

수급(需給)균형을 고려한 공급사슬 재계획에 관한 연구

조민관 · 이영해[†]

한양대학교 산업공학과

Supply Chain Replanning Considering Balance of Supply and Demand

Min Kwan Cho, Young Hae Lee

Dep. of Industrial Engineering, Hanyang University, Ansan, 426-791

Supply Chain (SC) can balance demands with supply activities as executing Supply Chain Planning (SCP). The fluctuated demands, however, will break the balance between demand and supply. It means that the present SCP is useless in responding the changed demands. Thus it is necessary for SCP to be updated with changed demands. We call this procedure as Supply Chain Replanning. However, the existing measures for SC can not deal with the balance between supply and demand so that they can not detect effectively the timing of replanning. For this reason, a new performance measure, Balancing Point, is developed using momentum, a concept of Physics. It can treat the balance between supply and demand. Also, a replanning method based on Balancing Point is proposed. The proposed method is more effective than the existing replanning method, periodic replanning method and net inventory method.

Keywords: supply chain, performance measure, replanning, momentum

1. 서론

공급사슬 운영자는 고객 만족 및 운영의 효율화를 위하여 공급사슬 운영을 총괄적으로 조율하는 공급사슬계획(Supply Chain Planning)을 수립하게 된다. 그리고 공급사슬은 공급사슬계획에 근거하여 고객 수요에 대응하기 위한 제품 공급 활동을 효율적으로 수행하게 된다. 결국 공급사슬 운영의 기본 목표는 공급사슬의 반응성과 효율성을 조율하여 공급사슬의 이익을 극대화하는 것이다. 이는 고객 수요에 대한 균형 있는 제품 공급을 통하여 가능하다.

공급사슬 운영에 있어 장애 요소 중 하나인 불확실성은 공급 불확실성과 수요 불확실성으로 구분된다. 공급사슬 운영은 통제 가능한 공급 불확실성보다 통제할 수 없는 수요 불확실성에 의해 더욱 많은 영향을 받는다. 만약 수요 불확실성으로 인해 공급사슬 운영이 기대 수준에 미치지 못하는 경우, 수요 정보

를 갱신하여 새로운 계획을 수립하게 된다. 이러한 절차를 일반적으로 ‘재계획(replanning)’이라 하며, 공급사슬의 경우에는 ‘공급사슬 재계획(Supply Chain Replanning)’이라 한다. 결국 수요에 대한 공급 불균형이 발생한 경우, 공급사슬 재계획이 실시된다. 이러한 불균형이 발생하기 전에, 이를 예측하여 재계획을 실시하는 것이 효과적이다.

대부분의 기존 척도는 사후 지향적(after-the fact)이며, 공급사슬 세부 기능 측정에 중점을 두고 있어, 공급사슬 운영의 방향성을 충분히 반영하지 못하는 단점이 있다(Lapid, 2000; Holmberg, 2000).

이러한 문제로 인해 기존 척도는 재계획 결정에 활용하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 공급사슬 운영 방향성을 반영할 수 있을 뿐만 아니라, 수요에 대한 공급 불균형 현상을 사전 감지할 수 있는 척도와 이를 활용한 공급사슬 재계획 방법을 개발하고자 한다.

[†]연락처 : 이영해 교수, 426-791 경기도 안산시 상록구 사1동 한양대학교 산업공학과, Fax : 031-406-1089, E-mail : yhleec@hanyang.ac.kr

2. 공급사슬에서의 수요와 공급

2.1 수요 대응에 따른 공급사슬 상태

일반적으로 공급사슬이 고객이 원하는 제품을 고객에게 공급하는 행위를 ‘대응한다(responding)’고 정의한다. 공급사슬 운영의 모든 공급 활동은 이러한 대응 행위를 위해 계획된다. 따라서 수요에 대한 공급사슬의 대응 정도는 공급사슬 운영 성과를 의미한다. 실제 기업 운영에 있어서, 수요에 대한 대응 관계는 기업 운영 성과를 결정하는 중요한 요소로 간주되고 있다 (Fisher *et al.*, 1994).

수요에 대한 공급사슬의 대응 결과에 따라 공급사슬 상태는 수요 지배 상태(demand dominating state), 공급 지배 상태(supply dominating state), 그리고 균형 상태(balanced state)로 구분할 수 있다. 공급 지배 상태는 공급하는 제품 수량이 수요량보다 많은 경우를 의미한다. 이 경우에는 대응 후 남은 제품에 대한 불필요한 재고 유지 비용이 발생하며, 이러한 비용은 공급사슬의 운영 효율성을 감소시킨다. 수요 지배 상태는 공급되는 제품보다 고객이 요구하는 제품이 많은 경우에 발생하며, 제품 품질 현상이 발생한다. 이러한 품질 현상은 수요에 대한 반응성을 감소시킨다. 균형 상태는 공급되는 제품 수량과 요구되는 제품 수량이 균형을 이룬 경우를 의미하며, 모든 수요가 만족됨과 동시에 불필요한 재고가 발생하지 않는다. 이는 공급사슬 반응성과 공급사슬 운영 효율성이 완벽하게 구현됨을 의미한다 (<그림 1>).

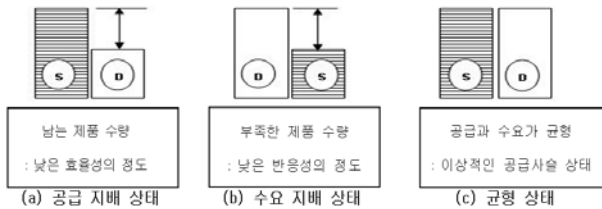


그림 1. 대응에 의한 세 가지 공급사슬 상태.

<그림 1>의 세 가지 상태는 수요에 대한 균형 있는 제품 공급이라는 공급사슬경영의 기본 목표에 대한 실현 여부를 나타낸다. 따라서 공급사슬 상태가 위 세 가지 상태 중 어느 상태인지를 판별할 수 있는 성능 척도는 공급사슬경영의 기본 목표를 반영할 수 있다. 이러한 상태는 공급사슬 총괄 계획에서 실질적으로 조율되는 공급사슬의 공급 능력에 의해 결정된다. 공급사슬 총괄 계획은 수요 만족을 위해 생산량, 재고량, 하청량, 그리고 작업자 수 등을 결정하는 일련의 계획을 의미하며, 수요 만족 및 운영 효율화를 통한 수익 극대화를 목표로 하고 있다 (Chopra and Meindl, 2003). 또한 총괄 계획 수립 시 공급사슬 운영에 악영향을 주는 불확실성 요소에 대해 구체적으로 파악할 수 있으며, 이에 대한 적절한 대책을 마련할 수 있다(Landeghem and Vanmaele, 2002). 이러한 점을 고려해 본다면, 위의 세 가지

상태를 판별하기 위한 척도 개발은 공급사슬의 총괄 계획 수준에서 수행되어야 한다.

2.2 수요 및 공급에 대한 시간 및 수량 분석

공급사슬 총괄 계획에서의 대응의 의미는 시간(time)과 수량(quantity) 범주로 분석된다. 즉, 대응의 의미를 고객이 주문한 양을 납기일에 정확하게 전달하는 것으로 해석할 수 있다. 이러한 의미를 고려해 보면, 대응에 필요한 제품 수량이 많을수록 대응의 크기는 커지며, 대응 시기가 현재 시점에 가까울수록 대응의 시급성은 증가함을 알 수 있다. 대응의 이런 특성을 고려해 보면, 총괄 계획에 의해 조율되는 공급과 대응의 대상이 되는 수요 역시 시간과 수량 범주로 분석된다. 실제로 Singhvi *et al.*(2004)는 수요와 공급을 시간 속성과 수량 속성으로 분석하고 화학 공정 공급사슬의 총괄 계획을 수립하였다.

대응을 위한 공급 유용성은 시간 속성인 공급일의 현재 시점에 대한 근접성과 수량 속성인 공급량에 의해 결정된다. 그리고 대응에 대한 수요 영향력은 시간 속성인 납기일의 현재 시점에 대한 시급성과 수량 속성인 주문량에 의해 결정된다. 구체적으로 대응의 크기 및 시급성을 고려하면, 공급 유용성은 공급일이 현재 시점에 근접하고 공급량이 많을수록 증가하며, 수요 영향력 역시 납기가 시급하고, 주문량이 많을수록 증가한다.

공급사슬 운영의 현재 시점은 총괄 계획을 단계적으로 실행함에 따라, 계획 기간의 시작 시점에서 종료 시점으로 이동해 간다. 따라서 공급사슬에 대한 공급의 유용성과 수요의 영향력은 현재 시점의 이동에 따라 그 정도가 달라진다. 결국 공급 유용성과 수요 영향력은 시간 속성, 수량 속성, 그리고 현재 시점을 정의역으로 갖는 함수 형태로 표현된다. 이러한 특성은 수요에 대한 공급사슬의 대응 능력을 측정하는 데 효과적으로 사용될 수 있다.

3. 재계획을 위한 공급사슬 척도 개발

3.1 공급사슬 운영에 대한 물리학적 분석

공급사슬이 계획기간의 시작 시점부터 종료 시점까지 운영되어 감에 따라, 공급량 PQ_t 를 제공하는 공급 s 는 공급일 ED_t 에 실행되고, 주문량 OQ_t 만큼을 요구하는 수요 d 는 납기일 DD_t 에 만족된다. 이는 공급사슬이 현재 시점과 일치하는 공급과 수요를 실행 및 대응함을 의미한다. 이러한 공급사슬 운영은 물리학적으로 분석할 수 있다. 즉, 수요, 공급, 그리고 공급사슬을 각각의 납기일, 공급일, 그리고 현재 시점을 기준으로 계획기간 위에 표기하고, 이들을 각각 하나의 객체로 간주한다면, 공급사슬 운영은 물리학의 운동 현상으로 해석될 수 있다. 자세히 말하자면, 공급사슬은 공급 실행 및 수요 만족을 위하여

각 계획 기간의 시작 시점에서 종료 시점으로 임의의 현재 시점 t 까지 이동하는 것으로 물리적으로 해석된다. 그리고 공급 s 는 공급사슬에 의해 공급량 PQ_s 가 실행될 수 있도록 공급 계획 기간의 종료 시점에서 시작 시점으로 공급일 ED_s 까지 운동한 것으로 설명된다. 그리고 수요 d 의 경우는 공급사슬에 의해 주문량 OQ_d 만큼 만족되기 위하여 수요 계획 기간의 종료 시점에서 시작 시점으로 납기일 DD_d 까지 이동하는 것으로 해석된다. 그러므로 공급사슬 운영 현상은 특정 질량을 갖는 물체들이 서로 간에 상대운동하는 것으로 표현된다. 이러한 분석은 공급사슬 운영을 시간 범주에서 거리 범주로 변환하여 해석함을 의미한다(<그림 2>).

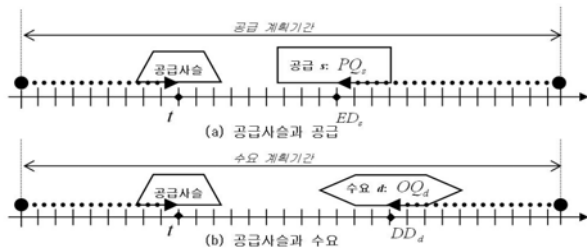


그림 2. 물리학 관점에서의 수요 d , 공급 s 그리고 공급사슬.

3.2 모멘텀의 이해 및 응용

물리학에서는 상호 운동 혹은 상호 작용하는 객체 간의 영향력을 측정할 때, 모멘텀(momentum)을 사용한다. 모멘텀은 물리학의 기초 개념이며, 교통사고 분석, 경제현황 분석, 주식시장 분석 등에 응용되고 있다. 운동하는 물체의 모멘텀 \mathbb{P} 는 물체의 질량 m 과 속도 \mathbb{V} 를 이용하여 식 (1)에 의해 계산된다.

$$\mathbb{P} = m \cdot \mathbb{V} = \Delta d / \Delta t \quad (1)$$

식 (1)에서 \mathbb{V} 는 주어진 시간(Δt)에 물체의 위치 변화(Δd)를 나타내는 벡터로서, 시간 변화에 따른 값의 변화를 측정할 수 있다. 이러한 점을 고려해 본다면, 모멘텀은 SC 운영에 있어서 수요와 공급의 시간적 가치 변화를 측정할 수 있다. 상대속도는 대상 객체에 대한 측정 객체의 상대적인 속도를 의미한다. 그러므로 속도 v_{object} 로 운동하는 객체(object)와 속도 $v_{observer}$ 로 운동하는 관찰자(observer)가 있을 경우, 관찰자에 대한 객체의 상대속도 $v_{relative}$ 는 식 (2)에 의해 결정된다.

$$v_{relative} = v_{object} - v_{observer} \quad (2)$$

이러한 상대속도의 특징 중 하나는 다른 객체의 상태를 반영하여 자신의 능력을 상대적으로 측정할 수 있다는 것이다. 그러므로 대상 객체에 대한 측정 객체의 상대속도를 이용하여 모멘텀을 계산하면, 시간 변화에 따른 능력 변화를 반영하여 대상 객체에 대한 측정 객체의 상대적인 영향력을 측정할 수

있다. 그러므로, 3.1절의 공급사슬 운영에 대한 물리적 해석을 바탕으로 수요 영향력과 공급 유용성을 모멘텀을 이용하여 측정할 수 있다.

현재 시점에 대한 수요와 공급의 상대적인 시간 가치는 상대속도를 이용하여 다음과 같이 측정된다. 계획 기간 PH 에 대한 시점 t 의 공급사슬의 상대적인 시간 기준 $RTSC(t)$ 는 식 (1)을 이용하여 식 (3)과 같이 계산된다.

$$RTSC(t) = -\left(\frac{t}{PH}\right) \quad (0 \leq t \leq PH) \quad (3)$$

식 (3)은 주어진 시간이 계획 기간 PH 이며, 이동 거리는 계획 기간의 시작 시점에서 시점 t 까지라는 가정하에 속도 개념을 적용하였다. 따라서 공급사슬의 운영 기간이 공급사슬의 이동 거리로 표현된다. 그런데 $RTSC(t)$ 가 음의 값으로 표현되는 이유는 공급사슬의 이동 방향이 수요 및 공급의 이동 방향과 정반대이기 때문이다. 이러한 점을 고려한다면, $|RTSC(t)|$ 는 계획 기간 PH 에 대한 공급사슬 운영 시간의 상대 비율임을 알 수 있다.

시점 t 의 공급사슬에 대한 수요 d 의 상대적 시급 정도 $RU_d(t)$ 와 공급 s 의 상대적 현실화 정도 $RA_s(t)$ 는 식 (2)를 근간으로 수요 d 의 시급 정도 U_d 와 공급 s 의 현실화 정도 A_s 를 이용하여, 각각 식 (4)와 (5)처럼 계산할 수 있다.

$$RU_d(t) = U_d(t) - RSTC(t) = \begin{cases} 0 & , PH < DD_d \\ \frac{PH - DD_d - t}{PH} & , t < DD_d \leq PH \\ \frac{PH - DD_d + t}{PH} & , DD_d < t \leq PH \end{cases} \quad (4)$$

$$RA_s(t) = A_s(t) - RSTC(t) = \begin{cases} 0 & , PH < ED_s \\ \frac{PH - ED_s - t}{PH} & , t < ED_s \leq PH \\ \frac{PH - ED_s + t}{PH} & , ED_s < t \leq PH \end{cases} \quad (5)$$

$RU_d(t)$ 와 $RA_s(t)$ 는 시점 t 의 공급사슬에 대한 수요 d 의 상대적인 시급 정도와 공급 s 의 상대적 현실화 정도를 각각 의미하며, 그 정도는 0부터 1 사이의 값으로 표현된다. 시급 정도 1은 납기일이 현재 시점보다 작거나 같다는 것을 의미하므로, 가용한 제품이 있으면 해당 수요를 즉시 만족시켜야 한다. 한편 시급 정도 0은 납기일이 계획 기간 이후인 수요를 의미한다. 이러한 관점에서 납기일이 현재 시점에 인접한 수요의 시급 정도는 1에 근접한 값이 될 것이며, 멀리 있는 수요의 시급 정도는 0에 근접한 값이 된다. 한편, 현실화 정도 1은 공급일이 지났거나 혹은 현재 시점인 공급을 말하며, 0은 공급일이 계획 기간 밖에 있어 해당 공급이 공급사슬에 의해 고려되지 않음을 뜻한다. 결국 공급의 공급일이 현재 시점에 가까울수록 1에 근사한 값을 갖게 되며, 그 반대의 경우는 0에 근사한 값을 갖는

다. 그러므로 $RU_d(t)$ 는 시점 t 와 납기일 DD_d 에 의해 결정되는 수요 d 의 시간 가치이며, $RA_s(t)$ 는 시점 t 와 공급일 ED_s 에 의해 결정되는 공급 s 의 시간 가치를 의미한다. 이들은 무(無)차원 단위로 측정된다.

3.1절에 의해 공급 s 의 유용성과 수요 d 의 영향력은 공급량 PQ_s 와 주문량 OQ_d 에 비례함을 알 수 있다. 이러한 관계는 공급량 PQ_s 와 주문량 OQ_d 를 질량으로 간주함으로써, 모멘텀을 이용하여 표현할 수 있다. 그러므로 본 연구에서는 모멘텀과 상대속도 개념을 이용하여 공급사슬 운영을 분석하고, 대응에 대한 수요 영향력과 공급 유용성을 측정하는 방법론을 제시하겠다. 그리고 이를 기초로 새로운 공급사슬 성능 척도를 개발하겠다.

3.3 모멘텀에 의한 공급 유용성 측정

식 (1)과 (5)를 이용하여 시점 t 의 공급사슬에 대한 공급 s 의 유용성 $SU_s(t)$ 를 식 (6)에 의해 측정할 수 있다.

$$SU_s(t) = PQ_s \cdot RA_s(t) = \begin{cases} PQ_s \cdot \left(\frac{PH - ED_s + t}{PH} \right), & ED_s > t \\ PQ_s \cdot 1, & ED_s \leq t \end{cases} \quad (6)$$

식 (6)은 대응에 대한 공급 유용성은 공급일이 현재 시점에 가까울수록 증대되며, 공급량에 비례함을 보여 준다. 그리고 $RA_s(t)$ 는 무차원 단위로 측정되며, $RQ_d(t)$ 의 단위는 ‘개(個)’이므로, 공급 s 의 유용성 $SU_s(t)$ 은 수량으로 표현된다. 따라서 이러한 $RA_s(t)$ 는 공급 행위에 대한 일종의 가중치를 결정한다. 수요 대응을 위하여 총괄 계획에서 고려되는 공급 활동은 재고, 정규작업 제조, 초과작업 제조, 그리고 하청이 있다(Chopra and Meindl, 2003).

3.3.1 대응에 대한 재고의 공급 유용성

시점 t 의 재고 수준 $II(t)$ 는 이미 실행된 공급 행위에 의해 수요에 즉시 대응할 수 있는 제품 수량을 의미한다. 따라서 $II(t)$ 의 상대적인 현실화 정도 $RAII(t)$ 는 직관적으로 1이 된다. 이러한 사실과 식 (6)에 의해 시점 t 의 공급사슬에 대한 $II(t)$ 의 공급 유용성 $UII(t)$ 는 식 (7)처럼 유도된다. 여기서 $II(t)$ 가 확정적 값이므로, $UII(t)$ 도 확정적 값이다.

$$UII(t) = II(t) \cdot RAII(t) = II(t) \cdot 1 \quad (7)$$

3.3.2 대응에 대한 정규작업 제조의 공급 유용성

공급사슬은 기간 p 에 대한 생산량 EM_p 를 기간의 종료 시점 ET_p 까지 생산한다. 따라서 EM_p 의 공급일은 ET_p 가 된다. 결국 시점 t 의 공급사슬에 대한 EM_p 의 유용성 $UEM_p(t)$ 는 시점 t 에 대한 EM_p 의 상대적인 현실화 정도 $RAEM_p(t)$ 를 이용하여,

식 (8)처럼 측정된다.

$$UEM_p(t) = EM_p \cdot RAEM_p(t) = EM_p \cdot \left(\frac{PH - ET_p + t}{PH} \right) \quad (8)$$

공급사슬은 생산 능력이 평균화되도록 작업자를 선발하므로, 공급사슬의 생산 능력은 정규분포를 따르게 된다. 따라서 EM_p 와 $UEM_p(t)$ 는 각각 식 (9)와 (10)과 같은 정규분포를 따른다. 단, $\mu_p[m]$ 와 $(\sigma_p[m])^2$ 는 기간 p 에 고용된 작업자들이 정규 작업 시간에 생산하는 제품 수량의 평균과 분산을 의미한다.

$$EM_p \sim N(\mu_p[m], (\sigma_p[m])^2) \quad (9)$$

$$UEM_p(t) \sim N(RAEM_p(t) \cdot \mu_p[m], (RAEM_p(t))^2 \cdot (\sigma_p[m])^2) \quad (10)$$

3.3.3 대응에 대한 초과작업 제조의 공급 유용성

공급사슬은 기간 p 에 대한 초과작업 생산량 OT_p 를 기간의 종료 시점 ET_p 까지 생산한다. 그러므로 OT_p 의 공급일은 ET_p 가 된다. 결국 시점 t 에 대한 OT_p 의 상대적인 현실화 정도 $RAOT_p(t)$ 를 이용하여, 시점 t 의 공급사슬에 대한 OT_p 의 유용성 UOT_p 은 식 (11)에 의해 계산된다.

$$UOT_p(t) = OT_p \cdot RAOT_p(t) = OT_p \cdot \left(\frac{PH - ET_p + t}{PH} \right) \quad (11)$$

초과작업 역시 작업자의 생산 능력에 의존하게 되므로, OT_p 와 UOT_p 는 식 (12)와 (13)처럼 정규분포를 따르게 된다. 단, $\mu_p[o]$ 와 $(\sigma_p[o])^2$ 는 기간 p 에 고용된 작업자들이 초과작업을 통하여 생산하는 제품 수량의 평균과 분산을 의미한다.

$$OT_p \sim N(\mu_p[o], (\sigma_p[o])^2) \quad (12)$$

$$UOT_p(t) \sim N(RAOT_p(t) \cdot \mu_p[o], (RAOT_p(t))^2 \cdot (\sigma_p[o])^2) \quad (13)$$

3.3.4 대응에 대한 하청의 공급 유용성

수요량이 생산 능력을 초과한 경우, 외부 업체에 하청을 요청하게 된다. 그러므로 총괄 계획에 의해 결정된 기간 p 에 대한 하청량 SQ_p 는 기간의 시작 시점 BT_p 까지 공급사슬에 전달되므로, SQ_p 의 공급일은 BT_p 가 된다. 결국 시점 t 의 공급사슬에 대한 SQ_p 의 유용성 $USQ_p(t)$ 은 시점 t 에 대한 SQ_p 의 상대적인 현실화 정도 $RASQ_p(t)$ 를 이용하여 식 (14)와 같이 계산된다. 여기서 하청 업체는 자신의 신뢰성을 유지하기 위해 납기 기간과 하청량을 반드시 지키게 되므로, $USQ_p(t)$ 는 확정적 값

으로 계산된다.

$$USQ_p(t) = SQ_p \cdot RASQ_p(t) = SQ_p \cdot \left(\frac{PH - BT_p + t}{PH} \right) \quad (14)$$

3.4 모멘텀에 의한 수요 영향력 측정

식 (1)과 (4)를 이용하여 시점 t 의 공급사슬에 대한 수요 d 의 영향력 $DL_d(t)$ 를 식 (15)에 의해 측정할 수 있다.

$$DL_d(t) = OQ_d \cdot RU_d(t) \quad (15)$$

$$= \begin{cases} OQ_d \cdot \left(\frac{PH - DD_d + t}{PH} \right) & , DD_d > t \\ OQ_d \cdot 1 & , DD_d \leq t \end{cases}$$

식 (15)는 대응에 대한 수요 영향력은 납기일이 현재 시점에 가까울수록 증대되며, 주문량에 비례함을 보여준다. 그리고 $RU_d(t)$ 는 무차원으로 측정되며 OQ_d 의 단위는 '개(個)'이므로, 수요 d 의 영향력 $DL_d(t)$ 은 수량으로 표현된다. 따라서 이러한 $RU_d(t)$ 는 수요에 대한 일종의 가중치를 결정하게 된다. 총괄 계획이 고려하는 수요의 종류는 주문잔고(backlog)와 예측 수요 (forecasted demand)가 있다.

3.4.1 대응에 대한 주문잔고의 영향력

주문잔고는 고객으로부터 주문은 받았으나, 고객에게 제품을 전달하지 않은 주문을 의미한다(Cox and Blackstone, 1998). 주문잔고 b 의 시점 t 의 공급사슬에 대한 영향력 $IBL_b(t)$ 는 주문잔고 b 의 t 시점에 대한 상대적인 시급 정도 $RUBL_b(t)$ 를 이용하여 식 (16)에 의해 측정된다. 여기서 주문잔고 b 의 주문량 $OQBL_b(t)$ 와 납기일 $DDBL_b(t)$ 은 고객에 의해 결정되므로, $IBL_b(t)$ 은 확정적 값으로 계산된다.

$$IBL_b(t) = OQBL_b \cdot RUBL_b(t) \quad (16)$$

$$= \begin{cases} OQBL_b \cdot \left(\frac{PH - DDBL_b + t}{PH} \right) & , DDBL_b > t \\ OQBL_b \cdot 1 & , DDBL_b \leq t \end{cases}$$

3.4.2 대응에 대한 예측수요의 영향력

공급사슬은 각 기간 p 의 종료 시점 ET_p 까지 발생하게 될 예측 수요 FD_p 를 예측하고, 이러한 수요에 대응하기 위한 총괄 계획을 수립한다. 따라서 FD_p 의 시점 t 의 공급사슬에 대한 영향력 $IFD_p(t)$ 는 시점 t 에 대한 FD_p 의 상대적인 시급 정도 $RUFDP(t)$ 를 이용하여 식 (17)과 같이 계산된다.

$$IFD_p(t) = FD_p \cdot RUFDP_p(t) = FD_p \cdot \left(\frac{PH - ET_p + t}{PH} \right) \quad (17)$$

그런데 특정 기간 동안 발생하는 수요는 일반적으로 정규분포 형태로 예측되므로, FD_p 와 $IFD_p(t)$ 는 식 (18)과 (19) 같은

정규분포 형태로 주어진다. 여기서 $\mu_p[d]$ 와 $(\sigma_p[d])^2$ 는 기간 p 동안 발생하는 예측수요에 대한 평균과 분산을 의미한다.

$$FD_p \sim N(\mu_p[d], (\sigma_p[d])^2) \quad (18)$$

$$IFD_p(t) \sim N(RUFDP_p(t) \cdot \mu_p[d], (RUFDP_p(t))^2 \cdot (\sigma_p[d])^2) \quad (19)$$

3.5 균형점

수요 영향력과 공급 유용성은 대응 관계를 통하여 서로 상호 작용을 한다. 그러므로 시점 t 의 공급사슬 운영에 영향을 주는 수요 영향력과 공급 유용성의 대응 관계를 이용하여 공급사슬의 성능을 측정할 수 있다. 3.3절에 언급된 각각의 유용성은 공급사슬에 대한 제품 공급이라는 동일한 특성을 가지고 있다. 그러므로 이들 유용성의 합은 서로의 크기를 증대시키게 된다. 이러한 성질은 같은 방향을 갖는 벡터의 합과 유사하다. 따라서 시점 t 의 공급사슬에 대한 총 공급 유용성 $TSU(t)$ 는 식 (20)의 확률분포로 표현된다. 여기서 각 유용성은 서로 독립이며, np_t 는 t 시점 이후의 첫 번째 기간을 의미한다.

$$TSU(t) = UIL(t) + \sum_{p=np_t}^{all\ p} (UEM_p(t) + USQ_p(t) + UOT_p(t)) \quad (20)$$

where, $TSU(t) \sim N(a, b)$

$$a = UIL(t) + \sum_{p=np_t}^p (REAM_p(t) \cdot \mu_p[m])$$

$$b = \sum_{p=np_t}^p (RUEM_p(t))^2 \cdot (\sigma_p[m])^2 \cdot (RUOT_p(t))^2 \cdot (\sigma_p[o])^2$$

대응과 관련된 또 다른 요소는 수요 영향력이다. 3.4절에 언급된 각각의 수요 영향력은 공급사슬에 제품을 요구하는 동일한 특성을 가지므로, 이들의 합은 동일한 방향의 벡터 합과 동일하게 연산되어, 그 크기가 증가한다. 그러므로 시점 t 의 공급사슬에 대한 총 수요 영향력 $TDI(t)$ 는 식 (21)과 같은 확률분포 형태로 측정된다. 여기서, 각 영향력은 서로에 대하여 독립이다.

$$TDI(t) = \sum_{b=1}^{all\ b} IBL_b(t) + \sum_{p=np_t}^{all\ p} IFD_p(t) \quad (21)$$

where, $TDI(t) \sim N(c, d)$

$$c = \sum_{b=1}^{all\ b} IBL_b(t) + \sum_{p=np_t}^{all\ p} RUFDP_p(t) \cdot \mu_p[d],$$

$$d = \sum_{p=np_t}^{all\ p} (RUFDP_p(t))^2 \cdot (\sigma_p[d])^2$$

수요는 공급사슬의 공급 활동에 의해 대응된다. 이러한 대응은 수요와 공급 간의 상호작용에 의한 상쇄현상(offset)으로 설명되며, 방향성이 정반대인 두 벡터를 합산하는 경우와 유사

하다. 방향성이 다른 두 벡터의 합은 서로의 크기를 감소시키며 합산 이후의 방향성은 절대 크기가 큰 벡터의 방향을 따르게 된다. 이러한 연산 논리는 대응 결과에 따른 공급사슬 상태를 설명하는 데에 적용할 수 있다. 즉, 공급 유용성의 절대 크기가 큰 경우에는 대응 후 공급사슬은 공급 지배 상태가 될 것이며, 반대로 수요 영향력이 큰 경우에는 대응 후 수요 지배 상태가 된다. 그리고 공급 유용성과 수요 영향력의 크기가 동일한 경우는 공급사슬이 균형 상태가 된다. 이러한 관계를 이용하여 시점 t 의 공급사슬에 영향을 주는 총 공급 유용성 및 총 수요 영향력의 합을 균형점(Balancing Point) $BP(t)$ 로 정의하고 이를 새로운 공급사슬 척도로 제시하고자 한다. 공급 유용성의 방향이 양(+의 방향)이고 수요 영향력이 이에 반대되는 음(-의 방향)이라는 가정하에 $BP(t)$ 는 식 (22)에 의해 계산된다. 여기서 $BP(t)$ 는 독립인 각 유용성과 영향력의 합으로 계산되므로, 측정 단위는 ‘개(個)’가 된다.

$$BP(t) = TSU(t) + (-TDI(t)) = TSU(t) - TDI(t) \tag{22}$$

$$= UIL(t) + \sum_{p=1}^p (UEM_p(t) + USQ_p(t) + UOT_p(t)) - \sum_{b=1}^b IBL_b(t) - \sum_{p=1}^p IFD_p(t)$$

where, $BP(t) \sim N(e, f)$

$$e = UIL(t) + \sum_{p=1}^p (RAEM_p(t) \cdot \mu_p[m] + RAOT_p(t) \cdot \mu_p[o] + USQ_p(t) - RUFD_p(t) \cdot \mu_p[d]) - \sum_{b=1}^b IBL_b(t)$$

$$f = \sum_{p=1}^p \{ (RAEM_p(t))^2 \cdot (\sigma_p[m])^2 + (RAOT_p(t))^2 \cdot (\sigma_p[o])^2 + (RUFD_p(t))^2 \cdot (\sigma_p[d])^2 \}$$

$BP(t)$ 에 의해 공급사슬의 상태는 다음과 같이 해석된다. 공급 유용성이 양의 방향이므로, 수요 영향력의 크기가 공급 유용성보다 큰 경우 $BP(t)$ 는 음의 영역에 존재하게 되며, 공급사슬은 수요 지배 상태가 된다. 반대인 경우에는 공급 유용성이 더 크기 때문에, $BP(t)$ 는 양의 영역에 존재하며 공급사슬은 공급 지배 상태가 된다. 그리고 수요 영향력과 공급 유용성의 크기가 같은 경우에는, $BP(t)$ 는 0의 영역에 존재하게 되며, 공급사슬은 균형 상태가 된다.

본 연구에서 제시되는 균형점은 다음의 특징이 있다. 첫째, 공급사슬 운영의 기본 방침인 고객 수요 대응을 위한 균형 있는 제품 공급의 여부를 판단할 수 있다. 본 연구에서 제시된 균형점은 수요에 대한 공급사슬의 대응 관계를 기초로 개발되었기 때문에, 수요 대응에 대한 공급사슬 성능을 측정할 수 있고, 대응과 관련된 공급사슬 운영을 분석할 수 있다. 둘째, 균형점을 통하여 공급사슬 성능을 예측할 수 있다. 균형점은 물리학의 모멘텀 개념을 이용하여, 대응에 대한 계획중인 공급 활동의 유용성과 예측 수요의 영향력을 현재 시점의 가치로 환산하게 된다. 균형점의 이런 특성은 경제성 공학의 현재 등가법(present worth method)과 유사하다(Sullivan *et al.*, 2000). 결국 이러

한 균형점을 통하여 대응과 관련된 공급사슬 성능을 예측할 수 있어, 공급사슬 활동에 대한 적극적인 의사결정을 수행할 수 있다.

4. 균형점을 활용한 재계획 방법

본 연구에서 제시한 균형점은 3.5절에 기술된 특징들로 인해, 1장에서 언급된 기존 척도가 재계획 결정에 대하여 갖는 문제점을 해결할 수 있다. 이를 활용하여 <그림 3>과 같은 재계획 결정 방법을 제시한다.

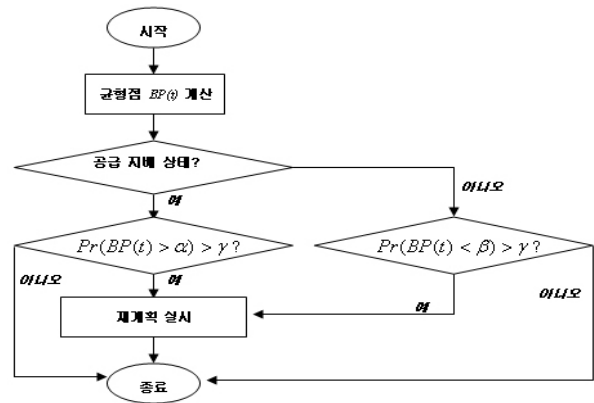


그림 3. 균형점을 이용한 공급사슬 재계획 결정 알고리즘.

<그림 3>에서 α, β 는 공급사슬 효율성과 반응성에 대한 허용 기준을 나타내며, 제품 수량으로 표현된다. 즉, α 는 공급사슬 효율성에 대해 허용할 수 있는 재고 수준이며, β 는 공급사슬 반응성에 대해 인정할 수 있는 제품 부족량이다. 여기서 β 는 음의 값으로 주어진다. ν 는 재계획 실시에 대한 임계수치를 의미한다. 즉, 허용 수준 이상으로 불일치 현상이 발생할 확률이 임계수치보다 높을 경우 공급사슬 재계획을 실시한다.

<그림 3>의 방법은 운영중인 공급사슬에 대한 균형점을 측정하여, 공급사슬 상태를 판단한다. 공급 지배상태인 경우에는 균형점이 α 보다 클 확률을 계산한 후, 이 확률이 ν 보다 큰 경우 재계획을 실시한다. 수요 지배 상태인 경우에는 다음의 값이므로 균형점이 β 보다 작을 확률을 계산하고, 이 확률이 ν 보다 큰 경우 재계획을 실시한다. α, β, ν 에 대한 값은 공급사슬 운영자의 전략적 의사결정에 의해 결정된다.

5. 기존 재계획 방법과의 비교 실험

5.1 실험에 대한 가정

제안한 재계획 방법의 효과 검증을 위하여, 기존 재계획 방법인 주기적 방법 및 순재고(net inventory) 방법에 대하여 비교

실험을 하였다. 공급사슬의 총괄 계획 모형은 Chopra and Meindl (2003)이 제시한 선형 모형을 사용하였고, 기본 기간은 1개월, 계획 기간은 24개월로 설정하였다(부록 1). 총괄 계획 모형의 최적해는 GAMS를 이용했으며, 이를 ARENA를 이용한 공급사슬 시뮬레이션 모형의 운영대안으로 표현하였다.

본 실험에서는 공급사슬이 총괄 계획 수립 시에 고려한 예측 수요 정보와 시뮬레이션 모형에 적용된 실제 수요 정보를 다르게 설정함으로써, 임의적으로 공급사슬 운영에 대한 수요 변동을 주었다(부록 2). 결국 실제 운영 환경에 적용된 수요와 총괄 계획에 의해 고려된 수요가 다르므로, 수요에 대한 공급 불일치 현상이 발생하게 된다.

재계획 결정에 있어 다음 가정이 존재한다. 첫째, 수요 형태가 달라지는 시점은 알 수 없으며, 매 기간마다 수요 정보를 수집할 수 있다. 하지만, 매 기간 수집되는 수요 정보의 정확성은 완벽하지 않으며 제한적이다. 본 실험에서는 측정 시점으로부터 6개월까지의 수요 정보는 정확하다고 가정한다. 따라서 매 측정 시점마다 측정 시점에서 6개월까지의 수요 정보가 부록 2의 실제 수요 정보와 같이 갱신된다. 둘째, 재계획에 의한 새로운 운영대안은 공급사슬에 즉시 적용된다. 이는 갱신된 수요 정보를 고려한 총괄 계획 모형의 최적해를 산출하는 시간이 공급사슬 운영에 영향을 주지 않음을 의미한다. 셋째, 재계획에 의한 공급사슬 운영 비용은 주문잔고 비용(\$5)과 재고 유지 비용(\$2)으로 한정한다. 이러한 가정하에 각 방법에 대한 타당한 분석을 위해, 시뮬레이션 모형에 의한 수치 자료는 안정 상태 이후의 것을 활용하였고, 30회의 반복 실험을 실시하였다.

5.2 주기적 방법과의 비교

30일 주기, 360일 주기, 720일 주기의 재계획 방법과 본 논문에서 제안한 재계획 방법을 비교하였다. 720일 주기는 계획기간 동안 재계획을 실시하지 않음을 의미한다. 제안하는 재계획 방법에 대해서 $\alpha=1000, \beta=-1000, \gamma=0.25$ 로 설정하였다. 30회의 실험 중 한 실험에 대한 균형점의 평균은 <그림 4>와 같

다. 각 방법에 대한 균형점의 정보는 <부록 3>에 제시하였다. 제안한 방법은 60일, 90일, 210일, 360일, 450일, 그리고 480일에 재계획을 실시하였다.

30회 실험에 대한 공급사슬 운영비용에 대한 총 비용의 최대값, 최소값, 그리고 평균값은 <표 1>와 같이 측정된다. <표 1>에 의하면, 매 기간마다 재계획을 하는 30일 주기 재계획 방법이 가장 적은 비용을 발생했다. 그런데 제안한 방법($\alpha=1000, \beta=-1000, \gamma=0.25$)과 30일 주기 재계획 방법은 비슷한 결과를 제시하고 있음을 알 수 있다. 하지만 제안한 알고리즘의 경우 약 5.7회의 재계획만을 실시하였다(부록 4). 그러므로 제안한 방법이 총 24회의 재계획을 실시하는 30일 주기 재계획 방법보다 적은 횟수의 재계획으로 대등한 효과를 나타내고 있음을 알 수 있다.

표 1. 주기적인 재계획 방법 및 제안한 방법에 대한 비용 분석

	최대값	최소값	평균값
제안한 알고리즘 ($\alpha=1000, \beta=-1000, \gamma=0.25$)	\$278,568	\$270,485	\$274,766
30일 주기	\$274,909	\$269,447	\$273,072
360일 주기	\$319,727	\$315,910	\$317,428
720일 주기(재계획하지 않음)	\$445,998	\$444,067	\$444,866

5.3 순재고 방법과의 비교

순재고 방법은 현재 시점의 재고 수준과 주문잔고의 차이를 의미하는 순재고가 전략적 판단에 의해 결정된 일정 범위를 벗어날 경우 재계획을 하는 방법이다. 결국 순재고 방법과 제안한 방법은 공급사슬 상태가 임의의 조건을 위배하는 경우 재계획을 조건적으로 실시한다. 이러한 방법은 동일한 수요 변동에 대하여 동일한 조건이 주어질 경우, 수요 변동을 신속하게 파악하여 재계획을 실시할 수 있는가에 그 효과가 결정된다. 본 실험의 순재고 방법은 순재고가 2000개 이상이거나

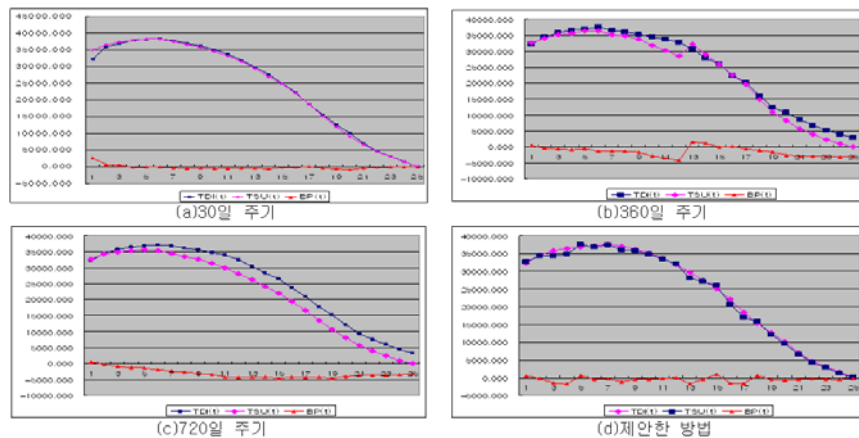


그림 4. 주기적인 재계획 방법과 제안한 방법의 TDI(t), TSU(t), BP(t)의 평균.

-1500개 이하일 경우 재계획을 실시한다. 이에 대한 비교를 위하여, 제안하는 방법의 모수를 $\alpha=2000, \beta=-1500, \gamma=0.75$ 로 설정하여 실험을 실시하였다.

순재고 방법에 대한 30회의 실험 중 한 실험에 대한 재고 수준, 주문잔고, 그리고 순재고는 <표 2>와 같이 측정되었다. 표 2에서 음영 부분으로 표기된 네 시점에서 재계획이 실시되었으며, 30회 실험에 대한 재계획 시점은 <부록 5>에 제시하였다.

본 연구에서 제안한 방법($\alpha=2000, \beta=-1500, \gamma=0.75$)에 대한 30회의 반복 실험 중 한 실험에 대한 균형점은 <표 3>과 같이 측정된다. <표 3>에서 음영으로 나타난 두 시점에서 재계획이 실시되었으며, 30회 실험에 대한 재계획 시점은 <부록 5>에 제시하였다.

순재고 방법과 제안한 방법에 대한 균형점 <그림 5>와 같다. <그림 5>에 의하면 제안한 방법($\alpha=2000, \beta=-1500, \gamma=0.75$)이 순재고 방법보다 변동하는 수요에 대해 효과적으로 대응하고 있다. 그리고 <표 2>와 <표 3>을 비교해 보면, 같은 모수 값을 갖는 경우 제안한 방법($\alpha=2000, \beta=-1500, \gamma=0.75$)이 수요 변동에 민감하게 반응하여 재계획을 먼저 실시하고 있음을 알 수 있다. 이러한 사실은 30회 실험에 대한 첫 번째 재계획 실시 시점을 비교해 보면 확실히 알 수 있다. 제안한 방법($\alpha=2000, \beta=-1500, \gamma=0.75$)의 경우 평균 약 140일(약 4.7 기간)에, 순재고 방법의 경우 평균 약 250일(약 8.3 기간)이었다. 결국 제안하는 알고리즘이 기존의 재계획 시점 결정 방법 중 하나인 순재고 방법과 비교하여, 수요 변동에 민감하게 반응함을 알 수 있다.

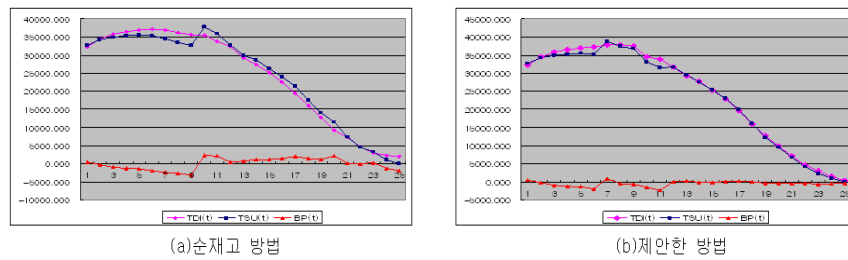


그림 5. 순재고 재계획 방법과 제안한 방법의 $TDI(t), TSU(t), BP(t)$ 의 평균.

표 2. 순재고 재계획 방법에 의한 재고 수준, 주문잔고 및 순재고

t	A	B	C	t	A	B	C	t	A	B	C
30	1599	432	1167	270	4739	2651	2088	510	3221	2925	296
60	1289	907	382	300	4686	2232	2454	540	3125	2005	1120
90	811	779	32	330	4747	2750	1997	570	3385	1195	2190
120	342	1088	-746	360	3561	1735	1826	600	1691	1701	-10
150	511	1673	-1162	390	3958	2108	1850	630	655	527	128
180	377	1869	-1492	420	3590	2301	1289	660	934	446	488
210	129	1606	-1477	450	3313	2832	481	690	29	1119	-1090
240	173	2037	-1864	480	3582	3102	480	720	29	2001	-1972

A: 재고 수준 B: 주문잔고 C: 순재고

표 3. 제안한 알고리즘($\alpha=1000, \beta=-1000, \gamma=0.25$)에 대한 $BP(t)$ 의 평균과 분산

t	평균	분산	t	평균	분산	t	평균	분산
0	492.042	4310.625	240	-648.136	5230.243	480	293.867	3096.554
30	-196.805	4608.116	270	-1474.978	5136.068	510	139.817	2626.441
60	-920.292	4802.031	300	-2259.514	4947.422	540	-316.383	2145.755
90	-1183.244	5022.023	330	106.556	4912.622	570	-367.361	1709.427
120	-1370.169	5224.097	360	237.561	4654.123	600	-529.972	1282.969
150	-1892.944	5242.335	390	-113.239	4375.139	630	-390.273	943.819
180	919.470	5333.316	420	-92.784	3974.766	660	-627.278	625.990
210	-520.644	5319.557	450	167.367	3536.892	690	-397.023	252.561
						720	-300.317	

순재고 방법이 재계획 횟수가 많은 이유는 다음과 같이 분석된다. 초기 수요 변동에 의해 누적된 주문잔고와 이 시점에서 발생하는 수요 변동에 의해 허용 수준 이상의 주문잔고가 발생하여 일차적으로 재계획이 실시된다. 그리고 이러한 주문잔고에 대응하기 위한 과도한 공급 활동이 허용 수준 이상의 재고를 발생시켜 또 다른 재계획을 실시한 것으로 판단된다. 결국 수요 변동에 대한 대응이 늦어지는 만큼, 주문잔고가 쌓이며, 이러한 과도한 주문잔고 처리를 위해 허용 수준 이상의 불필요한 재고가 발생하는 악순환이 나타난 것이다. 이와 같은 비슷한 현상은 30회의 실험에서도 유사하게 나타났다.

30회 반복 실험에 대한 공급사슬 운영 비용의 최대값, 최소값, 그리고 평균값은 <표 4>와 같이 측정된다. <표 4>를 통하여, 제안한 알고리즘이 비용적인 측면에서도 효과적임을 알 수 있다. 이는 제안한 방법이 수요 변동에 민감하게 반응하여 재계획을 먼저 실시함으로써, 수요 변동으로 인한 주문잔고를 감소시켰기 때문이다.

6. 결론

본 연구에서는 공급사슬 재계획 결정을 위한 성능 척도로 균형

점을 개발하였고, 이를 위한 구체적인 방법론을 제시하였다. 균형점은 수요에 대한 공급사슬의 대응 관계에 기초하고 있으며, 대응에 대한 수요 영향력과 공급 유용성을 물리학의 모델링을 이용하여 측정하였다. 이러한 균형점은 공급사슬 경영의 기본 목표인 수요에 대한 균형 잡힌 제품 공급의 여부를 파악할 수 있다.

또한, 예측 수요와 계획된 공급 활동을 고려함으로써, 공급사슬 성능을 예측할 수 있는 특성도 가지고 있다. 본 연구에서 제안한 재계획 방법은 기존의 주기적 재계획 방법과 비교할 경우, 적은 재계획 횟수로 비슷한 효과를 얻을 수 있었다. 그리고 순재고 재계획 방법과 비교했을 경우, 수요 변동에 보다 민감하게 반응하여 재계획을 먼저 실시하였다. 이러한 점을 고려해 본다면, 본 연구에서 제안된 방법이 공급사슬 재계획 결정에 효과적임을 알 수 있다.

향후 연구 방향으로 시뮬레이션 최적화 방안을 이용하여 균형점 상태 최적화 연구를 고려해 볼 수 있다. 균형점은 공급사슬 성능을 확률분포 형태로 표현한다. 그러므로 균형점이 공급사슬 상태 중 최적화 상태인 균형 상태에 이를 수 있는 방안을 시뮬레이션 최적화 방법으로 모색하는 연구를 고려해 볼 수 있다.

부 록

부록 1: 총괄 계획에 대한 선형 모델

변수	정의	비용
W_t	t일의 작업자의 수	\$640/작업자/개월
H_t	t월 초에 고용되는 작업자의 수	\$300/작업자
L_t	t월 초에 해고되는 작업자의 수	\$500/작업자
P_t	t월에 생산되는 제품의 수	\$10/개
I_t	t월 말의 재고	\$2/개/월
S_t	t월 말의 주문 품질 수	\$5/개/월
C_t	t월 하청 계약되는 제품 수	\$30/개
O_t	t월에 작업된 초과 근무 시간	\$6/시간

$$MIN \sum_{t=1}^{24} 640W_t + \sum_{t=1}^{24} 300H_t + \sum_{t=1}^{24} 500L_t + \sum_{t=1}^{24} 6Q_t + \sum_{t=1}^{24} 2I_t + \sum_{t=1}^{24} 5S_t + \sum_{t=1}^{24} 10P_t + \sum_{t=1}^{24} 30C_t$$

subject to

$$W_t = W_{t-1} + H_t - L_t, W_0 = 80$$

$$P_t \leq 40W_t + O_t/A$$

$$I_{t-1} + P_t + C_t = D_t + S_{t-1} + I_t - S_t$$

$$Q_t \leq 10W_t, I_t \geq 100, S_t = 0$$

$$W_t, H_t, L_t, P_t, I_t, S_t, C_t, O_t \geq 0$$

부록 2: 실제수요 및 예측수요에 대한 정보

기간	실제수요		예측수요		기간	실제수요		예측수요		기간	실제수요		예측수요	
	평균	분산	평균	분산		평균	분산	평균	분산		평균	분산	평균	분산
1	1620	180	1600	150	9	3150	270	2900	270	17	4050	360	4000	390
2	1950	240	1800	180	10	3600	330	3400	330	18	3150	300	3500	300
3	2100	210	2000	210	11	3750	300	3500	330	19	3150	270	3000	300
4	2550	240	2400	240	12	3510	300	3200	300	20	3000	240	2800	300
5	3000	270	2900	270	13	3810	330	3500	330	21	1800	210	2000	300
6	3150	300	3000	300	14	3900	360	3600	360	22	1740	180	1800	180
7	2940	270	2800	270	15	4050	330	3600	360	23	1560	240	1500	150
8	3300	330	3200	300	16	4350	330	3800	360	24	1200	150	1000	150

부록 3: 주기적 재계획 방법과 제안한 방법의 균형점의 평균과 분산

t	30일 주기		360일 주기		720일 주기		제안한 방법	
	평균	분산	평균	분산	평균	분산	평균	분산
0	410.417	4495.538	492.042	4310.625	492.042	4310.625	492.042	4310.625
30	690.500	4816.285	-435.727	4608.116	-196.805	4608.116	-196.805	4608.116
60	527.083	4938.229	-599.381	4802.031	-920.292	4802.031	-1451.292	4802.031
90	-155.083	5096.042	-868.128	5022.023	-1183.244	5022.023	-1669.244	5022.023
120	-56.750	5230.399	-563.352	5224.097	-1370.169	5224.097	670.536	5224.097
150	-30.167	5336.979	-1341.077	5242.335	-1892.944	5242.335	-376.944	5242.335
180	-230.583	5411.354	-1295.370	5227.075	-2336.325	5227.075	-289.110	5411.354
210	-517.750	5438.993	-1314.800	5227.656	-2686.145	5227.656	-1010.673	5438.993
240	-339.750	5379.410	-1635.797	5154.288	-3031.991	5154.288	-375.251	5379.410
270	-603.583	5329.002	-2730.522	5102.752	-3411.011	5102.752	-368.256	5329.002
300	-528.500	5177.839	-3457.553	4920.651	-4123.081	4920.651	-189.748	5177.839
330	-345.417	4961.736	-4239.723	4731.285	-4296.339	4731.285	125.152	4961.736
360	-400.750	4702.561	1654.106	4494.679	-4168.936	4494.679	-1622.173	4494.679
390	-726.500	4452.587	1160.400	4240.122	-4146.233	4240.122	-384.574	4240.122
420	-188.167	4094.089	49.417	3866.849	-4565.864	3866.849	932.382	3866.849
450	-203.917	3689.236	181.922	3458.889	-4226.481	3458.889	-1375.756	3458.889
480	93.000	3235.148	-605.728	3051.415	-4362.111	3051.415	-1506.430	3051.415
510	-408.417	2698.941	-1053.267	2617.257	-4221.211	2617.257	598.327	2617.257
540	-720.750	2270.182	-1482.172	2145.755	-4605.017	2145.755	-492.980	2145.755
570	-973.500	1794.922	-2539.394	1709.427	-4062.206	1709.427	-626.765	1709.427
600	-402.667	1290.747	-2765.983	1282.969	-3636.150	1282.969	-392.589	1282.969
630	-178.833	886.944	-2837.211	943.819	-3558.195	943.819	-345.397	943.819
660	-60.000	568.932	-2959.767	625.990	-3583.417	625.990	-361.418	625.990
690	-73.000	275.521	-2994.567	252.561	-3519.734	252.561	-488.898	252.561
720	-27.000		-2908.000		-3258.000		-143.125	

부록 4: 제안한 알고리즘($\alpha=1000$, $\beta=-1000$, $\nu=0.25$)의 재계획 시점

횟수	시점	횟수	시점	횟수	시점
1	2,3,6,12,14,15	11	2,3,6,15,17	21	3,4,5,11,16,17
2	2,3,4,11,15,16	12	2,3,7,15,17	22	2,3,6,12,15,16
3	3,4,5,11,16,17	13	2,3,6,12,15,16	23	2,3,7,12,15,16
4	2,3,4,12,15,16	14	3,4,5,11,16,17	24	3,4,5,11,16
5	3,4,7,11,15,16	15	2,3,7,11,17,18	25	3,6,7,15,16
6	2,3,7,12,16,17	16	3,4,5,12,16	26	3,5,6,12,16
7	2,3,5,15,16	17	2,3,7,11,15,16	27	2,3,5,11,15,16
8	2,3,6,16,17	18	2,3,4,12,15,16	28	3,4,5,11,15,16
9	2,3,11,15,16	19	2,3,7,12,15,16	29	2,3,7,11,15,16
10	3,4,5,12,16	20	2,3,7,12,15,17	30	3,4,5,11,15,16

부록 5: 제안한 알고리즘($\alpha=1000, \beta=-1000, \gamma=0.25$)과 순재고 방법의 재계획 시점

순재고 재계획 방법						제안한 알고리즘($\alpha=1000, \beta=-1000, \gamma=0.25$)					
횟수	시점	횟수	시점	횟수	시점	횟수	시점	횟수	시점	횟수	시점
1	8,9,10,18	11	8,9,10,19	21	9,10,11,18	1	5,10	11	5,11	21	5,9
2	7,8,17	12	9,10,11,18	22	8,9,10,19	2	4,9	12	5,10	22	5,10
3	8,9,10,19	13	9,11,12,17	23	9,10,11,18	3	5,10	13	4,9	23	5,10
4	9,10,11,18	14	8,9,10,18	24	8,9,10,	4	5,9	14	4,10	24	4,9
5	8,9,10,17	15	9,10,11	25	9,10,11,19	5	6,7,10	15	5,9	25	6,7,8
6	8,9,10,18	16	7,8,9	26	8,9,10,18	6	4,10	16	4,10	26	5,10
7	9,10,12,17	17	9,10,11,17	27	9,10,11,18	7	4,9	17	6,9	27	4,9
8	8,9,10	18	8,9,11,17	28	8,9,10,18	8	4,9	18	4,10	28	4,10
9	8,9,10,18	19	9,10,19	29	9,10,11,19	9	5,9	19	4,11	29	4,11
10	8,9,10,18	20	8,9,10,18	30	8,9,10,17	10	5,10	20	5,10	30	5,11

참고문헌

Chopra, S., and Meindl, P. (2003), *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*, 2nd Ed., Prentice Hall, NJ.

Cox, J. F. III and Blackstone, J. H. Jr. (1998), *APICS Dictionary*, 9th Ed., GA.

Fisher, M. L. (1997), What is the right supply chain for your product? *Harvard Business Review*, Mar.-Apr., 83-93.

Fisher, M. L., Hammond, J. H., Obermeyer, W. R., and Ramen, A. (1994), Making Supply Meet Demand in an Uncertain World, *Harvard Business Review*, May-Jun., 83-93.

Giancoli, D. C. (2000), *Physics for scientists & engineers with modern physics*, 3rd Ed., Prentice Hall, NJ.

Holmberg, S. (2000), A systems perspective on supply chain measurements, *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 30(10), 847-868.

Landeghem, H. V., and Vanmaele, H. (2002), Robust planning: a new paradigm for demand chain planning, *Journal of Operations Management*, 20, 769-783.

Lapide, L. (1998), What about measuring supply chain performance? *Whitepaper, AMR Research*, MA.

Melnik, S. A., Stewart, D. M. and Swink, M. (2004), Metrics and performance measurement in operations management: dealing with the metrics maze, *Journal of Operations Management*, 22, 209-217.

Singhvi, Madhavan, A., K. P., and Shenoy, U. V. (2004), Pinch analysis for aggregate production planning in supply chains, *Computers and Chemical Engineering*, 28, 993-999.



조민관

한양대학교 산업공학과 학사
 한양대학교 산업공학과 석사
 현재: 한양대학교 산업공학과 박사과정
 관심분야: SCM, Simulation Modeling, System Design & Analysis



이영해

고려대학교 산업공학과 학사
 Univ. of Illinois 산업공학 석사
 Univ. of Illinois 산업공학 박사
 현재: 한양대학교 산업공학과 교수, 한국SCM 학회 회장
 관심분야: SCM, Simulation Output Analysis, Logistics, e-Business