

반도체부품 수요 및 납기 불확실성을 고려한 안전재고 설정 프레임워크

황호신^{*,***} · 김수영^{*,***} · 오진우^{*,***} · 정세진^{*,***} · 박인범^{*,†}

^{*,†}명지대학교 산업경영공학과, ^{**}명지대학교 환경에너지공학과,
^{***}명지대학교 반도체장비공학 연계전공

Safety Stock Management Framework for Semiconductor Enterprises Under Demand and Lead Time Uncertainties

Ho-Sin Hwang^{*,***}, Su-Yeong Kim^{*,***}, Jin-Woo Oh^{*,***}, Se-Jin Jung^{*,***} and In-Beom Park^{*,†}

^{*,†}Department of Industrial and Management Engineering, Myongji University,

^{**}Department of Environmental Energy Engineering, Myongji University,

^{***}Semiconductor Equipment Engineering Program, Myongji University

ABSTRACT

The semiconductor industry, which relies on global supply chains, has recently been facing longer lead time for material procurement due to supply chain uncertainties. Moreover, since increasing customer satisfaction and reducing inventory costs are in a trade-off relationship, it is challenging to determine the appropriate safety stock level under demand and lead time uncertainties. In this paper, we propose a framework for determining safety stock levels by utilizing the optimization method to determine the optimal safety stock level. Additionally, we employ a linear regression method to analyze customer satisfaction scores and inventory costs based on variations in lead time and demand. To verify the effectiveness of the proposed framework, we compared safety stock levels obtained by the regression equations with those of the conventional method. The numerical experiments demonstrated that the proposed method successfully reduces inventory costs while maintaining the same level of customer satisfaction when lead time increases.

Key Words : Inventory Optimization, Linear Regression, Lead Time Uncertainty, Safety Stock, Global Supply Chain

1. 서 론

최근 국제 정세의 급격한 변화로 인해 공급망 안정화가 국제 문제와 기업 전략에서 중요한 이슈로 떠오르고 있다. 특히, 글로벌 공급망에 의존하는 반도체 산업은 수급 불균형으로 인해 자재 조달 시간이 이전보다 훨씬 길어지고 있다. 이러한 불확실한 상황에서 기업이 고객에게 판매할 재고를 보유하지 않으면 기회손실 비용이 발생하

게 된다. 그러나 반대로 과도한 재고를 보유하면 재고 유지비용이 증가하여 경제적인 영향을 피할 수 없다. 따라서, 적절한 주문시기와 주문량에 대해 신중히 고려해야 한다.

안전재고는 기업이 예기치 못한 수요와 공급 변동에 대비하여 납기 동안에 추가로 보유하는 재고를 말한다. 이는 생산 중단을 방지하기 위한 완충 장치 역할을 한다. 안전재고는 고객 서비스 수준과 더 많은 안전재고를 주문 및 보관하는데 드는 비용 사이의 관계를 나타내며, 기업은 재고 전략을 결정할 때 재고 유지비를 최소화하는

[†]E-mail: inbeom@mju.ac.kr

대안과 고객 서비스 또는 생산 효율성을 극대화하는 대안 사이에서 선택해야 한다. 따라서, 재고 부족 상황을 예방하기 위한 적절한 수준의 안전재고를 확보하는 것이 중요하지만, 수요와 납기의 불확실성을 고려하여 적정 수준의 안전재고를 설정하는 것은 매우 어렵다.[1][2]

본 연구에서는 반도체 부품 수요와 납기 불확실성을 고려한 안전재고 설정 프레임워크를 제안하고자 한다. 사례기업 제품의 데이터를 변환하여 최적화 프로그램에 기입한 후 구축한 시스템을 통해 재고량을 계산하고, 민감도 분석을 수행한다. 다양한 수요-납기 시나리오를 통해 실험 및 검증 과정을 거친 후 회귀식을 도출하여 기업에게 보다 합리적인 안전재고를 제안하는 것이 목표이다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서 기존 연구를 다룬 후, 제 3장에서 수요와 납기 변동성이 고려된 안전재고 설정을 위한 최적화 모형을 제안한다. 제 4장에서는 산출한 재고량의 만족도와 비용 분석을 통해 회귀식을 도출하여 보다 합리적인 의사결정 솔루션을 제안하고자 한다. 5장에서는 결론과 함께 연구의 한계를 다루고자 한다.

2. 기존 연구

수요예측 데이터 분석에 기반한 안전재고 방법론의 현장 적용 및 효과[1]에 관한 연구에 따르면 불규칙한 주문과 고객사의 주문의 변경 등 변화에 대응하기 위한 불규칙 요소들로 인해 주문 제품의 리드타임을 충족시키는 것에 어려움이 있다고 언급한다. 안전재고 모델의 수립은 기존 제안 모델을 응용하였으며, 원활한 재고 보유를 위해 이동평균법, 단순지수평활법을 적용한 표준생산량을 반영한 수요예측을 산출하였다.

코로나19와 공급사슬관리 전략의 혁신 요구에 관한 고찰: 글로벌 컨설팅 기업들의 제안을 중심으로[2]한 연구에 의하면 코로나19로 인한 급속한 경기침체의 주된 원인은 글로벌 공급사슬의 붕괴로, 수량, 품질, 그리고 시간의 불확실성에서 비롯된다고 언급한다. 기존 선행 연구를 바탕으로, 글로벌 공급사슬 상에서 예상되는 불확실성을 제거하여 안정적으로 지속가능한 공급체계를 구축하기 위한 SCM 3A(Align, Adaptation, Action) Strategy 프레임워크를 제시하였다.

수요대응형 재고보충방식에 대한 안전재고 모델 연구[3] 결과에 따르면, 최신의 과거 분포를 미래에 반영한다고 해도 그 결과가 항상 정확한 것은 아니며, 리드타임을 long, medium, short으로 분류하고 변동계수를 설정하여 수학적 공식을 제시하였다. 해당 연구는 대부분 예측에 의한 공급망 운영으로 실제 수요와 다르며, 이로 인해 과잉

재고와 결품 발생을 허용한다고 언급한다.

재고 분배 시스템의 서비스수준과 안전재고: 변동 수요, 변동 조달기간 모형[4]은 변동하는 수요와 납기의 제약하에서 서비스 수준과 안전재고 간의 관계를 기본적인 문제로 설정한다. 수요와 조달기간의 변화는 시스템 내부에서 직접 조정하기 어려운 변수들이므로 최적의 재고수준을 결정하기 위해 합리적인 서비스 수준을 선택할 것을 제안하였다. 하지만, 전체 시스템의 최적 재고 수준을 유지하기 위한 계량적 분석방법은 제시되지 않았으며 정규 분포 환경에서 납기가 평균 납기보다 짧아질 경우는 없다는 가정이 사용되었다.

납기 제약 하에서의 생산능력 활용률 최적화 방안에 대한 연구[5]에서는 안전재고 설정 방법 중 하나인 확장된 brown 모형을 기반으로 안전 생산능력 수준을 결정할 수 있는 모형을 제시했으며, 시뮬레이션을 통해 생성한 데이터를 사용하여 최적화 논리에 관한 통계적 검증을 수행했다.

교차주문을 갖는 리드타임 분포의 분석에 관한 연구[6]는 리드타임의 변동성으로 인해 발생하는 ‘교차주문(order crossover)’ 개념에 주목했다. 이 연구는 기존 선행 연구의 평균값, 분산값 비교를 통한 이론적인 고찰 수준에서 더 나아가 리드타임의 주요 파라미터의 변화에 따른 분포의 변화를 실증적 연구를 통해 분석하고자 한다. 이처럼 납기의 변동성은 재고 관리 내에서 중요한 상황적 독립 변수로 작용하며, 이를 해결하기 위해서는 적절한 솔루션을 제시할 수 있는 의사결정 도구로서의 시스템 구축이 시급하다고 말한다.

확률적 수요를 갖는 제품에서 서비스 수준을 고려한 안전재고 모형[8]에 따르면 재고관리 문제에서 가장 현실적인 문제는 제품의 공급시기, 생산율, 수요율 등이 항상 일정하지 않고, 확률적으로 변화한다고 언급한다. 즉, 고전적인 모형의 경우, 리드타임이나 수요 등이 확정적이어서 기대수요가 확률적인 상황일 때 예측이 용이하지 않게 작용하기 때문에 이에 따른 서비스수준이 달성될 수 있는 재고체계를 최적화하고자 했다.

비정상 수요를 가진 품목을 위한 예측기반 재고정책[9]에 관한 연구에 따르면 일반적인 재고관리 정책은 수요가 특정 확률 분포를 따르거나, 최소한의 미래 수요 분포를 예측할 수 있다는 가정을 전제로 전개되어 있으며, 이는 비정상적인 수요를 갖는 제품의 경우, 확률분포가 자주 바뀌기 때문에 기존 정책이 쓰이기에 부적합하다는 점을 지적했다. 따라서 비정상적인 수요를 갖는 제품의 효율적인 관리를 위해 수요분포에 대한 제한적인 가정을 기반을 두지 않고 기업 부담의 비용을 최소화하고자 관리정책을 제시했다.

서비스수준을 고려한 안전재고 기반의 적정 재주문점에 관한 연구[10]에서는 특정 리드타임 간 수요의 정규분포를 확률적 계산으로 표준화하여 안전계수와 서비스 수준의 밀접한 관계를 정량 후, 산출한 안전재고를 기반으로 적정 재주문시기를 산정하였다. 하지만 해당 연구에서 산정한 안전재고는 리드타임 변동은 고려하지 못했기에 리드타임이 고정적인 상황에서만 사용이 가능하다는 한계가 존재한다.

공급 사슬 관리에서 안전재고 수준을 이용한 효율적인 납기회신 시스템의 개발[11]에서는 주문량 할당에 있어 물류 센터 별 고객의 주문 빈도와 주문량에 따라 차등하게 안전재고 수준을 고려하였다. 이를 연속적인 시점에서 비교했을 때 안전재고 수준 설정 알고리즘이 추가된 경우, 주문량 할당 휴리스틱 모델이 고객의 주문 승인을 향상시키는 결과를 도출하였다. 하지만 해당 연구는 생산 능력을 고려한 CTP, 가격, 납기일 등에 대한 보완이 필요하다는 한계가 존재한다.

최근 반도체 제품 간 생산량과 재공 및 재고의 상관관계를 정확하게 예측하고 효율적으로 관리하기 위해 TabNet [12]과 같은 기계학습 기반의 조기 예측 및 해석 기법이 활용되고 있다. 또한, 스마트 반도체 공급망 프레임워크를 제안한 연구결과[13]에서는 수요 계획과 재고 관리를 개선하기 위해 고객 행동을 추출하여 불확실한 수요와 변동하는 시장 상황 대응하는 것이 중요함을 보여주고 있다.

이와 같이, 급격한 납기 변화로 반도체 부품 재고관리는 현재 중요한 문제로 대두되고 있다. 이에 따라 안전재고 설정에 대한 전통적인 방법의 한계를 보완하거나 개선하여 발전시킨 다양한 연구들이 보고되고 있다. 그러나 대부분의 연구들은 납기가 특정 분포를 따른다고 가정하고 있으며, 납기 준수의 불확실성이 존재할 때 발생하는 문제를 고려하지 못하는 한계가 있다. 따라서 본 연구는 사례 기업의 실제 데이터를 활용하여 수요와 납기 변동성을 고려한 안전재고량을 산출한 후 다양한 시나리오를 통해 실험 및 검증을 진행하여 해당 기업이 최적의 안전재고 기준에 적합한 주문량을 결정할 수 있는 의사결정 솔루션을 제공하는 것을 목표로 한다.

3. 제안 프레임워크

3.1 안전재고 관리 최적화 모형

기업의 의사결정 문제를 해결하기에 앞서 어떤 기법이 적용되는지 알아보았다. 이를 통해 실제 의사결정 사안을 수학적 모델링을 통해 적용시키고자 한다. 이를 위해, 최

적화 모델링을 수학적 모델링을 수립하기에 앞서 제약식, 목적함수에 들어갈 문제 파라미터와, 결정 변수를 설정하도록 한다.

3.1.1 변수

대상 기업은 최소 비용으로 부품의 안전재고를 항상 충족할 수 있도록 하는 것이 주목표이다. 먼저, 제품을 구매한 후 받게 되는 납기가 유동적이라는 특성의 고려가 필요하다. 따라서 변수 설정 단계에서 제품의 구매일자와 납기 반영이 추가된 입고 일자를 각각 다른 변수로 반영하기 위해 입고가 이루어진 시점을 t 시점, 구매가 이루어진 시점을 t' 시점으로 구분을 둔 후 문제 해결 모델링을 위한 변수를 다음과 같이 설정한다.

$t't$ 의 경우 구매가 이루어진 t' 시점을 기반한 수요 충족이 이루어진 t 시점을 가리키는 표현으로, $\chi_{t't}$ 는 t' 시점에 구매 후 t 시점에 입고 받았을 때의 해당 제품 수를 의미한다. 모델링을 위해 사용할 모든 공통 변수는 아래와 같이 정의한다.(단, t, t' 의 단위는 month로 설정)

Table 1. Input and Decision Variables

의사결정 변수	$O_{t'}$	t' 시점 구매량
	I_t	t 시점 재고량
	χ_t	t 시점 입고량
	$\chi_{t't}$	t' 시점에 구매한 t 시점입고량
상수	l_t	t 시점 납기기간
	ω	재고유지비용
	P_t	t 시점 제품가격
	d_t	t 시점 수요량
	S_t	t 시점 안전재고량
	Z	서비스율에 따른 정규분포지수
	σ_t	t 시점 수요의 표준편차
$I_0 = d_1 + S_1$		초기 재고량

정의를 입력 변수를 기반으로 대상 기업에서 제공받은 추가적인 Data상으로 얻을 수 있는 값, 즉 초기 재고량, 재고 유지 비용, 수요량, 제품 가격은 수식 상에서 '상수'로 구분하였고, 본고가 알아내야 하는 값, 즉 수학적 모델링을 통해 얻을 수 있는 값인 '결정 변수'를 재고량, 구매량, 입고량으로 분리한 후 일차식 수립을 위한 변수로 표현했다.

3.1.2 목적함수 & 제약식

$$\min \sum_{t=1}^T P_t O_{t'} + \omega \sum_{t=1}^T I_t \quad (1)$$

$$\text{s.t. } I_t = I_{t-1} + \chi_t - d_t \quad (\text{for } t = 1, 2, \dots, T) \quad (2)$$

$$O_{t'} = \chi_{(t', t' + l_{t'})} \quad (\text{for } t = 1, 2, \dots, T) \quad (3)$$

$$\sum_{t=1}^T \chi_{t'} = \chi_t \quad (\text{for } t = 1, 2, \dots, T) \quad (4)$$

$$S_t = Z \sigma_t \sqrt{I_t} \quad (\text{for } t = 1, 2, \dots, T) \quad (5)$$

$$I_t \geq S_t \quad (6)$$

$$I_t, O_{t'}, \chi_{t'}, \chi_t \geq 0 \quad (7)$$

식(1)-식(7)을 최적화를 적용하기 위해 위와 같이 정의하였다. 모델링의 목적은 안전재고를 충족한 제품의 구매 비용을 최소화하는 것이며, 이를 목적함수로 식(1)과 같이 수학적으로 표현하였다. 설정 기간 중 첫 달부터 마지막 달, 즉 $t = 1$ 부터 T 까지 기업에서 드는 총비용을 최소화하기 위해 제품 가격과 구매량의 곱, 식 $P_t O_{t'}$ 을 minimize를 가리키는 min 키워드로 묶도록 한다. 또한, 기업 내에서 보유한 재고를 유지하는 과정에서 추가적인 비용이 발생한다는 점을 고려하여 설정 기간 동안 재고량 총합에 재고 유지 비용을 나타내는 상수 ω 를 가중치로 부과한다. 결과적으로 재고 유지 비용을 나타내는 목적식과 앞서 세운 min 목적식을 합하여 비용에 대한 최종 목적함수를 의미한다.

식(2)는 I_t 가 0보다 크므로 수요가 반드시 맞춰져야 한다는 조건 하에 t 시점의 구매량을 χ_t 로 두어 $t - 1$ 시점의 재고량 I_{t-1} 와 χ_t 합에서 입고가 이루어진 t 시점의 수요량, d_t 을 뺀 때 t 시점의 재고량, I_t 이 도출되도록 했으며, 이를 반영한 제약이다. 식(3)은 시점에서 구매한 제품이 l_t 이 지난 후 $t = t' + l_t$ 라는 시점에 입고되므로 구매 시점과 납기가 반영된 입고 시점이란 시간 제약을 가하기 위한 관계식이다. 식(4)는 χ_t 가 t' 에 구매 후 $l_{t'}$ 이 지나 t 시점에 입고된 모든 $\chi_{t', t}$ 의 총합이 됨을 의미한다. 식(5)는 앞서 말한 안전재고를 산정하는 방법론에서 다른 Z score, 즉 서비스율에 따른 정규분포지수가 적용된 공식을 이용하여 안전재고를 산출한 식으로 이근희, 이승구(1998)에 따라 계산되었다. 식(6)은 동일 시점의 안전재고량보다 재고량을 크게 하기 위한 제약이다. 식(7)은 목적함수식에서 쓰이는 모든 의사결정변수가 비음 조건임을 명시한다.

3.2 안전재고 산출 프레임워크

본 연구는 사례기업의 제품 납기와 수요 가격 등 공급요소들을 엑셀 데이터에서 텍스트 기반 형식으로 변환하

여 최적화 프로그램과 호환 가능한 입력 데이터로 활용하였다. 이를 통해 실제 데이터를 사용하여 최적화를 진행하였고, 구매량과 재고 수준을 기반으로 다양한 시나리오를 탐색하였다. 또한, 납기의 불확실성에 대한 민감도를 분석하기 위해 납기가 지연되는 조건과 수요가 연마다 증가하는 조건을 추가하여 진행하였다. 실제 데이터를 기반으로 한 최적화 결과를 활용해 안전재고량을 조정 후, 회귀분석을 통해 회귀식을 산출하였다. 산출된 회귀식을 바탕으로 기업이 고객의 요구를 원활하게 충족할 수 있도록 구현하였다. 본 연구의 프레임워크 개발 모식도는 아래와 같다.

3.2.1 납기 변화에 따른 안전재고

납기가 지연됨에 따라 안전재고를 설정하는 연구방법은 수요가 고정된 상태에서 안전재고량의 변화에 따른 구매량, 수요 충족률, 그리고 목적함수 값과의 관계를 분석하기 위한 회귀식 도출을 목표로 한다. 다음은 이 연구 방법의 진행 순서이다.

먼저, 최적화 프로그램을 활용하여 적절한 납기의 재고량을 도출한 후 1년차, 2년차 그리고 3년차의 안전재고량을 조정하여 각 연도별로 다른 안전재고량을 설정한다. 이때, 안전재고의 총합은 항상 동일한 조건 하에 설정한다. 조정된 안전재고량을 최적화 소프트웨어를 활용하여 초기 재고량과 구매량을 산출하고, 이 값을 엑셀에 대입하여 음수재고의 유무를 시각적으로 확인한다. 음수재고는 판매 손실을 의미하므로 수요를 충족하지 못하는 것으로 판단한다. 다음으로, 납기를 변화시키면서 수요충족 여부와 비용을 산출한다. 여러 번의 시뮬레이션을 통해 데이터를 취합하고, 이를 학습데이터와 테스트데이터로 나누어 회귀분석을 수행하여 회귀식을 도출한다. 이를 통해 납기 변화에 따른 안전재고 설정 프레임워크를 제안하고자 한다.

3.2.2 수요 변화에 따른 안전재고

수요 변동성을 고려한 안전재고 연구방법은 납기 변화에 따른 안전재고를 설정하는 방법과 유사하며, 다만 몇 가지 차이가 있다. 이 연구 방법에서는 납기가 고정된 상태에서 1년차, 2년차 그리고 3년차의 안전재고량을 조정하여 연도별로 다른 안전재고량을 반영하고자 한다. 이때 조정된 안전재고량은 수요를 70% 이상 충족시킬 수 있도록 기준을 설정했다. 조정된 안전재고량을 최적화 소프트웨어를 통해 초기 재고량과 구매량을 산출하고, 이를 엑셀에 대입하여 시각적으로 확인한다. 이 단계에서는 연마다 수요가 증가하는 패턴을 고려하여 수요 충족률과 비용을 계산한다. 위 과정을 여러 번 반복하여 데이터를 생

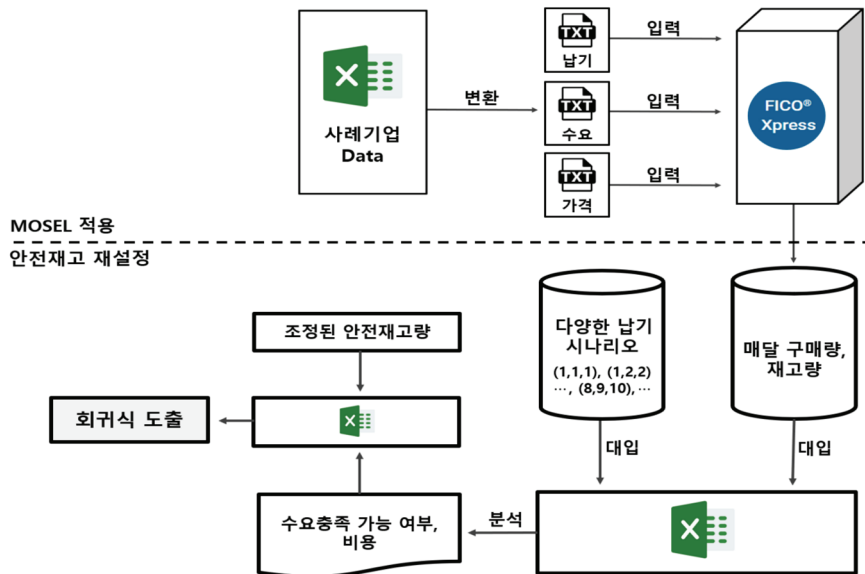


Fig. 1. Overview of the Proposed Framework .

성하고 취합한 후, 다양한 수요 변동 패턴을 시뮬레이션 하고 안전재고 설정의 성능을 검증한다. 이후 생성된 데이터를 학습데이터와 테스트데이터로 나누고 회귀분석을 수행하여 회귀식을 도출한다.

하고 납기를 증가시키면서 수요 충족 여부와 비용을 확인 하였다. 이때, 설정된 납기(9,9,9)로 산출된 안전재고량은 1년차에 51개, 2년차와 3년차에 각각 175개이다.

4. 결과 및 토의

4.1 실험 설정

본 장에서는 사례기업의 데이터를 근거로 연도, 분기 및 품목별로 수요 및 납기 변화를 분석하고 데이터의 경향성을 파악하고자 한다. 총 3년치의 데이터를 기반으로 T는 36 즉, 36개월을 의미한다. 가중치 ω 는 사례기업 데이터를 기반으로 5로 설정하였으며, l_t, P_t, d_t 는 각 사례기업 제품의 납기, 가격 및 수요를 의미한다. 또한, Z는 이근희, 이승구(1998)에 따라 서비스율 95%를 목표로 하는 1.65로 설정하였다.

4.2 납기 변동에 대한 분석

기존 납기와 비교하여 납기 변동이 있는 경우, 최적화 소프트웨어를 통해 산출한 재고량의 만족율과 비용을 분석하고자 한다. 이 분석은 구축한 모델에서 설정된 납기보다 긴 납기로 인해 변동성이 증가하는 경우의 결과이다. 모델을 통해 산출한 안전재고량을 Excel에 입력하여 납기의 증가에 따른 수요 충족 여부를 확인하여 어느 정도의 납기 변동성을 견딜 수 있는지 확인하였다. 불확실성을 대비하여 안정성을 확보하기 위해 기존 납기를 (9,9,9)로 설정

Table 2. Demand Satisfaction and Cost Improvement Results According to Lead Time Changes

납기 증가율 (단위:월)			수요충족 여부 (O/X)	비용 변화율 (단 위:%)
1yr	2yr	3yr		
9	9	10	O	-1.58
9	9	10.75	O	-1.58
9	9	11	X	-2.49
9	10	10	O	-5.52
9	10	11	X	-6.43
9	10	12	X	-6.88
10	10	10	O	-9.05
10	10	11	X	-9.95
10	10.75	10.75	O	-9.05
11	11	11	X	-17.41
평균			0.5	-6.99

실험 결과, 기존 설정된 납기인 (9,9,9)로는 3개월 이상의 납기 변동이 발생할 경우 수요를 충족하지 못해 판매 손실이 발생할 수 있음을 확인하였다.

이와 같은 결과를 바탕으로, 비용을 감소시키거나 만족도를 향상시킬 수 있는 더 합리적인 안전재고량을 제시하기 위해 이전에 제시한 안전재고량을 조정하고, 반복적

인 실험과 검증을 통해 새로운 회귀식을 도출하고자 한다. 조정된 안전재고량은 임의로 설정하였으며, 해당 안전재고량의 만족도와 비용을 분석하여 기존 안전재고량보다 향상된 안전재고량 데이터 100개를 사용하여 회귀식을 도출하였다. 이때, 학습데이터와 테스트데이터 비율은 9:1로 설정하였으며 조정된 안전재고량은 기존 안전재고량보다 더 높은 만족도를 가지거나 비용이 적은 경우로 선택되었다.

$$Y_1 = a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 \quad (8)$$

$$Y_2 = b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 \quad (9)$$

식(8)과 (9)에서 Y_1 과 Y_2 는 각각 만족도와 비용을 나타내며, X_1, X_2, X_3 는 각 1, 2, 3년차의 안전재고량을 의미한다. 또한, a 와 b 는 각 X_i 의 계수로 조정되어야 할 안전재고량의 비율을 의미한다. 도출된 회귀식(8), (9)의 R_{adj}^2 값은 각각 1과 0.99이다.

Table 3. Demand Satisfaction and Cost Improvement Results of the Proposed and Existing Methods According to the Increase of Lead Time

	안전재고량 (개)			수요 충족율 (%)	비용 (\$)
	1yr	2yr	3yr		
이론적인 안전재고식	51	175	175	50	85293
회귀식	51	175	175	50	84970

결과적으로, 위의 두 회귀식을 통해 얻은 만족도는 동일하였으며, 기업 부담 비용은 약 \$323.5 감소하였다. 즉, 회귀식을 통해 조정된 안전재고량의 만족도와 기업 부담 비용을 확인하여 보다 합리적인 안전재고량을 얻을 수 있음을 의미한다.

4.3 수요 변동에 대한 분석

기존 수요와 비교하여 수요 변동이 있는 경우, 최적화 소프트웨어를 사용하여 산출한 안전재고량의 만족도와 비용을 분석하고자 한다. 이 분석은 구축한 모델에서 설정된 납기에 따라 수요가 증가하는 즉, 수요 변동성이 증가하는 경우의 결과이다. 모델을 통해 산출된 안전재고량을 Excel에 입력하여 증가한 수요에 대한 수요 충족 여부를 확인하여 어느 정도의 수요 변동성을 견딜 수 있는지 확인하였다. 불확실성을 대비하여 안정성을 확보하고자 납기를 (9,9,9)로 고정하고 기존 수요 대비 수요 변동이 증가하는 경우 즉, 수요를 증가시키면서 수요 충족 여부와

비용을 확인하였다. 이때, 고정 납기(9,9,9)로 산출된 안전재고량은 1년차에 51개, 2년차와 3년차에 각각 175개이다.

Table 4. Demand Satisfaction and Cost Improvement Results According to Demand Changes

수요 증가율 (단위:%)			수요충족 여부 (O/X)	비용 증가율 (단위:%)
1yr	2yr	3yr		
0	0	10	O	-1.85
0	0	23	O	-7.70
0	0	24	X	-4.61
0	10	10	O	-8.31
0	12	12	O	-9.98
0	12	13	X	-10.16
1	1	1	O	-1.37
5	5	5	O	-6.84
9	9	9	O	-12.32
10	10	10	X	-13.70
평균			0.7	-7.68

실험 결과 3년차에만 수요가 증가한 경우, 수요를 충족할 수 있는 증가폭은 23%까지 확인되었다. 1년 차를 제외한 2년차와 3년차에만 수요 증가가 있을 경우, 기존 2년차와 3년차 대비 각각 10%와 13% 증가할 때에도 수요를 충족할 수 있었다. 마지막으로 1년차, 2년차, 3년차의 수요가 모두 증가하는 경우, 즉 수요의 불확실성이 가장 큰 경우에는 기존 수요 대비 매년 5% 증가 폭까지 수요를 충족할 수 있음을 확인하였다.

이와 같은 결과를 바탕으로, 비용을 감소시키거나 만족도를 향상시킬 수 있는 안전재고량을 제시하기 위해 이전에 제시한 안전재고량(51,175,175)을 조정하고, 반복적인 실험과 검증을 통해 새로운 회귀식을 도출하고자 한다. 조정된 안전재고량은 임의로 설정하였으며, 해당 안전재고량의 만족도와 비용을 분석하여 기존 안전재고량보다 향상된 안전재고량 데이터 100개를 사용하여 회귀식을 도출하였다. 이때, 학습데이터와 테스트데이터의 비율은 9:1로 설정하였으며 조정된 안전재고량은 기존 안전재고량보다 더 높은 만족도를 가지거나 비용이 적은 경우로 선택되었다.

$$Y_1 = a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 \quad (10)$$

$$Y_2 = b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 \quad (11)$$

식(10)과 (11)에서 Y_1 과 Y_2 는 각각 만족도와 비용을 나타내며, X_1, X_2, X_3 는 각 1, 2, 3년차의 안전재고량을 의미한다. 또한, a 와 b 는 각 X_i 의 계수로 조정되어야 할 안전재

고량의 비율을 의미한다. 도출된 회귀식 (10)과(11)의 R_{adj}^2 값은 각각 0.98과 0.99이다.

Table 5. Demand Satisfaction and Cost Improvement Results of the Proposed and Existing Methods According to the Increase of Demand

	안전재고량 (개)			수요 충족율 (%)	비용 (\$)
	1yr	2yr	3yr		
이론적인 안전 재고식	51	175	175	70	84661
회귀식	51	175	175	87.6	85008

결과적으로, 위의 두 회귀식을 통해 얻은 만족도 17.6% 증가하였고, 기업 부담 비용은 약 \$346.5 증가하였다. 고객 만족도와 비용은 서로 trade-off 관계에 있으며, 적절한 안전 재고량 조정을 통해 기업의 우선순위에 따라 선택할 수 있다. 즉, 회귀식을 통해 조정된 안전재고량의 만족도와 기업 부담 비용을 확인하여 보다 합리적인 안전재고량을 얻을 수 있음을 의미한다.

5. 결 론

본 연구에서는 반도체 부품 수요 및 납기 불확실성을 고려한 안전재고 설정 프레임워크를 제안한다. 구체적으로, 수요 만족도를 향상시키고 기업 부담 비용을 줄이기 위하여 기업 데이터를 기반으로 최적화 모형을 통해 적정 재고량을 도출한 한다. 이를 기반으로, 수요 변동에 따라 최종 안전재고를 설정하는 회귀식을 획득하였다. 실험 결과 비용 측면에서 개선된 결과를 획득하였고, 이를 통해 납기와 수요 변동 상황에서의 기업의 재고 관리에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

그러나, 사례 기업 데이터 기반으로 납기와 수요 변동을 고려함으로 인해 다양한 납기 및 수요 불확실성을 고려하지 못했다는 한계가 있다. 한편, 최근 적재창고 내 물품 재배치 연구[14]와 같이 물류 분야에서 강화학습 기법의 활용이 증가하고 있다. 따라서, 추후에 강화학습과 같은 기계 학습 기법을 활용하여 더 다양한 납기와 수요의 변동 시나리오를 고려한 안전재고 설정 기법을 연구하고자 한다.

감사의 글

이 논문은 2023년도 부처협업형 반도체전공트랙 사업을 통해 한국산업기술진흥원(G02P1880005501)의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

참고문헌

1. Park, Hung Su, Choi, Woo Yong, "Application Case of Safety Stock Policy based on Demand Forecast Data Analysis", Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering, Vol.43, No.3, pp.61-67, 2020.
2. Yang, Jae Yong, Lee, Hyung Seok, Park, Geun Wan, "Consideration of COVID-19 and Innovation Demands in Supply Chain Management Strategies: Focusing on Proposals from Global Consulting Firms", The Korean Society of Management Consulting, Vol.20, No.3, pp.225-236, 2020.
3. Lee, Chan Ju, "A Safety Stock Model for Demand-Driven Inventory Replenishment", Ph.D. Thesis, Ajou University, pp.22-47, 2020.
4. Park, Myeong Kyu, Yoon, Seung Chul, "Analysis of Service Level and Safety Stock for an Inventory Distribution System: Variable Demand and Variable Lead Time Model", Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering, Vol.20, No.42, p.23, 1997.
5. Shin, Sang Jun, Cho, Geon, "A Study on Optimizing the Capacity Utilization Rate under Due Date Constraints", Journal of Industrial Economics and Business, Vol.29, No.1, pp.297-319, 2016.
6. Kim, Gi Tae, "Analysis of Lead Time Distribution with Order Crossover", Journal of Korean Society of Industrial and Systems Engineering, Vol.44, No.4, pp.220-226, 2021.
7. Lee, Geun Hui, Lee, Seung Gu, "A Study of Determining the Economical Shortage Ratio for Safety Stock - With Emphasis on the Rolling Stock Part-", Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering, Vol.11, No.17, pp.47-54, 1988.
8. Suh, Kyung Bum, Park, Myung Kyu, "Safety Stock for Desired Service Level for the Item with Probabilistic Demand", Korea Safety Management & Science, Vol.2, No.3, pp.81-82, 2000.
9. Park, Sung Il, Kim, Jong Soo, "A Forecast-based Inventory Control Policy for an Item with Non-stationary Demand", Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, Vol.37, No.3, pp.216-218, 2011.
10. Cho, Young Sik, Lim, Chul Woo, Yoo, Jung Ho, Kim, Chang Duk, "A study of optimal re-order point based on safety stock considering service level", Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, Vol.30, No.1, pp.129-130, 2010.
11. Han, Joo Yun, Jung, Ho Sang, Jeon, Jong Tae, Jeong, Bong Ju, "Development of an efficient ATP system using safety stock level in Supply Chain Management",

- Journal of the Korean Society of Supply of Chain Management, Vol.2, No.1, pp.31-40, 2002.
12. Bang, Seong jin, Go Hae ji, Lee, Sang min, “TabNet-based Early Prediction and Interpretation of Work-in-process Inventory for Semiconductor Manufacturing”, Journal of Korean Institute of Information Scientists And Engineers, Vol.49, No.6, pp.466-468, 2022.
 13. Wenhan Fu, Sheng Jing, Qinming Liu, Hao Zhang, “Resilient Supply Chain Framework for Semiconductor Distribution and an Empirical Study of Demand Risk Inference”, Sustainability, Vol.15, No.9, pp.1-14, 2023.
 14. Kim, Yeojin, Kim, geuntae, Lee, Jonghwan, “Minimize Order Picking Time through Relocation of Products in Warehouse based on Reinforcement Learning”, Journal of the Semiconductor & Display Technology, Vol.15, No.9, pp1-14, 2022.
-
- 접수일: 2023년 6월 4일, 심사일: 2023년 6월 14일,
게재확정일: 2023년 6월 21일