creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

공학전문석사 학위 연구보고서

발주시점 다변화와 재고용량 KPI 도입을 통한 스마트 재고운영 방법론

Smart Inventory Management through Diversification of Ordering Point and Adoption of KPI for Inventory Capacity

2022년 2월

서울대학교 공학전문대학원
응용공학과 응용공학전공
김정수

발주시점 다변화와 재고용량 KPI 도입을 통한 스마트 재고운영 방법론

Smart Inventory Management through Diversification of Ordering Point and Adoption of KPI for Inventory Capacity

지도교수 박 건 수

이 프로젝트 연구보고서를 공학전문석사 학위
연구보고서로 제출함
2022년 1월

서울대학교 공학전문대학원
응용공학과 응용공학전공
김정수

김정수의 공학전문석사 학위 연구보고서를 인준함
2022년 2월

위원장 오 병 수 (인)
위 원 서 은 석 (인)
위 원 박 건 수 (인)

초 록

Pandemic이 촉발한 공급사슬의 불안정은 자재 공급 Risk와 제조환경의 변동성을 확대하고 있다. 제조환경 변화에 유연한 스마트한 재고운영이 그 어느때보다 요구되는 시점이다.

스마트한 재고운영을 위해 물류가 고려되지 않은 기존 구매전략 위주의 발주정책을 보완하고자 한다. 이를 위해 원자재 공급사슬의 리드타임 분석을 통해 낭비요인을 제거하고 운송 리드타임에 기반한 발주시점 최적화를 시도하였다. 적정 발주시점은 In-Transit리드타임과 On-Hand리드타임의 합으로 결정이 된다. 특히 물리적인 이동이 발생되지 않는 발주 후 협력사 생산대기 시간을 최적화하는 것이 핵심이 된다. 또한 협력사별 발주시점의 다양화가 전제 되어야 한다. 이를 통해 발주와 생산시점의 Gap을 최소화할 수 있고 공급사슬의 불확실성을 감소시킬 수 있다.

스마트한 재고관리 수준 평가를 위해 창고 생산용량과 창고 부하율을 새로운 KPI(Key Performance Indicator)로 제안하였다. 물량, 생산모델, 소싱 형태 등 제조환경의 변화 요인을 반영할 수 있다. 이는 기존 재무지표 위주의 KPI의 한계를 보완할 수 있음을 의미하며 창고 재고용량에 대한 임계치 분석 역시 가능하다. 또한 원자재 공급사슬과 재고관리 측면에서 주요한 의사결정의 평가요소로 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

주요어 : 공급사슬, 재고관리, 발주시점, 리드타임, 창고용량

학번 : 2020-27707

목 차

I. 서론 **1**

1.1 연구 배경 1

1.2 연구 목적 4

1.3 연구 논문 구성 6

II. 선행 연구 조사 **7**

2.1 발주시점 최적화 7

2.1.1 재고관리에서의 리드타임의 영향 7

2.1.2 재고규모 예측 9

2.1.3 안전재고 최적화 10

2.2 창고 생산용량 분석 11

2.2.1 창고 용량계획 및 설계방법 11

2.2.2 창고 운영 관리 13

III. 연구 방법론 **14**

3.1 운송 리드타임 분석 14

3.1.1 In-Transit 리드타임 15

3.1.2 On-Hand 리드타임 20

3.2 발주시점 최적화 23

3.2.1 협력사 별 발주시점 산출 23

3.2.2 발주시점 개선효과 분석 26

3.3 창고 생산용량 분석 27

3.3.1 원자재 물동량 분석 27
3.3.2 창고 보관용량 분석 30
3.3.3 창고 생산용량 환산 32
3.3.4 창고 부하율 분석 34

IV. 실험 및 결과 35
4.1 공급사슬 시뮬레이션 설계 35
4.2 설계 변수 및 데이터 37
4.3 결과 데이터 39
4.3.1 운송 리드타임 39
4.3.2 국가 별 발주시점 43
4.3.3 발주시점 개선효과 45
4.3.4 창고 생산용량 46
4.3.5 창고 부하율 47

V. 결론 48
5.1 연구성과 및 시사점 48
5.2 향후 연구과제 49

참고 문헌 50

Abstract 55

찾아보기 57

그 림 목 차

그림 1. 재고 영향 요소 3
그림 2. 원자재 운송 프로세스 14
그림 3. 원자재 공급사슬 해상운송 경로 설정 18
그림 4. 프로세스 모델링 라이브러리 19
그림 5. 육상운송 Random함수 설정 19
그림 6. Kraljic's Matrix 24
그림 7. 창고 Layout 및 운영 프로세스 30
그림 8. 원자재 공급사슬 구성 36
그림 9. 국가 별 생산실적 38
그림 10. 국가 별 원자재 컨테이너 수량 38
그림 11. ERP 실적 리드타임 - 미국 40
그림 12. ERP 실적 리드타임 - 브라질 40
그림 13. ERP 실적 리드타임 - 태국 40
그림 14. 국가 별 리드타임 현황 41
그림 15. 국가 별 창고 재고일수 42
그림 16. 적정 발주시점 - 미국 43
그림 17. 적정 발주시점 - 브라질 44
그림 18. 적정 발주시점 - 베트남 44
그림 19. 발주시점 별 주문량 변화 45
그림 20. 국가 별 창고 생산용량(KPI) 46
그림 21. 국가 별 창고 부하율(KPI) 47

표 목 차

표 1. 출발국가 설계변수 37
표 2. 도착국가 설계변수 37
표 3. 주문국가 별 생산물량 및 발주비율 38
표 4. ERP 리드타임 분석 결과 39
표 5. 국가 별 운송 시뮬레이션 결과 41
표 6. 협력사 대기/생산시간 42
표 7. 발주시점 최적화 결과 43
표 8. 발주시점 개선 효과 45
표 9. 국가 별 창고 생산용량(KPI) 46

제 1 장

서론

1.1 연구 배경

코로나19로 촉발된 Pandemic은 기업 경영활동의 트렌드를 급격하게 변화시키고 있다. 글로벌 공급사슬의 불확실성을 가중시켜 원자재와 부품 공급 물류에 부정적인 영향을 미치고 있다. 이를 해결하기 위해 글로벌 기업들은 대응책 마련에 고심하고 있다. 가장 안전하게 선택할 수 있는 방법은 충분한 재고의 비축이지만 재고비용의 증가로 기업 경영활동의 탄력성을 저하시킨다. 무엇보다 가장 큰 위험은 외부 환경 변화에 의해 수요 예측이 실패하게 될 경우이다. 이러한 상황에서 재고비용은 예외 없이 실패비용으로 귀속되며 기업 이익에 직접적인 영향을 미치게 된다. 따라서 적정 재고규모를 선정하고 이를 계획대로 운영할 수 있는 스마트한 재고운영 능력이 성공적인 제조활동의 출발점이라고 할 수 있다.

스마트한 재고운영을 위해서는 첫 번째로 제조환경 변화에 유연한 재고수준을 유지할 수 있어야 한다. 적정 재고수준은 적정 주문량을 결정하는 것에서 출발한다. 적정 주문량을 결정하기 위해서는 자재 공급의 불확실성을 최소화하고 발주시점을 최적화해야만 한다. 원자재 공급은 물류의 흐름이기 때문에 물류의 관점에서 불확실성의 원인을 파악하고 개선해야 한다. 불확실성의 두 축은 수요 예측과 리드타임이라고 할 수 있다. 수요 예측은 제어할 수 있는 영역이 아니지만 리드타임은 제어할 수 있으며 개선할 수 있다. 따라서 원자재 운송에 소요되는 리드타임을

분석하여 낭비 요소를 제거하면 된다. 적정 운송 리드타임을 기반으로 협력사 별 발주 시점을 최적화하면 적정 주문량을 산출할 수 있고 효율적인 재고관리를 할 수 있게 된다.

부품 공급 협력사가 제조 공장의 근거리에 위치할 경우 JIT(Just In Time)형태로 운영을 하게 된다. 발주 후 짧게는 3일에서 통상 1주일이면 자재 공급이 가능하기 때문에 리드타임 측면의 불확실성 이 낮아지게 된다. 하지만 해외로 운송이 되는 원자재는 운송 리드타임이 길어지는 만큼 자재 수급측면에서의 불확실성이 커지게 된다. 운송 경로 역시 대륙 별 국가 별로 매우 복잡하게 얽혀 있고 주문량과 주문시점 또한 다양하다. 구매단가를 낮추기 위한 구매전략까지 고려되어야 한다. 이런 이유로 해외에서 공급되는 자재들은 통상 3개월 전후로 일괄발주 형태를 보인다. 결국 해외에서 운송되는 원자재를 물류를 고려해서 발주를 한다는 것이 현실적으로 쉽지 않음을 알 수 있다. 하지만 국가 별 원자재의 운송 리드타임을 반영하여 발주시점을 산정할 수 있다면 주문량도 최적화할 수 있고 부진재고도 감소시킬 수 있기 때문에 재고관리 또한 효율적으로 할 수 있게 될 것이다.

두 번째로 스마트한 재고운영을 위해서는 재고관리 수준을 제대로 평가할 수 있는 KPI(Key Performance Indicator)가 있어야 한다. 재고관리를 담당하는 창고는 자재를 보관하는 물리적인 공간사용이 제한적이며 보관용량은 결정되어 있다. 재고관리 수준을 평가하고 생산차질이 유발하지 않는지 파악하려면 창고의 보관용량에 대한 KPI가 필수적이다. 하지만 현재의 대표적인 재고관리 KPI들인 재고금액, 재고일수, 부진재고율 모두 재무지표에 기반하고 있다. 재무지표만으로는 창고의 최대 보관용량을 판단할 수 없게 되기 때문에 보완이 필요하다. 특히 창고관리자 입장에선 원자재 창고의 보관면적은 한정적이기 때문에 재고비용과 더불어 공간관리

역시 매우 중요하다. 예를 들어 단가는 저렴하지만 부피가 큰 원자재의 비중이 높다면 재고금액에서 양호한 지표를 나타내지만 실질적인 재고관리 측면에서는 부담으로 작용하게 된다.

창고 공간의 부족으로 인해 필요한 자재를 제때 공급하지 못해 생산 차질까지 유발할 수 있기 때문이다. 창고는 재고비용과 더불어 공간 측면의 관리 또한 반드시 선행이 되어야 한다. 따라서 원자재를 공간측면으로 수치화해서 나타내는 관리 지표 개발이 시급하다고 할 수 있다. 현재는 생산물량, 모델, 소싱 형태 등 외부 환경의 변화를 실시간으로 반영할 수 있는 창고 관리 지표가 부재한 상황이다.

그림 1: 재고 영향 요소

스마트 팩토리 흐름에 맞추어 창고관리 영역에서도 많은 물류 혁신을 시도하고 있다. 다양한 시스템의 도입, 창고 자동화, 프로세스 개선을 통해 사람의 개입을 최소화하여 운영을 최적화하고 있다. 하지만 창고관리 측면에서 물류 혁신은 다른 제조현장에 비교하면 그 개선 효과가 상대적으로 제한적이다. 제조 현장의 운영능력과는 무관하게 외부 제조환경에 의해 결정이 되는 재고의 변화량 때문이다. 창고의 보관용량은 제한적인 반면 재고 변화량은 창고 보관용량을 초과하는 경우가 많다. 수요 변화로 생산물량이 증가하거나 모델 변경으로 인해 자재 종수가 증가하게 되면

재고가 증가한다. 또한 원자재 소싱 형태가 변경이 되어 근거리 협력사의 부품이 해외에서 공급이 되는 경우에도 재고가 증가하게 된다. 불량자재가 입고되거나 기존의 수요 예측이 실패해서 사용할 수 없는 부진재고 역시 재고를 증가시키며 재고관리를 어렵게 하는 원인이 된다. 또한 원자재 창고는 구매, 물류, 제조 부서까지 복잡하게 얽혀 있는 특수성 역시 간과할 수 없다. 재고관리는 발주, 물류 운송, 자재보관까지 공급사슬 단계에서 그 원인을 찾고 개선점을 발굴해야 한다.

1.2 연구 목적

본 연구에서는 스마트한 재고운영을 위해 필요한 적정 재고수준을 운영하는 방법과 재고관리 평가기법의 고도화에 대해 다루고자 한다. 첫 번째로 적정 재고수준을 유지한다는 것은 생산활동을 안전하게 보장하는 수준에서 재고를 최소화로 운영하는 것을 의미한다. 적정 재고는 적정 주문량의 결정에서 출발하며 발주시점의 최적화를 통해 가능하게 된다. 발주 시점을 최적화하기 위해선 운송 리드타임의 분석이 선행되어야 한다. 특히 해외에서 운송되는 원자재의 운송 리드타임을 국가 별로 분석하여 발주시점을 세분화하여 결정해야 한다. 두 번째는 재고용량 평가를 재무지표 이외 창고의 보관용량을 기준으로 평가할 수 있어야 한다. 이를 위해 창고의 생산용량을 새로운 KPI로 제안하고자 한다. 창고의 물리적인 보관용량을 기반으로 재고수준을 평가하여 재고보유량의 임계치 분석이 가능하다. 이를 통해 기존의 재무지표 위주의 KPI의 한계를 보완할 수 있다.

원자재 공급사슬은 매우 복잡하게 얽혀 있고 발주량과 발주 시점에 따라 재고비용이 달라지고 수익성에 영향을 주게 된다. 특히 발주 시점은

생산규모, 원자재 창고의 재고 보유량, 1회 발주수량, 운송 리드타임에 의해 결정이 된다. 하지만 해외에서 자재를 수급하는 경우 운송 리드타임의 고려 없이 3개월 단위의 주기적이고 일괄적인 발주 정책을 고수하고 있다. 본 연구에서는 발주시점을 기점으로 협력사 생산, 물류운송, 창고도착/생산라인 투입까지 전체 리드타임을 분석하여 국가 별 적정 발주시점을 산정하고자 한다. 이를 위해 미국, 브라질, 태국 3개 국가의 ERP(Enterprise Resource Planning)실적데이터와 공급사슬 시뮬레이션을 통해 국가 별 운송 리드타임을 분석한다. 구간 별 리드타임 분석결과를 기반으로 낭비요인을 발굴하여 적정 리드타임을 도출한다. 도출된 리드타임을 기반으로 발주 시점을 조정하여 재고규모를 최소화할 수 있는 발주시점을 추론한다. 이를 통해 일괄발주가 아닌 운송 리드타임을 고려해서 발주시점을 다변화해야 함을 증명하고자 한다.

마지막으로 기존 재고 관리지표의 단점을 보완하는 창고의 생산용량을 새로운 재고관리 KPI로 제안하고자 한다. 특히 재고금액에 기반한 재고 수준관리는 물량변화, 생산모델 변경, 소싱 비율변화와 같은 외부 환경변화에 대한 정보 제공이 제한적이다. 이를 보완하기 위해 원자재 물동량과 창고 보관공간의 용량을 기반으로 보유재고 대비 생산용량을 파악할 수 있도록 하였다. 창고에 보관될 원자재의 용적정보, 창고의 보관용량, 원자재 물동량 기준의 재고일수를 주요 인자로 활용한다. 이를 통해 제조의 생산물량 계획과 창고의 생산용량을 비교하면 창고 보관공간의 과부족을 판단할 수 있다. 또한 창고 재고보관의 여유수준 역시 확인이 가능하다. 즉 제조환경에 변화에 따른 제고관리 방향성에 대한 인사이트를 경영진에게 제공할 수 있음을 의미한다.

1.3 연구 논문 구성

본 연구는 전체 5개의 장으로 구성되어 있다. 제 2장에서는 리드타임에 따른 발주시점 최적화와 창고 생상 용량 분석에 필요한 선행 연구를 살펴보았다. 발주시점 관련해서 리드타임의 영향, 원자재 재고규모 예측, 안전재고 최적화를 다루었다. 창고 생산용량 분석을 위해서 창고 용량계획 및 설계방법, 창고 운영 관리에 대한 연구사례를 포함하였다. 제 3장에서는 실제 적용하고자 방법론을 구체화하였다. 공급사슬 물류 시뮬레이션을 통해 구간 별 리드타임을 분석하여 발주시점을 결정하고, 창고 용량분석을 위해 필요한 주요 인자와 모델링 방법론을 기술하였다. 제 4장에서는 실험 분석과 결과 도출을 위해 데이터셋에 대한 소개, 실험 환경, 실험 결과에 대해 기술하였고 마지막으로 제 5장에서는 결론을 도출하고 본 주제와 연관된 미래 연구사례를 제시하였다.

제 2 장

선행 연구 조사

본 연구는 크게 원자재 발주시점 최적화와 창고용량 분석으로 구성이 된다. 발주시점 최적화는 리드타임과 재고와 연관된 관련 연구 세가지를 다루고자 한다. 1) 재고관리 측면에서의 리드타임의 영향, 2)재고규모 예측, 3)안전재고 최적화이다. 창고용량 분석은 창고 용량 계획과 설계방법론과 창고 운영관리에 대한 관련 연구를 소개한다.

2.1 발주시점 최적화

2.1.1 재고관리에서의 리드타임의 영향

재고관리는 공급사슬의 각 단계에서 발생되는 물류 활동들과 많은 상관관계를 가지고 있다. 수요예측에서부터 원자재 운송까지 각 단계에서의 불확실성이 커질수록 재고관리에 부정적인 결과를 초래할 수 있다. 그 중 대표적인 요소가 리드 타임이라고 할 수 있는데 리드 타임과 공급사슬에서의 불확실성은 양의 상관관계라고 할 수 있다. 리드타임이 증가될수록 불확실성은 커지면서 공급사슬에서 재고와 비용의 증가와 같은 부정적인 결과를 초래하게 된다. 재고 부족에 대비해 과도한 재고를 보유하게 되는 채찍효과(Bullwhip Effect)가 이에 해당된다. 이를 해결하기 위해선 리드타임을 줄이는 것이 매우 효과적임을 많은 연구에서 살펴볼 수 있다[1] [2] [3]. 일반적인 재고모형에서 리드 타임과 주문량은 의사결정 변수로 작용한다. 리드 타임이 감소하게 되면 고객의 만족도가 개선이 되고 생산

계획 측면에서 긍정적인 효과를 얻을 수 있다. 특히 안전재고를 감소시키는 역할까지 기대할 수 있다[4]. 또한 리드타임을 고정적으로 보지 않고 리드타임에 따라 주문량(Lot Size) 의 함수에 따른 리드타임에 미치는 영향성 분석도 가능하다. 이를 통해 리드타임을 효과적으로 활용하면 전체 주문량과 안전재고 비용을 절감 할 수 있다[5]. 공급사슬에서 Inventory 의 채찍효과를 줄이기 위해 각 단계의 정보 공유(Information Sharing) 또한 매우 중요하며 이는 매우 효과적이다. 하지만 정보 공유만으로는 한계가 있으며 채찍효과의 최소화를 위해서 정보를 공유하는 것보다 리드타임을 단축하는 것이 더 우수함을 MMSE(Minimum Mean Square Error) 모델을 통해 증명하였다[6]. 이렇듯이 리드타임을 효과적으로 관리하고 통제할 수 있다면 공급사슬에서 발생되는 낭비를 제거하고 효율화가 가능하다. 리드타임은 추가적인 비용(Crashing cost)을 투입하면 단축이 가능하다[7]. 리드 타임을 단축하기 위해서 비용이 발생이 되지만 전체적인 비용은 절감할 수 있음을 리드 타임이 확률적인 듀얼 소싱 모델에서 증명하였다 [8]. 또한 구매 비용에 따라 결정되는 리드타임을 고려하여 재고관리를 최적화할 수 있다. 구매 비용을 최소화하면서 리드타임을 단축할 수 있는 수리 모델링 접근방식도 가능하다[9].

최근에는 운송 리드타임과 환경적인 요소까지 고려한 연구역시 활발히 이루어지고 있다. 항공운송과 해상운송을 리드 타임, 물류 비용, 탄소배출 측면에서 비교하여 상관관계가 연구되었다. 리드타임과 비용은 반비례하고 비용이 감소될수록 탄소 배출은 증가함을 알 수 있었다[10]. 또한 리드 타임의 변동성에 따른 탄소배출량을 비용으로 환산하여 공급사슬 평가의 측정도구로 제시하였다. 시스템 다이나믹스 방법론으로 리드타임의 불확실성에 따른 환경 비용, 재고 비용 트렌드를 추론할 수 있다[11].

2.1.2 재고규모 예측

올바른 수요 예측은 불필요한 재고비용을 줄여주며 수익성 개선에 직접적인 기여를 한다. 원자재 주문량을 최적화하기 위해선 수요 예측의 정확성이 관건이 된다. 원자재 수요예측은 완제품 수요 예측 정보와 연동된다. 완제품 수요 예측이 이루어지면 BOM(Bill of Material)에 따라 각 부품과 원자재의 소요량과 주문량이 결정된다. 전통적인 예측 방법론은 평균이동법(Moving Average), 지수평활법(Exponential Smoothing), 회귀분석(Linear Regression)이 있다[12].

전통적으로 수요 예측의 정확성은 예측이 얼마만큼 정확하지 않았는지 예측 오류를 측정하는 것으로 판단했다. 재고관리에서 수요 예측의 영향성을 평가하는 수요 예측의 방법론에 따라 예측 오류와 CSL(Customer Service Level)간의 차이가 발생함을 증명할 수도 있다[13]. MRP(Material Requirement Planning)운영 환경에서 재고관리와 연관된 일정 수립에 수요 예측 오류가 미치는 영향성을 파악할 수도 있다.[14]. 하지만 예측 오류가 현재의 운영상태를 반영하지 못한다는 한계는 분명 존재한다. 이외에도 수요예측에서 주목할 만한 분야는 OR(Operation Research)이라고 할 수 있다. 지난 50년간 공급사슬의 다양한 분야에서 재고 예측과 계획수립 분야에 지대한 공헌을 하였다[15].

수요가 가변적이고 확률적인 상황에서 적정한 주문량과 재주문 시점을 결정하는 것은 매우 복잡한 문제이다. 실제 제조현장에서 리드 타임 또한 불확실성을 가지고 있기 때문에 수학적인 모델링을 구현하기에 앞서 많은 가정과 제약이 필요하다. 이렇듯이 수요예측에는 확률적인 편차가 발생이 되고 그 이유는 다음과 같다. 늦은 배송, 선적 차질, 생산 지연, 생산 유실, 원자재의 품질불량이 원인이 된다[16]. 간단하게는 확정적 재

고모형(Deterministic Inventory Model)을 통해 분석을 할 수 있지만 수요에 대한 불확실성을 반영하지 못하기 때문에 확률적 재고모형(Stochastic Inventory Model)을 활용하게 된다.

메타 휴리스틱과 지수 평활법을 통해 미래 수요와 재고 규모를 예측할 수도 있다. 수요에 연관된 분포나 피팅함수 같은 사전 지식없이 과거 데이터만 있으면 가능하다. (s, S)정책에서 리드 타임이 증가함에 따라 재고 비용이 증가하며, 일반적으로 (r, Q)정책이 (s,S)보다 재고비용이 낮음을 알 수 있다[17]. 전통적인 수요 예측 방법론의 단점은 트렌드의 변화를 반영하지 못하고 과거데이터에만 의존하게 되며 정량적인 결과만 보여준다는 점이다. 이러한 점을 보완하기 위해 AHP(Analytic Hierarchy Process)을 통한 수요 예측도 가능하다. AHP는 전통적인 수요 예측 방법론의 단점들을 보완하여 정성적인 결과를 포함하여 더욱 우수한 결과를 보여 준다[18].

2.1.3 안전재고 최적화

안전재고는 수요의 불확실성으로부터 정상적인 생산활동을 보장하는 버퍼 역할을 한다. 예측된 수요를 초과하는 경우를 대비하기 위해선 안전재고 확보가 필수적이다. 원자재 안전재고는 예측된 수요와 더불어 원자재 불량, 생산라인에서의 조립불량으로 인한 폐기까지 감안이 된다. 안전재고 보유량을 늘리게 되면 수요의 변동성에 유연하게 대처할 수 있지만 재고 비용이 증가하기 때문에 제조활동에 타격을 주지 않는 적정 재고 수준을 결정은 매우 중요하다.

가장 간단한 접근은 재주문점(Reorder Point)에서 리드타임동안 발생한 수요분을 차감하면 파악할 수 있다[12]. 하지만 수요와 공급의 불확실성이 전제가 되는 현실 상황에서 확률적인 접근이 필요하며 보다 복잡한

단계를 거쳐야만 최적해를 구할 수 있다. 안전재고 수준 결정을 위해 다양한 최적화 방법론과 연구가 이루어지고 있다. 공급사슬에서 수요 예측의 불확실성을 고려하여 [19] 시스템 다이나믹스 모델을 통해서 안전재고 수준을 결정할 수 있다. 리드타임의 평균과 표준편차, 고객 서비스 목표수준이 안전재고 규모를 결정하게 된다. 안전재고에 영향을 미치는 다양한 인자들을 평가하여 공급 사슬 각 요소 간의 협동과 정보공유의 강화, 채찍효과 감소를 통해 재고를 최소화할 수 있다[20].

다중 계층(Multi-stage) 시스템에서 Base-stock control방식을 기본으로 다이나믹 프로그래밍으로 안전재고 규모를 [15] 안전재고 역시 수요와 공급의 불확실성을 전제하며 확률적인 접근이 가능하다. 수요가 재주문점보다 낮은 확률을 의미하는 CSL(Cycle Service Level)을 활용하여 안전재고 분석도 가능하다.

2.2 창고 생산용량 분석

2.2.1 창고 용량계획 및 설계방법

공급사슬 내에서 창고는 매우 핵심적인 역할을 담당한다. 공급자와 소비자 사이의 원자재, 부품, 완제품의 물류 흐름을 연결하는 노드의 역할로써 물리적인 대기 공간을 제공한다[21]. 당연히 창고의 효율적인 관리 없이는 공급사슬의 전체 최적화가 이루어질 수 없다. 창고와 관련된 초기의 연구는 창고와 관련된 비용을 최소화하는 창고 레이아웃을 결정하는 방법이 주요 테마였다. 자재 취급비용(Material handling cost), 창고 건설비용이 주요 인자로 활용되어 수리모델로 구성된다. 외부적인 상황은 배제한 체 창고 내부 자재의 배치방법에 따라 전체 비용을 최소화할 수 있는 창고 레이아웃 연구가 그중 하나가 된다[22]. 창고의 규모, 창고 내부의 레

이아웃, 보관 정책(storage policy)을 복합적으로 고려할 수도 있다. 창고의 규모에 따라 보관을 하지 못하는 실패비용이 발생되고 이를 전체 비용 측면에서 최적화할 수도 있다[23]. 창고의 용량 설계는 창고의 규모(Size)를 결정하는 문제라고 할 수 있다. 특히 재고를 관리하고 제어하는 창고의 역할에 집중하면 재고비용, 건설비용과 더불어 재고를 보충하는 비용(replenishment cost)까지 반영하여 최적화를 시도할 수 있다[24][25][26]. 창고 설계를 최적화하기 위해 창고의 운영전략을 고려할 수도 있다. 특히 창고의 Rack에 재고를 보관하고 출고(Order Picking)하는 전략은 창고의 운영 효율을 결정하는 매우 중요한 요소가 되며 쉽게 바꾸기도 용이하지 않다[27].

창고의 공간 부족은 수요가 보관용량을 초과할 때 발생이 되는데 추가 임대공간을 활용하면 대응이 가능하다. 다만 임대비용이 발생하게 되는데 이를 비선형계획법(Non-linear Programming)을 통해 전체 비용을 최소화할 수 있다[28]. 창고의 위치 선정 역시 매우 중요한 문제이다. 창고의 위치는 창고 내부에서 발생되는 비용보다 전체 공급사슬 측면에서 발생되는 물류비에 더 큰 영향을 미칠 수 있기 때문이다. 창고의 위치선정을 최적화하는 다양한 연구가 시도되었다. 혼합정수계획법(Mixed Integer Programming)을 통해 창고와 연관된 네트워크 재배치하고 창고를 재설계할 수 있다[29]. 창고의 용량을 창고 자체적으로 최적화하는 것이 아니라 해상운송 중에 발생하는 환적(Transshipment)과 공유하는 방법도 제시되었다[30]. 환적을 통해 창고의 용량부족을 보충하면 전체 공급사슬측면 비용에서 큰 효과를 얻을 수 있음을 증명하였다. 특히 공급사슬 불안정이 가중되는 현 시점에서 창고의 용량을 늘릴 수 있기 때문에 시도해 볼만한 방법으로 생각된다.

2.2.2 창고 운영 관리

창고의 용량 계획과 레이아웃 설계는 창고의 하드웨어를 준비하는 기본 단계라고 할 수 있다. 하지만 창고가 가진 하드웨어를 얼마나 잘 활용하는지는 소프트웨어, 즉 창고의 운영능력에 의해 결정이 된다. 창고에 투입되는 다양한 자원들을 최적화하고 시스템을 통해 유기적으로 운영할 수 있어야 한다. 투입되는 대표적인 자원은 인력이며, 이들의 휴먼역량을 극대화할 수 있어야 한다. 이를 위해 각 직책에 맡는 핵심업무를 부여하고 역량을 관리하는 것이 핵심이다[31].또한 관리자와 현장인력 간의 소통을 강화하고 업무 만족도를 높일 수 있는 작업환경 구축과 코칭이 매우 중요하다[32].인력 이외에도 다양한 장비와 자동화 설비들도 투입이 된다. AS/RS시스템, AGV, RFID, Ladar등 다양한 시스템과 기술들이 적용이 된다.

하지만 무엇보다 창고운영의 핵심은 창고의 메인 역할인 재고관리라고 할 수 있다. 작업 복잡도(Task Complexity)와 마켓 다이나믹스(Market dynamics)를 통해 보관계획을 수립하고 창고 운영 프로세스를 최적화하는 것이 핵심이 된다[33].창고 관리시스템(Warehouse Management System, WMS)을 통해서 창고 운영에 관련된 제반 데이터를 추적하고 관리할 수 있다. WMS는 적은 자원을 투입하고도 전체 프로세스의 투입되는 비용 절감을 가능케하지만 IoT를 기반으로 한 프레임워크 적용을 통해 고도화가 가능하다[34].

제 3 장

연구 방법론

3.1 운송 리드타임 분석

발주시점을 결정하기 위해선 리드타임 분석이 선행되어야 한다. 본 연구에서는 3개 국가(미국,브라질,태국)에서 발주되는 원자재의 운송 리드타임을 분석하고 원자재 공급사슬 구조에 따라 국가 별 적정한 발주시점을 산정하고자 한다. 리드타임은 크게 In-Transit구간과 On-Hand구간으로 구분할 수 있다. In-Transit구간은 자재를 발주하는 시점부터 창고까지 도착하는 실질적인 물류운송이 발생되는 구간이다. 대륙 별 운송경로와 이동거리에 따라 리드타임 차이가 발생된다. On-Hand구간은 창고 도착시점부터 생산라인에 투입하기 전까지 창고에서 대기하는 시간을 의미한다. 이 구간의 리드타임 역시 각 생산공장의 제조환경과 재고관리 운영수준에 따라 차이가 발생된다.

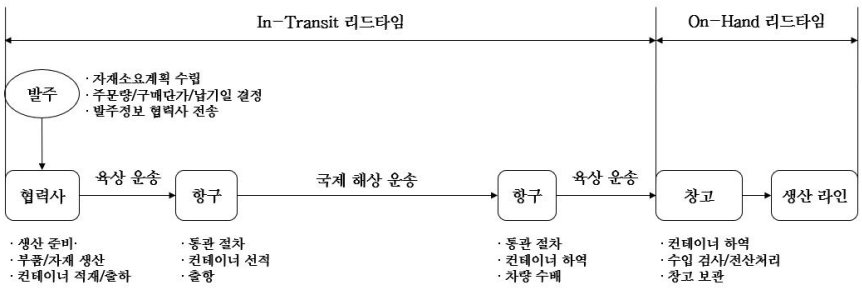

그림 2: 원자재 운송 프로세스

3.1.1 In-Transit 리드타임

본 연구에서는 해외에서 발주된 원자재 운송을 대상으로 하고 있으며 선박에 의한 국제 해상운송을 전제로 한다. 실제 제조현장에서 긴급자재나 고가자재의 경우 항공운송을 통해 공급하기도 하지만 예외적인 상황에서만 발생되기 때문에 본 연구에서는 제외한다. 따라서 협력사가 위치한 출발국가와 창고가 위치한 도착국가의 항구를 반드시 경유하는 것을 조건으로 한다. In-Transit구간의 운송 프로세스는 전체 8단계로 구분할 수 있다.

[In-Transit 운송 프로세스]

- 1단계 : 발주 (자재공급 요청)
- 2단계 : 협력사 생산 (생산준비 및 부품생산)
- 3단계 : 육상운송 (Local 이동)
- 4단계 : 출발국가 항구도착 (통관 및 컨테이너 선적)
- 5단계 : 해상 운송 (국가 간 이동)
- 6단계 : 도착국가 항구도착 (컨테이너 하역/통관)
- 7단계 : 육상운송 (Local 이동)
- 8단계 : 창고 도착 (수입검사/자재보관)

발주가 이루어지면 자재코드, 수량, 도착예정일을 포함한 발주정보가 협력사로 자동 전송이 되고 협력사는 출하계획과 자재 소요계획을 반영하여 생산계획을 수립하게 된다. 해외 운송 자재의 경우 12주 선행하여 발주가 이루어진다. 즉 협력사의 입장에서는 생산과 운송 리드타임을 포함하여 12주의 여유시간을 확보하게 된다. 협력사는 생산준비 상황과

운송시간을 감안하여 생산계획을 수립하게 되는데 발주 즉시 생산을 진행하진 않는다. 즉 협력사 생산구간에서 발주정보만 입수하고 생산을 하지 않은 생산 대기시간이 발생된다. In-Transit구간에서 물리적인 이동이 발생하지 않은 유일한 구간이 협력사 생산구간이라고 할 수 있다. 협력사 생산구간에서 생산 대기시간이 적정한지만 판단할 수 있다면 운송 리드타임의 불확실성을 최소화할 수 있다.

하지만 ERP에서는 In-Transit 전체 구간의 리드타임만 실적데이터로 확인이 가능하며 구간 별 데이터 분석은 별도의 과정을 거쳐야 한다. 본 연구에서는 In-Transit구간을 물리적인 운송이 일어나는 구간은 공급사슬 시뮬레이션을 통해 분석을 한다음 전체 실적데이터에서 시뮬레이션 분석 값의 차이로 협력사 생산시간을 추론할 수 있다. 추론된 협력사 생산시간의 적정성을 판단하여 국가 별 적정 In-Transit리드타임 을 도출한다.

$$LT_{in} = O_t + VT_w + VT_p + DT_{all} \tag{3.1}$$

- LT_{in} : In-Transit 전체 소요시간
- O_t : 발주 소요시간
- VT_w : 협력사 대기시간
- VT_p : 협력사 생산시간 (순수 가공/생산시간)
- DT_{all} : 물류 운송시간 (육상운송 + 해상운송)

발주 소요시간 O_t는 실시간 데이터 전송으로 이루어지기 때문에 0이 된다. 협력사 생산시간 VT_p는 부품이나 자재생산을 위한 순수가공시간을 의미한다. 사출, 프레스 가공부품 생산 소요시간의 최대값인 1주(7일)로 설정한다. 자재준비, 생산계획수립, 출하차량 수배 등 생산에 필요한 준비

시간은 모두 협력사 대기 시간 VT_w에 포함시킨다. 따라서 In-Transit 운송 리드타임은 다음으로 환산된다.

$$LT_{in} = VT_w + DT_{all} + 1week \tag{3.2}$$

협력사 생산 대기시간은 아래와 같이 추론할 수 있다.

$$VT_w = LT_{in} - (DT_{all} + 1week) \tag{3.3}$$

In-Transit 전체 리드타임 LT_{in}은 ERP 실적데이터에서 확인이 가능하다. 관건은 물류운송 소요시간 DT_{all}의 되는데 시뮬레이션 분석으로 결과값을 얻을 수 있다. 데이터 분석과 시뮬레이션을 통해 각 항목을 분석하면 협력사 대기시간 VT_w를 추론할 수 있다.

$$VT_w = ERP_{data} - (Simulation_{result} + 1week) \tag{3.4}$$

분석된 결과를 바탕으로 In-Transit 전체 리드타임에서 협력사 대기시간 VT_w의 비율을 파악할 수 있게 된다. 이를 통해 VT_w가 과도한 시간이 소요되는 것으로 확인이 되면 조정과정을 거친다. 이를 통해 국가 별 적정 In-Transit 리드타임을 결정할 수 있다.

앞서 언급한대로 물류운송 소요시간 DT_{all}은 Anylogic을 활용하여 시뮬레이션 분석으로 도출한다. Anylogic은 Web기반의 시뮬레이션 소프트웨어로써 3D 모델링 편집기와 Java 코딩기능을 제공한다[35]. 이산사건(Discrete Event), 행위자 기반(Agent Based), 시스템 다이나믹스(System Dynamics)의 멀티메소드 시뮬레이션 모델링을 최초로 도입한 Tool이며, 특히 시뮬레이션 모델 내에서 GIS Map을 사용할 수 있는 고유한 기능을

제공하기 때문에 다양한 공급사슬 시뮬레이션이 가능하다. 대륙 운송 이외 해상 운송도 가능하며 운송항로 설정 역시 가능하다.

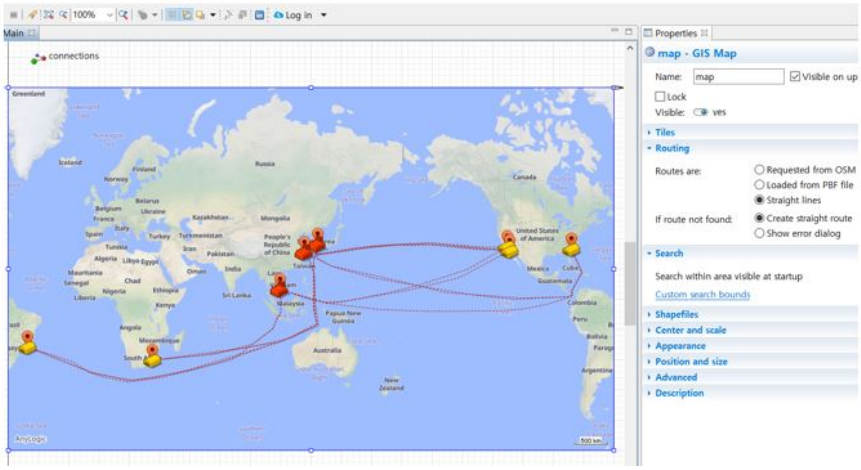

그림 3: 원자재 공급사슬 해상운송 경로 설정

국가 별 실제 해상경로를 반영하여 국가 간 원자재 공급사슬 모델링을 수행하여 분석을 진행한다. 공급사슬 시뮬레이션의 프로세스는 6단계로 구분된다.

[원자재 공급사슬 시뮬레이션 프로세스]

- 1단계 : GIP Map 내 출/도착 항구위치 설정
- 2단계 : 시뮬레이션 Agent설정
- 3단계 : 국가 별 운송 항로 설정
- 4단계 : 프로세스 모델링 (발주비율, 내륙운송, 항구대기 설정)
- 5단계 : 시뮬레이션 모델 Running
- 6단계 : 운송 리드타임 결과 분석

특히 프로세스 모델링에서는 Library를 활용하여 전체 운송 프로세스를 설계한다. 각 국가 별 발주비율, 내륙운송, 해상운송 경로 연결, 항구 대기시간을 설정을 할 수 있다.

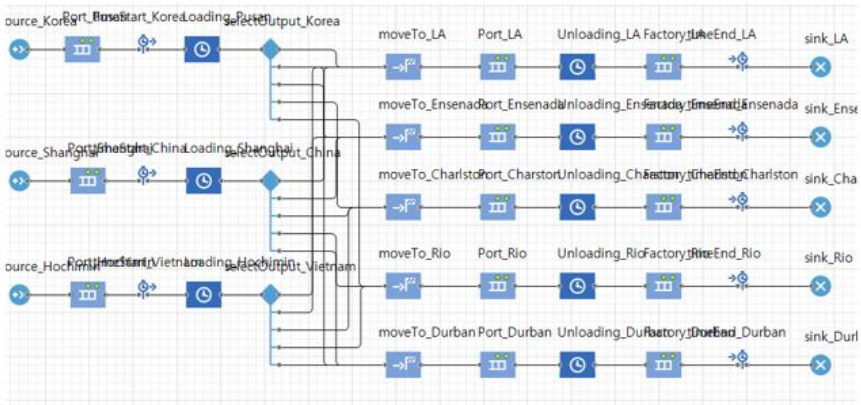

그림 4: 프로세스 모델링 라이브러리

공급사슬 시뮬레이션은 크게 육상운송과 해상운송으로 구분된다. 출발과 도착국가에서 발생되는 내륙운송의 경우 실제 이동 경로를 반영하지 않고 이동 시간을 기준으로 Random함수를 적용하였다.

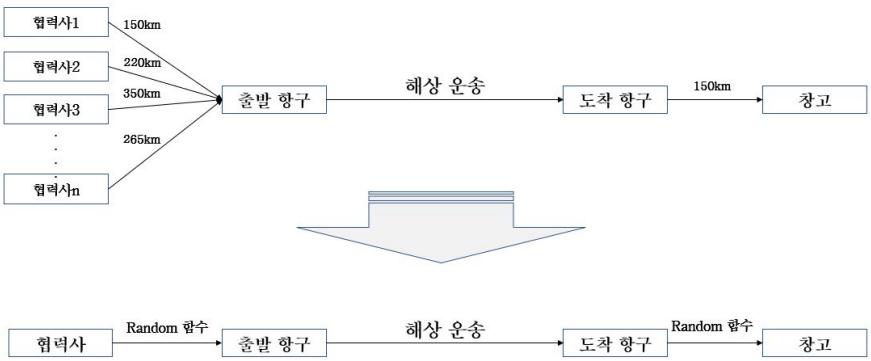

그림 5: 육상운송 Random함수 설정

모든 협력사의 위치정보를 확인하여 GIS Map에 반영하고 모델링을 구성하는 것은 비효율적인 모델링이 된다. 해당 구간의 소요시간이 평균 1일, 최대 2.5일로 전체 리드타임의 2퍼센트 수준으로 큰 영향성이 없기 때문이다. 또한 각 국가의 항구에서 대기해야 하는 시간 역시 Random분포함수를 적용하여 결과값이 발생되도록 하였다. 주문국가의 발주 비율에 따라 해상 운송시간이 달라지고 내륙운송, 항구대기의 분포함수 적용으로 Random한 결과값으로 물류운송 리드타임을 얻을 수 있다.

3.1.2 On-Hand 리드타임

발주가 된 원자재와 부품들은 공급사슬의 여러 단계를 거쳐 최종 목적지인 생산공장의 창고에 도착하게 된다. 창고 도착시점을 기점으로 생산라인에 투입이 되기 전까지 대기하는 시간이 On-Hand 리드타임이 된다. On-Hand 리드타임은 제조현장에서 창고 재고일수(Inventory days)와 동일하게 인식이 된다. 전통적인 재고일수 산출 방식은 재고금액을 기준으로 결정된다. 전체 재고금액을 기준으로 하루 동안 소진되는 재고비용을 나누어 주면 된다. ERP시스템에서 본 방식으로 데이터를 제공한다.

$$InV_{days} = \frac{C_{all}}{C_{day}} \tag{3.5}$$

- InV_{days} : On-Hand 리드타임 (재고일수)
- C_{all} : 전체 평균 재고금액
- C_{day} : 1일 소진 재고금액

재고일수는 창고 운영수준을 평가할 수 있는 중요한 지표가 될 수 있다. 재고일수가 낮을수록 재고를 적게 비축하는 것을 의미하기 때문에

재고비용 측면과 창고 운영의 탄력성 측면에서 유리하다고 할 수 있다. 하지만 재고비용과 재고일수는 비례관계지만 완전히 선형적이라고 볼 수는 없다. 특정 부품과 원자재의 단가가 비쌀 경우 데이터 전체의 왜곡이 있을 수 있으며 재고금액에 대한 최대치의 범위 설정이 불가능하기 때문에 창고의 최대 허용 재고일수 산출이 불가능하다.

이를 보완하기 위해 본 연구에서는 물동량을 기준으로 분석하고자 한다. 산출방식은 전체 보유재고 물동량을 기준으로 하루 동안 소진되는 재고 물동량을 나누어 주면 된다. 이럴 경우 뒤에서 언급될 창고의 보관용량 분석도 가능하다. 또한 창고의 최대 보관용량은 결정되어 있기 때문에 창고의 최대 허용 재고일수 또한 산출할 수 있다.

$$InV_{days} = \frac{M_{all}}{M_{day}} \tag{3.6}$$

- InV_{days} : On-Hand 리드타임 (재고일수)
- M_{all} : 전체 평균 재고 물동량
- M_{day} : 1일 소진 재고 물동량

ERP에서는 물동량을 기준으로 한 재고일수 정보는 제공되지 않기 때문에 별도의 환산 과정을 거쳐야 한다. ERP에서 제공되는 Bin사용률 정보를 활용하면 물동량 기준의 재고일수 추론이 가능하다. Bin은 원자재 창고에서 자재의 최소이동 단위인 Pallet를 보관하고 관리하는 역할을 한다. 1개의 Bin은 통상적으로 1개의 Pallet가 보관되며 고유의 Location 정보가 부여된다. 자재가 생산라인에 투입이 필요할 경우 이 Bin정보에 매칭된 자재 정보를 통해 자재는 출고하게 된다. 전체 사용 가능한 Bin수 대비 현재 사용중인 Bin의 수를 통해 Bin사용률(BIN_{util})은 다음과 같이

표현할 수 있다.

$$BIN_{util} = \frac{BIN_{used}}{BIN_{all}} \tag{3.7}$$

- BIN_{all} : 전체 Bin수 (최대 보관가능한 Pallet수)
- BIN_{used} : 평균 사용 Bin수 (보관중인 평균 Pallet수)

재고일수를 추론하기 위해 평균 사용 Bin수 BIN_{used}정보를 활용해야 한다. BIN_{used}는 특정 기간 동안의 1일 소진 재고 물동량인 M_{day}와 재고일수 InV_{days}의 곱으로 표현할 수 있다.

$$BIN_{used} = M_{day} \times InV_{days} \tag{3.8}$$

이를 활용하여 재고일수를 추론한다.

$$InV_{days} = \frac{BIN_{used}}{M_{day}} = \frac{BIN_{util} \times BIN_{all}}{M_{day}} \tag{3.9}$$

M_{day}는 창고의 최소 보관단위인 Pallet기준으로 산출한다. BOM (Bill of Material)분석과 원자재 컨테이너 환산법을 적용하여 구할 수 있다. 본 연구에서는 컨테이너 환산법을 적용하며 상세한 방법은 창고 생산용량에서 다루고자 한다.

재고일수 선정에 중요한 요인은 데이터 기간 설정이다. 기간 설정에 따라 생산량과 원자재 물동량이 변동이 발생된다. 특히 생산모델이 변경이 되거나 생산계획물량이 변동이 큰 시점에 경우 재고일수의 변화량이 크게 작용할 수 있다. 그렇기 때문에 월, 분기, 반기, 1년 전체의 데이터를 분석한 다음 비교과정이 필요하다.

3.2 발주시점 최적화

3.2.1 협력사 별 발주시점 산출

발주시점은 리드타임에 의해 결정된다. 가장 이상적인 발주시점은 협력사 생산시간과 In-Transit 물류 운송시간이 소요되는 기간만큼만 선행하면 된다. 납기요청일이 D_{due}라고 할 때, 발주시점 O_{day}는 다음과 같다.

$$O_{day} = D_{due} - (VT_w + VT_p + DT_{all}) \tag{3.10}$$

- VT_w : 협력사 대기시간
- VT_p : 협력사 생산시간
- DT_{all} : 물류 운송소요 시간 (육상운송 + 해상운송)

현재의 조건은 자재가 창고에 도착하는 즉시 생산에 투입되는 것을 의미한다. 하지만 실제 제조현장에서 자재가 창고에 도착하자마자 바로 생산라인에 투입이 되지 않고 대부분 창고에서 대기하게 된다. 수요예측 변동에 의해 자재가 도착하는 시점과 실제 자재가 생산에 필요한 시점이 불일치하기 때문이다. 결국 발주시점은 In-Transit리드타임 뿐만 아니라 On-Hand리드타임인 재고일수 역시 고려되어야 한다. 기존 연구에서는 리드타임을 단일값으로 적용한다. 하지만 본 연구에서는 In-Trnasit과 On-Hand로 세분화한 점이 가장 큰 차이점이라고 할 수 있다. 협력사 생산시간 VT_p가 1주라고 할 때 O_{day}는 다음과 같다.

$$O_{day} = D_{due} - (VT_w + 1week + DT_{all} + InV_{days}) \tag{3.11}$$

- InV_{days} : On-Hand 리드타임 (재고일수)

앞에서 살펴보았듯이 운송 프로세스에서 물리적인 운송이 발생되지 않는 발주 후 협력사 대기시간(VT_w)이 존재한다. 발주시점을 최적화하기 위해선 전체 운송 리드타임에서 적정한 VT_w의 수준을 결정하는 것이 관건이 된다. 자재준비, 설비할당, 인력 운영, 생산계획 수립, 출하 컨테이너차량수배가 협력사 대기시간에 포함이 된다. 각 협력사가 처한 제조환경과 상황이 다르기 때문에 VT_w을 일괄적으로 적용하는 것은 현실적이지 않다. 협력사와의 거래규모, 구매단가, 공급사슬 의존도등 복합적인 요소를 고려해야 한다. 이를 위해 Kraljic의 Matrix를 활용한다[36].

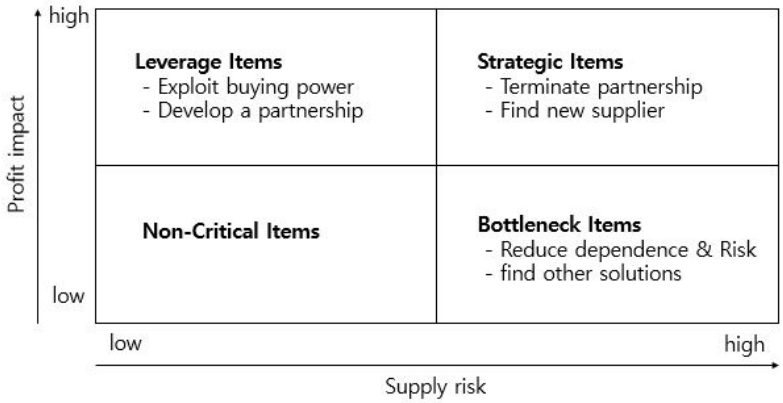

그림 6: Kraljic's Matrix

Matrix를 활용하여 협력사를 우선순위 기준으로 4개 그룹으로 구분한다. 구매단가가 높고 소싱하는 협력사가 적을수록 우선순위가 높도록 배정한다. 그룹 별 세부 선정 기준은 구매팀의 의견을 최종 반영한다. VT_w은 최소 0.5주에서 최대 2주로 차등적으로 부여한다. 최소 대기시간 0.5주의 선정 근거는 제조공장 근거리에 위치해 있는 Local 협력사들의 운영

수준을 감안하였다. 우선순위가 높은 협력사일수록 VT_w를 증가시켜 리드타임의 여유를 최대한 확보할 수 있도록 하였다.

[협력사 생산대기 시간 설정 기준]

- Group1 (Non-Critical Items) : 0.5week
- Group2 (Leverage Items) : 1week
- Group3 (Bottleneck Items) : 1.5weeks
- Group4 (Strategic Items) : 2weeks

이를 통해 납기일(D_{due})을 기준으로 전체 리드타임에 선행하여 발주시점을 결정하면 된다. 조정된 발주시점은 다음과 같다.

$$\text{Group1} : \mathrm{O}_{day} = D_{due} - (1.5weeks + DT_{all} + InV_{days})$$
$$\text{Group2} : \mathrm{O}_{day} = D_{due} - (2weeks + DT_{all} + InV_{days})$$
$$\text{Group3} : \mathrm{O}_{day} = D_{due} - (2.5weeks + DT_{all} + InV_{days})$$
$$\text{Group4} : \mathrm{O}_{day} = D_{due} - (3weeks + DT_{all} + InV_{days})$$

발주시점은 협력사에게 생산대기, 생산, 물류 운송 시간을 최우선으로 보장한다. 생산대기 시간 또한 협력사 별 차등적으로 부여하여 협력사의 제조환경을 고려하였다. 동일한 납기일, 같은 국가에 위치한 협력사라 하더라도 발주시점이 달라질 수 있다. 또한 한 협력사가 동일한 납기일, 각기 다른 공장으로 납품할 때도 발주시점이 달라질 수 있다. 결론적으로 협력사 별 발주시점을 다변화해야 함을 의미한다.

3.2.2 발주시점 개선효과 분석

현재의 운영정책인 12주 선행한 발주시점과 비교하여 조정된 발주시점이 12주 보다 짧아지면 리드타임이 개선된 것을 의미한다.

리드타임 단축 : $(\mathrm{VT}_w + VT_p + DT_{all} + InV_{days}) < 12weeks$

리드타임 증가 : $(\mathrm{VT}_w + VT_p + DT_{all} + InV_{days}) > 12weeks$

발주시점 변경에 따른 효과분석은 전체 비용 측면으로 접근 하는것이 가장 합리적일 것이다. 전체 비용은 자재비용, 주문비용, 재고비용으로 구성된다. 경제적 주문량(EOQ, Economic Order Quantity)는 전체 비용이 최소화되는 주문비용과 재고비용이 같아지는 시점을 의미한다[12].

$$EOQ = \sqrt{\frac{2DS}{hC}} \tag{3.12}$$

- D : 년간 수요 (Demand of the product)
- S : 주문 건당 고정비용 (Fixed cost per order)
- C : 유닛 당 자재비용 (Material cost)
- h : 유닛 당 재고비용 (Inventory Holding Cost)

본 연구에서 주문량 결정은 EOQ모형을 따른다고 전제한다. 또한 1회 주문량은 충분히 크고 S, C, h이 변화량이 없다고 가정할 때, EOQ는 D의 값에 비례한다. 즉, 발주시점을 최적화하여 리드타임이 단축이 된다면 1회 주문량 역시 감소된다. 즉 주문량의 감소는 창고의 재고비용의 절감을 의미하며 경영에 실질적인 기여를 할 수 있게 된다.

3.3 창고 생산용량 분석

창고가 물리적으로 보관할 수 있는 원자재의 재고용량을 생산물량 기준으로 환산한다. 예를 들면 ”창고A의 생산용량은 최대 200만대” 라는 방식으로 표현이 된다. 생산계획이 수립이 될 때 창고의 보관용량이 생산물량을 충족할 수 있는지 판단이 가능하다. 결론적으로 창고의 생산용량을 새로운 재고관리 KPI로 제안하고자 한다. 이를 통해 기존의 재무지표 위주의 KPI가 갖는 한계점을 보완할 수 있다. 창고 생산용량 KPI의 산출 프로세스는 3단계로 구성한다.

[창고 생산용량 KPI 산출 프로세스]

- 1단계 : 원자재 물동량 분석 (제품 대당 소요 Pallet수량)
- 2단계 : 원자재 창고의 보관용량 분석
- 3단계 : 창고 생산용량 환산 (재고일수 반영)

3.3.1 원자재 물동량 분석

창고의 생산용량 분석을 위해선 먼저 원자재의 물동량 분석이 선행되어야 한다. 대부분의 원자재는 컨테이너를 통해 Pallet 단위로 운송이 되기 때문에 물동량 분석의 단위는 Pallet수를 산출하는 방식을 적용한다. 물동량을 분석하기 위해서는 크게 2가지의 방식을 고려할 수 있다. 첫 번째는 BOM분석(Bill of Material)을 통해 제품 1대당 소요되는 전체 자재의 소요량을 분석하는 방식이다. BOM분석을 통해 개별 모델에 사용되는 자재리스트, 자재 별 소요원수, 포장사이즈 정보에 대한 확보가 선행되어야 한다. 모델 1개를 생산하기 위해 소요되는 전체 자재의 소요량을 계산하여 자재 별 총 물동량을 구하는 방식이 된다. 세부 분석 프로세스는 다음과

같다.

[원자재 물동량 분석 프로세스-BOM분석 기준]

- 1단계 : 전체 생산물량 및 모델 별 생산비중 분석
- 2단계 : 모델 별 BOM정보 수집
- 3단계 : 모델 별 대당 원자재 물동량 분석
- 4단계 : 모델 별 생산 비중을 고려한 대당 원자재 물동량 분석

대당 원자재 물동량 Qty_{raw} 산출 과정은 다음과 같다.

$$Qty_{raw} = \frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(S_{ij} \times C_{ij}/P_i)}{\sum_{i=1}^{n} P_i} \tag{3.13}$$

· n : 생산하는 전체 모델 수

· m : i모델의 전체 자재 종 수

· P_i : i모델의 년간 생산물량

· S_{ij} : i모델의 j번째 자재의 Pallet당 적재수량

· C_{ij} : i모델의 j번째 자재의 소요원수

BOM분석은 전체 생산모델에 대한 자재정보 확보가 선행이 되어야 한다. 이 방식은 데이터만 확보만 된다면 정확한 분석이 가능하며 생산모델, 생산계획 변동에 따른 민감도 분석이 가능하다는 장점이 있다. 하지만 데이터 확보가 용이하지 않다는 점이 단점으로 작용한다. ERP BOM의 필수정보는 자재코드, 주문수량, 구매단가, 소요원수, 주문수량, 납기일 정도가 된다. 하지만 물동량 분석에 핵심이 되는 포장사이즈 정보는 포함되지 않은 경우가 대부분이다. 포장사이즈의 정보 없이는 물동량 분석이

불가능하며 ERP시스템상의 보완이 필요하다.

두 번째 방식은 원자재 컨테이너 수량 환산법이다. 원자재 컨테이너 하역 실적 데이터를 활용하여 총 물동량을 산출하는 방식이다. 생산물량 정보와 원자재 컨테이너 하역실적 정보만 있으면 물동량 정보를 산출할 수 있다. 다만 생산모델 별 물량 정보는 파악할 수 없기 때문에 민감도 분석에는 한계점이 존재한다. 하지만 데이터 확보가 용이하며 직관적인 결과값을 얻을 수 있기 때문에 본 연구에서는 원자재 컨테이너 환산법을 통해 물동량을 산정한다. 단 컨테이너 당 Pallet 적재수량의 기준은 선정해야 하며, 40피트 컨테이너 기준 통상 22 ∼ 24개의 Pallet가 적재가 된다.

[원자재 물동량 분석 - 컨테이너 환산 기준]

- 1단계 : 전체 생산물량 분석 (모델 별 세부 분석 불필요)
- 2단계 : 원자재 컨테이너 하역량 분석 (Pallet수량 기준 선정)
- 3단계 : 대당 원자재 물동량 분석

대당 원자재 물동량 Qty_{raw} 산출 과정은 다음과 같다.

$$Qty_{raw} = \frac{U_{cnt} \times C_{plt}}{P_{all}} \tag{3.14}$$

· P_{all} : 해당기간 총 생산물량

· U_{cnt} : 해당기간 컨테이너 하역수량

· C_{plt} : 컨테이너 대당 Pallet 적재수량 (22 ∼ 24)

3.3.2 창고 보관용량 분석

원자재 창고의 보관용량은 창고에 보관할 수 있는 원자재의 최대 물동량이 된다. 원자재 물동량 분석과 동일하게 최소 운송단위인 Pallet를 기준으로 보관용량을 산정하게 된다. 물류 운송을 통해 창고에 도착한 자재와 부품들은 컨테이너 하역작업 후 입고대기 구역에서 검사와 전산처리를 진행하게 되고 순차적으로 자재 보관구역으로 이동한다. 보관구역은 면적의 효율성을 극대화하기 위해 다단으로 구성된 Industrial Rack을 사용한다. 이후 생산계획이 수립되고 자재소요계획에 의해 라인 투입이 결정이 되면 통상적으로 생산 하루 전 출하 대기구역으로 이동하게 된다. 자재 창고는 크게 3개의 구역으로 나눠지며 업무 역시 구분이 된다.

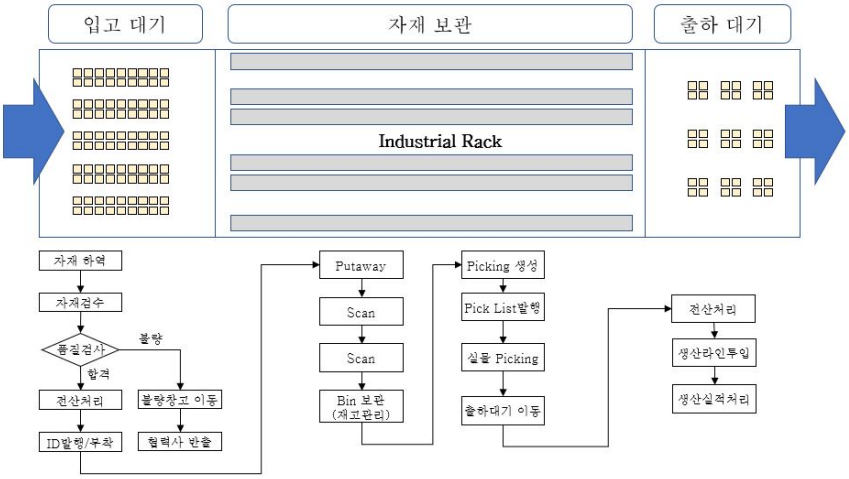

그림 7: 창고 Layout 및 운영 프로세스

1) 입고 대기 구역: 컨테이너 하역, 수입검사, 전산처리

2) 자재 보관 구역: Industrial Rack에서 자재 적치 (5 ~ 6단 구성)

3) 출하 대기 구역: 생산라인 투입 전 대기, 잔량 자재 보관

위 3가지 구역 이외에 화장실, 사무실과 같은 부대시설과 VMI(Vendor Management Inventory)창고, 서비스자재 또는 불량자재 보관을 위한 별도의 공간들도 존재하지만 순수 보관 면적을 계산하기 위해서 제외하기로 한다. 자재 보관 구역의 Rack 1개당 2개의 Pallet가 보관이 된다. 적재 효율을 극대화하기 위해 이러한 Rack들은 다단으로 구성이 되며 적재 단수는 해당 건물의 층고에 의해 결정이 된다. 기존 건물을 재활용하지 않고 신규로 창고를 건설할 때는 최대 6단까지 적재할 수 있도록 설계에 반영한다. 기존 건물을 재활용하게 되면 Rack 1단당 2.5m 정도의 높이를 기준으로 적재 단수를 결정하며 컨테이너에 적재하는 Pallet의 최대 높이를 반영한 수치이다.

창고의 보관면적을 극대화하기 위해선 앞서 언급한 Rack의 적재단수 뿐 만 아니라 Rack간 거리도 최소화해야 한다. Rack간 간격이 넓을수록 창고의 면적 효율성이 떨어지게 되는데, 이는 지게차(Fork lift) 사양에 의해 결정이 된다. Rack에 자재를 보관하고 하역할 때 필요한 지게차의 최소 회전반경이 Rack 간격이 된다. 지게차는 사양에 따라 회전반경 최소 1.8m에서 최대 3.5m까지 다양하다. 지게차 사양은 Rack간격 뿐만 아니라 적재할 수 있는 높이와 이동 속도까지 결정하기 때문에 신중한 분석이 필요하다. 이러한 이유로 물동량이 많고 고층의 Rack을 운영해야 창고는 Rack 간격을 최소화할 수 있는 삼방향 지게차(3Way Forklift)를 운영하게 된다. 하지만 물동량이 많지 않고 투자비를 최소화해야 한다면 고사양의 지게차를 운영할 필요는 없다. 제조현장의 상황과 투자비를 고려하여 적정한 운영수준을 결정하면 된다. 지게차 사양과 Rack의 적재단수가 결정이 되면 창고의 보관용량 $WH_{stroage}$ 은 구할 수 있다.

$$WH_{stroage} = \sum_{i=1}^{r} (Rg_i \times Rf_i \times 2) \tag{3.15}$$

- r : 창고 전체 Rack 열수
- Rg_i : i열 Rack의 바닥기준 총 Rack수
- Rf_i : i열 Rack의 적재단수

다만 신규로 창고를 설계를 해야 한다면 제조현장의 건물 특성과 원자재의 물동량을 고려하여 다각적인 검토가 필요하다. 창고의 보관용량 못지않게 물류의 흐름을 고려하여 입고 대기구역과 출하 대기구역의 적정 위치 결정과 공간확보 역시 매우 중요하다.

3.3.3 창고 생산용량 환산

원자재 창고의 생산용량을 도출하기 위해선 4가지의 인자가 필요하다. 앞서 방법론에 소개된 제품 1대당 소요되는 원자재 물동량, 창고 보관용량, 창고 재고일수, 공장 가동일수 정보이다. 생산용량 KPI_{capa}은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$KPI_{capa} = \frac{WH_{stroage} \times W_{days}}{Qty_{raw} \times InV_{days}} \tag{3.16}$$

- Qty_{raw} : 제품 1대당 원자재 물동량
- $WH_{stroage}$: 창고 보관용량
- InV_{days} : 창고 재고일수
- W_{days} : 년간 공장 운영일수

년간 공장 운영일수 정보는 국가별로 차이가 있으나 통상 년간 240일 전후가 된다. 앞서 분석한 데이터들과 년간 공장 운영일수를 활용하면 창고 생산용량 KPI_{capa}의 최종 환산식은 다음과 같다.

Case1) BOM분석 기준

$$KPI_{capa} = \frac{\sum_{i=1}^{r}(Rg_i \times Rf_i \times 2) \times 240}{\frac{\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}(S_{ij} \times C_{ij}/P_i)}{\sum_{i=1}^{n} P_i} \times \frac{BIN_{util}}{BIN_{all} \times M_{day}}} \tag{3.17}$$

Case2) 컨테이너 환산 기준

$$KPI_{capa} = \frac{\sum_{i=1}^{r}(Rg_i \times Rf_i \times 2) \times 240}{\frac{U_{cnt} \times C_{plt}}{P_{all}} \times \frac{BIN_{util}}{BIN_{all} \times M_{day}}} \tag{3.18}$$

원자재 물동량 분석방법에 따라 차이는 존재한다. 본 연구에서는 데이터 수집이 상대적으로 용이한 컨테이너 환산 기준을 적용하고자 한다. 창고 생산용량의 환산식을 살펴보면 창고 보관용량과 년간 공장운영 일수 정보는 확정적이다. 결국 창고 생산용량을 결정하는 핵심인자는 제품 1대당 원자재 물동량과 창고의 재고일수가 된다. 제품 1대당 원자재 물동량은 생산물량, 자재 종수와 사이즈, 소싱 비중에 의해 좌우되고 재고일수는 제조공장의 생산과 재고관리 수준을 의미한다. 특히 재고일수 분석을 위해 현장의 실적데이터를 활용하여 추론한 점이 기존 연구와의 차별화되는 지점이라고 할 수 있다. 결국 창고 생산용량(KPI)는 외부 제조환경의 변화를 반영할 수 있고 현재 공장의 운영수준이 고려된 재고평가를 가능하게 한다.

3.3.4 창고 부하율 분석

현재의 재무지표 위주의 KPI는 국가 간 창고 운영수준을 비교 분석하는 것이 쉽지 않다. 각 공장의 생산물량과 제품, 창고규모, 자재 소싱비율이 상이하기 때문이다. 하지만 창고 생산용량을 활용하여 창고 부하율을 추론하면 각 국가간 창고운영 수준에 대한 비교 평가가 가능하다. 창고 부하율(KPI_{load})은 생산물량 대비 창고 생산용량이 된다.

$$KPI_{load} = \frac{P_{all}}{KPI_{capa}} \tag{3.19}$$

· P_{all} : 해당기간 총 생산물량

· KPI_{capa} : 창고 생산용량

창고 부하율은 현재 생산물량 대비 창고의 사용율을 의미하며, 부하율이 낮을수록 재고보관이 여유가 있음을 나타낸다.

[창고 부하율 운영 수준]

- $KPI_{load} < 0.7$: 창고 운영효율 저하, 공간의 낭비발생
- $0.7 \leq KPI_{load} < 1.0$: 창고 적정 운영수준 유지
- $KPI_{load} \geq 1.0$: 창고공간 부족, 추가공간 확보필요

창고 부하율을 분석하면 창고의 재고증가 트렌드를 파악할 수 있고 선제적으로 대응 방안을 모색할 수 있다. 또한 생산물량과 창고규모가 다른 공장 간의 재고운영 수준 역시 비교평가가 가능하게 된다.

제 4 장

실험 및 결과

4.1 공급사슬 시뮬레이션 설계

In-Transit리드타임의 구간 별 분석을 위해 공급사슬 물류 시뮬레이션 수행이 필요하다. 시뮬레이션 분석 범위는 물리적인 운송구간이 이루어지는 협력사 생산 ~ 창고 도착까지의 구간이 된다. 시뮬레이션 분석에 앞서 제약조건을 설정한다.

[공급 사슬 시뮬레이션 제약 조건]

- 발주에 의한 시간지연은 없음
- 발주 대상자재는 창고에 보관되는 수입자재로 한정
- 협력사 생산완료 후 컨테이너는 항상 대기
- 육상운송은 Random분포함수로 적용 (GIS Map 미반영)
- 해상운송은 지정된 항로로만 운항
- 도착항구에서 컨테이너 수배에 의한 지연은 없음
- 창고의 보관용량은 무한, 도착즉시 보관가능

다음은 공급사슬물류 시뮬레이션을 위한 조건 설정이다. 내륙운송은 협력사의 위치를 별도로 지정하지 않고 협력사 전체의 이동 시간에 대한 분포함수로 적용한다. 출발국가의 협력사가 n개가 있다면 협력사 별 위치를 반영하지 않고 이동시간을 삼각분포함수로 적용하여 Random한

결과값을 얻도록 한다.

항구에서 발생되는 대기시간 역시 삼각함수를 적용한다. 컨테이너 선적과 하역, 통관 및 행정처리 시간이 해당이 된다. 발주 1건당 발주량은 선박 1대로 운송한다. 동일한 발주주문은 여러 대의 선박에 나누어서 보내지지 않음을 의미한다. 선박은 필요할 때마다 즉시 확보 가능하며 선박수배에 대한 시간지연은 없다고 가정한다. 발주는 출발국가와 도착국가간 1:1대로 매칭되며 경유국가는 없음을 전제로 한다. 즉 발주 별 리드타임은 서로 독립적이다.

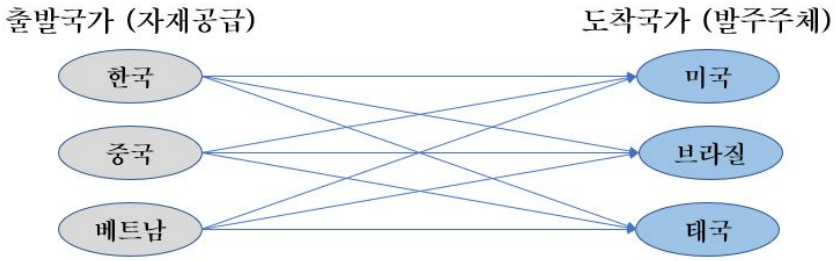

그림 8: 원자재 공급사슬 구성

선박은 지정항로로만 운항되며 운송 이동시간은 선박운항 속도에 전적으로 종속이 된다. 선박의 고장, 천재지변에 의한 선박의 이동 지연은 고려하지 않는다. 항구 도착과 동시에 설정된 항구 대기시간은 발생이 되며 내륙운송은 즉시 이루어진다. 도착국가의 내륙운송 역시 차량은 언제나 확보 가능하며 차량 수배에 의한 지연은 없음을 가정한다. 창고의 보관용량은 무한으로 가정하여 창고에 도착하는 즉시 창고에 보관되는 것으로 간주한다.

4.2 설계 변수 및 데이터

공급사슬 시뮬레이션의 실험기간을 1년으로 선정한다. 해상운송 시간이 1달 이내이기 때문에 충분한 실험이 필요하기 때문이다. 국가 별 내륙운송은 항구 위치에서 주요 협력사와의 거리를 감안하여 평균 이동시간을 감안하였다. 브라질을 제외한 모든 국가에서 차량 수배 후 1일 이내에 운송이 가능하지만 삼각함수를 통해 최소, 최대소요시간을 반영하였다. 출발국가와 도착국가 모두 동일한 방식을 적용한다.

표 1: 출발국가 설계변수

공급 국가	항구 위치	항구 대기시간 (일)	내륙 운송시간 (일)
한국	부산	triangular (2, 4, 6)	triangular (0.3, 0.6, 0.8)
중국	상하이	triangular (3, 4.5, 6)	triangular (0.8 ,1.2, 1.5)
베트남	호치민	triangular (3.5 ,4, 5.5)	triangular (0.6 ,0.9, 1.2)

표 2: 도착국가 설계변수

도착 국가	항구 위치	항구 대기시간 (일)	내륙 운송시간 (일)
미국	뉴욕	triangular (4, 5.5, 7)	triangular (0.5, 1.5, 2)
브라질	리우	triangular (5, 6.5, 8)	triangular (2, 2.5, 3)
태국	방콕	triangular (3.5, 4, 5.5)	triangular (0.6 ,0.9, 1.3)

주문 국가 별 발주 비율은 실적 데이터에 기반으로 한다. 발주 비율은 변경하여 분석이 가능하다.

선박의 운항속도는 연료효율이 가장 우수한 16knot로 설정한다.국가 별 해상운송 거리는 Google GIS Map을 기준으로 확인 가능하다. 창고 생산용량을 분석하기 위한 설계변수를 설정한다. 생산물량과 년간 근무일수, 원자재 컨테이너 수, 창고 재고일수의 설정을 진행한다.

표 3: 주문국가 별 생산물량 및 발주비율

주문국가	생산물량	발주비율			합계
		한국	중국	베트남	
미국	1,200,000	10%	40%	50%	100%
브라질	1,000,000	15%	30%	55%	100%
태국	1,500,000	20%	45%	35%	100%

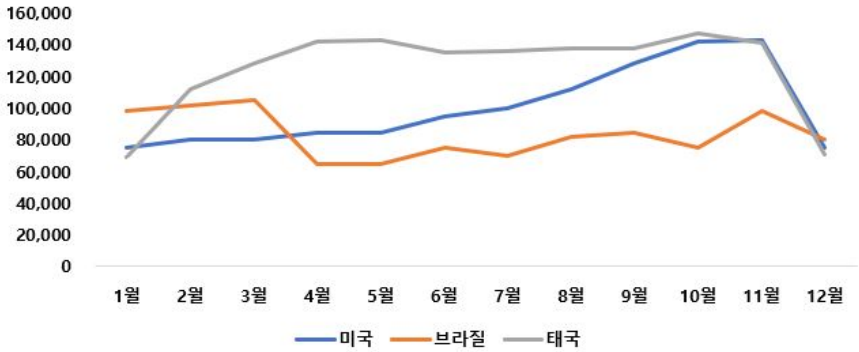

그림 9: 국가 별 생산실적

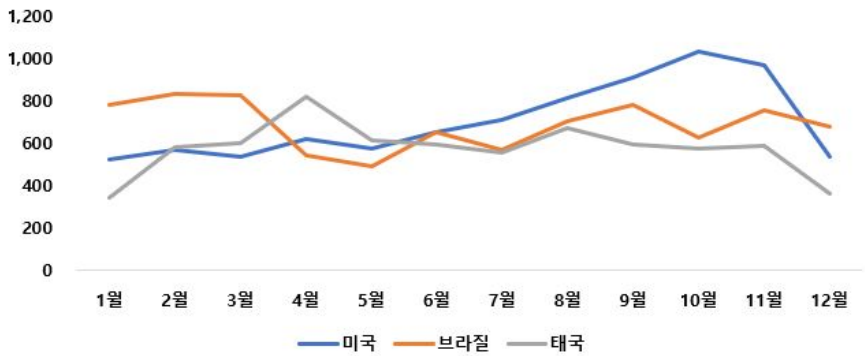

그림 10: 국가 별 원자재 컨테이너 수량

4.3 결과 데이터

4.3.1 운송 리드타임

ERP실적 데이터 분석을 통해 국가 별 In-Transit리드타임을 산출할 수 있다. 분석 결과, 미국(73.3일)-브라질(92.7일)-태국(58.9일)이 된다. 국가 별 리드타임의 차이가 크게 발생되며, 발주시점을 일괄 12주로 적용하는 것이 비합리적임을 알 수 있다. 분석결과를 살펴보면 미국과 태국은 납기 지연없이 공급됨을 알 수 있다. 하지만 브라질의 경우 납기 대비 8.7일이 지연됨을 의미한다. 이는 생산계획 변경이 없다는 가정에서 원자재가 필요한 시점에 도착하지 못한 것을 의미한다.

표 4: ERP 리드타임 분석 결과

주문국가	발주시점	ERP실적 리드타임	Gap (발주-리드타임)
미국	84일	73.3일	10.7
브라질	84일	92.7일	-8.7
태국	84일	58.9일	25.1

먼저 In-Transit리드타임의 구간 별 상세 분석을 통해 Bottle Neck을 우선 파악하고 개선방안을 모색해야 한다. 미국과 태국은 정규분포 형태를 나타내지만 브라질의 경우는 특정 분포를 따르지 않고 있다. 브라질은 데이터 샘플링을 확대하여 추가 분석이 필요한 것으로 판단된다.

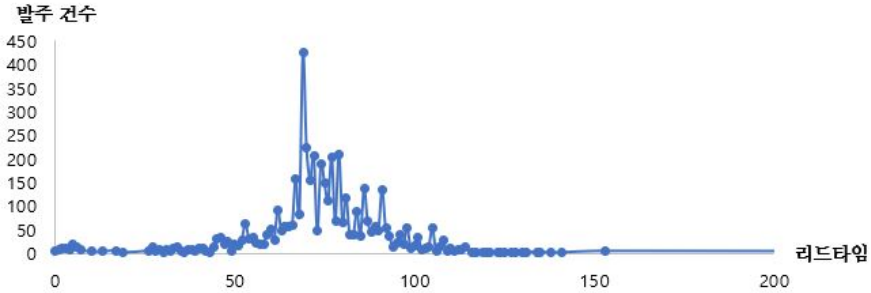

그림 11: ERP 실적 리드타임 - 미국

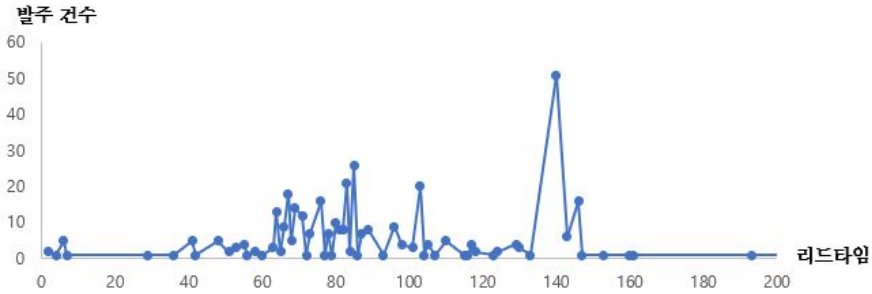

그림 12: ERP 실적 리드타임 - 브라질

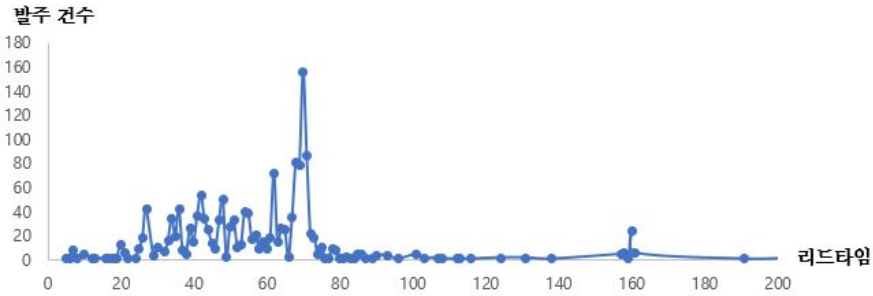

그림 13: ERP 실적 리드타임 - 태국

In-Transit 구간 별 소요시간을 분석하기 위해 Supply Chain시뮬레이션을 진행한다. 시뮬레이션을 통해 국가 간 해상 운송 리드타임을 계산할 수 있다.

표 5: 국가 별 운송 시뮬레이션 결과

출발 국가	도착 국가	운송거리 (해리)	운송시간 (일)
한국	미국	10,139	38.0
중국	미국	10,608	40.3
베트남	미국	10,760	39.9
한국	브라질	11,104	42.5
중국	브라질	10,827	42.9
베트남	브라질	9,328	38.2
한국	태국	2,514	16.5
중국	태국	2,227	16.9
베트남	태국	620	11.9

국가 별 운송 시뮬레이션 분석 결과, 미국(38.9일)-브라질(40.2일)-태국(14.7일)이다. 앞서 분석한 In-Transit리드타임에서 시뮬레이션 결과값을 제외하면 현재 협력사 대기/생산시간을 추론할 수 있다.

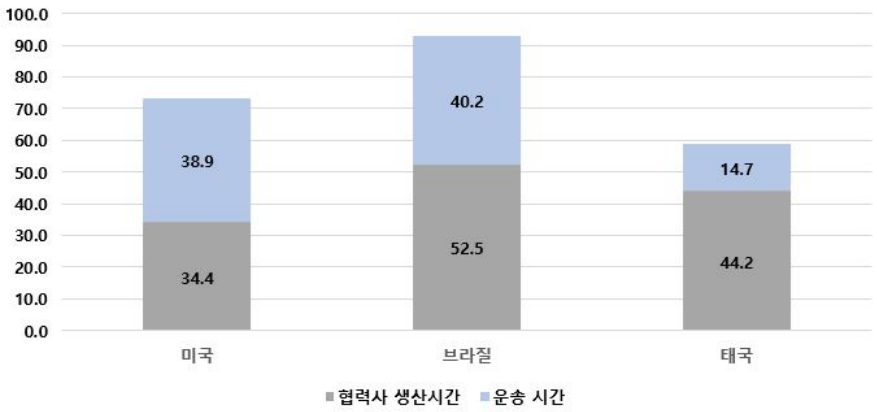

그림 14: 국가 별 리드타임 현황

미국(34.4일)-브라질(52.5일)-태국(44.2일)이다. 브라질과 태국의 경우 이동시간보다 협력사에서 대기하는 시간이 더 많은 비중을 차지한다. 협력사 대기/생산시간이 리드타임에서 Bottle Neck구간임을 알 수 있으며, Kraljic's Matrix를 통해 협력사 별 대기시간을 조정한다.

표 6: 협력사 대기/생산시간

주문국가	**현재실적**	**최적 발주시점**		**Gap (실적-최적)**	
		최소	최대	최소	최대
미국	34.4	10.5	21	23.9	13.4
브라질	52.5	10.5	21	42.0	31.5
태국	44.2	10.5	21	33.7	23.2

적정 발주시점 산출을 위해서 창고 재고일수 분석도 진행한다. 재고금액이 아닌 원자재 물동량을 기준으로 미국(19.1일)-브라질(26.4일)-태국(32.9일)이 된다.

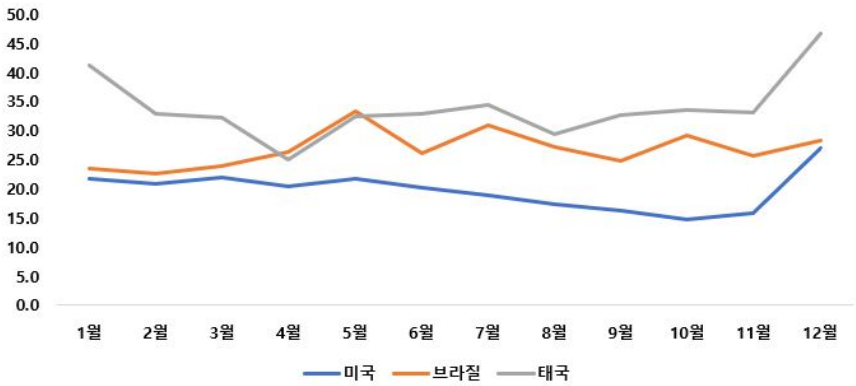

그림 15: 국가 별 창고 재고일수

4.3.2 국가 별 발주시점

In-Transit리드타임과 On-Hand리드타임(창고 재고일수)를 분석하면 국가 별 적정 발주시점을 결정할 수 있다. 분석 결과 기존 12주 선행하는 발주시점 대비, 미국(11.4%)과 태국(23.4%)은 큰 폭의 개선을 보인다.

표 7: 발주시점 최적화 결과

생산국가	기존 발주시점	조정 발주시점	Gap (3개월-1년)
미국	84	74.4	-11.4%
브라질	84	82.8	-1.4%
태국	84	64.4	-23.4%

Kraljic's Matrix를 통해 협력사를 그룹 별로 세분화하여 발주시점을 결정한다. 미국과 태국은 전체 협력사의 발주시점이 12주 보다 짧아지게 된다. 브라질의 경우 3,4그룹은 현재 발주시점 대비 증가시켜 주는 것이 합리적인 것으로 판단된다.

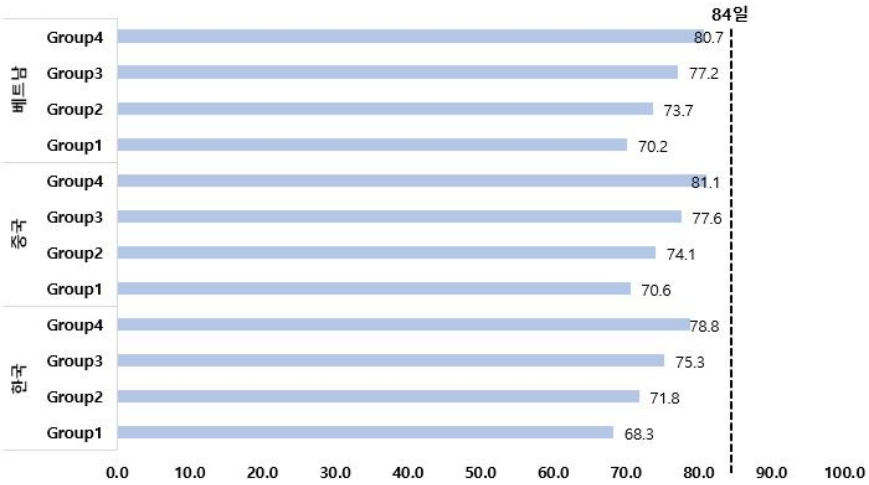

그림 16: 적정 발주시점 - 미국

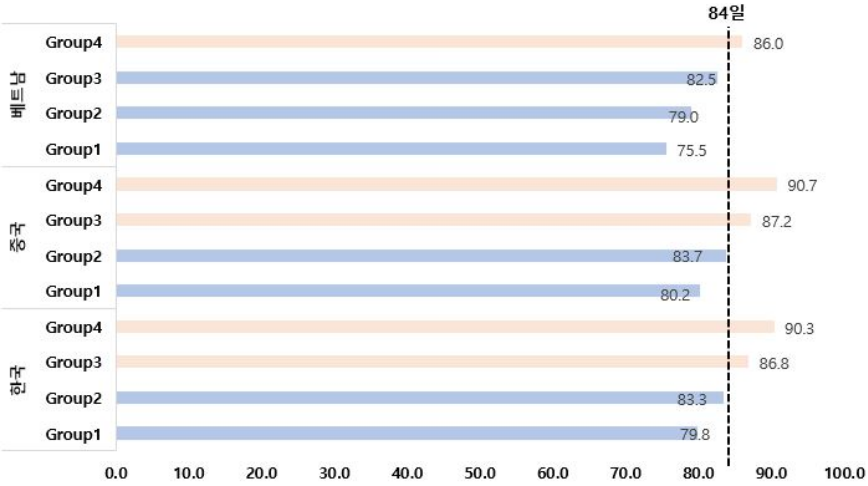

그림 17: 적정 발주시점 - 브라질

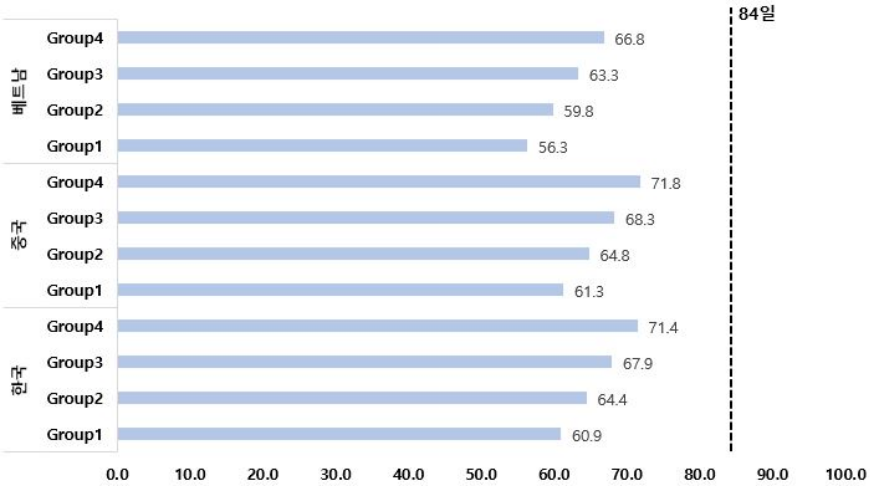

그림 18: 적정 발주시점 - 베트남

4.3.3 발주시점 개선효과

주문량을 EOQ모형으로 결정한다고 가정했을 때, 발주시점의 개선 효과를 직관적으로 파악할 수 있다. 발주시점이 조정됨에 따라 1회 주문량의 단위가 미국(5.9%), 태국(12.4%)가 감소하게 된다. 주문량이 감소하면 창고 전체의 재고량 역시 동일한 비율로 감소시킬 수 있고 재고비용의 절감 효과를 기대할 수 있다.

표 8: 발주시점 개선 효과

주문국가	생산물량	발주시점		1회 주문량 단위		개선 효과
		As-Is	To-Be	As-Is	To-Be	
미국	1,200,000	84	74.4	743.2	699.4	5.9%
브라질	1,500,000	84	82.8	830.9	825.0	0.7%
태국	1,000,000	84	64.4	678.4	594.0	12.4%

EOQ는 발주시점과 선형적인 비례관계를 보인다.

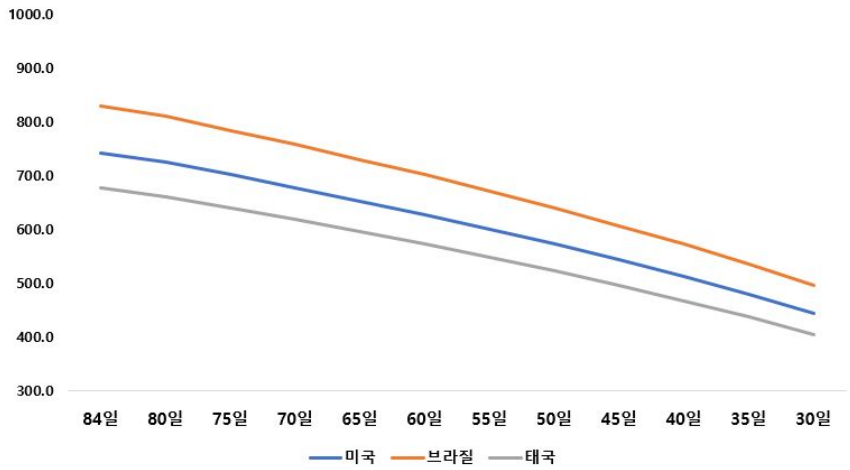

그림 19: 발주시점 별 주문량 변화

4.3.4 창고 생산용량

창고 생산용량 지표를 통해 생산물량 대비 창고용량을 직관적으로 파악할 수 있다. 분석 결과 미국(148.5만대)-브라질(111만대)-태국(158.9만대)이다. 최근 1년 대비 최근 3개월의 지표는 미국은 증가 추세(7.4%)임을 알 수 있다. 반면에 브라질과 태국은 감소 추세(3% 이내)를 보이고 있다.

표 9: 국가 별 창고 생산용량(KPI)

생산국가	최근 1년	최근 6개월	최근 3개월	Gap (3개월-1년)
미국	1,383,177	1,491,109	1,485,846	7.4%
브라질	1,143,344	1,082,844	1,110,241	-2.9%
태국	1,635,767	1,677,827	1,589,748	-2.8%

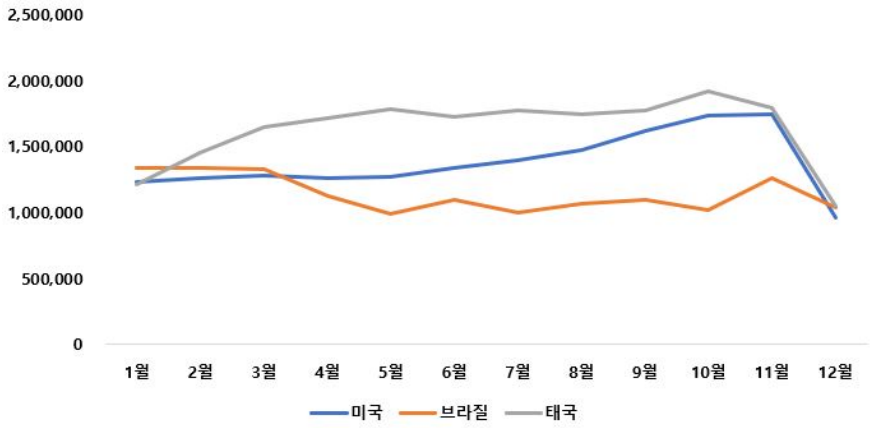

그림 20: 국가 별 창고 생산용량(KPI)

4.3.5 창고 부하율

창고 부하율 지표를 통해 국가 간 창고 운영 수준을 상대적으로 비교 평가할 수 있다. 최근 3개월을 기준으로, 미국(81%)-브라질(90%)-태국(94%) 순임을 알 수 있다. 미국이 나머지 국가보다는 상대적으로 창고 보관용량이 여유를 가지고 있음을 알 수 있다.

미국의 경우 실제 생산물량 120만대 대비, 창고 생산용량은 148.5만대 수준으로 창고 부하율은 81%를 보인다. 즉 현재 생산물량에서 19%의 물량증가는 창고의 추가 공간확보 없이 대응 가능함을 의미한다. 반면 브라질과 태국의 경우 현재 물량에서 10% 이상 생산물량이 증가할 경우 창고의 보관용량이 부족하며 추가적인 공간확보가 필요한 것을 알 수 있다.

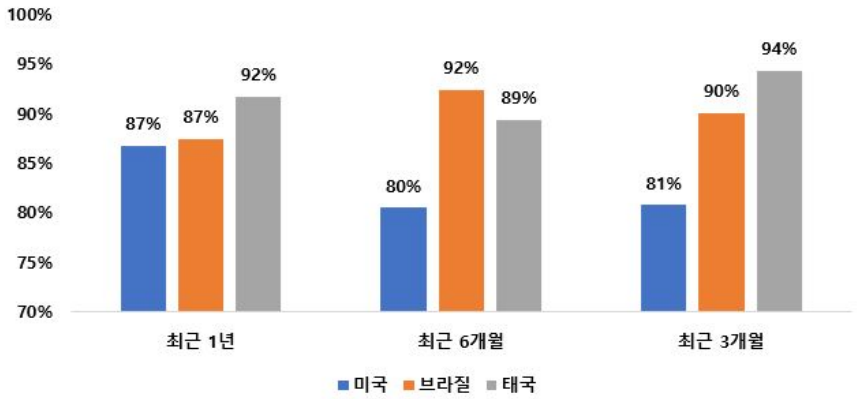

그림 21: 국가 별 창고 부하율(KPI)

제 5 장

결론

5.1 연구성과 및 시사점

본 연구는 원자재 공급사슬 리드타임 분석을 통해 발주시점 최적화를 시도하였다. 발주시점은 In-Transit과 On-Hand 리드타임의 합으로 결정한다. 특히 In-Transit구간의 협력사 대기시간 관리가 핵심이 된다. 또한 운송 리드타임을 고려하여 협력사 별 발주시점의 다변화가 전제되어야 한다. 이를 통해 미국과 태국은 최소 10% 이상의 리드타임 단축을 기대할 수 있다. 리드타임 단축은 발주와 생산시점의 Gap을 최소화하고 주문량의 감소도 가능케 한다. 이를 통해 기존의 12주에 고정된 발주정책을 보완하는 유연하고 스마트한 재고관리가 가능하게 된다.

둘째로 창고 생산용량과 창고 부하율을 새로운 재고관리 KPI로 제안하였다. 생산물량, 모델, 소싱 형태 등 다양한 제조환경 변화를 재고관리 지표에 반영 할 수 있다. 이를 통해 기존 재무지표 위주의 KPI를 보완하는 스마트한 재고수준 평가를 할 수 있다. 또한 신규공장 진출, 생산거점 변경, 물량재편 등 주요 의사결정 사항에 공급사슬과 재고관리 측면의 인사이트를 경영진에게 제공할 수도 있다.

마지막으로 스마트한 재고관리를 위해선 공급사슬 측면에서 구매와 물류의 전체 최적화가 핵심임을 알 수 있었다. 이를 통해 경영에 실질적인 기여를 할 수 있는 재고관리의 인사이트를 얻은 점이 본 연구의 가장 큰 성과라고 할 수 있겠다.

5.2 향후 연구과제

본 연구의 발주시점 산정의 기준은 실적 재고일수를 그대로 반영한 결과값이다. 하지만 발주시점 조정을 통해 주문량이 변경이 된다면 재고일수도 영향을 받게 된다. 즉 좀 더 정확한 발주시점 결정을 위해선 발주시점 변화에 따른 재고일수와의 상관관계 연구가 반드시 필요하다.

수요예측의 실패는 부진재고를 발생시킨다. 부진재고는 재고비용을 증가시키고 창고의 생산용량을 감소시키는 원인이 된다. 과거 발주시점의 수요 예측 정확도 분석과 부진재고와의 인과성 연구가 필요한 이유이다. 이를 통해 원자재 공급사슬의 불확실성을 수치적으로 규명하고 재고비용의 절감효과를 파악할 수 있을 것이다.

또한 본 연구에서는 EOQ모형을 전제로 리드타임을 기반으로 주문량을 결정하였다. 하지만 발주시점과 주문회수 변동이 고려된 전체 비용 측면의 효과검증 역시 반드시 필요하다. 특히 협력사 별 발주조건과 구매 제약사항에 대한 다각적인 분석이 선행되어야 한다.

마지막으로 창고의 생산용량을 환산하기 위해선 원자재 물동량 분석이 핵심이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 원자재 컨테이너 환산법을 사용하였으나 민감도 분석을 하기엔 한계가 있다. BOM분석을 통해 생산물량, 생산모델, 소싱 형태의 변화에 대한 민감도 분석에 대한 연구가 필요하다. 이를 위해선 반드시 ERP데이터 내에 원자재의 수치정보가 포함이 될 수 있도록 시스템적인 보완이 선행되어야 할 것이다. 이를 통해 창고 생산용량의 실시간 변화모습에 대한 관찰과 상관관계 연구도 반드시 진행되어야 한다.

참고 문헌

[1] R. J. Tersine and E. A. Hummingbird, "Lead-time reduction: the search for competitive advantage," *International Journal of Operations & Production Management*, 1995.

[2] J. Jayaram, S. K. Vickery, and C. Droge, "An empirical study of time-based competition in the north american automotive supplier industry," *International Journal of Operations & Production Management*, 1999.

[3] S. M. Disney and D. R. Towill, "On the bullwhip and inventory variance produced by an ordering policy," *Omega*, vol. 31, no. 3, pp. 157–167, 2003.

[4] M. a. Ben-Daya and A. Raouf, "Inventory models involving lead time as a decision variable," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 45, no. 5, pp. 579–582, 1994.

[5] J. Kim and W. Benton, "Lot size dependent lead times in a q, r inventory system," *THE INTERNATIONAL JOURNAL OF PRODUCTION RESEARCH*, vol. 33, no. 1, pp. 41–58, 1995.

[6] S. Agrawal, R. N. Sengupta, and K. Shanker, "Impact of information sharing and lead time on bullwhip effect and on-hand inventory," *European Journal of Operational Research*, vol. 192, no. 2, pp. 576–593, 2009.

[7] A. K. Senapati, P. Mishra, B. C. Routra, and A. Biswas, "An extensive literature review on lead time reduction in inventory control," *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, vol. 1, no. 6, pp. 104–111, 2012.

[8] S. W. Ryu and K. K. Lee, "A stochastic inventory model of dual sourced supply chain with lead-time reduction," *International Journal of Production Economics*, vol. 81, pp. 513–524, 2003.

[9] C. Chandra and J. Grabis, "Inventory management with variable lead-time dependent procurement cost," *Omega*, vol. 36, no. 5, pp. 877–887, 2008.

[10] E. Arıkan, J. Fichtinger, and J. M. Ries, "Impact of transportation lead-time variability on the economic and environmental performance of inventory systems," *International Journal of Production Economics*, vol. 157, pp. 279–288, 2014.

[11] Z. Li, W. Fei, E. Zhou, Y. Gajpal, and X. Chen, "The impact of lead time uncertainty on supply chain performance considering carbon cost," *Sustainability*, vol. 11, no. 22, p. 6457, 2019.

[12] L. V. Snyder and Z.-J. M. Shen, *Fundamentals of supply chain theory*. John Wiley & Sons, 2019.

[13] E. S. Gardner Jr, "Exponential smoothing: The state of the art," *Journal of forecasting*, vol. 4, no. 1, pp. 1–28, 1985.

[14] C.-J. Ho and T. C. Ireland, "Correlating mrp system nervousness with forecast errors," *International Journal of Production Research*, vol. 36, no. 8, pp. 2285–2299, 1998.

[15] A. A. Syntetos, J. E. Boylan, and S. M. Disney, "Forecasting for inventory planning: a 50-year review," *Journal of the Operational Research Society*, vol. 60, no. 1, pp. S149–S160, 2009.

[16] S. W. Hadley, "Safety inventory analysis: why and how?," *Strategic Finance*, vol. 86, no. 3, p. 26, 2004.

[17] T. W. Liao and P.-C. Chang, "Impacts of forecast, inventory policy, and lead time on supply chain inventory—a numerical study," *International Journal of Production Economics*, vol. 128, no. 2, pp. 527–537, 2010.

[18] J.-H. Han and S.-J. Jeong, "A study on inventory policy (s, s) in the supply chain management with uncertain demand and lead time,"

Journal of the Korea Safety Management and Science, vol. 15, no. 1, pp. 217–229, 2013.

[19] S. C. Graves and S. P. Willems, "Optimizing strategic safety stock placement in supply chains," *Manufacturing & Service Operations Management*, vol. 2, no. 1, pp. 68–83, 2000.

[20] W. Wang, "Safety inventory management—a system dynamics model," in *2012 IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER)*, 2012.

[21] A. Ramaa, K. Subramanya, and T. Rangaswamy, "Impact of warehouse management system in a supply chain," *International Journal of Computer Applications*, vol. 54, no. 1, 2012.

[22] Y. Bassan, Y. Roll, and M. J. Rosenblatt, "Internal layout design of a warehouse," *AIIE Transactions*, vol. 12, no. 4, pp. 317–322, 1980.

[23] M. J. Rosenblatt and Y. Roll, "Warehouse design with storage policy considerations," *The International Journal of Production Research*, vol. 22, no. 5, pp. 809–821, 1984.

[24] J. Levy, "The optimal size of a storage facility," *Naval Research Logistics Quarterly*, vol. 21, no. 2, pp. 319–326, 1974.

[25] G. Cormier and E. A. Gunn, "A review of warehouse models," *European journal of operational research*, vol. 58, no. 1, pp. 3–13, 1992.

[26] M. Goh, O. Jihong, and T. Chung-Piaw, "Warehouse sizing to minimize inventory and storage costs," *Naval Research Logistics (NRL)*, vol. 48, no. 4, pp. 299–312, 2001.

[27] J. Gu, M. Goetschalckx, and L. F. McGinnis, "Research on warehouse design and performance evaluation: A comprehensive review," *European journal of operational research*, vol. 203, no. 3, pp. 539–549, 2010.

[28] M.-K. Lee* and E. Elsayed, “Optimization of warehouse storage capacity under a dedicated storage policy,” *International Journal of Production Research*, vol. 43, no. 9, pp. 1785–1805, 2005.

[29] E. Melachrinoudis and H. Min, “Redesigning a warehouse network,” *European journal of operational research*, vol. 176, no. 1, pp. 210–229, 2007.

[30] X. Feng, I. Moon, and K. Ryu, “Warehouse capacity sharing via transshipment for an integrated two-echelon supply chain,” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 104, pp. 17–35, 2017.

[31] R. Palšaitis, K. Čižiūnienė, and K. Vaičiūtė, “Improvement of warehouse operations management by considering competencies of human resources,” *Procedia Engineering*, vol. 187, pp. 604–613, 2017.

[32] A. D. Ellinger, A. E. Ellinger, and S. B. Keller, “Supervisory coaching behavior, employee satisfaction, and warehouse employee performance: A dyadic perspective in the distribution industry,” *Human resource development quarterly*, vol. 14, no. 4, pp. 435–458, 2003.

[33] N. Faber, M. De Koster, and A. Smidts, “Organizing warehouse management,” *International Journal of Operations & Production Management*, 2013.

[34] W. Hamdy, N. Mostafa, and H. Elawady, “Towards a smart warehouse management system,” in *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, pp. 2555–2563, 2018.

[35] A. Borshchev, Y. Karpov, and V. Kharitonov, “Distributed simulation of hybrid systems with anylogic and hla,” *Future Generation Computer Systems*, vol. 18, no. 6, pp. 829–839, 2002.

[36] M. C. Caniels and C. J. Gelderman, “Purchasing strategies in the kraljic matrix—a power and dependence perspective,” *Journal of purchasing and supply management*, vol. 11, no. 2-3, pp. 141–155, 2005.

Abstract

Smart Inventory Management through Diversification of Ordering Point and Adoption of KPI for Inventory Capacity

Jungsoo Kim
Graduate School of Practical Engineering
Seoul National University

The supply chain instability triggered by the pandemic is increasing material supply risk and variability in the manufacturing environment. It is a time when smart inventory management that is flexible to changes in the manufacturing environment is required more than ever.

For smart inventory management, we want to supplement the existing purchasing strategy-centered ordering policy that does not consider logistics. To this end, we tried to eliminate waste factors through lead time analysis of the raw material supply chain and to optimize the ordering point based on the transportation lead time. The appropriate ordering time is determined by the sum of the in-transit lead time and on-hand lead time, and in particular, optimizing the production waiting time for suppliers after placing an order without physical movement is the key. In addition, diversification of

the timing of ordering for each partner must be a prerequisite. Through this, the gap between ordering and production can be minimized and uncertainty in the supply chain can be reduced.

To evaluate the level of smart inventory management, warehouse production capacity and warehouse load ratio were proposed as new KPIs (Key Performance Indicators). Changes in the manufacturing environment such as production plans, production models, and sourcing type can be considered. This means that the limitations of KPIs centered on existing financial indicators can be supplemented, and threshold analysis of warehouse inventory capacity is also possible. It is also expected to be used as an evaluation factor for major decision-making in terms of raw material supply chain and inventory management.

Keywords : Supply Chain, Inventory management, Ordering point, Lead time, Warehouse capacity

Student Number : 2020-27707

찾아보기

caption, 37, 39, 41–43, 45, 46

figure, 3, 14, 18, 19, 24, 30, 36, 38, 40–47

table, 37, 39, 41–43, 45, 46

tabular, 37, 39, 41–43, 45, 46