

2계층 분배체계에서의 부재고 정책에 관한 연구

A Study on the Backorder Policies for Two-Echelon Distribution System

손 권 익* 이 정 민**
 Sohn, Kwon-Ik Yi, Jung-Min

Abstract

Distribution System is considered as the most important part of SCM when the satisfaction of customer demand is considered. This paper focus on the backorder policies for stockout which is occurred in each regional distribution center of two-echelon distribution system facing stochastic demand process.

Four concepts for the efficient system operation are suggested. First, at least 30% reduction of stockout is achieved by introduction of 50/25 allocation policy to distribution system. Second, transportation cost and lead-time of backorder are decreased by allowance of internal supply between regional distribution centers. Third, the frequency of emergency supply is minimized by application of Ship-up-to- expected-demand backorder policies. Finally we suggest several effective rules to select multi-internal suppliers. Simulation tests show the efficiency of our backorder policies and enhancement of customer service level.

키워드: 2계층 분배체계, 부재고 정책, 50/25 할당정책

Keywords: Two-Echelon Distribution System, Backorder Policy, 50/25 Allocation Policy

1. 서론

SCM(Supply Chain Management)은 '공급자에서 고객까지의 공급사슬 상에서의 정보, 물자, 현금의 흐름에 대해 총체적 관점에서 체인간의 인터페이스를 통합하고 관리함으로써 효율성을 극대화하는 전략적 기법'이다. 공급자, 자사, 고객을 모두 통합하여 하나의 파이프라인(Pipeline)으로 연결하고자 하는 것이다. 구체적으로 이제까지 부문마다의 최적화, 기업마다의 최적화에 머물렀던 정보, 물류, 현금에 관련된 업무의 흐름을 공급사슬 전체의 관점에서 재검토하여 정보의 공유화와 업무프로세스의 근본적인 변혁을 꾀하여 공급사슬 전체의 자금흐름(Cash Flow)의 효율을 향상시키려는 경영이념인 것이다.[9]

근래 SCM에 대한 관심이 고조되어 학계 및 기업에서도 많은 논의가 되고 있으며, 특히 SCM의 개념을 기존의 물류분배체계에 접목시키려는 시도가 많이 이루어지고 있다. 일반적인 물류분배체계는 그림 1과 같은 구조를 갖는다.

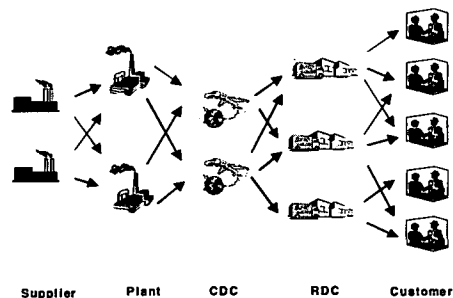


그림 1. 공급사슬의 구조

* 강원대학교 산업공학과 교수, 공학박사
 ** 강원대학교 산업공학과 석사과정

본 연구에서는 공장에서 생산한 전 제품이 공급을 위해 집적되는 중앙분배센터(Central Distribution Center: CDC)와 중앙분배센터에서 공급을 받는 지역분배센터(Regional Distribution Center: RDC), 그리고 각 RDC에서 물품을 구매하는 고객으로 구성된 2계층분배체계(Two-Echelon Distribution System)를 연구대상으로 한다.

이러한 구조에서 분배체계상의 지역분배센터가 처할 수 있는 상황은 재고를 초과하는 수요의 변동, 수요대응에 불충분한 재고, 부정확한 수요예측 및 보관제품의 열화 등의 여러 요인으로 인해 부품, 완제품 및 예비품에서 부족이 발생하게 되는데 이는 자연스러운 일로서 부재고(Backorder) 혹은 판매유실(Lost Sale)로서 처리한다.

기존의 연구를 살펴보면, 이러한 재고부족의 충족을 위해 중앙분배센터에서 지역분배센터로의 재분배를 통해 해결하려고 하였다. 그러나 SCM의 관점에서 각 분배센터의 관계를 고찰하면, 분배사슬내에 있는 중앙분배센터와 지역분배센터 모두를 긴밀한 관계에 놓고 통합적으로 관리 할 수 있다. 즉 중앙분배센터에서 지역분배센터로의 재분배뿐만 아니라 지역분배센터간의 재분배 역시 전체 시스템의 비용관점에서 고려되어야 한다는 것이다. 실제 운영상에 재고부족이 일어난 경우 실무자는 고객의 서비스를 만족시키기 위해, 경험에 의존하여 동일수준의 지역분배센터 중에 적당한 분배센터를 선택하여, 부재고 처리하는 경우가 많다. 그러나 이러한 처리 방법은 운영자의 경험에만 의존하므로 공급을 행한 분배센터의 경우 차후에 수요가 늘어나면 이를 처리하기 위한 손실비용이 더 커지는 모순을 초래하기도 한다. 이러한 현실에 맞추어 본 연구에서는 분배사슬에서 발생하는 지역분배센터의 품질을 지역분배센터 간의 관계까지 고려하여 다양한 부재고 정책을 제시하고 분석하고자 한다.

Schwarz는 시스템 상의 각 분배센터가 재고 부족분을 채우고 고객 수요를 만족시키는 방법을 크게 두 가지로 정리하였다. 첫 번째 방법은 외부 공급자에게 부족분을 주문하여 채우는 방법이다. 이러한 방법은 중앙분배센터에 별도의 재고량을 두지 않아도 되지만, 외부공급자로부터 중앙분배센터를 거쳐 지역분배센터로 재분배되기까지 선행기간(Leadtime)이 필요하다. 두 번째 방법은 지역분배센터별로 다른 수요과정을 거쳐 재고 불균형이 일어나게 되는데, 이러한 불균형을 시스템의 공급주기마다 균형을 맞추어 분배하여 부족분을 시스템 내부에서 해결하는 방법이다. 이러한 연구들은 수요의 불확실성으로 인해 분배센터에서의 품질 발생 빈도가 높은 시스템을 대상으로 한다. 두 번째 방법을 2계층 분배체계에 적용하여 얻을 수 있는 이점은 시스템에 별도의 외부공급 없이 시스템

내에 존재하는 분배센터간의 재고균형을 통해 품질현상을 줄일 수 있다는 것이다.[7]

Jönsson과 Silver는 전량 외부주문을 통한 2계층 분배모형에서 공급주기에 지역분배센터의 재고량을 파악하여 다음 주기의 분배에는 분배센터간의 재고균형을 통해 품질을 최소화 할 수 있으며, 그 결과 지역분배센터들의 서비스 수준이 향상됨을 보였다.[5] 그러나 이러한 정책은 상위분배센터에서 하위분배센터로의 분배만을 생각하였기 때문에 품질을 부재고 처리하기 위한 선행기간이 소요되며, 재고균형이 공급주기 시작시점에 이루어지므로 공급주기동안의 품질에는 대응하지 못하는 단점이 있다.

Jackson은 동일한 공급주기를 갖는 N개의 소매상에 대한 분배시스템의 연구에서 분배기간 초에 중앙창고에서 예정 수요량과 일정한 안전재고율까지 소매상으로 분배하도록 하는데 만약에 공장창고에 재고량이 모든 소매상의 재고를 충족할만한 양이 되지 못하면, 재고가 가장 적은 소매상에 더 많은 공급이 이루어지도록 하여 모든 소매상이 같은 수준의 재고를 보유하게 하는 균형분배정책을 사용하였다.[3] 이 정책 역시 전량분배를 가정하였기 때문에 다음 공급이 이루어지기 전까지는 고객의 수요를 만족시킬 수 없다.

Erkip의 연구에서는 동일한 수요의 형태를 갖는 N개의 분배센터의 공급주기를 두 개의 간격으로 나누어, 공급주기동안 시스템 전체에 공급되는 양을 S, 공급주기를 일정하게 나눈 구간 중 첫 번째 구간의 길이를 r라고 하면, CDC는 공급주기 초에 각 소매점에 $\alpha \times S$ 만큼을 공급하고, r시간이 지나면 CDC에 남아있는 양 $(1-\alpha) \times S$ 를 각 소매점에 재공급하는 구간할당정책(Two-interval Allocation Policies for N Retailers)을 사용하였다.

이때 α , r의 최적값을 구하기 위해 동적계획법(Dynamic Programming)을 사용하였다. 이러한 연구를 통해 전체시스템의 재고유지비용이 감소됨을 보였으며 단일 소매점에 대해서는 r를 고정시키고 α 의 최적값을 찾아 적용시키면 위와 비슷한 결과를 좀더 간편하게 얻을 수 있는 방안을 제안하였다.[1]

Jackson과 Muckstadt는 Erkip의 제안을 CDC가 여러 개 존재하는 다수의 공급처로 확장시켜 적용시킨 모델에서, RDC상의 품질을 전량 부재고 처리하는 실험을 하였다.[4] 이러한 모델을 적용하여 부재고 정책을 실시하게 되면 균형분배의 시기가 공급주기 말이 아니라 공급주기 중간에 이루어지게 되므로 품질이 일어나게 되면, 고객수요를 만족시키기 위해 공급주기 말까지 기다려야 하는 전량 분배정책의 단점이 보완된다. 그러나 부재고 처리를 위한 공급이 CDC에서만 이루어졌다. 부재고 처리를 위한 공급처 선정에 있어서 보다 효율적인

비용 절감을 위해 상위 수준의 CDC뿐만 아니라 긴밀한 관계에 있는 RDC간의 공급도 고려되어야만 타당하다.

McGavin, Schwarz과 Ward의 연구에서는 Erkip의 2구간 할당정책과 같은 정책을 사용하지만 기간 r 를 50%로 수량 a 를 75%로 고정하는 50/25 휴리스틱 알고리즘을 제안하였다. 이러한 휴리스틱을 사용함으로써 Erkip의 정책에서 최적의 α , r 를 정하기 위한 복잡한 계산을 생략할 수 있다.[6]

김영식 등의 연구는 McGavin 등의 연구를 바탕으로 2계층 분배사슬에 50/25 할당정책을 적용하여 품질회수를 최소화하고, RDC간에 부재고 처리가 가능하도록 하여 비용요소가 절감됨을 보였다.[8] 그러나 동일 수준의 분배센터 선정에 있어서 단일 분배센터만을 선정하여 부재고 처리비용의 효과적인 절감이 되지 못하였으며, 부재고 처리량이 다음 분배가 일어나기까지의 예상수요가 아닌 분배센터의 품질수량만을 처리하므로 부재고 처리를 수요가 발생할 때마다 하여야 하는 번거로움이 있다.

기존의 연구들은 품질품목에 대한 부재고 처리시 RDC간의 관계에 대한 고찰이 미비하고, 부재고 처리량을 결정함에 있어서도 예상수요량이 아닌 품질수량만을 고려하여 부재고 처리 회수를 줄이지 못하고 있다. 보다 효과적인 부재고 처리비용 절감을 위해서 부재고 처리량을 품질이 발생한 분배센터의 품질발생시점에서 다음 재분배 시점까지의 예상 수요량으로 정하고, 복수의 공급처 선정을 고려함이 타당하다.

2. 본론

2계층 분배체계는 중앙분배센터와 지역분배센터로 구성되는데, 지역분배센터의 고객 수요에 대한 불확실성이 클 경우 공급주기 초의 일회전량분배정책을 채택하여 운영시 공급주기 동안에 발생한 지역분배센터의 품질을 중앙분배센터로부터의 긴급공급을 통하여 처리하면 품질발생 빈도가 증가되어 부재고 처리비용이 증가되는 것이 문제점으로 지적될 수 있다. 이러한 부재고 처리에 들어가는 비용을 줄이기 위한 방안을 두 가지 면에서 생각해 볼 수 있다. 한가지 측면은 근본적으로 품질을 줄이는 것인데, 품질의 최소화를 위해 일반적으로 사용하는 방법은 공급주기를 복수의 일정한 구간으로 나누고, 구간마다 공급량을 적절히 분할하여 공급하는 것이다. 또 다른 측면은 발생한 품질을 부재고로 처리하는 비용을 줄이기 위한 방안인데, 기존의 방법이 중앙분배센터에서의 긴급공급을 통한 부재고 처리만을 허용하기 때문에 중앙분배센터와 지역분배센터간의 거리가 먼 경우에는 운송비용과 선행기간이 커진다는 점에 착안하여, 가

용한 재고를 지닌 지역 분배센터에서도 공급이 가능하도록 공급경로를 다각화하여 부재고 처리를 위한 비용을 줄일 수 있도록 하는 것이다. 본 연구에서는 이러한 두 가지 측면을 모두 고려하여 구간 할당정책을 적용하고, 부재고 처리 시에 복수의 지역분배센터를 선택하는 기준을 제시하여 효율적인 부재고 처리정책을 제시하고자 한다.

2.1 구간 할당정책

본 연구에서 다루고 있는 2계층 분배모형에서 지역분배센터가 처한 상황은 고객수요에 대한 불확실성이 크기 때문에 품질발생빈도가 높으며, 고객 서비스 수준을 최대화하기 위해 품질을 전량 부재고 처리하려고 한다. 이러한 시스템의 경우 지역 분배센터의 품질을 최소화하기 위하여 구간 할당정책을 사용하는데, 구간을 간단히 2개로 나누어서 구간 할당정책의 알고리즘을 살펴본다.

공급주기 I 를 2개의 구간 $I_1(=y \times I)$, $I_2(=I - I_1)$ 로 분할하고, 지역분배센터의 공급주기동안의 평균수요량을 μ 라고 하면, 지역분배센터는 첫 번째 구간인 I_1 에 $A_1(=\alpha \times \mu)$ 량을 중앙공급센터에서 공급받아 구간 I_1 의 수요를 만족시키고, 발생하는 품질은 전량 부재고 처리한다. 두 번째 구간 I_2 의 분배가 이루어지기 전에 중앙분배센터는 각 지역분배센터에 남아있는 재고량을 파악하고 지역분배센터들의 재고가 균등하게 되도록 분배량 A_2 를 결정하여 각 지역분배센터로 할당한다.[1, 4, 6]

두 번째 구간 I_2 의 분배가 이루어지기 전에 남아있는 재고량을 파악하여 분배량을 결정한다는 점에서 2구간 할당모형은 정기발주모형과 비슷하지만 각 구간의 길이가 같지 않아도 된다는 점이 다르다. 따라서 기간(Period)이라는 용어보다 구간(Interval)이라는 용어를 사용한다.

표 1. 균형 분배를 위한 공급량

분배센터	1	2	3	4	5	6	7	8	합계
첫 번째 구간	20	-20	50	80	-30	30	-30	60	160
탈 재고 수준									
두 번째 구간	460	500	430	400	510	450	510	420	3680
초 공급량(A_0)									

표 1을 보면 첫 번째 구간 I_1 말에 재고수준이 지역분배센터들의 각기 다른 고객수요로 인해 서로 다르게 나타났을 때 두 번째 구간의 균형 재고수준이 480으로 정해졌다고 가정하면, 각 지역분배센터의 재고 균형을 위한 공급량이 서로 다르게 나타남을 알 수 있다. 이러한 재고 균형을 통해 각 분배센터의 재고 수준을 일정수준으로 맞추어 놓으면 전체 시스템 입장에서 보았을 때 품질수량을

감소시킬 수 있는 것이다.

2.2 50/25 할당정책

2구간 할당정책에서의 결정 변수는 I_1, A_1 인테이를 결정하는 것은 서로의 값을 하나씩 고정시켜 놓고 동적계획법 또는 분지한계법(Branch and Bound Algorithm)등의 전역 탐색기법을 사용하여 최적의 I_1^*, A_1^* 을 찾아야 하는 매우 어려운 과정이다.[2] 본 연구에서는 McGavin 등의 연구에서 효과적인 휴리스틱 분배정책으로 제시된 50/25 할당정책을 사용하도록 한다.

50/25 할당정책은 2구간 할당정책의 결정 변수 I_1, A_1 의 계산과정을 생략하고 I_1, A_1 을 일정한 값으로 고정시킨 휴리스틱 기법이다. 50/25 할당정책의 '50/25'의 의미는 첫 번째 구간 I_1 의 길이를 I 의 50%로 두 번째 구간의 공급량 A_2 를 각 지역분배센터의 공급주기동안의 예상공급량의 25%로 하겠다는 의미이다. McGavin 등의 연구에서는 50/25 할당정책을 사용하였을 경우 지역분배센터의 품질수량을 평균적으로 88.66% 줄일 수 있음을 모의실험을 통해 보여주고 있다.[6]

2.3 부재고 처리정책

2계층 분배체계에서 품질의 최소화와 관련된 연구들은 SCM이 대두되기 시작한 1990년대 이후로 많은 각광을 받고 있다. 많은 연구들이 기존의 이론들을 바탕으로 지역분배센터에서 발생하는 부재고를 처리하는 비용을 줄이기 위한 방안들을 여러 가지로 제시하고 있지만 지역분배센터 간의 부재고 처리를 고려하지 않아 실무적인 면과 동떨어진 점이 있었다.

본 연구에서는 지역분배센터 상호간의 부재고 처리가 가능한 부재고 처리정책을 제시한다. 특히 공급처 선정 시에 복수의 RDC의 선정을 가능하게 하여 선행기간을 줄이고, 부재고 처리량이 다음 분배가 이루어지는 시점까지의 예상수요량이 되도록 하여 부재고 처리회수를 줄일 수 있도록 한다. 복수의 RDC를 품질처리를 위한 공급처로 선정하려면 RDC간의 우선순위를 주어 부재고 처리를 받도록 하여야 한다. 이러한 우선순위를 운송비용, 잔여재고량, 운송비용과 잔여재고량의 혼합된 규칙 등 3가지 측면에서 고려하여 본다.

RDC 혹은 CDC를 부재고 처리의 공급처로 결정하는 알고리즘을 운송비용에 초점을 맞추어 다음과 같이 나타낼 수 있다.

지역분배센터에 품질이 발생하면 부재고 처리를 위하여 공급장소를 선정하여야 하는데, 공급처가 될 수 있는 곳은 CDC 혹은 일정 조건을 만족하는 복수의 RDC가 될 수 있다. 먼저 RDC_k 를 품질이 발생한 RDC라고 하고, r_i 를 품질발생시점의 각

$RDC_i(i \neq k)$ 의 재고보유량, d_i 를 품질발생시점에서 다음 공급시점까지의 각 RDC_i 의 예상수요량이라 정의하자. 두 개로 분할된 I_1, I_2 에서 품질이 발생하면 우선 RDC_i 에 대하여 품질품목의 재고량 $r_i(i \neq k)$ 를 조사하고, $r_i > d_i$ 인 RDC_i 를 비용이 최소인 순으로 초과 보유재고량 $(r_i - d_i)$ 을 합쳐서 RDC_k 에 다음 분배시점까지의 예상수요량만큼 재고를 채워주는 비용을 계산한다. 만일 RDC_i 의 초과 보유재고량의 합이 RDC_k 의 다음 공급시기까지의 예상수요량을 채워줄 수 없거나 RDC간의 처리비용이 CDC를 통한 부재고 처리비용보다 크다면 CDC로부터의 긴급공급을 통해 품질을 부재고 처리하고, 그렇지 않으면 RDC를 통해 부재고 처리한다. 즉 부재고 처리를 위하여 공급처가 될 가능성이 있는 CDC와 RDC를 모두 포함하여, 처리비용이 최소인 곳으로부터 부재고 처리를 받는 과정이다.

이러한 구간 할당정책과 부재고 처리 알고리즘을 2계층 분배체계에 적용하여 부재고 정책을 구성할 수 있는데, 정책구성에 사용되는 주요 개념들을 4가지로 요약할 수 있다. 첫 번째 개념은 중앙분배센터의 관점에서 전략 분배정책과 구간 할당정책 중에서 어떠한 정책을 선택하여 재고를 불출하는 것이 전체 시스템의 비용을 절감할 수 있을 것인가에 대한 개념이다. 두 번째 개념은 지역분배센터의 관점에서 부재고 처리를 위하여 공급량을 결정하여야 하는데, 공급량은 품질수량과 품질시점부터 다음 공급시점까지의 예상수요량 중에 한가지로 생각해 볼 수 있겠다. 부재고 처리회수와 관련이 있다. 세 번째 개념은 지역분배센터의 관점에서 수요의 불확실한 변동에 의해 품질이 발생하였을 때 부재고 처리를 위한 공급처를 선정함에 있어 중앙분배센터와 지역분배센터 중에 어느 공급처를 선정하여야 최소의 비용으로 처리할 수 있는가에 대한 개념이다. 네 번째 개념은 공급처 선정에 있어서 복수의 지역분배센터선정을 허용하는 가에 관한 개념이다. 복수의 지역분배센터를 허용하게 되면 긴밀한 관계에 있는 지역분배센터간의 부재고 처리량이 증가되고 처리비용에 영향을 미치게 된다.

위에서 설명한 4가지 개념들을 조합하면 다음의 여러 정책들을 구성할 수 있다.

1) Ship-all 정책 : 전통적인 분배정책은 공급주기 동안의 분배회수를 1회로하고, 공급량은 경제적 주문량(Economic Order Quantity)으로 결정하여 처리하는 것이 보통이다. 이때 부재고 처리 경로는 CDC를 통해서만 가능하도록 한다. 이러한 정책을 Ship-all이라고 하는데, 본 연구에서 제시하는 모든 정책의 효율성 평가의 기준이 된다.

- 2) Ship-all-RDC 정책 : 공급정책은 Ship-all과 같고, 부재고 처리를 달리하여 공급처의 선정이 CDC와 RDC 모두 가능하도록 한 정책이다.
- 3) 50/25-CDC 정책 : Ship-all정책과 대비되는 재고 할당정책인 50/25 할당정책을 사용하고 부재고 처리를 위한 공급처는 CDC로 결정하는 정책이다. 이러한 정책은 구간할당정책에 관한 연구에서 주로 사용되는 정책으로서 공급에 대한 모든 권한이 CDC로 집중되어진 형태의 정책 모형이다. 기존의 연구에서 제시된 2구간 할당정책의 효율을 평가할 수 있다.
- 4) 50/25-RDC 정책 : 김영식 등의 연구[8]에서 사용된 정책으로서 50/25 할당정책을 사용하고 CDC에서의 부재고 처리는 물론 동일수준의 RDC에서도 부재고 처리를 가능하게 한다. RDC 간의 긴급 처리를 통해서 얻을 수 있는 효과는 CDC를 통한 운송시간을 단축할 수 있으며, 비용 절감의 효과도 얻을 수 있다. 그러나 복수 RDC를 통한 부재고 처리를 고려하지 않았으며, 부재고 처리량을 품질량만으로 고려하기 때문에 부재고 처리 이후에 고객의 수요가 발생하면 또 다시 품질이 일어나게 되어, 이를 다시 부재고 처리를 해야하는 현상이 예상된다.
- 5) New-Ship-all 정책 : 부재고 처리량을 품질이 발생한 시점에서부터 다음 공급이 이루어지는 시점까지의 예상수요량(Ship-up to Expected Demand)으로 결정하여 부재고 처리회수를 줄이는 정책이다. 부재고 처리량을 예상수요량 만큼 처리하는 것을 제외하고 Ship-all정책과 같은 원리로 적용된다.
- 6) New-Ship-all-CDC 정책 : Ship-all-CDC 정책과 같은 원리이고, 부재고 처리량을 예상수요량으로 다르게 처리한 정책이다.
- 7) New-50/25-CDC 정책 : 50/25-CDC 정책과 같은 원리이고, 부재고 처리량을 예상수요량으로 다르게 처리한 정책이다.
- 8) New-50/25-RDC 정책 : 50/25-RDC 정책과 같은 원리이고, 부재고 처리량을 예상수요량으로 다르게 처리한 정책이다.
- 9) New-Ship-all-Multi-RDC-Quantity 정책 : New-Ship-all-RDC 정책과 같은 방법을 사용하지만 복수의 RDC가 공급처가 되는 것을 허용한다. (1)-(8)의 방법들은 CDC혹은 RDC의 관계가 긴밀할 경우에 대하여 만들어 놓은 정책이지만 복수의 RDC를 고려하지는 않았다. 복수의 RDC 공급을 고려하게 되면 RDC간의 부재고 처리가 더욱 활성화되어 비용이 더욱 절감될 것으로 보인다. 이러한 정책을 사용하려면 RDC를 선정하는 원칙을 정해주어야 하겠다. 본 연구에서는 RDC 선정을 위하여 3가지 원칙을 제시한다. 첫 번째 원칙은 가용한 재고를 보유하고있는 RDC

들을 가용재고가 가장 많은 순으로 선정하여 품질이 일어난 RDC에 공급을 행하도록 하는 원칙이다. 두 번째 원칙은 가용한 재고를 보유한 RDC들 중에 운송비용이 가장 적은 곳부터 선정하여 부재고 처리를 행하도록 한다. 세 번째 원칙은 두 가지 원칙을 모두 고려하여 단위당 운송비용 ($\frac{RDC\text{의 운송비용}}{RDC\text{의 가용 재고}}$)의 값이 최소인 곳부터 선정하여 부재고 처리를 행하도록 한다.

첫 번째 원칙을 이용한다면 RDC로부터의 공급회수를 줄일 수 있고, 두 번째 원칙은 운송비용을 절감할 수 있다. 세 번째 원칙은 운송비용과 공급회수가 모두 고려된 중간적인 형태의 원칙이다.

- 10) New-50/25-MULTI-RDC-Quantity 정책 : 50/25 할당정책을 사용하고, 가용재고가 많은 곳부터 선정된 복수의 RDC로부터 다음 재분배시점까지의 예상수요량만큼 부재고 처리하는 정책이다.
- 11) New-Ship-all-Multi-RDC-Cost 정책 : Ship-all 정책을 사용하고, 운송비용이 최소인 곳부터 선정된 복수의 RDC로부터 다음 재분배시점까지의 예상수요량만큼 부재고 처리하는 정책이다.
- 12) New-50/25-Multi-RDC-Cost 정책 : 50/25 할당정책을 사용하고, 운송비용이 최소인 곳부터 선정된 복수의 RDC로부터 다음 재분배시점까지의 예상수요량만큼 부재고 처리하는 정책이다.
- 13) New-Shipall-Multi-RDC-Cost/Quantity 정책 : Ship-all정책을 사용하고, 단위당 운송비용이 최소인 곳부터 다음 재분배시점까지의 예상수요량만큼 부재고 처리하는 정책이다.
- 14) New-50/25-Multi-RDC-Cost/Quantity 정책 : 50/25 할당정책을 사용하고, 단위당 운송비용이 최소인 곳부터 다음 재분배시점까지의 예상수요량만큼 부재고 처리하는 정책이다.

표 2는 각 정책들의 특징을 정리하여 보여준다.

3. 실험 및 결과분석

본 연구에서는 부재고 정책에 대한 유용성을 간단한 모의 실험을 통해 입증한다. 각 지역분배센터의 공급주기동안의 수요를 McGavin 등의 연구[6]에서와 같이 Gamma 분포를 이용하여 예측 수요를 랜덤하게 발생시켜 불출하고, 지역분배센터에서 발생하는 품질은 부재고로 처리된다. 이러한 부재고 처리에 파생되는 각 분배센터간의 분배비용, 부재고 처리비용, 부재고량, 부재고 회수에 대한 수치들을 분석하여 2.3절에서 제시한 부재고 정책에 적용된 4가지 개념들이 2계층 분배체계의 어떠한 영향을 미치는지 평가해 본다.

표 2. 부재고 정책 설명

정책명	정책 설명			
	분배정책	부재고 처리량	처리	복수공급
1. SA	Ship-all	품질량	상위	불가
2. SR	Ship-all	품질량	상호	불가
3. CDC	50/25	품질량	상위	불가
4. RDC	50/25	품질량	상호	불가
5. NS	Ship-all	예상수요량	상위	불가
6. NSR	Ship-all	예상수요량	상호	불가
7. NCDC	50/25	예상수요량	상위	불가
8. NRDC	50/25	예상수요량	상호	불가
9. NSRQ	Ship-all	예상수요량	상호	가능
10. NRQ	50/25	예상수요량	상호	가능
11. NSRC	Ship-all	예상수요량	상호	가능
12. NRC	50/25	예상수요량	상호	가능
13. NSRC/Q	Ship-all	예상수요량	상호	가능
14. NRC/Q	50/25	예상수요량	상호	가능

3.1 실험가정

- 김영식 등의 연구[8]의 가정을 참조하여 사용한다.
- ① 분배체계는 서울에 위치한 1개의 중앙분배센터와 6개의 지역에 위치한 지역분배센터(CDC, RDC₁-부산, RDC₂-대구, RDC₃-울산, RDC₄-대전, RDC₅-전주, RDC₆-경주)들로 구성된다.
 - ② 공급량은 1개월(30일)을 공급주기로 하여 센터별 2000개/월을 중앙분배센터로부터 공급받는다.
 - ③ 차량의 만적운송능력은 1000kg/회로서 물품 81개를 1회에 나눌 수 있다.
 - ④ 각 지역 분배센터에서 발생하는 품질은 부재고로 처리된다.
 - ⑤ 수요량 결정 시 소수점 이하의 자리는 올림을 통하여 정수형으로 표현한다.
 - ⑥ 각 분배센터간의 운송비용은 표 3과 같다.

표 3. 각 분배센터간의 운송비용(천원)

지역	CDC 서울	RDC ₁ 부산	RDC ₂ 대구	RDC ₃ 울산	RDC ₄ 대전	RDC ₅ 전주	RDC ₆ 경주
CDC	0	38.6	30.1	37.0	21.6	27.2	34.4
RDC ₁	38.6	0	9.0	3.7	18.8	22.5	4.6
RDC ₂	30.1	9.0	0	7.5	9.0	13.8	4.7
RDC ₃	37.0	3.7	7.5	0	16.2	20.9	28.0
RDC ₄	21.6	18.8	9.0	16.2	0	2.6	13.5
RDC ₅	27.2	22.5	13.8	20.9	2.6	0	18.3
RDC ₆	34.4	4.6	4.7	28.0	13.5	18.3	0

실제수요의 발생은 각 지역분배센터의 평균수요를 2000개로 가정하고, Gamma 분포에 맞추어 수요를 정한 후 수요의 변동을 크게 하기 위해 각 분배센터별로 다른 수요변동율(0.8~1.3)을 랜덤하게 적용하여 곱하여준다. 이러한 실제 수요 데이터를 바탕으로 각 정책별로 부재고량을 계산하고, 이에 따른 부재고 처리비용을 계산한다. 이러한 실험을 100회 반복하여 얻은 데이터의 결과를 정리하여 부재고 정책별로 비교 분석한다.

3.2 실험결과 및 분석

첫 번째로 구간 할당정책이 품질량에 주는 영향을 살펴본다. 표 4와 그림 2를 보면 구간 할당정책의 사용 여부에 따라 총 부재고 처리량이 두 부분으로 양극화됨을 볼 수 있다. 50/25 할당정책을 사용하는 경우(CDC, RDC, NSR, NCDC, NRDC, NRQ, NRC, NRC/Q)가 전량분배정책(SA, SR, NS, NSR, NSRQ, NSRC, NSRC/Q)을 사용한 경우보다 품질량이 33%가량 줄어들음을 알 수 있다. SA정책과 CDC정책의 품질량에 대한 평균의 차이를 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서 t검정한 결과 p값이 2.21E-13으로 매우 유의한 것으로 판명된다. 따라서 품질량의 절감을 위해서는 구간할당정책을 사용하는 것이 타당하다.

표 4. 정책별 부재고 처리량, 처리회수

	RDC 부재고 처리량	CDC 부재고 처리량	총 부재고 처리량	RDC 처리 회수	CDC 처리 회수	총 부재고 회수
SA	0	1113.2	1113.2	0	15.5	15.5
SR	76.0	1037.5	1113.5	1.7	6.5	8.2
CDC	0	760.2	760.2	0	11.5	11.5
RDC	29.8	731.5	761.3	0.9	6.4	7.3
NS	0	1113.6	1113.6	0	7.2	7.2
NSR	66.0	1047.5	1113.5	1.3	6.2	7.5
NCDC	0	761.5	761.5	0	6.9	6.9
NRDC	27.9	733.6	761.5	0.6	6.3	6.9
NSRQ	449.2	665.8	1115.0	5.3	2.1	7.4
NRQ	147.8	614.0	761.8	3.0	4.0	7.0
NSRC	449.2	665.8	1115.0	5.3	2.1	7.4
NRC	147.8	614.0	761.8	3.0	4.0	7.0
NSRC/Q	449.2	665.8	1115.0	5.3	2.1	7.4
NRC/Q	147.8	614.0	761.8	3.0	4.0	7.0

두 번째로 부재고 처리량을 예상수요량으로 하는 개념이 부재고 회수에 미치는 영향을 살펴보자. 부재고 처리량을 예상수요량으로 하면 품질량만을

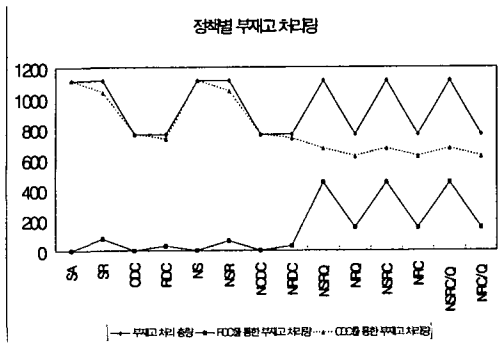


그림 2. 정책별 부재고 처리량

처리하는 기존의 정책(SA, SR, CDC, RDC)들과 비교하여 부재고 회수가 50%가량 적은 수치를 보이는데, SR정책과 NSR정책의 평균 품질회수에 대하여 유의수준 $\alpha=0.05$ 의 t검정 결과 p값이 0.0101로 유의한 것으로 판명된다. 따라서 발주회수를 줄이기 위해서는 예상수요량 만큼 부재고 처리하는 것이 바람직하다.

세 번째로 부재고 처리를 RDC를 통해 처리함으로써 얻는 비용절감에 대해 알아보자. 표 5와 그림 3을 보면 RDC간의 부재고 처리하는 정책(SR, RDC, NSR, NRDC, NSRQ, NRQ, NSRC, NRC, NSRC/Q, NRQ/Q)이 그렇지 않은 정책에 비해 전체 부재고 처리비용이 40%가량 절감됨을 볼 수 있다. NCDC정책과 NRQ정책의 평균 부재고 처리비용에 대하여 유의수준 $\alpha=0.05$ 의 t검정결과 p값이 0.0422로서 유의한 것으로 나타났다. 따라서 부재고 처리비용의 절감을 위해서 RDC간의 부재고 처리를 고려하는 것이 타당하다.

마지막으로 부재고 처리를 위한 복수의 부재고 공급처 선정이 총비용에 미치는 영향을 살펴보자. 표 5와 그림 4를 보면, 복수의 부재고 공급처를 허용하는 정책(NRQ, NRC, NRC/Q)이 효과적으로 2계층 분배체계의 운영비용을 절감하고 있음을 알 수 있다. 이중에서는 초과 보유재고가 가장 많은 분배센터부터 부재고 처리를 하는 정책, 운송비용이 최소인 곳부터 처리하는 정책, 단위 운송비용을 고려한 정책 순으로 효과적임을 나타내고 있다. 초과보유재고가 많은 분배센터 순으로 부재고 처리를 행할 경우 최소한의 지역분배센터로부터 공급을 받기 때문에 운송비용의 절감효과가 더욱 크게 나타나는 것으로 보인다.

RDC정책과 NRQ정책간의 총비용에 대하여 유의수준 $\alpha=0.05$ 의 t검정결과 p값이 0.0471로서 유의한 것으로 나타났다. 따라서 복수의 공급처를 허용함이 운영비용 절감을 위해 타당하다. 그러나 전량일회분배를 가정하고 복수의 부재고 공급처를 허용하는 정책(NSRQ, NSRC, NSRC/Q)의 경우는

부재고 처리비용 측면에서 좋지 않은 성능을 나타냈다.

표 5. 정책별 부재고 처리비용, 공급비용(천원)

	RDC 처리 비용	CDC 처리 비용	부재고 처리 비용	A1 분배 비용	A2 분배 비용	총 비용
SA	0	6261.9	6261.9	47225	0	53486.9
SR	746.4	5097.1	5843.5	47225	0	53068.5
CDC	0	4501.7	4501.7	35891	12519.1	52911.8
RDC	391.3	3917.3	4308.6	35891	12519.1	52718.7
NS	0	5525.9	5525.9	47225	0	52750.9
NSR	742.3	5080.1	5827.4	47225	0	53052.4
NCDC	0	4158.6	4158.6	35891	12519.1	52568.7
NRDC	245.6	3941.0	4186.6	35891	12519.1	52596.7
NSRQ	4531.7	2453.2	6984.9	47225	0	54209.9
NRQ	1853.2	2102.0	3955.2	35891	12519.1	52365.3
NSRC	5131.4	2453.2	7584.6	47225	0	54809.6
NRC	1962.5	2102.0	4064.5	35891	12519.1	52474.6
NSRC/Q	5731.1	2453.2	8184.3	47225	0	55409.3
NRC/Q	2090.9	2102.0	4192.9	35891	12519.1	52603.0

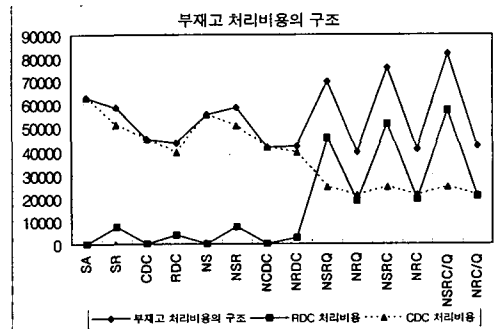


그림 3. 부재고 처리비용의 구조

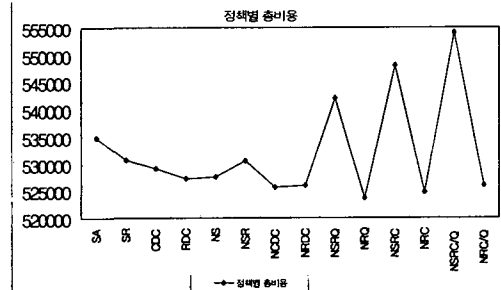


그림 4. 정책별 총비용

실험결과 본 연구에서 제시한 네 가지 개념을 모두 포함하여 부재고 정책을 입안하면 2계층 분배체계의 운영비용을 효과적으로 절감할 수 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 공급사슬경영의 한 부분인 분배사슬의 효율적 운영을 위하여, 품질현상이 잦은 시스템에서 부재고 처리를 위한 다양한 정책들을 제시하고 비교평가 하였다. 중앙분배센터에서 지역분배센터로의 재고 분배에서는 균형 분배의 개념을 도입하여 지역분배센터에서 발생하는 품질을 최소화시키고, 부재고 정책에서는 발생된 품질을 최소의 비용으로 처리하기 위한 여러 원칙들을 제시하였다. 모의 실험의 결과 구간할당정책을 사용하면 동일량의 재고를 가지고 품질수량을 33%가량 줄일 수 있으며, 부재고 처리량을 예상수요량으로 하게되면 부재고 회수가 절반이상 줄어들고, 부재고 처리를 위한 공급처를 CDC와 복수의 RDC를 모두 포함하여 고려함으로써 부재고 처리에 들어가는 비용을 크게 절감할 수 있음이 나타났다. 따라서 품질로 인한 손실이 큰 분배체계의 경우에는 본 연구에서 제시한 부재고 정책의 도입이 타당하다.

부재고 처리를 위한 여러 개념들을 더 복잡하고 일반적인 시스템에 적용하여, 보다 현실과 부합하는 모형에 대해 연구하는 것은 가치 있는 일이 될 것이다. 본 연구에서는 최종 고객의 수요를 모든 지역분배센터에 대하여 Gamma 분포를 가정하였으나, 보다 현실적인 고객 수요의 확률분포에 대해 부재고 정책을 도출할 필요가 있다.

본 연구에서는 공급사슬상의 많은 기능 중에 분배사슬의 부재고 처리에만 초점을 맞추었지만 고객수요의 변동으로 발생하는 품질을 부재고 처리하게 되면 공급사슬 상의 생산계획에 까지 영향을 미쳐 생산계획의 재조정이 필요한 경우가 생긴다. 따라서 분배사슬상의 수요만족을 위한 부재고 처리 개념을 생산계획과 생산시설에서 중앙분배센터로의 운송과 같은 다양한 기능으로 확장하여 생산계획 재조정, 공장 창고 관리계획, 상위 분배센터의 분출계획과 통합된 정책에 관한 추후 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

[1] Erkip, N., "A Restricted Class of Allocation Policies in a Two-Echelon Inventory System", *Technical Report #628*, School of Operations Research and Industrial Engineering, College of Engineering, Cornell Univ., Ithaca, N.Y., pp.163-193, 1981.

[2] Federgruen, A. and P. Zipkin, "Approximations of Dynamic, Multi-Location Production and Inventory Problems", *Management Science*, Vol.30, No.1, pp.69-84, 1984.

[3] Jackson, P., "Stock Allocation in a Two-Echelon Distribution System or 'What to Do Until Your Ship Comes in'", *Management Science*, Vol.34, No.7, pp.880-895, 1988.

[4] Jackson, P. and J. Muckstadt, "Risk Pooling in a Two-Period, Two-Echelon Inventory Stocking and Allocation Problem", *Naval Research Logistics Quarterly*, Vol.36, No.1, pp.1-26, 1989.

[5] Jönsson, H. and E. Silver, "Analysis of a Two-Echelon Inventory Control System with Complete Redistribution", *Management Science*, Vol.33, No.2, pp.215-227, 1987.

[6] MaGavin, E., L. Schwarz and J. Ward, "Two-interval Inventory Allocation Policies in a One-warehouse N-identical-retailer Distribution System", *Management Science*, Vol.39, No.9, pp.1092-1107, 1993.

[7] Schwarz, L., "A Model for Assessing the Value of Warehouse Risk-Pooling: Risk-Pooling Over Outside-Supplier Leadtimes", *Management Science*, Vol.35, No.7, pp.828-842, 1989.

[8] 김영식, 최진영, 홍성조, "자본재 품목에 대한 다수 공급처 분배사슬의 부재고 정책", *IE Interfaces*, 제13권, 제3호, pp.438-443, 2000.

[9] 후쿠오마 요시아키, *SCM 경영혁명*, 21세기북스, 1998.