 발생 확률의 변화에 따른 최적 정책의 변화

공급업체 중단 발생 확률의 변화에 따른 최적 공

급업체 수 및 주문량의 변화를 살펴보기 위해, 다음과 같이 변수를 설정하여 수치예제를 실시하였다. 먼저 각 공급업체의 고정거래비용 w 는 500만 원, 초기 주문비용 c 는 36,000원/개, 보완주문비용 e 는 54,000원/개, 수요상실비용 β 는 120,000원/개로 가정하였다. 각 공급업체의 용량 k 는 2000개이며, 수요 D 는 단일 기간에 10,000개 발생한다고 가정하였다.

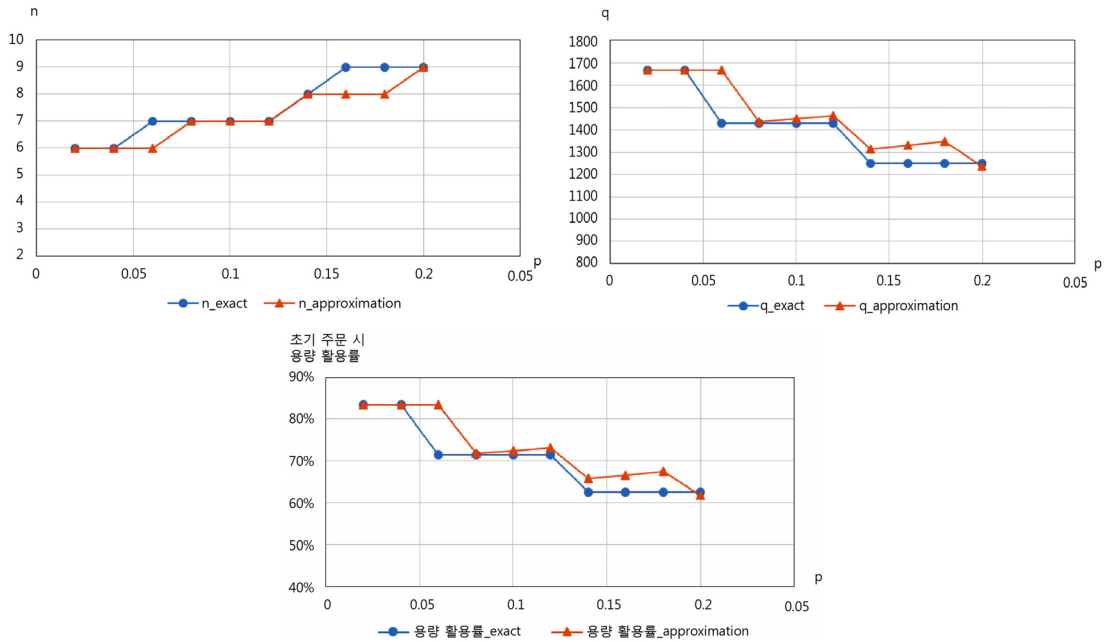
<표 1>은 중단 발생 확률 변화에 따라 구매업체의 기대비용이 어떻게 변화하는지를 나타내고 있으며, 근사방법이 원식의 기대비용을 비교적 정확하게 근사하고 있음을 알 수 있다.

[그림 3]은 공급업체의 중단 발생 확률 변화에 따른 최적 공급업체 수, 초기 주문량 및 초기주문 시의 용량 활용률의 변화를 보여주고 있다.

위의 그림에서와 같이 공급업체 중단 발생 확률이 증가할수록 공급업체 수는 증가하며, 각 공급업체에 대한 초기 주문량 및 용량 활용률이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 구매업체가 중단 발생 확률이 증가할수록 더 많은 공급업체에 주문하여 위험을 분산하고, 각 공급업체에 대한 초기 주문량을 줄임으로써 중단 발생으로 인해 공급받지 못한 양을 중단되지 않은 공급업체들의 초기주문 후의 잔여용량을 활용하여 공급받아 위험에 대비하는 것이 바람직하다는 것을 시사한다. 또한 위의 그림과 같이 근사방법에 의해 구해진 공급업체의 수가 원식에 의해

<표 1> 중단 발생 확률의 변화에 따른 근사방법과 원식의 비교

중단 발생 확률(p)	구매업체의 기대비용(TC) (단위: 천 원)	기대비용의 근사값(TC_a) (단위: 천 원)	ΔTC ($TC - TC_a$)/ TC
0.02	394,552,367	406,171,379	-2.94%
0.04	400,353,962	408,661,944	-2.08%
0.06	406,811,150	418,172,402	-2.79%
0.08	411,508,210	417,756,675	-1.52%
0.1	416,842,926	413,410,599	0.82%
0.12	422,907,082	425,746,005	-0.67%
0.14	427,718,518	427,542,549	0.04%
0.16	430,085,382	429,048,079	0.24%
0.18	432,174,386	433,160,552	-0.23%
0.2	435,100,548	435,742,416	-0.15%



[그림 3] 중단발생확률의 변화에 따른 최적 공급업체 수, 초기 주문량 및 용량 활용률의 변화

구해진 공급업체의 수를 비교적 정확하게 근사하고 있음을 알 수 있다.

5.2 각 공급업체 용량의 변화에 따른 최적 정책의 변화

각 공급업체의 용량의 변화에 따른 최적 공급업체의 수와 초기 주문량 변화에 대해 살펴보기 위하여 변수 값을 다음과 같이 설정한다. 각 공급업체의 고정거래비용 w 는 500만 원, 초기주문비용 c 는 36,000 원/개, 보완주문비용 e 는 54,000원/개, 수요상실비용 β 는 120,000원/개로 가정하였다. 수요 D 는 10,000개 발생한다고 가정하였으며 공급업체의 중단 발생 확률 p 는 0.1로 가정하였으며 원식의 기대비용과 근사방법에 의한 기대비용이 비슷하다는 것을 <표 2>에서 확인할 수 있다.

<표 2>는 각 공급업체의 용량 변화에 따른 구매업체의 기대비용의 변화를 나타내고 있으며, 근사방법이 원식의 기대비용을 비교적 정확하게 근사하고 있음을 알 수 있다.

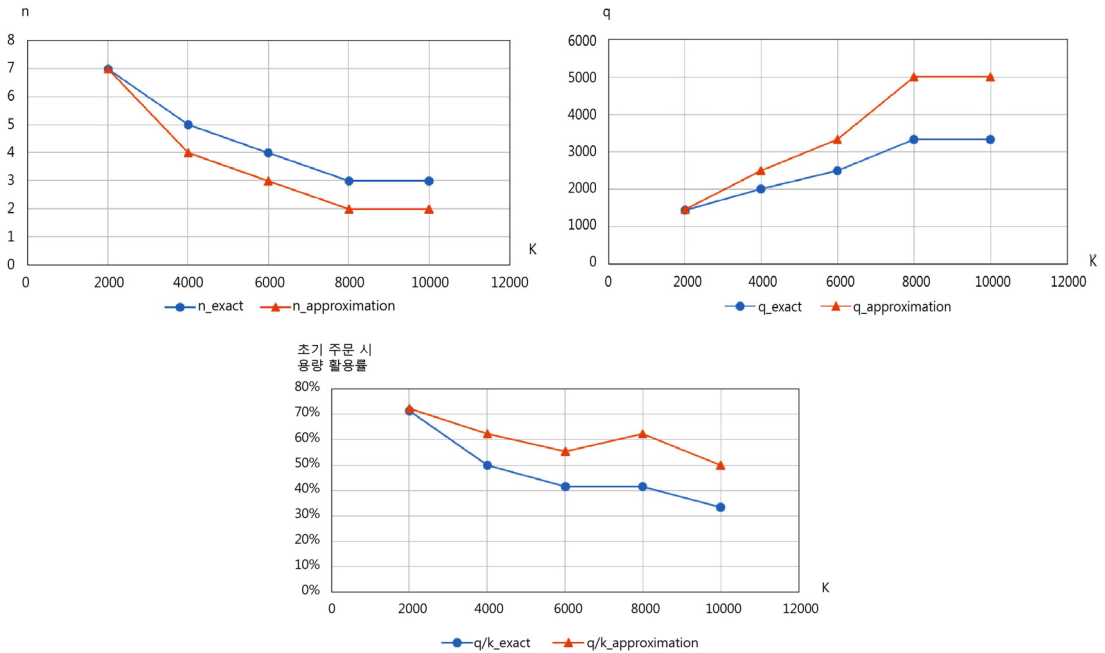
[그림 4]는 각 공급업체의 용량의 변화에 따라 최적 공급업체 수, 초기 주문량 용량 활용률이 어떻게 변하는지를 나타내고 있다.

[그림 4]와 같이 각 공급업체의 용량이 증가할수록 구매업체는 공급업체의 수를 줄이고, 각 공급업체에 대한 초기 주문량을 증가시키는 것으로 나타났다. 공급업체의 용량이 충분히 큰 경우 다수의 공급업체를 활용하여 높은 거래비용을 지불하는 것보다 상대적으로 적은 수의 공급업체에 주문하는 것이 비용감소 효과가 있지만, 공급업체의 중단 발생 확률이 존재하면 각 공급업체의 용량이 충분히 커 수요를 충족할 수 있더라도 단일조달정책 보다는 다중 조달 정책을 활용하여 위험에 대비하는 것이 바람직하다.

공급업체의 용량이 상대적으로 작을 경우, 구매업체는 초기주문에서 각 공급업체의 용량만큼 주문하여 용량을 전부 소진하는 것보다는 공급업체의 수를 증가시키고, 초기주문 시 각 공급업체의 활용률을 감소시키는 것이 바람직하다. 예를 들어, 수요가 10,000개이고, 각 공급업체의 용량이 2,000개일 때 구매업체는 5명의 공급업체에게 초기주문을 2,000개씩 하

〈표 2〉 공급업체의 용량의 변화에 따른 근사방법과 원식의 비교

각 공급업체의 용량(K)	구매업체의 기대비용(TC) (단위 : 천 원)	기대비용의 근사값(TC _a) (단위 : 천 원)	ΔTC (TC - TC _a)/TC
2,000	416,842,926	413,410,599	0.82%
4,000	404,332,432	410,289,244	-1.47%
6,000	399,093,318	408,618,612	-2.39%
8,000	397,293,498	408,578,033	-2.84%
10,000	393,729,498	408,025,889	-3.63%



[그림 4] 공급업체의 용량의 변화에 따른 공급업체 수, 초기 주문량 및 용량 활용률의 변화

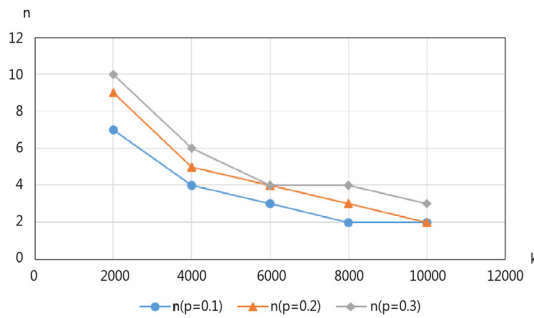
는 것이 가장 합리적일 수 있으나 [그림 4]에서 나타난 바와 같이 구매업체는 7명의 공급업체에게 주문을 하는 것이 비용을 최소화하는 것으로, 이는 중단 발생 확률이 있으면 공급업체의 수를 늘림으로써 위험을 분산시키는 것이 바람직함을 시사한다.

5.3 중단 발생 확률 별 용량의 변화에 따른 최적 정책의 변화

위의 수치예제에서 본 연구의 근사방법이 원식을 비교적 정확하게 근사하고 있음을 확인하였다. 따라

서 본 절에서는 공급업체 중단 발생확률과 각 공급업체 용량 변화에 따른 최적 공급업체의 수와 주문량을 근사방법을 활용하여 다음과 같이 수치예제를 진행한다. 먼저 공급업체의 중단 발생 확률은 각각 $p=0.1$, $p=0.2$, $p=0.3$ 으로 설정하였으며, 이 때의 각 공급업체 용량 변화에 따른 공급업체 수와 주문량 변화를 살펴보았다. 각 공급업체의 고정거래비용 W 는 500만 원, 개당 공급비용 c 는 36,000원, 응급공급(주문)비용 e 는 54,000원/개, 수요상실비용 β 는 120,000원/개로 가정하였으며, 수요 D 는 10,000개 발생한다고 가정하였다.

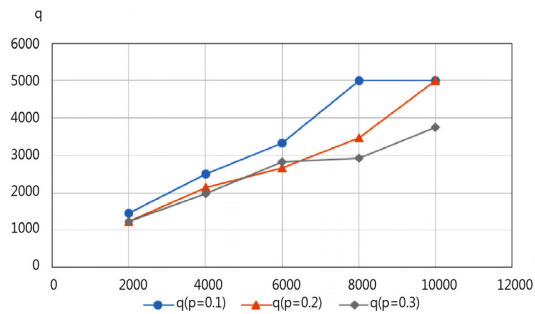
[그림 5]는 공급업체의 중단 발생 확률이 각각 $p=0.1$, $p=0.2$, 그리고 $p=0.3$ 일 때 각 공급업체의 용량 변화에 따라 최적 공급업체 수가 어떻게 변화하는지를 나타내고 있다.



[그림 5] 중단발생 확률 별 공급업체 수의 변화

[그림 5]에서와 같이 각 공급업체의 용량 증가할수록 구매업체는 공급업체의 수를 줄이는 것으로 나타났으며 공급업체의 중단 발생 확률이 높을수록 더 많은 공급업체에 주문하는 것으로 나타났다. 구매업체는 각 공급업체의 용량이 충분히 크더라도 중단 발생 확률이 있으면 단일 조달 정책보다는 다중 조달 정책을 활용하는 것이 바람직하며, 중단 발생 확률이 높을수록 더 많은 공급업체에게 주문하여 위험을 분산하는 것이 바람직하다는 것을 시사한다.

[그림 6]은 공급업체의 중단 발생 확률이 각각 $p=0.1$, $p=0.2$, $p=0.3$ 일 때 공급업체 용량 변화에 따른 초기 주문량과 초기주문 시의 잔여용량의 변화를 나타내고 있다.

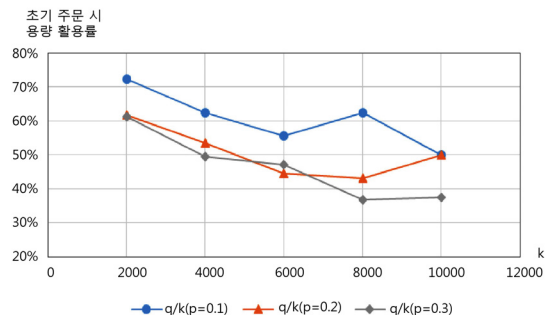


[그림 6]에서와 같이 공급업체의 용량이 증가할수록 초기 주문량은 증가하고 초기주문 시 용량 활용률은 감소하는 것으로 나타났다. 용량 활용률은 중단 발생으로 인하여 공급받지 못한 양을 중단이 발생하지 않은 공급업체의 잔여용량으로 보완주문 하고자 하는 것이다. 그러므로 중단 발생 확률이 높을수록 용량 활용률을 낮추어 충분한 양의 잔여용량을 두고 초기 주문을 하는 것이 바람직하다는 것을 시사한다.

[그림 5]와 [그림 6]에서 공급업체의 중단 발생 확률이 0.1일 때, 공급업체의 용량에 따라 용량활용률 곡선이 변화하는 것을 확인할 수 있다. 그림과 같이 공급업체 용량이 6,000개인 경우, 최적 공급업체 수와 최적 주문량은 (3, 3,334)이며, 이때의 용량 활용률은 56%(3,334/6,000)로 계산되었다. 한편 용량이 8,000개, 10,000개인 경우에는 최적 공급업체 수와 최적 주문량이 (2, 5,001)로 동일하게 나타나지만, 용량에 따라 용량 활용률이 각각 63%(= 5,001/8,000), 50%(= 5,001/10,000)로 계산되었다. 즉, 구매업체 측면에서는 각각의 공급업체 용량이 충분히 크다 하더라도, 공급업체 중단 발생 확률이 존재한다면 단일조달 정책보다는 이원 조달 정책이나 다중조달 정책을 활용하는 것이 최적의 방안임을 시사하고 있다.

6. 결론

최근 자연 재해, 정치·사회적 불안요인 등으로 공급업체 중단의 발생이 빈번해짐에 따라 기업과 연관되어 있는 공급업체 중단이 기업 성과에 어떠한 영향



[그림 6] 중단 발생 확률 별 초기 주문량 및 초기주문 시 용량 활용률의 변화

을 미치는지에 대한 관심이 고조되고 있다.

본 연구에서는 이러한 현실상황을 반영하여 중단 발생 확률을 가지고 있는 다중 공급업체가 하나의 구매업체와 거래하는 2계층 공급사슬 구조와 단일기간에 발생하는 확정적 수요에 기반하여 연구를 진행하였다. 또한 구매업체와 공급업체 간에 발생하는 거래비용과 공급업체 중단으로 발생한 수요 미충족분에 대한 보완주문비용 및 재고고갈비용을 고려할 때의 최적 공급업체 수 및 주문량 결정 방법을 제시하였으며, 공급사슬의 안정성과 공급업체와의 거래비용 및 재고비용 간에 어떠한 상충관계가 있는지 살펴보았다.

공급업체의 중단 발생 확률에 따른 최적 정책의 변화를 살펴보기 위한 실험 결과, 구매업체는 중단 발생 확률이 증가할수록 공급업체 수를 증가시켜 위험에 대비하고, 사전에 각 공급업체에 대한 초기 주문량을 감소시켜 중단되지 않은 공급업체의 초기주문 후의 잔여용량을 충분히 확보하는 것이 바람직하며, 구매업체가 공급업체 중단 발생으로 인하여 공급받지 못한 수량만큼을 중단되지 않은 공급업체의 잔여용량 범위 내에서 보완주문을 함으로써 미래의 위험에 대비하는 것을 시사한다. 각 공급업체의 용량 변화에 따른 최적 정책의 변화를 살펴보기 위한 실험 결과, 구매업체는 각 공급업체의 용량이 증가할수록 공급업체 수를 줄이는 것으로 거래비용의 감소 효과를 보는 것이 바람직하며, 각 공급업체의 용량이 수요를 충족할 수 있을 만큼 충분하더라도 다수의 공급업체를 활용하는 것이 더 유리하며, 이러한 다수 공급업체로부터 확보되는 잔여용량을 증가시킴으로써 미래의 위험에 대비해야 하는 것이 바람직함을 시사한다. 한편 각 실험에서는 본 연구에서 제시한 근사방법과 원식의 결과 값을 각각 제시하여 그 차이를 비교 분석하였으며, 적은 범위 내에서 차이가 발생하는 것으로 나타나 근사방법이 원식을 비교적 정확하게 설명하고 있는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 공급업체의 중단 발생 확률에 따라 구매업체의 비용을 최소화하는 최적 공급업체 수 및 주문량 결정 방안 및 보완주문 정책을 제시하였다. 이러한 정책은, 아웃소싱(outsourcing) 확대나 공급

자집중화, JIT, Lean 공급사슬 등 기존 업계에서 사용되고 있는 정책과 비교했을 때, 비용 측면에서 비효율적일 수 있다. 그러나 이수열[7]의 연구에서 언급한 바와 같이 상호의존이 높은 상황 하에서 운영적 협력은 기업 성과에 부정적인 측면을 보인다는 연구결과와 같이 화재, 홍수, 지진 등과 같이 사고 및 위험의 파급속도와 범위가 광범위하고, 핵심 공급업체에 이러한 사고 및 위험이 발생하는 경우에는 본 연구에서 제안하고 있는 정책이 도·소매상에 대한 대규모의 손실 발생을 막아줄 수 있을 것이다. 또한 최근 들어 빈번히 발생하는 자연 재해와 정치·사회적 불안요인 등 역동적인 경영 환경 속에서 기업의 손실을 막아주고, 지속적으로 기업성장을 증대시키는 조달주문 정책 수립의 기반을 제공할 수 있을 것이다.

본 연구의 한계점은 다음과 같다. 먼저 본 연구에서는 모형의 단순화를 위해 확정적 수요에 대한 단일기간만을 고려하여 이월 재고의 가능성을 배제하였으며, 모든 공급업체들의 공급가격, 거래비용 및 중단 발생 확률을 동일하다고 가정하였다. 또한 부분 주문의 가능성을 배제하였다. 또한 분석의 편의를 위해 근사방법을 채택하여 공급업체 수 및 주문량을 계산하였으며, 최적 해를 제시하지 못하였다는 한계점을 가지고 있다. 또한 공급업체의 중단 발생 확률과 총 주문량의 관계 등에 대한 증명 부분에서 수리적이 아닌 수치예제 위주의 접근법을 활용하였다는 한계점을 가지고 있다.

향후 연구에서는 다중 기간에 대한 연구모형을 수립할 필요가 있으며, 보다 일반적인 수요 분포를 고려한 연구가 진행된다면 현실적으로 응용도가 높은 결과를 도출할 수 있을 것이다. 또한 다중 기간을 고려하여 중단에 대비한 최적 정책의 도출 또는 공급업체들의 서로 다른 중단 확률에 대한 사전 정보 등을 활용하여 정책에 반영할 수 있다면 의미 있는 연구가 될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 김규식, “태국 홍수, 이번에 일본제 제품 가격 쟁쟁”, MK뉴스, 2011.

- [2] 김정연, 서용원, “공급업체 중단에 대비한 최적의 공급업체의 수 및 주문량 결정”, 『한국생산관리학회지』, 제24권, 제4호(2013), pp.469-490.
- [3] 김준호, “Chrysler 핵심 공급업체 납품중단으로 생산라인 가동 중단”, KOTRA, 2008.
- [4] 박철순, “기업 간 협업 네트워크의 창발 : 관계역량을 중심으로”, 『한국경영과학회지』, 제40권, 제4호(2015), pp.1-18.
- [5] 안신혜, “일 대지진으로 애플 아이패드2 공급 차질전망”, 펀드닥터 뉴스, 2011.
- [6] 양재훈, 정석모, 김정환, 김민관, “글로벌 공급사슬의 위험관리 요인과 대응방안 연구”, 『관세학회지』, 제12권, 제1호(2011), pp.459-486.
- [7] 이수열, “협력은 항상 옳은가? 거래 의존성과 비선형 관계를 고려한 공급사슬 협력에 대한 재고찰”, 『한국경영과학회지』, 제40권, 제3호(2015), pp.73-95.
- [8] 이혜영, “‘아무도 못 믿겠다.’ 방사능 악재 의식업계 강타.”, 경남도민일보, 2013.
- [9] Anupindi, R. and R. Akella, “Diversification under supply uncertainty,” *Management Science*, Vol.39, No.8(1993), pp.944-963.
- [10] Berger, P.D., A. Gerstenfeld, and A.Z. Zeng, “How many suppliers are best? A decision analysis approach,” *International Journal of Management Science*, Vol.32, No.1(2004), pp.9-15.
- [11] Chopra, S. and M.S. Sodhi, “Managing Risk to Avoid Supply chain Breakdown,” *Sloan Management Review*, Vol.46, No.1(2004), pp.53-62.
- [12] Chopra, S., G. Reinhardt, and U. Mohan, “The importance of decoupling recurrent and disruption risks in a supply chain,” *Naval Research Logistics*, Vol.54, No.4(2007), pp.544-555.
- [13] Dada, M., N.C. Petruzzi and L.B. Schwarz, “A newsvendor’s procurement problem when suppliers are unreliable,” *Manufacturing & Service Operations Management*, Vol.9, No.1(2007), pp.9-32.
- [14] Federgruen, A. and N. Yang, “Optimal supply diversification under general supply risks,” *Operations Research*, Vol.57, No.6(2009), pp.1451-1468.
- [15] Gurler, U. and M. Parlar, “An inventory problem with two randomly available suppliers,” *Operations Research*, Vol.45, No.6(1997), pp.904-918.
- [16] Henig, M., Gerchak, Y., “The structure of periodic review policies in the presence of variable yield,” *Operations Research*, Vol.38, No.4(1990), pp.634-43.
- [17] Mcfarlan, F.W. and F. Young, “Li & Fung (A): Internet Issue,” *Harvard Business Review*, 301-009(2002)
- [18] Meena, P.L., S.P. Sarmah, and A. Sarkar, “Sourcing decisions under risks of catastrophic event disruptions,” *Transportation Research*, Vol.47, No.6(2011), pp.1058-1074.
- [19] Merzifonluoglu, Y. and Y. Feng, “Newsvendor problem with multiple unreliable suppliers,” *International Journal of Production Research*, Vol.52, No.1(2013), pp.221-242.
- [20] Moinzadeh, K. and P.K. Aggarwal, “Analysis of a production/inventory system subject to random disruptions,” *Management Science*, Vol.43, No.11(1997), pp.1577-1588.
- [21] Norrman, A. and U. Jansson, “Ericsson’s Proactive Supply Chain Risk Management Approach after a Serious Sub-supplier Accident,” *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, Vol.34, No.5(2004), pp.434-456.
- [22] Parlar, M. and D. Berkin, “Future supply uncertainty in EOQ models,” *Naval Research*

- Logistics*, Vol.38, No.1(1991), pp.107-121.
- [23] Parlar, M. and D. Perry, "Inventory models of future supply uncertainty with single and multiple suppliers," *Naval Research Logistics*, Vol.43(1996), pp.191-210.
- [24] Parlar, M., "Continuous-review inventory problem with random supply interruptions," *European Journal of Operation Research*, Vol.99, No.2(1997), pp.366-385.
- [35] Qi, L.Q., Shi, J., Xu, XW, "Supplier competition and its impact on firm's sourcing strategy," *Omega*, Vol.55(2015), pp.91-110.
- [26] Ray, P. and M. Jenamani "Mean-variance analysis of sourcing decision under disruption risk," *European Journal of Operational Research*, Vol.250, No.2(2016), pp.679-689.
- [27] Ruiz-Torresa, A.J. and F. Mahmoodi, "A supplier allocation model considering delivery failure, maintenance and supplier cycle costs," *International Journal of Production Economics*, Vol.103, No.2(2006), pp.755-766.
- [28] Ruiz-Torresa, A.J. and F. Mahmoodi, "The optimal number of suppliers considering the costs of individual supplier failures," *International Journal of Production Economics*, Vol.35, No.1(2007), pp.104-115.
- [29] Sarkar, A. and P.K.J. Mohapatra, "Determining the optimal size of supply base with the consideration of risks of supply disruptions," *International Journal of Production Economics*, Vol.119, No.1(2009), pp.122-135.
- [30] Tomlin, B. and Y. Wang "On the value of mix flexibility and dual sourcing in unreliable newsvendor networks," *Manufacturing & Service Operations Management*, Vol.7, No.1(2005), pp.37-57.
- [31] Tomlin, B., "On the value of mitigation and contingency strategies for managing supply chain disruption risks," *Management Science*, Vol.52, No.5(2006), pp.639-657.
- [32] Xanthopoulos, A., D. Vlachos, and E. Iakovou, "Optimal newsvendor policies for dual-sourcing supply chains : A disruption risk management framework," *Computers & Operations Research*, Vol.39, No.2(2012), pp.350-357.
- [32] Xia Y, Yang MH, Golany B, Gilbert SM, Yu G. "Real-time disruption management in a two-stage production and inventory system," *IIE Transactions*, Vol.36(2004), pp.111-25.
- [34] Yang, G. and C. Qian, "The optimal number of suppliers considering the quantity discount and supplier failure," *IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics*, Vol.2, No.12-15(2008), pp.2327-2329.