

항공기 제조업에서 생산계획 동기화를 통한 데이터기반 구매조달 및 재고관리 방안 연구

유경열* · 최홍석** · 정대율***

〈 목 차 〉

I. 서론	4.3. 공급관점 납기 준수율 분석
II. 이론적 배경	4.4. 재고관점에서 Gap 분석
2.1. 스마트 팩토리 구축의 필요성	4.5. 프로세스 관점에서 취약점 분석
2.2. 생산계획과 재고관리의 중요성	4.6. 상관관계 분석
2.3. 생산계획 동기화에 대한 선행연구	V. 생산 소요-공급 예측기반 시뮬레이션
III. 연구 방법	5.1. 시뮬레이션의 필요성
3.1. 분석 절차	5.2. 시뮬레이션 수행 방법과 전제 조건
3.2. 데이터 수집	5.3. 시뮬레이션 결과 및 모델 개선 방안
3.3. 변수의 정의	5.4. 생산계획 동기화 시스템 제안
IV. 데이터 분석 및 결과 해석	VI. 결론
4.1. 재고회전을 분석	참고문헌
4.2. 수요관점 출고 준수율 분석	<Abstract>

I. 서론

최근 전 세계적으로 항공기 제조산업은 수요 정체와 경쟁이 심화되고 있는 상황에 직면해 있다. 최근 중국, 인도 등 저임금 국가의 항공시장 진입으로 수주 경쟁은 나날이 치열해지고 있다. 최대의 위기는 글로벌 팬데믹(global pandemic)으로 인한 민간 항공기 운항 시장이

급속히 위축됨에 따라 항공기의 수요가 급감되었다. 이러한 시대적 환경 변화로 인한 항공기 시장 위축은 장기화가 될 것으로 전망되고 있다. 이에 따라 보잉, 에어버스 등 세계 최대 민간 항공기 제작사들도 경영 위기에 처해 있으며, 항공산업 전반의 시장 물량은 급감하는 추세이다. 수요가 급격하게 감소함에 따라 생산계획은 절반 수준으로 줄어들고 있으며, 고객의

* 경상국립대학교 대학원 경영정보학과, yoocrazy@koreaaero.com (주저자)

** 한국항공우주산업, chs2000@koreaaero.com (공동저자)

*** 경상국립대학교 경영대학 경영정보학과, dyjeong@gnu.ac.kr (교신저자)

원가절감 및 인하에 대한 압박이 가중되고 있다. 이러한 항공 산업의 위축에 대응하기 위하여 항공기 제조업체는 낭비 요소를 최소화하는 등 적극적인 대응 노력이 그 어느 때보다 절실한 상황이다.

특히, 코로나 19 확산에 따른 세계적인 팬데믹 현상으로 항공기의 수요가 급격함에 따라 직격탄을 맞은 항공업계의 수요를 회복하는 데에는 5년 이상의 기간이 필요하다는 전망이 나오고 있다. 이에 항공기 제조사들은 고객의 가격인하 요구에 대응해야 할 뿐만 아니라 자발적인 원가절감과 생산성 향상으로 경영지표의 향상 및 수주 경쟁력을 확보하는데 전념할 필요가 있다. 따라서 항공산업 분야의 제조기업들은 4차 산업혁명과 연계하여 스마트 공급망 네트워크의 강화와 함께 스마트 공장 인프라를 갖추으로써, 원가절감과 생산력 향상을 위해 각고의 노력을 전개해야 한다. 이것은 생존을 위한 선택이 아닌 필수 조건이다.

이러한 추세에 발맞추어 항공기 제조산업의 세계적인 선도 기업들도 4차 산업혁명 시대에 대비하여 디지털 트랜스포메이션을 통한 생존 전략을 전개하고 있다. 또한 미래 전략사업과 스마트 제조의 혁신을 달성하기 위해 모든 역량을 집중하여 많은 자원을 투입하고 있다. 이는 항공기 판매시장에서 4차 산업혁명시대에 맞는 시장을 선점하고, 기업의 경쟁력을 확보하기 위한 생존전략이다. 미국의 록히드마틴사는 엔지니어링, 생산, 공급망 간의 모든 단계의 데이터를 직물처럼 연계한 Digital Tapestry 플랫폼을 구축하여 외부 공급망 파트너와 내부를 상호 연결하고 있다. 이를 통해 다양한 파트너 회사들이 통합 데이터베이스에서 민첩하게 작

업할 수 있는 공급망의 디지털 연결성을 강화하고 있다.

한편, EU 지역에서는 항공산업 전체의 최적화를 통한 산업 경쟁력을 확보하기 위해 eFactory 프로젝트를 추진하여 생태계 전반의 제조역량 강화와 협업을 독려하고, 제조와 IT의 융복합을 장려하여 EU 측면에서 적극적인 지원과 협업을 추진하고 있다. 대표적인 사례로 프랑스의 에어버스사는 항공사, 공항, 승객, 부품공급사, MRO(Maintenance, Repair & Overhaul) 등 생태계 내 다양한 이해관계자를 연결하는 네트워크형 데이터 플랫폼인 Skywise를 구축하여 운영관점에서 혁신을 도모하였다. 또한, 빅데이터 분석 서비스 등 신규 사업 모델의 개발 및 이행을 진행하고 있다. 이러한 항공산업의 글로벌화 추세에 발맞추기 위한 국내 항공산업 부문 제조기업들도 4차 산업혁명 시대에 대비하여 다각적인 노력을 기울이고 있다. 그럼에도 불구하고, 수요 감소로 인하여 지속적으로 보유 재고는 증가하고 있으며, 생산에 적기 투입되어야 하는 원부자재 등의 결품 발생으로 생산계획에 큰 차질이 발생되고 있어 수시로 생산계획을 변경하여야 하는 비효율적 요소가 발생하고 있다.

본 연구는 국내 항공기 제조산업에서도 이러한 문제를 극복하기 위해 경영성과에 저해가 되는 낭비 요소를 제거하고, 자재 조달과 생산이 선순환을 이룰 수 있는 효율적 구조로 개선하기 위한 대안을 제시하고자 한다. 본 연구에서는 국내 최고의 항공기 제조사에서 수집된 분석 자료를 이용하여 수요관점, 공급관점, 재고관점, 그리고 프로세스관점에서 생산계획과 실행 상의 차이를 먼저 분석하였다. 즉, 재고-출

고·입고금액, 재고연령 및 재고회전을 간 상관 관계를 분석하고 상호 간에 미치는 영향성을 분석하였다. 그리고 수요와 연계된 생산계획의 변동량 통제에 따른 재고금액의 절감폭을 분석하기 위한 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 통하여 효율적인 자재조달과 함께 안정적인 생산을 담보할 수 있도록 구매조달계획과 생산계획과의 동기화를 어떤 방식으로 조율해 나가야 하는지에 대한 대안을 제시하고자 한다.

본 연구에서는 국내 최대 항공기 제조기업인 K사를 대상으로 구매조달 체계 및 재고 운영정책의 사례 조사와 데이터 분석을 먼저 실시하였다. 그리고 생산계획의 변동 추이와 재고운영 기준의 동기화를 통한 구매조달 정책 운영체계의 새로운 프레임워크를 제조시스템 관점에서 제안한다. 그리고 과거 실적자료를 이용하여 수요-공급 예측모델 기반의 시뮬레이션을 통해 항공기 제조산업에서 생산계획 동기화와 구매조달의 스마트화를 통해 재고비용의 낭비요소를 최소화하고 경영성과 지표를 향상시킬 수 있는 최적화 방안을 제시한다.

II. 이론적 배경

2.1 스마트 팩토리 구축의 필요성

제 4차 산업혁명시대를 맞이하여 전 세계의 제조업들은 새로운 경쟁력 강화를 위해 스마트 팩토리(smart factory)에 대한 관심이 더욱더 높아지고 있다. 그러나 현실적으로 현재 국내 대부분의 스마트 팩토리 구축은 제조 산업현장에서 매우 미흡하며 단순 자동화를 중심으로 적

용되고 있는 것이 현실이다. 한국 인더스트리 4.0 협회와 KMAC가 40여 개 산업 분야의 409 개 기업을 대상으로 스마트 팩토리 실현을 위해 선제적으로 도입할 솔루션 실태조사 결과, 최우선적으로 도입할 기술이 빅데이터(21.9%)이었으며, 다음으로 산업용 로봇(15.7%) 도입의 필요성을 강조하였다(장원중 등, 2018).

스마트 팩토리 구축을 위해서는 4차 산업혁명의 요소기술(AI, IoT, Cloud, Big Data, Mobile 등)과 인간중심의 제조 활동, 제조 시스템 간의 상호 연동을 통한 체계적인 연결 혁명이 필요하다. 인공지능, 자율 의사결정 등 인간의 장점과 정확성, 일관성, 처리 속도 등 컴퓨터의 장점이 조화롭게 융합하여 자동화된 스마트 공장이 운영될 때 인적오류의 최소화가 가능하며, 자율성과 확장성을 보장한 유연성이 담보될 수 있다(Wahlster, 2013; 조용주, 2014). 또한 스마트 팩토리 구축을 위해서는 작업 공구의 마모를 예측하여 생산의 유지보수 비용을 절감하고, 제조 생산성 향상을 위한 활동의 중요성을 인지하여 머신러닝 기법을 활용한 상태 모니터링 모델을 개발하여 지능형 유지보수 전략이 중요하다(Wu et al., 2017). 특히, 데이터 중심의 제조는 스마트 팩토리 구현의 필수 조건이며, 제조 경쟁력 강화의 핵심 요소이다. Tao(2018)는 데이터 기반의 스마트 제조 프레임워크는 제조 효율성을 크게 높이고 제품 성능을 크게 개선하는데 있어 매우 중요한 부분임을 강조하였다.

주요 선진국들은 국가의 제조업 경쟁력을 높이기 위해 스마트 팩토리 구축에 대하여 적극적인 지원을 본격적으로 진행하고 있다. 스마트 팩토리는 물리적 공장의 요소인 4M2E(Man,

Machine, Material, Method, Energy, Environment)를 토대로 기계에 센서를 장착하여 원활한 소통을 위해 물리적 신호를 디지털 신호로 변환하고(디지털화), 공장 내의 기계, 부품, 공장, 제조 공정, 사람, 공급망 파트너 등을 서로 연결하며(연결화), 수집된 데이터를 이용해 스마트 팩토리 플랫폼이 지능화한 운영(스마트화)을 통해 고객이 원하는 개인 맞춤형 가치를 제고하는 것이다. 따라서 스마트 팩토리의 핵심은 공장 내·외부 빅데이터의 축적을 통한 데이터 분석력에 있고, 이를 위해 유의미한 양질의 빅데이터 확보를 위한 인프라 구축의 필요성이 증가되고 있다(장원중 등, 2018).

2.2 생산계획과 재고관리의 중요성

항공기 제조산업은 복잡한 엔지니어링 프로세스와 수십만 개의 부품조달 프로세스, 최적의 생산 스케줄링 및 관리 의사결정 등의 조합으로 이루어진다. 따라서 항공 부품에 대한 일괄 혹은 부분 발주에 대한 최적화 연구와 조달 및 배송 비용의 최소화, 조달 서비스 및 품질에 대한 관계 구축이 중요하다(Rashid & Manarvi, 2009). 데이터-중심의 제조는 스마트 제조의 필수 조건이고 제조 경쟁력 강화의 핵심 요소로서 데이터의 전략적 중요성을 강조한다. Kim et al.(2019)은 철도차량 제조분야에서 제조업체 간 과열 경쟁으로 인해 현장 결함, 재고 불균형 등의 관리를 위해 실시간 현장의 데이터 획득, 생산계획 보정, 제조관리의 최적화를 위해 스마트 MES(Manufacturing Execution System) 운영의 필요성을 강조하였다.

제조현장에서 변동 상황이 발생하는 이유는

공장의 운영 주체인 사람, 장비, 시스템 간 연동 처리 과정에서 발생하는 다양한 현상을 기존 시스템으로는 대응하기 어렵기 때문이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 최적화된 시뮬레이션 결과를 운영에 반영할 필요가 있다(김덕현, 2020). 체계적인 생산계획과 자재의 조달을 위해서는 고객사에 대해서 약속된 시간에 제품을 납품할 수 있도록 능력이 구축되어 있어야 한다. 최근 주요 대기업을 중심으로 생산 스케줄링 시스템의 기능 및 특성에 대한 관심이 높아지고 있으며, 실제로 기업 현장에 도입되어 적용하는 사례가 확산되고 있다. 중소제조기업의 경우 시스템의 이해도와 인프라가 부족한 상황이기 때문에 시스템 구축 시 소요 비용, 시간, 프로세스의 변경을 최소화할 수 있는 방향으로 구축되어야 하며 유지보수가 쉽도록 개발되어야 한다(이재용, 2019).

항공기 제조산업의 경우 부품의 수가 매우 많고 소량이라 원가절감 및 생산성 향상을 추구하기 위해 대부분의 대기업들이 아웃소싱 방식으로 운영하고 있다. 따라서 대형 생산업체들도 경쟁력 있는 여러 생산 파트너들과의 전략적인 협력생산방식을 진행하고 있기 때문에 공급 사슬 내의 분산 제조 환경의 최적화된 통합 생산계획이 매우 중요하다(정호상, 정봉주, 2002). 이 경우 재고비용의 절감도 중요하겠지만, 전체 공급사슬의 수행도(성과) 향상을 위해 초기 재고비용에 대한 수준의 결정도 총재고비용을 최적화함에 있어 매우 중요한 요소이다(박경중, 2011).

최근, Industry 4.0 시대에 IoT기반 스마트 생산시스템의 구축을 위해 효율적인 공급사슬체계를 구축하는 문제는 매우 중요한 요소이다.

글로벌 기업 간 클라우드의 연결을 통한 실시간 데이터의 획득과 분석은 제조공장 내에서 프로세스 생산성의 확립과 지능화된 생산을 가능하게 하였다. 특히, 글로벌 공급망에서 비즈니스의 경쟁이 심화되고 있어, 원가절감, 품질개선 및 납기 단축 등 고객의 다변화된 요구와 생산라인의 융통성이 담보된 생산체계의 구축은 매우 중요한 요소이다(Sun et al., 2019).

또한 재고비용의 통제는 기업의 운영비용뿐만 아니라 기업의 비즈니스 전략과 직결되는 중요한 영향 요소이다. 실제로 운영상의 관점에서 본다면 기업은 고차원의 자금 흐름을 원하기 때문에 재고비용의 통제는 매우 중요하다(Wang et al., 2019). 기업이 보유하는 적정재고 자산은 일반적으로 총자산의 20%를 적정 수준으로 보고 있다(현명제, 2020). 따라서 재고자산을 효과적으로 관리하고 낭비요소를 최소화함으로써 재고관리비용의 감소 및 현금흐름의 개선 등과 같이 경영지표 향상에 도움이 될 것이다.

김우주(1997)는 대규모 유통업에서 재고관리 자동화를 위한 시스템을 개발하면서 신경회로망기법을 이용하였다. 재고관리에서 신경회로망기법을 이용하여 예측의 정확도를 높임으로서 동적으로 수요와 공급의 동기화를 달성할 수 있게 하여 재고비용을 최소화 할 수 있었다. 양영현(2019)은 효율적인 재고관리를 위해, 품목의 중요도에 따라 ABC 분류기법을 적용하였으며, 공급사슬에서 최적의 발주량 결정을 위해 최적화 모형과 빅데이터 분석 방법을 적용하였다. Prachuabsupakij(2019) 역시 스페어부품의 효율적인 재고관리를 위해 데이터 마이닝 기법과 ABC 분류기법을 적용하였다.

2.3 생산계획 동기화에 대한 선행 연구

생산관리분야에서 전통적인 공정계획 및 관리기법들은 원자재로부터 최종 완제품이 만들어지기 위해 행해지는 다양한 작업들을 효과적으로 관리하기 위한 것으로 MRP (Manufacturing Resource Planning), JIT(Just In Time), 그리고 제약이론(TOC: Theory Of Constraints) 등이 있다. 전통적인 MRP는 자재 소요량계획(Material Requirement Planning)으로 제품을 생산함에 있어 부품이 투입될 시점과 투입되는 양을 관리하기 위한 시스템을 말한다. MRP는 각 공정별 작업시간을 준비시간, 작업시간, 이송시간, 불량률, 수리시간 등에 대해 가장 많이 소요되는 시간을 가정한 후 계산하는 방식으로 제품의 최대 생산시간을 계산하는데 적합하다. 따라서 이것은 다른 의미로는 수동적(Passive)인 소요량 계획이라고도 한다(윤건구, 2015).

제약이론(TOC)은 프로세스중심의 경영혁신 기법으로 시스템의 성과와 기업이익의 창출에 있어 장애요인을 개선함으로써, 경영의 연속성을 보장하고 전체 시스템의 최적화를 달성하기 위한 방법이다(최광식, 2001). 제약이론에 기초한 DBR(Drum-Buffer-Rope)기법은 생산능력에 가장 제약이 큰 공정을 찾아 생산의 흐름을 조정하고 종속시키는 방법이다(최정길, 2001). DBR기법에서 생산능력제약자원을 기준으로 생산일정계획을 수립하는 것은 드럼(Drum)이고, 생산 환경을 고려하여 각 제약자원공정에 여유를 두는 것이 보호버퍼(Protective Buffer)이다. 그리고 생산을 위한 원재료의 투입 시기는 로프(Rope)를 통해 결정된다.

TOC-DBR 이론, ABC 분류기법은 효과적인 공급을 통해 효율적인 생산이 수행될 수 있도록 구매조달과 생산계획을 동기화하여 생산 스케줄링을 수립할 수 있도록 도움을 주는 대표적인 분석기법이다. TOC-DBR을 이용한 생산 스케줄과 MRP 기반의 생산 스케줄링의 상호 비교를 통해 공급사슬망(Supply Chain) 상의 고객(공급사)으로부터의 정보를 직접 제조업자에게 보다 더 정확하게 제공할 필요가 있다. 이를 위해서는 고객중심적인 생산계획을 수립하여 궁극적으로 공급사슬망의 구성 요소를 고객 요구에 동기화시키는 것이 중요하다(조호진 등, 2004). 정남기(2009)의 연구에 의하면, 실제로 TOC-DBR의 개념을 적용하여 생산 일정을 50% 단축하였고, 일부 자재 재고량의 증가는 있었지만, 전체 완제품의 재고량을 50% 수준으로 절감한 사례도 있었다.

문태수와 김성민(2005)은 자동차 부품기업의 수주-생산-출하 프로세스의 통합을 통한 제조자원계획시스템(MRP II)을 설계하고 구현하였다. 이들은 자동차부품기업의 제조자원계획 시스템을 개발하는데 있어 단순히 제품생산을 위한 생산기능의 최적화에 한정하지 않고 수주-생산-출하 프로세스의 동기화에 초점을 두어 개발하였다. 이와 같이 정보기술을 이용한 공급기업과의 공동혁신이 제조기업의 경영성과에 영향을 미친다. 실제로 공급망에 참여하는 여러 기업들 간의 공동혁신 노력이 제조기업의 제품과 공정혁신에 영향을 미친다는 연구결과가 보고되고 있다(최종민, 2018). 공동혁신이론에서는 기업 혁신은 개별 기업 단독의 노력으로는 한계가 있으며, 가치사슬 상에 있는 다양한 경영 주체들이 함께 필요한 지식과 정보를 공유

하므로 기업혁신이 일어난다고 한다(Iacono et al., 2012; Pilav-Velic and Marjanovic, 2016). 따라서 가치사슬 상에 있는 기업들이 지식과 정보를 공유하면서 기업혁신이라는 공동의 목표를 위해 상호 유기적으로 전체 연관업무를 동기화(synchronization) 하였을 때 비즈니스의 성공 확률이 높으며, 전체적인 조직의 생산성과 성과도 극대화 된다. 이때 정보기술은 중요한 촉진자(enabler) 역할을 수행한다.

Ⅲ. 연구 방법

3.1 분석 절차

본 연구는 대규모 제조기업에서 생산계획과 연계한 적정재고 유지에 관한 실증적 연구이다. 이를 위해 본 연구에서는 국내의 항공기 제조기업인 K사에서 2019년 1월부터 2020년 6월까지 총 18개월간 운영했던 실적자료를 기준으로 입고, 출고, 재고 데이터를 추출하여 활용하였다. 그리고 생산 현황분석 및 생산계획 동기화 모델을 통한 개선 효과 대안을 제시하기 위해서 상관관계 분석, 이동평균 분석 및 선형회귀 분석 등을 적용하였다.

데이터 분석을 수행하기 위해 3단계의 절차를 거쳤다. 먼저, 프로세스 상에 무슨 일이 일어났는지에 대한 상황을 파악하기 위해 현재의 상태와 문제점을 식별하고, 두 번째로 데이터를 분석하여 트랜잭션 간 상호 연계 분석을 통해 예상 문제점들을 식별한 후, 마지막으로 무엇을 수행하여 문제해결을 할 수 있는지에 대한 구체적인 대안과 방법론을 제시하였다.

3.2 데이터 수집

국내의 항공기 제조기업인 K사는 전사적 자원관리시스템(ERP)을 오랜 기간 운영하고 있다. K사의 ERP 시스템은 기업의 모든 정보뿐만 아니라 인사, 재무, 공급 사슬 관리, 각 사업 및 고객의 주문 정보까지 포함하여 통합적으로 관리하는 시스템이다. 본 연구의 목적은 생산계획과 연동한 구매조달의 스마트한 대안을 찾는 것이기 때문에, 자재에 대한 기본정보, 자재소요 및 이동이력정보, 재고/입고/출고 현황과 생산 주문 등 다양한 정보를 종단적, 횡단적으로 필요로 한다. 이를 위해 K사의 ERP시스템 내에 축적된 DB로부터 2019년 1월에서부터 2020년 6월까지 총 18개월간 총 21,306,611개의 트랜잭션 데이터를 추출하였다. K사는 2016년부터 2018년까지 S4/HANA 차세대 ERP 시스템으로 고도화 및 안정화 단계를 진행하였으며, 분석데이터 정확성 확보를 위해 2019년부터 축적된 트랜잭션 데이터를 추출하여 본 연구에 활용하였다. 본 연구의 분석을 위해 수집된 데이터 정보는 <표 1>과 같다.

3.3 변수의 정의

ERP시스템에서 추출된 트랙잭션 데이터를 분석하기 위해서는 필요한 정보들을 수집하는 기준을 명확히 정의해야 하고, 오류가 있는 데이터를 처리하는 정제작업이 선행되어야 한다. 추출된 데이터는 변수 정의, 가공, 수정, 전처리(Pre-processing) 등을 통하여 데이터 분석에 이용된다. 추출 데이터 중 수요, 공급, 재고관점에서 데이터 분석을 위해 활용한 주요 변수를 정의하면 <표 2>와 같다.

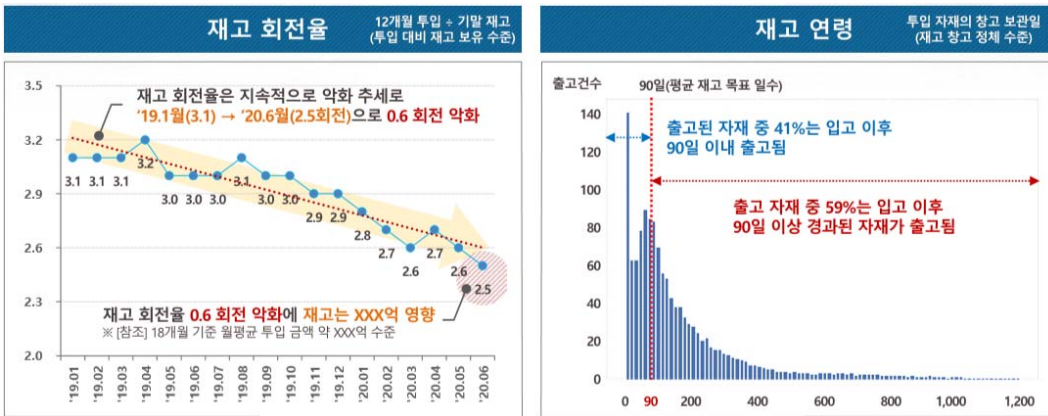
현상 분석을 위해 데이터를 전처리 하는 과정에서 값이 누락 되었거나 중복되는 등 몇 개의 품목들의 변수에서 이상치를 발견하였다. 일부 품목의 경우 표준단가(Standard Price) 측정이 불가능하여 최근 구매단가로 대체하여 적용하였다. 그리고 하나의 계약에 복수 입고 처리된 입고 실적은 중복 산정을 방지하기 위해 통합하여 1개의 입고 이벤트로 정리하여 가공하였다.

<표 1> ERP 시스템에서 추출한 데이터의 종류와 수량

구분	주요 정보	데이터 추출	데이터 크기(건)
재고	재고 수량 및 금액	품종, 재고금액	81,571
출고	자재 출고 수량 및 금액	출고금액, 출고일	233,509
입고	자재 입고 수량 및 금액	입고금액, 입고일	409,485
구매 요청(PR)	구매 요청 수량 및 일자	구매 요청일	2,887,455
구매 오더(PO)	PO Version 변경 이력	PO Version, 납기일 변경	1,737,481
생산 지시	생산 오더별 일자	Order No, Order별 소요일	1,096,075
자재 소요	자재 소요 수량 및 일자	자재 소요일, 소요 수량	8,107,447
자재 이동	자재 이동 이력	자재별 이동유형, 이동일자	3,480,693
자재 마스터	기준 정보	자재 품종, 물자 형태	3,272,895

<표 2> 주요 변수 설명

변수	변수 설명	변수	변수 설명
입고일	자재 입고일자	총입고금액	입고수량 * 입고금액
Plant	자재 Plant	Order	생산 지시서 번호
Material	품목 번호	RQ Date	자재 소요일
입고수량	입고된 자재 수량	Actual Start Date	실제 생산 착수일
입고금액	입고된 자재 금액	Range	준수 여부 및 차이 일수
Mat.Group	자재 종류	PO Number	구매 오더 번호
Item	발주 품목	Item	구매 오더 Item 번호
delivery_date	소요일	Purchase Price	구매가격
delay	소요일 대비 입고일	Changed	납기 조정 이력 유/무
Standard Price	표준가격	Currency	통화기준



<그림 1> 재고 회전율 및 재고 연령 현황

IV. 데이터 분석 및 결과 해석

4.1 재고회전율 분석

본 연구의 진행을 위해 제시한 3단계 데이터 분석 절차에 따라 ERP 시스템에서 추출된 빅데이터를 활용하여 현상 분석을 실시하였다. 2019년 1월부터 2020년 6월까지의 총 18개월의 출고, 재고에 대한 데이터를 활용하여 재고 수준을 평가하는 대표적인 지표인 재고 회전율과 재고 연령의 분석을 수행한 결과를 도식화하면 <그림 1>과 같다.

재고 회전율과 재고 연령을 도식화하여 재고 건전성을 분석해 본 결과, 18개월 간 생산계획 대비 재고 보유 수준을 평가하는 재고 회전율이 3.1회전(약 3.8개월분 재고)에서 2.5회전(4.8개월분 재고)으로 보유 재고 규모가 급격히 증가되었다. 이는 재고가 창고에 정체되는 기간이 길어지고, 재고 연령이 증가하는 현상으로 이어졌다. 재고 연령을 분석한 결과, 출고된 자재 중 59%는 입고 이후 평균재고 목표 일수 90일 이상 경과된 것으로 나타났다. 이로 인한 재고비용은 급격히 증가될 수밖에 없는 구조임을 확인할 수 있었다.

이와 같이 지속적으로 재고가 증가하는 근본적인 원인 분석을 위해, 수요(자재 출고)와 공급(자재 입고)을 연동한 심층적인 데이터 분석이 필요하다고 판단하였다. 이를 위해 전사적 자원관리 시스템인 ERP 시스템에서 약 2천여만 개 이상의 트랜잭션 데이터를 수집하고 전처리한 후, 수요관점(자재출고), 공급관점(자재입고), 재고관점 및 생산 프로세스 관점으로 구분하여 문제의 원인을 파악하기 위해 분석을 실시하였다.

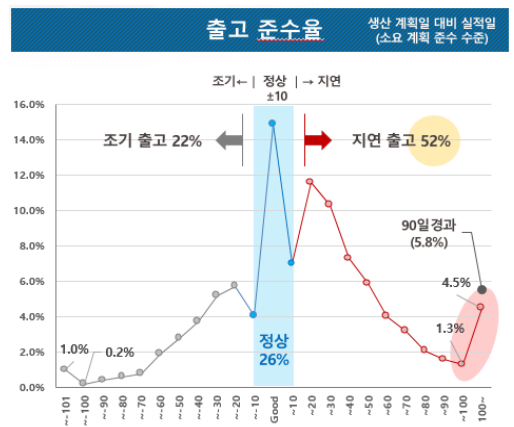
4.2 수요관점 출고 준수율 분석

수요관점(자재 출고)에 대한 분석 접근방법은 생산계획에 따른 소요계획을 얼마나 준수하여 투입이 이루어졌는지 분석하기 위함이다. 이는 MRP에서 제공되는 생산계획의 투입 일정 및 수량을 기준으로 구매 조달계획을 수립하고 발주하여 재고를 확보하기 때문이다. 현장에서 생산계획의 준수는 구매 조달계획과의 약속이라 할 수 있다. 이러한 상호 간의 약속에 변동이 발생할 경우, 재고의 증가는 필연적이며, 생산계획의 준수 여부는 조달계획과 재고수준을 정의함에 있어 매우 중요한 요소로 작용하기 때문이다.

본 분석에서 생산계획의 변동 수준을 파악하기 위하여 계획일정 대비 ① 조기 출고, ② 정상 출고, ③ 지연 출고의 3가지 형태로 구분하여 준수율을 분석하였다. 그 기준은 생산 현장에서 필요한 자재의 출고 신청 후 소요 자재를 현장에 출고하기까지의 프로세스 시간을 고려하여, 계획일 대비 ±10일 내 출고가 완료된 건은 정상 출고로 보았으며, 계획일 대비 -10일 이전에

출고된 건은 조기 출고로, 계획일 대비 +10일을 경과하여 출고된 건은 지연 출고로 정의하고 출고 준수율을 관점에서 분석하였다. 일반적으로 조기 출고가 많을 경우의 재고수준은 감소시킬 수 있으나 생산 결품을 유발시킬 수 있으며, 지연 출고가 많은 경우는 재고 수준을 증가시켜 재고수준과 재고비용을 증가시키는 원인으로 작용할 수 있다. ERP시스템에서 추출된 빅데이터를 이용하여 출고준수율을 분석 결과는 <그림 2>와 같다.

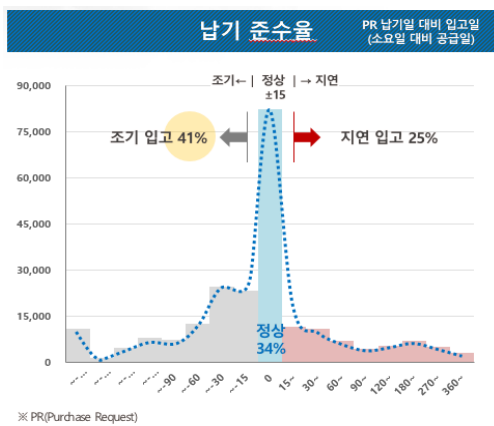
수요관점에서 출고 준수율을 분석한 결과, 생산계획을 위한 정상 출고 수준은 26%였으며, 50% 이상이 지연 출고되는 현상을 확인할 수 있었다. 특히, 90일 이상 지연 출고되는 부분도 약 6%에 해당되었다. 이는 수요계획과 조달계획 간의 신뢰도가 26%로 매우 낮은 상태를 나타내는 것이기 때문에 생산계획과 자재 출고에 대한 체계적인 연동 관리가 중요함을 알 수 있다.



<그림 2> 수요관점 납기 준수율

4.3 공급관점 납기 준수율 분석

공급관점(자재 입고)에 대한 분석 접근방법은 생산계획을 기준으로 발주된 자재가 조달계획일 즉, 납기를 얼마나 준수하여 입고되었는지를 분석하는 것이다. 이 또한 자재소요관점과 같이 자재공급의 변동 수준을 측정하기 위함이다. 자재소요관점과 동일한 방법으로 조달계획 대비 ① 조기 입고, ② 정상 입고, ③ 지연 입고의 3가지 형태로 구분하여 분석하였다. 그 구분 기준은 해외 구매가 많은 특성과 방위산업이라는 특성을 고려하여 통상적으로 발생한 반입절차 및 통관 등의 행정 처리 시간을 고려하였다. 조달계획 대비 ±15일 내 입고가 완료된 건은 정상 입고로 정의하고, 그 이전에 입고되면 조기 입고, 이후에 입고되면 지연 입고로 판단하였다. 조기 입고의 경우는 재고수준을 증가시키고 지연 입고의 경우는 재고수준을 감소시켜 생산에 결함을 유발하는 원인으로 작용한다.



<그림 3> 공급관점 납기 준수율

공급관점에서 전체 품종의 평균 납기 준수율을 분석한 결과는 <그림 3>과 같다. 발주 시 요

구했던 납기 일자에 대한 정상 입고 수준은 34%였으며, 25%가 지연 입고되는 현상을 확인할 수 있었다. 이는 생산의 결점으로 연결되어 생산계획에 지장을 줄 수 있는 저해 요소이다. 반대로 조기 입고는 41%에 해당되며, 이는 재고를 증가시켜 재무의 건전성에 악영향을 미칠 수 있는 저해 요소이다.

다음으로 품종별로 구분하여 기초 통계치(평균, 표준편차, 최소값, 최대값, 데이터양)을 분석하면 <표 3>과 같다. 또한, 이상치라고 판단되는 4.54% 이상의 데이터를 제거하여 Z-Score로 값을 재분류한 결과는 <표 4>와 같다. <표 5>는 각 품종별로 납기증감 기간에 따른 납기 준수율을 분석한 결과이다. <그림 4>는 납기 준수율 정규 분포도를 Scatter 방식으로 시각화하였다. 그 결과 품종에 따라 납기 준수율이 상당히 차이가 있음을 확인하였다.

<그림 4>의 정규 분포도와 <표 3 ~ 5>에서 보는 바와 같이, 시장 표준품이 아닌 항공기 구조물을 형성하는 형상과 기능이 있는 B01, B02(이하 부품류), L01, L02(이하 LRU)가 상대적으로 납기 준수율이 낮은 것으로 확인할 수 있었으며, 시장 표준품인 H01(이하 HW)와 RO1 ~ RO4(이하 원자재류)의 경우가 정상 납기 관점에서 준수 수준이 타 품종 대비 상대적으로 양호한 것으로 확인되었다.

납기 준수율이 품종별로 차이가 나는 원인을 좀 더 구체적으로 살펴보면, 납기 준수율이 상대적으로 높은 HW와 원자재의 경우에, 다품목이며 대량으로 구매하는 HW와 원자재 중 형상이 있는 길이 원자재(Extrusion, Pipe, Tube 등)는 해당 품목 중 다소 낮은 준수율임을 확인할 수 있었다. 이는 표준품목이면서 품목이 많고

<표 3> 품종별 기초 통계치

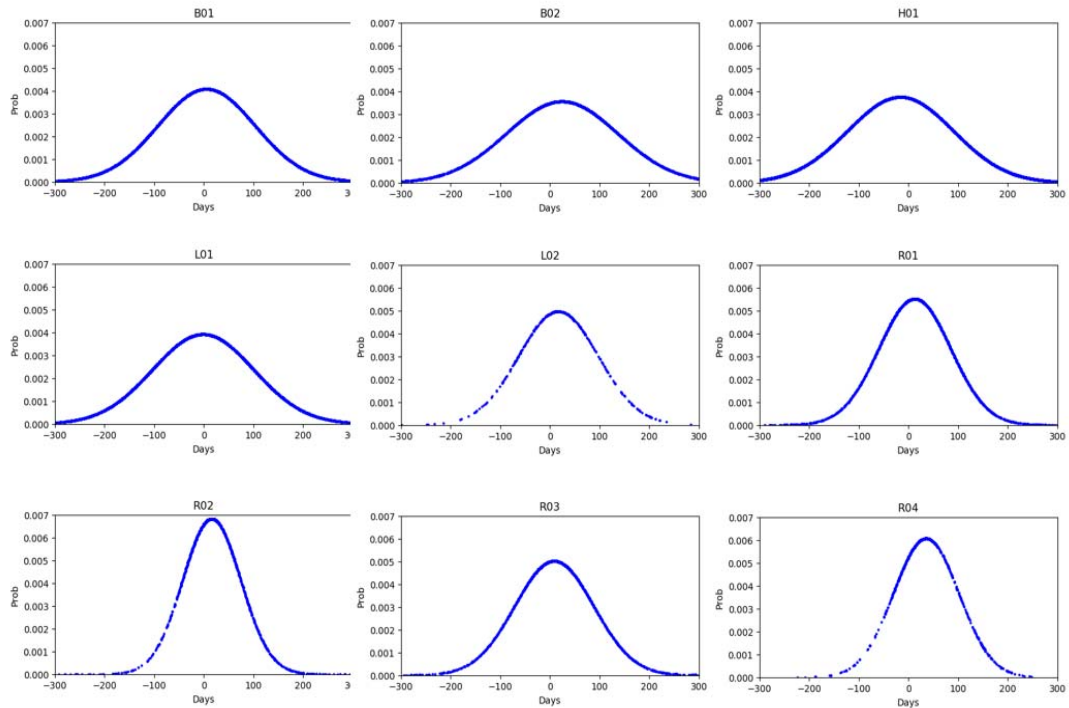
품종		Mean	Std	Min	Max	Count
B01	기능성 부품류	5.16	97.80	-360	356	18,294
B02	비 기능성 부품류	24.13	112.20	-360	360	8,395
H01	Hardware	-16.25	106.44	-360	359	84,932
L01	해외 LRU	-1.60	101.81	-360	360	16,871
L02	국내 LRU	16.80	80.35	-324	354	625
R01	넓이 원자재(원장)	12.52	72.35	-359	351	5,492
R02	넓이 원자재(CTS)	15.71	58.45	-337	352	3,581
R03	길이 원자재(원장)	8.38	79.48	-358	355	3,970
R04	길이 원자재(CTS)	35.33	65.72	-223	344	1,489

<표 4> 이상치 제거 후 품종별 Z-Score 통계치

품종		Mean	Std	Min	Max	Count
B01	기능성 부품류	3.49	70.94	-190	200	16,979
B02	비 기능성 부품류	32.18	77.59	-200	248	7,735
H01	Hardware	-1.72	70.23	-229	196	77,295
L01	해외 LRU	-3.39	80.24	-205	202	15,854
L02	국내 LRU	13.00	58.07	-142	177	583
R01	넓이 원자재(원장)	13.25	46.91	-130	157	5,150
R02	넓이 원자재(CTS)	12.64	36.06	-97	130	3,373
R03	길이 원자재(원장)	6.14	51.20	-150	167	3,686
R04	길이 원자재(CTS)	32.88	51.50	-83	166	1,401

<표 5> 품종별 납기 준수율

품종	조기					정상 ±15	지연				
	~-360	-360~	-180~	-90~	-30~		~30	~90	~180	~360	360~
B01	1.4%	3.4%	8.1%	15.5%	5.7%	24.6%	7.5%	17.0%	8.1%	4.7%	3.8%
B02	8.1%	2.5%	2.2%	2.9%	2.1%	10.3%	5.4%	10.1%	5.5%	3.2%	47.6%
H01	0.6%	10.4%	5.6%	8.2%	5.4%	34.6%	11.9%	14.8%	5.6%	2.5%	0.4%
L01	3.2%	4.2%	10.4%	20.7%	5.6%	16.3%	6.3%	17.2%	9.9%	4.3%	1.9%
L02	1.1%	1.3%	4.4%	16.7%	6.6%	22.8%	5.0%	29.1%	8.1%	3.8%	1.1%
R01	1.0%	2.0%	2.9%	9.1%	7.9%	37.5%	11.8%	17.5%	8.1%	2.1%	0.2%
R02	0.2%	0.9%	1.4%	5.5%	9.0%	43.4%	12.4%	17.3%	6.4%	1.6%	2.1%
R03	0.6%	2.1%	4.1%	9.4%	13.3%	36.5%	7.5%	15.0%	7.4%	3.3%	0.6%
R04	0.0%	0.5%	1.6%	3.4%	8.0%	31.0%	12.6%	21.8%	13.9%	3.2%	3.9%

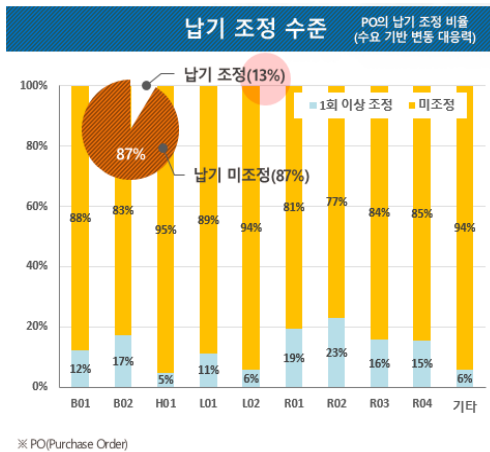


<그림 4> 품종별 납기준수 정규분포도

구매 건수가 많을수록 환율 등의 환경변화 및 생산계획 변동 영향에 민감함을 알 수 있었고, 표준품목이나 항공산업에 특화되어 사용되는 형상과 재질을 가진 길이 원자재 또한 조달계획에 영향을 받고 있음을 확인할 수 있었다. 타 품종 대비 상대적으로 납기 준수율이 낮은 부품과 LRU의 경우는 대부분 수주생산 방식인 주문생산(Order-to-Made) 방식으로 이루어진다. 주문 후 생산이 시작되고 납품이 이루어지는 만큼, 소요 변경에 따른 조달계획의 변경 및 대응이 어렵고 생산 리드타임이 길어, 조기 입고보다는 지연 입고가 생길 확률이 높다. 또한, 국내보다는 해외에서 제작되는 품목일수록 이러한 현상이 심화되고 있음을 확인할 수 있었다.

이러한 결과는 수요계획의 변동 및 환경변화에 유연하게 대응하여 원활하게 생산을 지원하기 위해서는 데이터 기반으로 품종별 조달 특성을 분석하고, 그 특성에 맞는 구매방식, 조달 계획 및 재고운영정책의 수립과 운영이 필요하다는 것을 알 수 있었다. 또한, 적정재고를 유지하며 생산을 원활하게 지원하기 위해서는 공급 관점에서의 특성만을 고려하는 것이 아니라 내·외부의 환경변화에 따라 수요계획에서 발생하는 변동에 공급계획이 어느 정도 유연하게 대응하고, 수요와 공급 간의 균형을 맞출 수 있는지가 적정재고 수준 유지를 통해 안정적으로 생산을 지원할 수 있는 매우 중요한 요소로 판단된다.

<그림 5>는 수요관점과 공급관점에서 분석한 동일 기간 내의 입고될 자재를 공급관점에서 수요 변동의 영향성을 반영하여 납기 조정 수준을 보여주는 결과이다. 수요계획의 변동에 대응하기 위해 조달계획을 수정 혹은 조정된 수준은 13%이며, 61%는 수요계획의 변동과 관계없이 기존의 조달계획을 유지하여 입고되었음을 확인할 수 있었다. 이는 <그림 2>에서 74%가 출고 계획 대비 조기 또는 지연이 생성되는 구조로서 수요와 공급이 동기화되지 않아 비효율적인 요소가 발생하고 있다는 것을 알 수 있었다.



<그림 5> 공급관점 납기 조정 수준

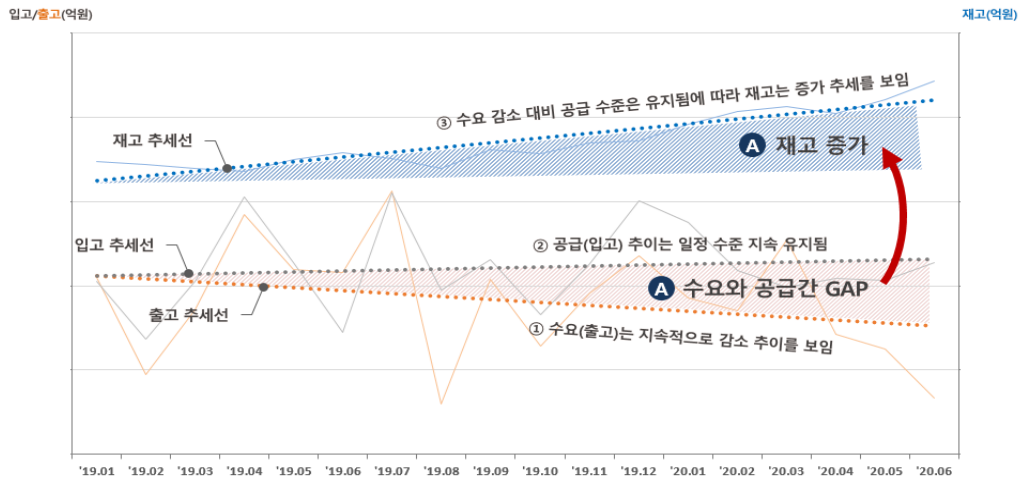
재고비용 및 생산 결품의 증가를 방지하기 위해서는 자재가 납기되는 일정에 대해서도 면밀한 관리가 요구된다. 그러나 실제 납기 조정이 반영된 부분은 13%로 매우 저조한 수준이었으며, 대부분은 생산계획의 변동량에 연동된 대응이 이뤄지지 않은 것으로 분석되었다. 여기에서 또 다른 원인은 생산계획이 계획적으로 변동되었는지에 대한 여부도 분석해야 할 하나의

포인트이다. 이러한 수요계획의 변동에 대한 공급계획의 조정 차이는 재고에 증감이 발생될 수 있는 직접적인 원인으로 작용 되었을 것으로 판단된다. 따라서 재고관점에서 실적 데이터를 기반으로 수요계획과 공급계획이 동기화되지 않음으로써 발생될 수 있는 재고에 대한 영향 수준을 분석할 필요가 있다.

4.4 재고관점에서 Gap 분석

본 절에서는 재고관점에서는 출고 및 입고 실적 데이터 기반으로 수요와 공급 사이에 어느 정도 Gap이 발생하는지를 분석하고, 이것이 재고수준에 어느 정도 영향을 미치는지 파악하고자 한다. <그림 6>은 수요와 공급 간 Gap이 재고에 미치는 영향을 종합적으로 도식화한 결과이다. <그림 6>에서는 보는 바와 같이 수요와 공급 Gap이 증가할수록 재고증가가 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서 그 영향 수준은 수요와 공급의 Gap과 비례함을 확인할 수 있었다. 즉, 18개월 간의 출고 및 입고 실적을 통해 수요와 공급 및 재고 추이를 분석한 결과, 수요와 공급 간 Gap은 재고 증가에 정비례하고, 이것이 재고 증가의 핵심 요인으로 작용되었음을 확인할 수 있었다.

수요의 변동은 코로나-19에 따른 글로벌 팬데믹 현상과 같이 대내외 시장의 변화와 경영환경변화에 민감하게 반응하여 증감이 발생될 수 있다. 특히, 판매가격이 높고 생산 리드타임이 긴 장주기 수주사업의 경우 소요계획과 조달계획이 동기화되지 않아서 발생될 수 있는 비효율적인 재고 증가 현상은 경영의 재무구조상 악영향을 미치며 기회손실 비용이 매우



<그림 6> 재고관점 비용 추이 및 Gap 분석

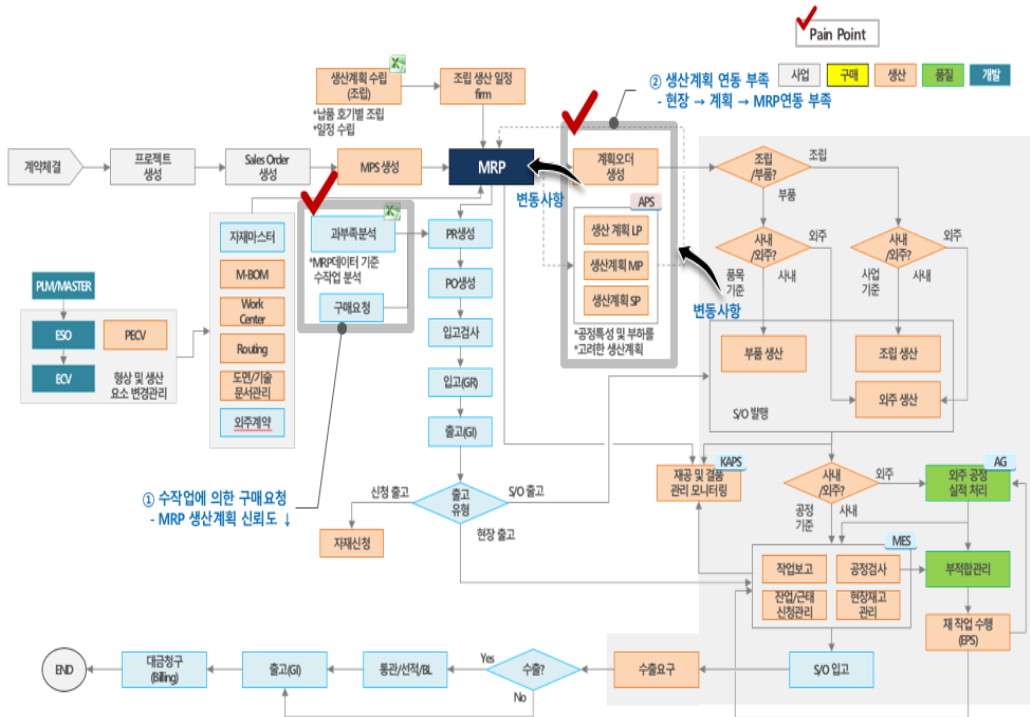
클 것으로 판단된다. 이러한 수요와 공급 간의 Gap을 줄이고 수요계획의 변동에 부합하도록 조달계획을 유연하게 운영하여 재고수준을 낮추려는 노력은 절대적이며 지속적인 수행이 필요하다 고 볼 수 있다. 만일, 이를 간과한다면 경영 손실이 급속히 증가할 수 있는 환경에 노출될 수 있다. 더 나아가 생산계획과 동기화하기 위한 체계가 갖추어져 있는지를 프로세스 관점에서 검토할 필요가 있다.

4.5 프로세스 관점에서 취약점 분석

항공기 제조사인 K사는 전사적 자원을 효과적으로 운영하고 관리하기 위해 ERP시스템을 사용하고 있다. K사는 ERP시스템을 통해 인사, 재무, 공급사슬관리, 각 사업 및 고객의 주문 정보를 포함하여 전체적인 경영정보를 통합적으로 관리하고 있다. 그러나 현재 사용중인 ERP시스템은 기준 정보라고 부르는 룰(Rule) 기반의 MRP 기능을 통해 무한 능력(Unlimited

Capability)으로 물자계획이 산정되기 때문에, 생산 일정에 영향을 줄 수 있는 장비가동수준, 인력 변경 등 실제 생산 상황의 변동에 즉각적으로 대응하지는 못하고 있다.

본 연구에서는 계약체결에서 납품까지 업무 프로세스 관점에서 MRP가 제공하는 자재소요 계획과 공급계획이 실제 생산 현장의 변동사항과 유기적으로 연동되고 있는지를 확인하고, 또한 생성되는 정보가 효율적으로 활용되고 있는지를 파악하였다. 그리고 수요와 공급 간 정보의 단절이 발생되고 있는지를 확인하여, 수요와 공급 간의 신뢰성 확보를 위한 개선 포인트를 찾는 것에 초점을 두었다. 그 결과 <그림 7>에서 보는 바와 같이 실질적인 생산 현장의 변동사항은 시스템으로 연동되지 못하였고, 신뢰성을 확보한다는 측면에서 수작업이 수반되어 오히려 이로 인한 소요와 공급 간의 정보 단절이 발생하는 취약점(Pain point)이 있음을 확인하였다. 실제로 룰(Rule) 기반의 MRP에서 생성된 생산계획에 실제 현장에서의 생산 변동 상



<그림 7> 프로세스 관점 취약점(Pain Point)

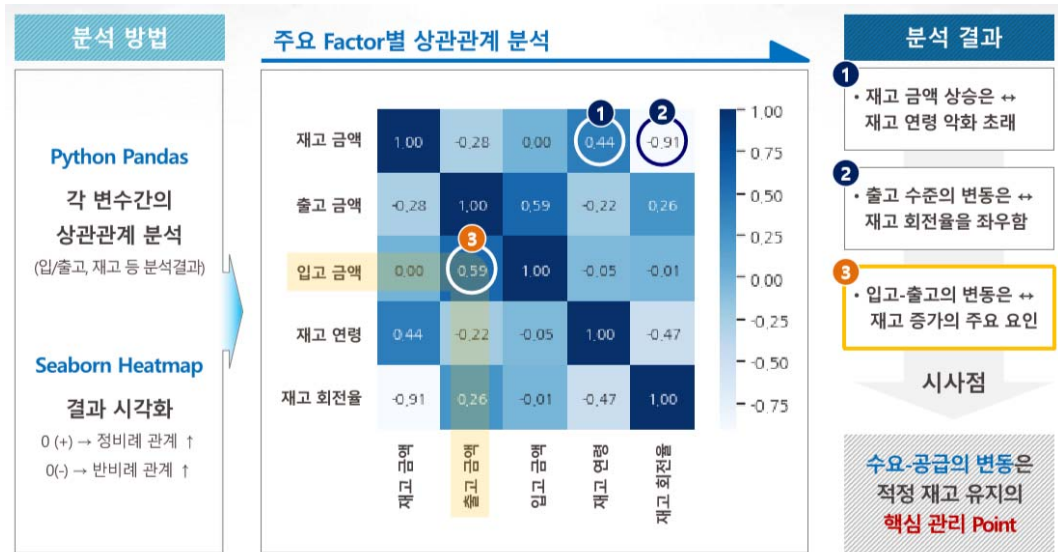
황(장비가동률 등)이 유기적으로 반영되지 못함에 따라 수요와 공급간 정보의 신뢰부족으로 변동에 대한 대응이 수작업에 의존하는 악순환을 반복하였다.

4.6 상관관계 분석

앞 절에서 수요와 공급 간의 Gap 발생 원인을 분석하기 위하여 소요관점, 공급관점, 재고관점 및 프로세스 관점으로 구분하여 실증 데이터를 분석하였다. 이를 통해 자재소요의 변동과 공급의 변동이 재고수준에 매우 밀접한 영향이 있음을 명확하게 확인할 수 있었다. 그리고 앞의 <표 2>에서 정의된 변수를 이용하여 각 품목별 입고금액, 출고금액, 재고금액, 재고

연령, 재고회전율을 산정하였다. 이를 기초로 Python의 시각화 기법인 Heatmap을 활용하여 수요와 공급에서 생성되는 각각의 요인(Factor)들이 재고수준에 미치는 영향을 파악하기 위하여 각 요인들 간의 상관관계의 강도를 계산하고, 그 주요 원인을 정의하였다(<그림 8> 참조).

각 요인 간 상관관계 분석 결과는 다음과 같다. 먼저, 재고연령의 증가는 재고금액의 상승과 재고 회전율의 악화를 초래하는 가장 중요한 요인이다. 더욱이 재고회전율의 악화는 재고금액을 높이는 가장 주된 요인(상관관계가 -0.91)이다. 또한 입고-출고금액 간의 관계도 강한 양(+)의 상관관계를 형성하였다. 따라서 지금까지 분석결과를 종합하여 볼 때, 수요와 공



<그림 8> 주요 요인별 상관관계 분석과 결과 해석

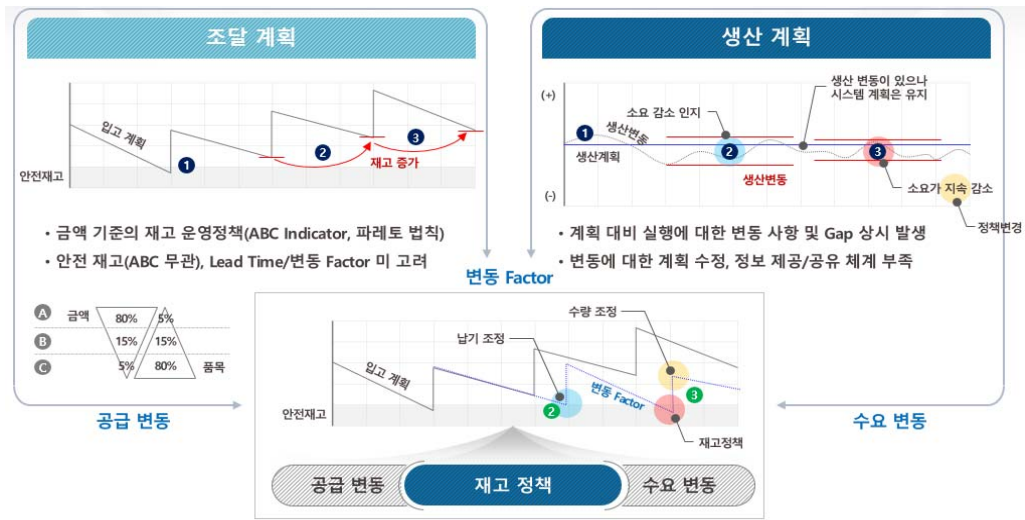
급 간의 Gap을 줄이고 상호 정보를 어떻게 유기적으로 동기화하고 활용하느냐가 재고수준을 최적화하고 재고비용을 통제할 수 있는 핵심 요소라는 것을 발견하였다.

이를 위해서는 생산계획과 프로세스의 유연화, 그리고 적시공급(Just-in-Time)체제 구축을 통해 수요와 공급간의 Gap을 줄이고, 공급사슬상의 주체들이 상호 정보공유를 통해 어떻게 하면 생산-재고-납품-입출고 정보를 유기적으로 동기화 하느냐에 달려 있다. 또한 재고품목별 중요도에 기초하여 ABC 분류기법을 도입하고 중요도가 높은 재고자산에 대하여 강력한 재고관리정책을 도입해야 한다. 그리고 빅데이터 기반의 재고수준 최적화 모델의 개발을 통해 효율적으로 재고를 통제할 수 있는 매커니즘을 구축해야 한다.

V. 생산 소요-공급 예측기반 시뮬레이션

5.1 시뮬레이션의 필요성

앞장에서 실증분석 데이터를 기반으로 출고 및 납기준수 수준과 변동분포를 수요관점, 공급관점, 재고관점, 그리고 프로세스 관점에서 상호 영향관계를 분석하였다. 이러한 분석결과는 재고수준을 적정하게 유지하기 위한 구매조달 계획 및 적정재고정책 수립에 매우 유용한 정보를 주었다. 그 결과 공급관점의 구매조달계획은 수요관점의 생산계획 및 생산변동과 반드시 동기화가 되어야 적절한 재고수준을 유지할 수 있음을 알 수 있었다. 이는 일반적 상황으로 누구나 예측할 수 있는 결과이겠지만, 과거 실적 데이터를 기반으로 이에 따른 상관관계가 얼마 정도 있음을 명확히 분석하고 가시화 할 수 있



<그림 9> 조달 및 생산계획 동기화 필요성에 대한 논리적 가시화

었다. 그런데 이러한 결과는 당연한 논리이며 예측가능한 결과임에도 불구하고, 왜 실제 생산 현장에서는 쉽게 적용되지 못하고 기대하는 결과를 얻지 못하고 있는 것일가에 대한 해답 찾기는 쉽지 않다.

이에 대한 대안으로 대내외 환경에 민감하게 반응하는 수요의 변동과 공급의 변동 수준을 상시 모니터링하고 측정하여 유기적으로 데이터를 연계하고 정보를 공유함으로써 구매조달 계획을 최적화할 수 있을 것이다. 다만, 적정재고수준을 유지할 수 있다는 이론적 배경이 실제 현장에서 실현되기 어려운 이유는 수요와 공급을 위한 활동 과정에서 발생될 수 있는 무수히 많은 변동요소 중 어떤 요소를 측정하고 그 측정된 값이 어느 정도의 신뢰수준이 있는지 판단하기 어렵기 때문이다. 측정된 변동값을 어느 수준으로 어떤 주기로 조달계획에 반영해야 하는지 또한 정의하기도 어렵다. 이러한 이유들 때문에 현장 업무에 적용되고 수용되기가

현실적으로 어려웠다.

본 논문에서는 상관관계 분석결과에 따라 다양한 변동요소 중 가장 핵심적인 원인인 생산계획의 변동에 초점을 두고 측정하여 조달계획에 어느 정도의 수준으로 반영함에 따라 변동에 대응할 수 있는지를 시뮬레이션해 보고자 한다. 실제로 변동에 따른 낭비요소를 모두 제로(Zero)화할 수 있다면 가장 이상적이겠지만, 현실적으로는 몇 가지 가정에 기초하여 시뮬레이션 모델을 만들고, 이것을 토대로 그 영향력을 분석하여 의사결정에 필요한 시사점과 통찰력을 얻을 수 있다. 본 연구에서 가장 효과적이고, 측정이 가능하며, 영향이 크며, 소요와 공급을 수행하는 현업 담당자의 수용성을 고려하여 시뮬레이션 기준을 정의하고자 한다.

앞 장에서 지적한 바와 같이 현재 생산소요-공급 간의 정보 동기화와 신뢰도가 부족하여 늦게 출고되거나 일찍 입고되는 현상이 반복되고 있다. 따라서 본 연구에서는 조달계획과 생

산계획의 변동이 동기화 되지 않았을 때 재고의 증가가 수반되고 있으며, 수요-공급이 동기화를 위한 재고 운영정책이 필요하다는 것을 <그림 9>와 같이 논리적으로 가시화 하였다. 특히, <그림 9>에서 보는 바와 같이 생산의 변동에 따른 조달계획의 운영은 납기와 수량의 변동을 적기에 연계하여 수행되어야 함을 강조 하였다.

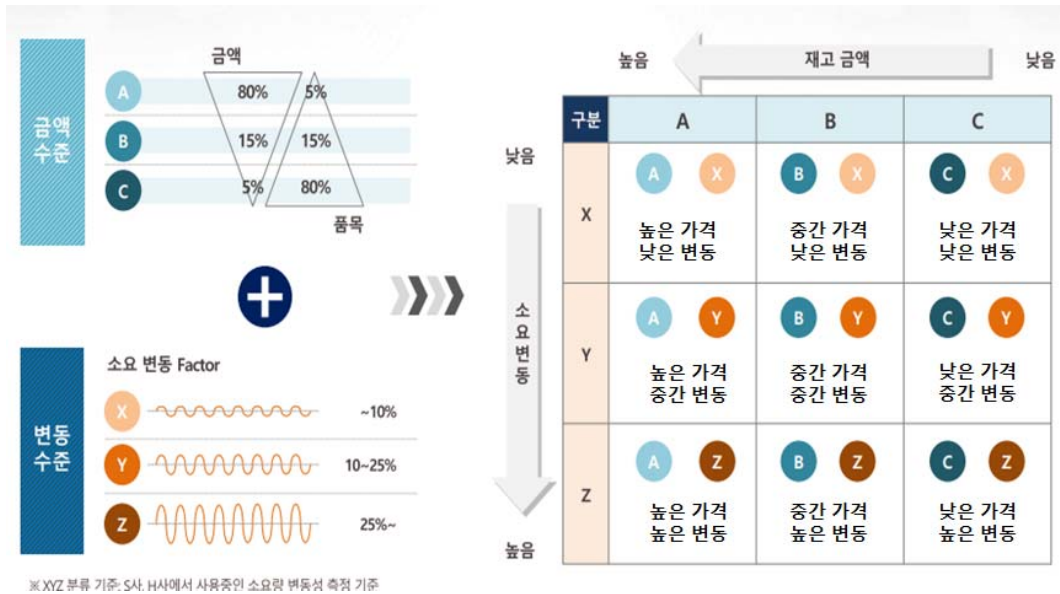
5.2 시뮬레이션 수행 방법과 전제 조건

본 연구에서는 기존에 발생했던 생산의 변동량을 사전에 인지하고 변동률을 측정하여, 이를 조달계획에 반영함으로써 입고계획이 변경되었다는 전제하에 재고비용의 절감 효과가 어떻게 나타날지에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 이에 본 연구에서는 실적 데이터 기반의 수요-공급의 동기화 분석 모델링을 위해 기존의 비용중심의 재고금액기준과 소요변동수준을 중심으로 <그림 10>과 같이 9가지 영역으로 나누었다. 즉, 재고금액을 기준으로 중요도에 따라 ABC로 분류하였으며, 변동수준 역시 소요량 변동의 크기에 따라 10% 이하, 10~25% 미만, 25% 이상으로 분류하였다. 그리고 과거의 출고 이력 정보를 기반으로 출고 계획일 대비 실제 출고일 까지 차이를 생산소요의 변동량으로 정의하였다. 그리고 변동량을 예측하기 위하여 이동평균법을 적용하였다. 그 결과 6개월 이내는 약 13%의 생산 변동률, 6개월 이상은 약 6%의 변동률이 있었음을 확인하고, 시뮬레이션 과정에서 생산 변동률로 반영하였다. 또한 생산의 변동률을 일정기간 상쇄한다고 가정하고 절감되는 재고수준의 추이는 회귀분석을 통해 예측하였다.

이러한 생산의 변동량을 조달계획에 반영하기 위해서는 업무 수행부서와 공급업체 간 납기 조정에 대한 현실적 수용성이 고려되어야 하며, 이를 통해 납기조정이 가능한 구매발주 수준을 정의할 필요가 있다. 납기조정가능 수준에 대한 판단의 전제사항으로 통상적인 해상운송기준을 적용하였다. 통상적으로 글로벌 조달의 경우 업체 출하 이후 45일에서 60일 이내에 공장에 반입된다. 따라서 2개월에서 3개월 전에 출하 대상은 공급업체에서 생산이 완료되었거나 출하되었을 확률이 매우 높다. 생산일정계획을 변경할 경우 조달 리드타임과 공급업체의 생산일정을 고려해야 한다. 따라서 생산일정계획이 변경될 경우 공급업체와 조정협상과 이미 수행한 사항들에 대한 일정변경 등의 행정적인 절차를 고려할 때, 납기를 조정하기에는 현실적으로 애로사항이 있다고 판단하였다. 이에 소요와 공급에서 발생할 수 있는 현실적인 전제사항을 고려하여 소요의 변동률 측정과 공급의 납기조정이 가능한 기간을 분석시점 기준으로 삼았다.

본 연구에서는 납기조정가능 PO 수준과 생산계획의 변동수준 측정기준을 각각 분석시점 2개월 이후와 3개월 이후 조건을 조합하여 <그림 11>과 같이 총 4가지 조건(4가지 모델)으로 시뮬레이션을 수행하였다.

- ① Model 1: PO 2개월 +생산계획 대비 2개월 초과 변동
- ② Model 2: PO 2개월 +생산계획 대비 3개월 초과 변동
- ③ Model 3: PO 3개월 +생산계획 대비 2개월 초과 변동
- ④ Model 4: PO 3개월 +생산계획 대비 3개월 초과 변동



<그림 10> 시뮬레이션을 위한 투입변수와 영역분류

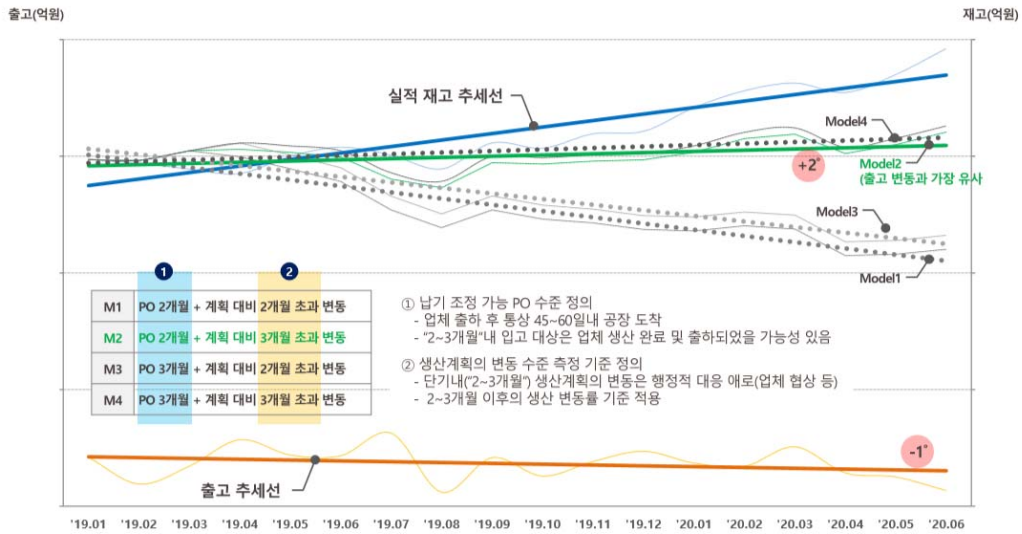
5.3 시뮬레이션 결과 및 모델 개선 방안

앞 절의 4가지 조건으로 생산계획과 조달계획을 연계하여 시뮬레이션을 수행한 결과는 <그림 11>과 같다. 시뮬레이션에서 변동계수는 각 기간별 생산변동을 측정하기 위해 측정된 출고일 정확도가 고려된 것이다. <그림 11>에서 알 수 있는 바와 같이 실제로 발생한 재고비용 추세선과 비교하여 볼 때, 4가지 모델 모두 실제로 발생한 것보다 더 개선할 수 있음을 확인할 수 있었다. 그리고 4가지 모델 중에서 출고변동의 추세선과 가장 유사한 수준의 추이를 보이는 것은 모델 2로 확인되었다.

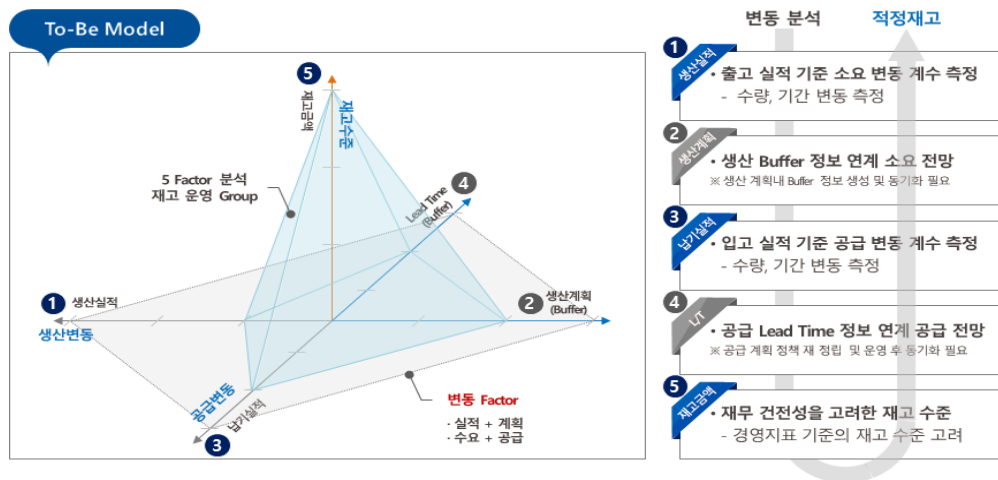
본 연구에서는 이렇게 간단한 휴리스틱 방법으로 만든 4가지 조건(모델)의 시뮬레이션 결과 만으로도 상당한 의미 있는 결과를 도출할 수 있었다. 즉, 수요변동을 중심으로 공급도 변해야 한

다는 전제하에 현업의 수용성을 고려하여 4가지 조건의 시뮬레이션을 통해 소요의 변동을 조달 계획과 동기화함으로써 재고수준을 통제할 수 있음을 볼 수 있었다. 하지만 과거 실적(데이터) 기반의 소요 변동률이 미래의 소요계획과 일치한다고는 확신할 수 없으며, 과거의 변동이 미래의 소요계획과 일치한다고 할 수 없다.

이에 <그림 12>와 같이 향후 더 향상된 시뮬레이션 단계에서는 생산실적기반의 소요 변동 뿐만 아니라 좀 더 긴밀하고 미래 지향적인 수요와 공급정보의 동기화가 필요하다. 이를 위해 생산계획의 변동률, 조달계획의 납기준수율, 구매 리드타임, 그리고 구매단가 정보 등 주요한 5가지 요인(Factor)을 동시에 고려해야 하며, 이에 대한 데이터 추적 및 변동수준 측정을 통해 데이터기반의 미래예측시스템을 개발하기 위한 환경을 준비해 나가는 것이 필요하다.



<그림 11> 출고 및 재고 추세선 비교 분석 시뮬레이션 결과



<그림 12> To-Be 분석모델 방향

그러나 향후 이들 5가지 요인들에 대한 변동 측정 결과를 실제 현장에 적용하기까지는 수많은 이견과 특이사항이 대두될 수 있다. 또한 이외에도 미래 생산 환경에 영향을 주는 또 다른 요인들이 발생할 수 있다. 하지만, 무엇보다도

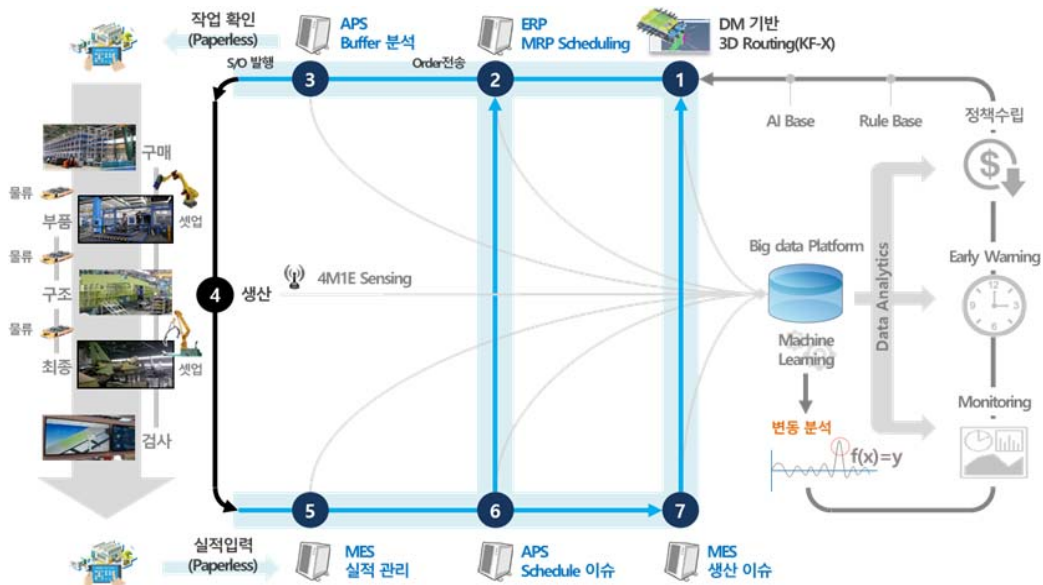
소요계획과 공급계획이 동기화된 운영만큼 기본적으로 주요한 영향 요소가 있을 수 없으며, 이를 최적화하지 않는다면 적정 재고수준을 개선하기 위한 노력은 핵심을 벗어나 겉돌게 될 것이다.

5.4 생산계획 동기화 시스템 제안

앞 절에서 언급하였듯이 소요계획과 공급계획이 동기화되고 신뢰도 있는 요소로 활용되기 위해서는 생산계획의 정확도가 선행되어야 하며, 이를 실현할 수 있도록 뒷받침해 줄 수 있는 공급망 인프라와 공급망관리시스템(SCM)이 잘 유지되고 운영되어야만 가능할 것이다. 즉, 생산-구매-조달에 관련된 정보가 유기적으로 연계되어야 하며, 정확성과 무결성을 지닌 축적된 데이터 기반의 빅데이터 분석시스템이 구축되어야 한다. 또한, 전사적 자원관리시스템(ERP)의 핵심인 MRP 기능의 강화와 SCM과 체계적으로 연동이 이루어져야만 시너지 효과를 만들 수 있다. 더 나아가 4차 산업혁명시대의 총아인 스마트 팩토리 관점에서 본다면, ERP는 MRP 기능과 생산이행시스템인 MES(Manufacturing Execution System) 기능 및 생

산계획 최적화 솔루션인 APS(Advanced Planning & Scheduling) 기능 간 정보의 동기화가 필요하다. 이를 통해 정밀한 생산계획과의 연동을 통해 수요와 공급의 변동이 반영된 빅데이터 기반의 재고관리체계가 실현될 수 있을 것이다.

<그림 13>은 항공기 제조와 같이 복잡한 생산-구매-조달 프로세스를 가진 산업의 경우 정보의 동기화를 위해 갖추어야 할 빅데이터 기반의 분석 프레임워크와 시스템 아키텍처를 도식화한 것이다. 본 프레임워크는 설계에서부터 납품까지 생성되는 데이터를 빅데이터 플랫폼에 저장하여 데이터 웨어하우스를 구축하고, 이를 활용하여 소요 변동을 분석하며, 그 결과와 영향성을 모니터링하여 문제를 예측하고 사전 경고(early warning)를 제공함으로써 공급계획을 수정, 최신화하여 효율적으로 재고수준을 관리할 수 있도록 하는 프레임워크이다. 초기에는



<그림 13> 정보의 동기화를 위한 빅데이터 분석시스템 아키텍처

룰(Rule) 기반으로 운영이 되겠지만, 지속적인 시뮬레이션 결과를 활용하여 향후에는 인공지능(AI)에 기반한 자율적인 운영이 가능한 체계로 발전시키기 위해 제안한 미래 지향적 분석 프레임워크와 시스템 아키텍처이다.

VI. 결론

본 논문에서 수요와 공급측면, 그리고 재고 관점에서 분석한 결과는 다음과 같다. 먼저 실무적인 관점에서 본다면, 수요와 공급의 측면에서 동기화가 이루어지지 않았을 때, 기업의 재고수준은 악화된다. 이에 따라 재무 건전성 악화가 초래되거나 생산의 차질이 발생하게 된다는 사실을 확인할 수 있었다. 또한 생산 소요와 공급의 동기화 과정에서 미래 예측이 수반되지 않거나 고려되지 않았을 때 재고의 증가는 필연적으로 발생될 수밖에 없는 구조이다. 이로 인해 재고회전율이 감소하고, 재고연령이 증가되는 현상이 발생됨을 알 수 있었다.

특히, 본 연구에서는 방대한 실증자료를 이용하여 ERP 내의 수천 개의 정보를 분석모델에 맞추어 데이터화 하였으며, 이를 분석하고 시각화함으로써 가시성을 얻을 수 있었던 것만으로도 의미가 있었다. 수요와 공급과 관련된 각 품종별 현상분석은 경험적으로만 인지하고 있었던 사항에 대해, 투입량과 입고량의 밀착관리가 경영의 재무관점에서 얼마나 중요하고 절대적으로 필요한 것인지를 빅데이터 기반의 분석을 통해 공감대를 형성할 수 있었다. 그리고 이를 통해 생산계획과 구매조달, 재고관리에 있어 실무적인 관점에서 통찰력을 얻게 된 것 또한 중

요한 연구의 의미라 할 수 있다.

기업이 궁극적으로 추구하고 나아가야 할 방향은 “필요한 때에 필요한 양만큼 생산할 수 있는 시스템으로 작동이 되는 것”, 즉, 적시생산(Just-in-Time)시스템을 갖추는 것이다. 이와 반대로 조기에 다량으로 구매하고 뒤늦게 생산하는 이러한 비효율적 관리방식은 하루속히 불식되어야 할 것이다. 항공기 제조산업에서 재료비는 원가의 약 60% 이상을 차지하기 때문에 재료비에 대한 원가경쟁력은 매우 중요한 요인이다. 이러한 직접원가에 대한 지속적인 절감도 중요한 과제이겠지만, 생산 변동량과 연계하여 적정재고를 유지하는 것도 매우 중요한 관리 포인트이다.

ABC 분류기법과 데이터마이닝 기법을 이용하여 효율적인 재고관리를 통한 재고비 절감, 현금흐름의 개선 등 낭비적인 요소를 최소화함으로써 경영지표와 재무 건전성 향상을 기대할 수 있을 것이다. 과거 최첨단 기술중심의 독점적 항공기 제조산업은 이제 급변하는 경쟁적 산업환경으로 급선회하고 있다. 따라서 이러한 변화에 대응하기 위해서는 생산 및 재고관리의 기본적인 이론의 적용은 물론이며 투자의 효율성 추구하고 과학적 관리기법의 적용이 매우 중요하다는 것을 본 연구에서는 보여주고 있다.

이를 위해 본 연구는 상시 변동요소가 존재하는 생산계획과 구매조달의 상관관계 분석 및 수요와 공급 정보를 동기화하고, 이를 통해 새로운 구매조달 정책을 설정함으로써 개선될 수 있다는 결과를 시뮬레이션을 통하여 얻을 수 있었다. 본 연구의 결과는 대내외 환경에 따라 변화하는 불규칙한 생산계획 변동에 대응하여 즉각적이고 능동적이며 유연하게 대처할 수 있

는 데이터 기반의 생산계획 동기화와 구매조달 시스템 운영을 실현함으로써 원가절감을 통한 재무 건전성 확보와 기업의 원가경쟁력 향상에 기여할 것으로 기대한다.

본 연구는 몇 가지 제한 사항이 있다. 첫째는 TOC-DBR 논리가 실제 반영된 생산계획 데이터를 기준으로 데이터를 획득하고 분석하여 실질적인 효과를 얻는 것까지는 수행하지 못하였다. 현 시점에서는 TOC-DBR 개념을 지원하는 시스템이 구축되기 전에는 과거의 실적 데이터를 중심으로만 분석할 수 밖에 없다는 점이 상당히 아쉬운 부분이다. 앞 장에서 제안된 빅데이터 기반의 분석 프레임워크와 시스템 아키텍처는 업무 프로세스의 혁신과 시스템 인프라가 갖추어져야 가능한 부분이다. 이를 실현하기 위해서는 기업의 스마트화 전략과 연계하여 추진되어야 한다.

두 번째는 수요와 공급에 대한 전반적인 분석을 통한 현상은 파악되었지만, 근본 원인에 대한 세부 분석은 미흡한 것이 사실이다. 이를 위해서는 심층적인 원인분석의 보완이 필요하며, 분석기법에 대해서도 보다 이론적인 연구와 논리 개발이 필요하다. 마지막으로 일반적으로 제조산업 부문의 기업들은 ERP라는 시스템을 활용한다는 측면에서는 공통점이 있겠지만, 각 기업이 추구하는 방향과 프로세스가 특성이 있다. 본 연구에서는 산업구조가 복잡하고 글로벌 조달의 특징을 지닌 항공기 제조업을 대상으로 하였다. 따라서 본 연구의 결과를 제조 기업 전반에 일반화하기에는 다소 한계가 있다.

항공기 제조산업의 특성상 구매조달이 매우 비밀리에 비공개적으로 이루어지고 있으며, 재고비용이나 조달비용과 같은 원가측면보다는

조달품의 신뢰성과 품질이 우선시 되고 있어 실제 현장에서의 적용까지는 다소 기간이 걸릴 수 있다. 그러나 최근 들어 항공업에서 원가압박이 더욱 더 가해지고 있어 빠른 기간 내에 연구결과와의 적용은 필수불가결할 것이다. 향후 연구 방향은 상기 한계점을 보완하고 프로세스를 개선한 후 축적되는 실제 데이터를 기반으로 실효성 있는 실행중심의 연구를 진행할 계획이다. 향후 실제 시스템과 데이터를 연동하여 실제로 작동되는 체계의 구축과 효율적인 생산계획이 반영된 데이터 기반 분석시스템을 만들어야 한다.

아울러 구매업무의 효율성을 고려하여 품종별 구매 프로세스를 개선하고 자율화 시스템 체계 도입을 검토할 계획이다. 즉, 수요와 공급의 동기화 관점에서 데이터 기반의 추가적인 연구를 수행하고, 현재의 금액 중심의 업무체제에서 좀 더 고도화된 생산계획과 소요의 변동 추이를 반영한 자동화 또는 자율화된 업무 체계가 구현된다면 인력에 대한 유휴 여력도 창출할 수 있을 뿐만 아니라, 경영 효과성 측면의 재무 건전성도 관리가 가능해질 것이다.

참고문헌

- 김덕현, “가상물리체계 기반 항공기 부품 생산 통제시스템 개발,” 박사학위 논문, 경상대학교 대학원, 산업시스템공학과, 2020.
- 김우주, “신경회로망과 (s, S) 정책을 이용한 대규모 유통업을 위한 재고 관리 시스템의 개발,” 정보시스템연구, 제6권, 제1호, 1997, pp.223-256.

- 문태수, 김성민, “자동차 부품기업의 수주-생산-출하 프로세스 통합에 의한 제조자 원계획시스템의 설계 및 구현,” 한국정보시스템학회 추계 학술발표논문, 2005, pp.389-397.
- 박경중, “정보의 품질 수준과 초기 재고의 조정을 통한 공급 사슬의 최적화 방안,” *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, Vol.11, No.1, 2011, pp.25-34.
- 양영현, “공급사슬의 발주량 결정문제를 위한 빅데이터 분석 방법 적용과 최적화 모형 및 해법,” 박사학위 논문, 한양대학교 대학원 산업경영공학과, 2019.
- 윤건구, “계약이론을 이용한 소형 플라스틱보트의 제조 공정 개선에 관한 연구,” 석사학위 논문, 한밭대학교 대학원 산업경영공학과, 2015.
- 이재용, “중소제조기업용 스마트 생산 스케줄링 시스템 구축,” 박사학위 논문, 한밭대학교 대학원 산업경영공학과, 2019.
- 장원중, 조성인, 김수상, 김광용, “스마트 팩토리에서 빅 데이터 인프라 구축 방안에 관한 연구,” *Asia-Pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology* Vol.8, No.10, 2018, pp.11-23.
- 조용주, 이홍주, “한국형 스마트 팩토리 Reference Model에 대한 연구,” 한국생산제조시스템학회 2014년 추계학술대회, 2014.
- 조호진, 박상민, 남호기, “SCM 환경에서 DBR 기반의 APS 적용,” *Journal of the Korean Society of Supply Chain Management*, Vol.4, No.1, 2004, pp.83-91.
- 정남기, “TOC기반의 생산관리시스템 구축 사례,” 석사학위 논문, 전남대학교 산업대학원, 2009.
- 정호상, 정봉주, “SCM 환경에서의 협력 생산을 고려한 통합 생산계획에 관한 연구,” 대한산업공학회/한국경영과학회 2020년 춘계공동학술대회, 2020.
- 최광식, 기업회생을 위한 패스워드 TOC, 한언, 2001.
- 최정길, 김수진, “DBR 기반의 APS시스템 상세 설계,” *IE Interfaces*, Vol.14, No.4, 2001, pp.348-355.
- 최종민, “정보 기술을 이용한 공급 기업과의 공동 혁신이 제조기업 제품 및 과정 혁신에 미치는 영향,” *정보시스템연구*, 제27권, 제1호, 2018, pp.111-131.
- 현명제, “ABC 분석을 통한 제품군별 적정재고 산출 방안 연구,” 석사학위 논문, 한밭대학교 산업대학원, 2020.
- Iacono, M., Martinez, M., Mangia, G., and Galdiero, C., “Knowledge Creation and Inter-organizational Relationships: the Development of Innovation in the Railway Industry,” *Journal of Knowledge Management*, Vol.16, No.2, 2012, pp. 604-616.
- Kim, T., Jeong, J., and Kim, Y., “A Conceptual Model of Smart Manufacturing Execution System for Rolling Stock Manufacturer,” *Procedia Computer Science*, Vol.151, 2019, pp.600-606.

Pilav-Velic, A. and Marjanovic, O., “Integrating Open Innovation and Business Process Innovation: Insights from a Large-scale Study on a Transition Economy,” *Information and Management*, Vol.53, 2016, pp. 398-408.

Prachuabsupakij, W., “ABC Classification in Spare Parts for Inventory Management using Ensemble Techniques,” *IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems*, 2019, pp.333-336.

Rashid, M. and Manarvi, I., “Vendor Assessment and Procurement Decision Making through Data Mining in Aviation Industry,” *International Conference on Computer and Industrial Engineering*, Vol.14, 2009, pp.1470- 1474.

Sun, J., Yamamoto, H., and Matsui, M., “Horizontal Integration Management: An Optimal Switching Model for Parallel Production System with Multiple Periods in Smart Supply Chain Environment,” *International Journal of Production Economics*, Vol.221, March 2020.

Tao, F. Qi, Q., Liu, A., and Kusiak, A., “Data-driven Smart Manufacturing,” *Journal of Manufacturing Systems*, Vol.48, 2018, pp.157-169.

Wahlster, W., “Industry 4.0 - The Semantic Product Memory as a Basis for Cyber-Physical,” *IDA 30 Year Celebration Seminar*, 2013, pp.1-50.

Wang, S. Wang, Z., Zhao, J., and Han, S.,

“Research on Inventory Decision Based on Plant Simulation,” *IEEE International Conference on Smart Manufacturing, Industrial & Logistics Engineering (SMILE)*, 2019, pp.112-116.

Wu, D., Jennings, C., Terpenney, J., Gao, R., and Kumara, S., “A Comparative Study on Machine Learning Algorithms for Smart Manufacturing: Tool Wear Prediction Using Random Forests,” *The Journal of Manufacturing Science & Engineering*, Vol.139, 2017, pp.1-9.

유 경 열 (Yu, Kyoung Yul)



경상국립대학교 대학원 경영정보학과 박사과정을 수행 중이다. 현재 한국항공우주산업(주) ICT융합실장으로 재직하고 있으며, 주요 관심분야는 스마트 제조 플랫폼, 빅데이터, 클라우드 등이다.

최 흥 석 (Choi, Hong Suk)



부산대학교 금속공학 석사 학위를 취득하였다. 한국항공우주산업(주) ICT기획팀장으로 재직하고 있으며, 주요 관심분야는 인공지능, 빅데이터, 사무자동화(RPA) 등이다.

정 대 율 (Jeong, Dae Yul)



부산대학교 경영학사, 석사, 박사학위를 취득하였다. 현재 경상국립대학교 경영정보학과 교수로 재직하고 있으며, 주요 관심분야는 시스템분석 및 설계, 데이터마이닝, 의사결정지원시스템 등이다.

<Abstract>

A Scheme of Data-driven Procurement and Inventory Management through Synchronizing Production Planning in Aircraft Manufacturing Industry

Yu, Kyoung Yul · Choi, Hong Suk · Jeong, Dae Yul

Purpose

This paper aims to improve management performance by effectively responding to production needs and reducing inventory through synchronizing production planning and procurement in the aviation industry. In this study, the differences in production planning and execution were first analyzed in terms of demand, supply, inventory, and process using the big data collected from a domestic aircraft manufacturers. This paper analyzed the problems in procurement and inventory management using legacy big data from ERP system in the company. Based on the analysis, we performed a simulation to derive an efficient procurement and inventory management plan. Through analysis and simulation of operational data, we were able to discover procurement and inventory policies to effectively respond to production needs.

Design/methodology/approach

This is an empirical study to analyze the cause of decrease in inventory turnover and increase in inventory cost due to dis-synchronize between production requirements and procurement. The actual operation data, a total of 21,306,611 transaction data which are 18 months data from January 2019 to June 2020, were extracted from the ERP system. All them are such as basic information on materials, material consumption and movement history, inventory/receipt/shipment status, and production orders. To perform data analysis, it went through three steps. At first, we identified the current states and problems of production process to grasp the situation of what happened, and secondly, analyzed the data to identify expected problems through cross-link analysis between transactions, and finally, defined what to do. Many analysis techniques such as correlation analysis, moving average analysis, and linear regression analysis were applied to predict the status of inventory. A simulation was performed to analyze the appropriate inventory level according to the

control of fluctuations in the production planing. In the simulation, we tested four alternatives how to coordinate the synchronization between the procurement plan and the production plan. All the alternatives give us more plausible results than actual operation in the past.

Findings

Based on the big data extracted from the ERP system, the relationship between the level of delivery and the distribution of fluctuations was analyzed in terms of demand, supply, inventory, and process. As a result of analyzing the inventory turnover rate, the root cause of the inventory increase were identified. In addition, based on the data on delivery and receipt performance, it was possible to accurately analyze how much gap occurs between supply and demand, and to figure out how much this affects the inventory level. Moreover, we were able to obtain the more predictable and insightful results through simulation that organizational performance such as inventory cost and lead time can be improved by synchronizing the production planning and purchase procurement with supply and demand information. The results of big data analysis and simulation gave us more insights in production planning, procurement, and inventory management for smart manufacturing and performance improvement.

Keyword: ERP, MRP, Synchronizing Production Planning, Procurement Management, Inventory Management, Big Data Analysis, Smart Management System, Aircraft Manufacturing Industry

* 이 논문은 2021년 3월 14일 접수, 2021년 3월 30일 1차 심사, 2021년 3월 31일 게재 확정되었습니다.