

# 시스템 다이내믹스 기법을 활용한 TOC 재보충방식의 적정재고 관리를 위한 시물레이션 모델 개발

이정숙<sup>1</sup> · 장성용<sup>2\*</sup>

## Development of a Simulation Model to Decide the Proper Target Inventory Level for TOC Replenishment Inventory Management using System Dynamics

Jung Sook Lee · Seong Yong Jang

### ABSTRACT

Ptak & Smith published ORLICKY'S Material Requirement Planning Third Edition in 2011 to correspond the rapidly changed market demand by improving the original MRP based on Theory of Constraints(TOC) replenishment inventory management. This study is to develop the simulation model to decide the proper target inventory level for TOC replenishment inventory management using system dynamics Vensim software. This study shows that the proper target replenishment level is how much significant to manage the inventory by the random sample data simulation. This simulation model will be extended to compare the results of the TOC replenishment inventory management planning with the results of the old MRP planning by the enterprise actual inventory data.

**Key words** : TOC, Replenishment, Buffer management, Target inventory level, System Dynamics

### 요약

Ptak과 Smith는 2011년 올리키의 MRP 3판을 통하여 TOC 재보충방식을 기반으로 기존 MRP 방식에 의한 재고관리의 문제점을 오늘날 급변하는 수요중심의 시장 상황에 대응할 수 있도록 발전시킨 수요 대응형 MRP 방법론을 제시하였다. TOC 재보충방식은 목표재고수준을 기준으로 재고 가용성을 유지하여 급격한 변화에 따른 혼란을 흡수하면서 수요량에 연동하여 목표재고수준을 조정하는 수요대응형 MRP의 기본이 되는 재고관리 방식이다. 본 연구에서는 Vensim 시스템 다이내믹스 시물레이터를 활용하여 적정 목표재고 수준을 관리하고자 할 때 적절한 목표재고수준 결정을 위한 기준 공식 및 절차를 제시하고, 임의의 수요를 발생시켜 TOC 재보충방식의 목표재고수준 모형별 운영 결과 비교 검증을 통하여 모델의 효용성을 비교 검토하였다. 향후에는 기존의 MRP에 의한 재고관리 방식과 수요 대응형 MRP에 의한 재고관리 방식 운영결과의 차이를 실제 기업의 데이터를 활용하여 시물레이션 할 수 있도록 모델을 확대 적용할 예정이다.

**주요어** : TOC, 재보충방식, 버퍼관리, 목표재고수준, 시스템 다이내믹스, Vensim 시물레이션

## 1. 서론

\*이 연구는 서울과학기술대학교 교내 학술연구비(일부) 지원으로 수행 되었습니다.

접수일(2012년 5월 22일), 심사일(1차 : 2012년 5월 30일),

게재 확정일(2012년 5월 30일)

<sup>1)</sup> 서울과학기술대학교 IT정책전문대학원

<sup>2)</sup> 서울과학기술대학교 글로벌융합산업공학과

주 저 자 : 이정숙

교신저자 : 장성용

E-mail; syjang@seoultech.ac.kr

TOC(Theory of Constraints) 재보충방식 재고관리는 목표재고수준을 정하고 수요(demand)가 발생한 물량을 기준으로 pull 방식으로 사용한 물량 만큼 재고를 보충하게 하여 적정량의 재고 가용성(Availability)을 항상 유지하게 하는 재고관리 방식이다. TOC 재보충방식 재고관리는 수요의 변동에 따른 재고 및 가용성 변동현황을 버퍼 모니터링(buffer monitoring)을 통하여 가시적으로 관리

하게 한다.

과거 생산자 중심의 대량 생산시대에는 생산자가 시장을 예측하여 판매계획을 수립하고, 수립된 판매계획을 기준으로 주생산계획(MPS, Master Production Planning)을 수립하고, 주생산계획을 기준으로 MRP(Material Requirement Planning)에 의해서 필요한 시점에 필요한 물량만큼 발주하여 재고관리하는 것이 합리적인 발주 및 재고관리 방식이었다. 그러나 오늘날 수요자 중심으로 수요가 수시로 급변하는 상황에서 과거 생산자 중심의 시대에 만들어진 MRP 방식 그대로 발주 및 재고를 관리하게 되면 수요의 급격한 수많은 변동성에 적절히 대응하기가 쉽지 않으며 그로 인해서 품질, 독촉과 그 반대의 과잉재고 등이 많이 발생할 수밖에 없게 되고 그 결과 과다한 관리 비용 및 손실이 발생하게 된다. 갈수록 커지는 다양한 변동성에 대응하며 재고를 적정하게 관리하는 것은 점점 더 어려워지고 있다. 오늘날 많은 기업들이 ERP(Enterprise Resource Planning)의 핵심 모듈(module)인 MRP모듈을 사용하지 않거나, 사용하더라도 MRP에서 생성된 계획대로 100% 자동 발주처리 하지 못하고 발주 담당자가 엑셀 또는 수작업 확인 및 조정 과정을 거쳐서 발주 작업을 진행하고 있는 것이 현실이다.

Ptak과 Smith의 최신 저서, “ORILICKY’s MRP 3판<sup>[12]</sup>”에서는 1975년 Joe Orlicky에 의해서 만들어진 MRP<sup>[11]</sup>를 수요에 능동적으로 대응하기 위한 수요대응형 MRP(Demand Driven MRP)로 확장 발전시켰다. 수요대응형 MRP 방식에서는 수요와 공급이 급변하는 상황에서도 시스템이 안정적으로 대응하기 위해서는 적정한 재고버퍼로 변동으로 인한 혼란을 흡수할 수 있어야 전체 시스템이 안정적으로 유지된다는 전제하에, 적정량의 재고 및 가용성이 항상 유지되게 하는 것이 핵심이며, 그렇게 하기 위한 방법으로 TOC 재보충방식에 의한 발주 계획수립 및 버퍼관리를 핵심적인 방법론으로 적용하고 있다.

TOC 재보충방식을 활용하여 재고를 효과적으로 운영 관리하고 있는 기업들이 점차 늘어가고 있기는 하지만 아직 TOC 재보충방식이 일반적인 재고 발주관리 방식으로 보편화되어 있지는 않은 것이 현실이다. 그것은 TOC 재보충방식이 MRP나 기존의 재고관리 방식보다 효과적이라는 것을 검증할 수 있는 방법론에 대한 연구가 미흡하기 때문일 것이다.

TOC 재보충방식이 보다 보편화되기 위해서는 각 기업에서 실제 발생했던 입출고 사용 실적을 기준으로 기존의 MRP 또는 재발주점 방식에 의해 관리했던 결과의 재고 수준과 재보충방식으로 관리했을 경우의 재고수준이 어

떻게 달라질 수 있는지를 비교 분석할 수 있고, 미래의 불확실성에 대한 대응전략 시나리오를 시뮬레이션을 통하여 간단히 비교 제시되어 효과를 사전에 검증될 수 있어야 할 것이다. 또한 초기 목표재고수준 설정, 목표재고수준 조정 메카니즘 및 목표재고수준 조정 주기, 조정 수량 등을 결정하는 기준에 대한 연구가 이루어져 구체적인 방법론이 기업 현장에서 적용할 수 있도록 제시되어 할 것이다.

본 연구에서는 목표재고수준 결정을 위한 절차 정립, 목표재고수준 결정 및 시스템 다이내믹스 기법을 활용한 시뮬레이션 모델 개발을 통하여 실제 현업적용 타당성에 대한 방법론 및 논리를 개발해 보고자 한다.

## 2. 재고 발주정책 관련 이론적 고찰

### 2.1 기존의 일반적인 재고발주 방식

일반적인 재고관리 정책에는 재고가  $s$ 수준이하로 떨어질 때 설정된 값  $S$ 에 도달하는 수량 만큼 발주를 하는 ( $s,S$ ) 부정기정량 정책과 일정한 발주주기( $R$ )마다 재고수준을 파악하여 미리 설정된 값  $S$ 에 이르도록 보충하는 ( $R,S$ ) 정기부정량 정책이 있다. 이 밖에도 위의 재고정책을 변형하여 재고가  $s$ 수준 이하일 때 일정량( $Q$ )을 발주하는 ( $s,Q$ )정책, 일정량( $Q$ )를 일정 발주주기( $R$ )에 발주하는 ( $R,Q$ )정책 등의 정책이 있다. ERP등의 정보시스템 사용이 보편화된 요즘, 기업에서는 대부분 정기부정량 ( $R,S$ )정책을 기본으로 하고, 수요 및 공급의 변동성에 따라 부정기부정량 정책을 적용하고 있다. 이러한 부정기부정량 정책은 Çakici<sup>[15]</sup>에 의해 ( $Q,R,S$ ) 재고정책이라고 2010년에 명명되기 시작하였으며 발주수량  $Q \geq 0$ , 발주주기  $R \geq 0$ , 목표재고수준  $S$ 를 유지하기 위한 만큼 발주하는 재고정책이라 할 수 있다.

### 2.2 TOC 재보충방식의 재고발주기법

TOC는 Eli Goldratt 이 생산 현장의 제약공정 생산속도가 최종 생산량의 생산속도를 결정하므로 제약공정의 속도에 맞추어 전체 생산흐름을 동기화할 수 있는 생산관리 방법인 DBR (Drum Buffer Rope) 생산관리 방식에서 확장 발전시킨 제약(Constraints) 중심의 경영이론이다. 모든 시스템에는 반드시 제약이 존재하며 제약 중심으로 개선 활동을 하는 것이 시스템의 성과를 가장 빨리 올릴 수 있는 방법이라는 제약 중심 사상을 경영 전반에 확산 발전시킨 경영혁신 방법론이다<sup>[7]</sup>. 또한 제약의 상태가 시스템의 성과를 결정하므로 제약의 상태 모니터링을 통하

여 제약이 최대한 활용될 수 있도록 관리하는 것이 TOC의 버퍼관리이다.

TOC 재보충방식에서는 목표재고수준을 버퍼크기로 정하고 버퍼를 적색, 황색, 녹색구역의 3구역으로 나누고 재고 및 가용성이 버퍼의 어떤 구역에 존재하느냐에 따라 적절한 조치를 취할 것을 권고한다. 재고 및 가용성이 녹색구역에 있다는 것은 상태가 안전하다는 것을 나타내며 아무런 조치도 취할 필요가 없다. 황색구역에 있을 때에는 앞으로 문제가 발생할 수도 있는 구역이므로 실제적인 행동을 취할 필요는 없지만 주의 깊게 지속적인 관찰이 필요한 구역이다. 그러나 적색구역은 위험한 상태를 의미하며 품질 가능성이 있으므로, 독촉 또는 긴급 추가 발주 등의 신속한 대응을 취해야만 한다는 것을 나타낸다. 실제 수요 및 공급의 급격한 변동에 대하여 재고 및 가용성이 버퍼의 어떤 구역에 속하는가에 따라서 취해야 할 객관적 조치 기준을 버퍼의 색깔을 통하여 가시적으로 제시하는 것이 버퍼 모니터링이며, 수요와 공급의 변동에 따라 버퍼 크기를 다이내믹하게 변동 관리하게 하는 것이 TOC 재보충방식의 버퍼관리 기법이다<sup>[13]</sup>.

### 2.3 시스템 다이내믹스의 인과지도로 표현한 재고와 재고발주의 문제

시스템 다이내믹스 전용 시뮬레이터인 Vensim DSS 6.0.0을 이용하여 재고에 대한 인과관계를 시스템 다이내믹스의 인과지도로 표현하면 그림 1과 같다.

재고가 증가하여 재고가용성이 높아지면 생산지시를 줄이게 되고, 생산지시를 줄이면 재공이 감소하게 되어 그 결과 재고가 감소하게 된다. 또한 재고 가용성이 증가하면 적시 출하율이 증가하게 되고, 적시 출하율이 올라가면 고객 만족이 증가하게 되고, 그것은 신규 주문의 증가로 이어지고, 주문이 증가하면 재고는 줄어들게 된다. 이러한 메카니즘에 의해서 재고는 증가 또는 감소의 반복 메카니즘을 통하여 균형을 이루게 된다. 또한 목표재고수준을 기준으로 재고가 충분한 것을 나타내는 녹색구역에 침투하는 횟수가 많아지면 재고 발주 횟수가 줄어들게 될 것이고, 반대로 재고수준이 낮아져 재고 위험수준을 나타내는 적색구역에 오래 머물게 되면 재고 발주 횟수를 늘리려는 메카니즘이 작동하게 되면서 목표재고수준을 맞추려는 방향으로 메카니즘이 작동하게 된다.

이와 같이 재고는 근본적으로 음의 피드백 루프의 특성을 가지고 있어서 어떠한 지점에 수렴하려고 하는 메카니즘을 가지고 있고 그 수렴지점이 적정 재고 수준이 될 것이다. 그런데 재고의 수렴 지점인 적정 재고수준을 어

디로 정하느냐에 따라 재고 운영 전반의 운영 메카니즘이 크게 영향을 받게 된다. 따라서 적정 목표재고수준을 합리적으로 전략적으로 결정하는 것은 아주 중요한 문제다.

### 3. 관련 연구에 대한 조사

본 연구와 관련된 이전 연구에는 재고 발주수량 결정 정책과 관련된 연구와 TOC 재보충방식 및 버퍼관리와 관련된 연구로 구분할 수 있다.

재고 발주수량 결정 모델로 Çakici은 기존의 (s,S) 정책, (R,S) 정책을 재고의 가용성을 기준으로 통합 발전시킨 새로운 (Q, R, S) 재고정책 모델을 제시하고 새로운 재고정책을 이론적으로 통합 증명하였다는 측면에서 의의가 있다<sup>[15]</sup>. 유사한 국내 연구로 김중수 등은 시뮬레이션을 이용한 수정 (R,S) 정책의 효율성 연구에서 기존 (R,S) 정책을 개선한 FB (R,S) 정책이 보다 효율적임을 시뮬레이션을 통하여 확인하였으며<sup>[3]</sup>, 박성일 등은 일반적으로 수요가 어느 정도 안정적이라는 가정 하에 수립된 재고정책을 수요 급변시대에 적용하게 하기 위하여 주기적으로 다음 기의 수요예측 정보를 발주수량 결정에 적용하여 재고를 확보하는 정책이 수요 증가, 감소추세에 얼마나 효과적인가를 시뮬레이션을 통하여 비교 분석하였다<sup>[4]</sup>. 이정학 등은 동시조달 수리부속품(CSP:Concurrent Spare Parts)의 적정 재고관리 수준을 결정하기 위한 방법으로 CSP 재고정책과 (R,Q) 재고정책을 혼합한 혼합 재고정책을 제시하였다<sup>[5]</sup>. 그 외에도 권치명은 수요가 재생 도착과정을 따르는 (s,S) 재고 시스템에서 시뮬레이션 민감도 분석을 이용한 최적 전략을 제시하였고<sup>[1]</sup>, 조면식은 SCM상의 하류업체에서의 스무딩한 주문이 리드타임뿐만 아니라 만족율, 재고 비용을 감소시킬 수 있는 수준에서의 주문 정책이 중요함을 강조하였다<sup>[6]</sup>. Merkurjeva 등은 (s,Q) 정책과 (R,S) 정책의 효율성에 대하여 단단계 서플라이 체인상에서의 시뮬레이션을 통하여 성과를 비교하였다<sup>[10]</sup>.

TOC 재보충방식 관련 논문으로는 Chuang 등은 TFT-LCD 산업에 TOC 재보충방식을 적용한 사례 분석을 통하여 평균재고, 품질과 재고회전에 대한 평가지표인 TDD (Throughput Dollar Days), IDD (Inventory Dollar Days)<sup>[14]</sup>의 비교를 통하여 DPRM(Demand Pull Replenishment Model)성적을 입증하였으며<sup>[8]</sup>, Hung 등은 TOC Demand-pull 방식 적용을 위한 버퍼크기 결정 모형을 개발하였으나 목표재고수준의 버퍼크기를 리드타임과 사용량을 기준으로 각 구역을 3등분한 시뮬레이션 모형을 개

발하였다<sup>9)</sup>.

재고 관리 분야는 지난 30년간 지속적으로 많은 연구가 이루어져 왔다. 그러나 SCM, 유통, 물류, JIT, Lean 등 재고 관련 다른 연구 분야와 대비하여 MRP 분야는 발표된 연구논문 수가 상대적으로 저조했다. 지금까지는 기업간 물류 흐름 향상에 초점을 둔 SCM 물류 흐름에 대한 연구가 SCM 연구의 중요한 부분을 차지해 왔었다. 그러나 최근에 들어서는 기업내 물류 흐름이 급변하는 수요에 대응하지 못하면 SCM 전반의 물류 흐름 개선이 효과적으로 이루어지기 어렵다는 관점에서 기업 내부 물류 흐름의 중요성이 더욱 부각되어지고, 그러한 관점에서의 재고 정책에 대한 관심의 증가와 함께 MRP 개선 관련 논문들이 최근 들어 많이 발표되고 있다<sup>12)</sup>.

## 4. 연구설계 및 시뮬레이션

### 4.1 연구 설계의 목적

본 연구에서는 Hung등이 모델에서 사용했던 것처럼 리드타임, 일사용량, 표준편차를 고려하여 목표재고수준을 계산하고 이를 3등분하여 버퍼 관리하는 방식과 리드타임과 변동성에 대한 부분을 퍼센트로 감안하여 적색구역을 2가지로 세분하고 적색/황색/녹색구역의 크기를 리드타임과 사용량에 의해 각기 다르게 결정하도록 설정한 Ptak과 Smith가 제시한 방식을 비교하면서 적정 목표재고 수준 및 버퍼크기 결정의 중요성을 강조하고자 하였다. 그리고 시뮬레이션 모형을 만들어 향후 실제 데이터를 적용하여 시뮬레이션을 하기 위한 모델의 타당성을 검증하고자 하였다. 또한 시뮬레이션 모델에서 급증(spike) 수요가 발생하면 요구일자가 도래하지 않았더라도 미리 가용량 계산식에 감안될 수 있도록 하였으며, 공급의 변동성을 고려하기 위하여 Vensim<sup>12)</sup>에서 제공하는 Delay Material함수를 활용하여 공급에 따른 시간 및 수량에 대한 변동성을 반영하여 수요의 변동성뿐만 아니라 공급의 변동성까지 고려한 보다 현실적인 모델을 만들고자 하였다.

### 4.2 적정 목표재고수준 설정

일반적인 목표재고수준 및 버퍼 설정방법은 정기부정량 (R,S) 발주방식에 기초하여 초기 목표재고수준을 정하고 결정된 목표재고를 3등분하여 버퍼를 적색/황색/녹색 구역으로 나누어 관리한다. 본 연구에서는 일반적인 목표재고 및 버퍼 설정 방식과 수요와 공급의 변동성을 보다 정교하게 감안하여 적색/황색/녹색을 결정하여 전체 목표

재고 크기를 결정하는 Ptak과 Smith의 목표재고 결정 방식 2가지 모델을 설정하여 비교 검토하였다.

#### 1) 공식1 : 일반적인 목표재고

$$TI = ADU * LT + SS$$

TI : Target Inventory(ea)

ADU : Average Daily Usage(ea/day)

LT : Lead Time(day)

SS : Safety Stock(ea)

$$= ADU \text{의 표준편차} * 2$$

Red : TI/3(ea)

Yellow : TI/3(ea)

Green : TI/3(ea)

#### 2) 공식2 : Ptak과 Smith의 목표재고

$$TI = Red + Yellow + Green$$

$$Yellow = ADU * LT$$

$$Red \text{ Base} = Yellow * Safety \text{ Factor}(ea)$$

$$Red \text{ Safety} = Red \text{ base} * Safety \text{ Factor}(ea)$$

$$Red = Red \text{ Base} + Red \text{ Safety}(ea)$$

$$Green = Yellow * Safety \text{ Factor}/4(ea)$$

위 2개 공식의 목표재고 크기를 비교하면 Safety Stock과 Safety Factor를 어떻게 결정하는가에 따라 달라지겠지만, 예를 들어 평균리드타임 2일, 일평균사용량 10개, 표준편차 10, 안전율 2일때의 공식1의 목표재고의 크기는 220 이며 Safety Factor 0.5를 적용한 공식2의 목표재고의 크기는 450이다. 공식에 따라 목표재고의 크기가 달라질 뿐만 아니라 그림 2와 같이 공식1의 목표재고는 적색, 황색, 녹색으로 3등분하며, 공식2에서는 적색구역이 37.5%, 황색구역이 50%, 녹색구역이 12.5%가 된다.

만일 동일한 수요가 발생한 상황에서 서로 다른 2개의 목표재고 및 버퍼크기를 기준으로 동일한 발주 방식을 채택할 경우에 모두 품절이나 과잉재고가 발생하지 않고 황색 구역에서 적절하게 재고가 유지되었다 하더라도 두 경우의 실제적인 재고 수준은 달라진다. 일반적으로 TOC 재보충방식에서는 개략적으로 버퍼를 정의하고 버퍼 침투 조정 메커니즘을 통하여 버퍼크기 조정을 통하여 목표재고를 조정할 것을 권장한다. 그러나 동일한 조건하에서 버퍼침투가 크게 발생하지 않는 상황에서도 목표재고수준에 따라 적절한 재고의 크기가 달라진다. 따라서 시뮬레이션을 통하여 좀더 정밀하게 목표재고 수준을 비교분석 관리할 필요가 있다.

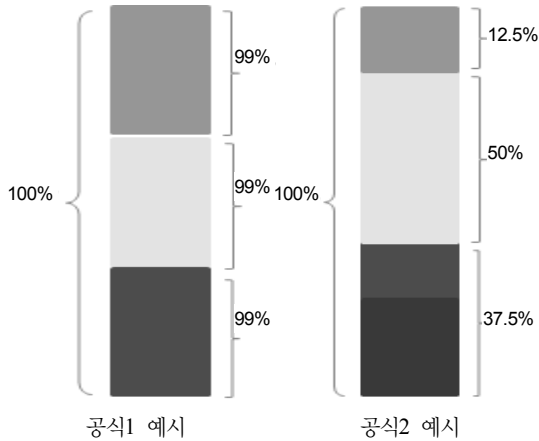


그림 2. 공식1과 공식2의 목표재고 및 버퍼 크기 비교

### 4.3 시스템다이내믹스를 활용한 시뮬레이션

본 연구에서는 시스템을 저장(貯量 Stock)과 유량(流量 Flow)의 관점에서 시뮬레이션 분석하는 시스템 다이내믹스 기반의 시뮬레이터인 Vensim DSS 6.0을 이용하여 목표재고수준 설정을 위한 입력변수를 받아서 공식1과, 공식2에 따라 목표재고수준을 결정하고 평균 50, 표준편차 10인 정규 분포에서 임의의 Random 수요를 발생시킨 값을 동일하게 2개 모델에 적용한 결과를 비교하는 모델을 만들었다. 시뮬레이션의 구성은 1)가정, 2)입력변수에 의한 목표재고 설정, 3)시뮬레이션 모형 및 결과의 비교 분석으로 구성 하였으며 목표재고수준의 적정 수준을 판단할 수 있을 때까지 입력변수를 조정하도록 구성하였다.

#### 1) 가정

- 평균리드타임 : 2일
- 일평균사용량 : 10일
- 발주주기 : 1일
- 발주방식 : 정기 부정량 발주  
(가용량이 황색이하가 되면 녹색상단까지 발주)
- 수요 : 평균 50개, 표준편차 10인 정규분포로  
수요를 random 하게 100일 동안 발생
- 안전재고 : 표준편차 \* 안전율
- 안전율 : 2에서 12까지 1씩 증가
- 안전계수 : 0.5에서 0.1씩 감소
- 기타 모든 다른 조건은 동일

#### 2) 목표재고수준 설정

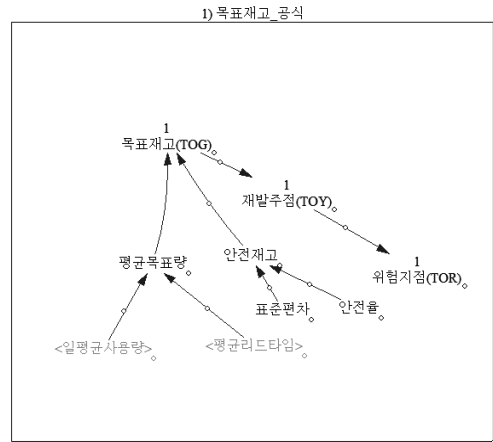


그림 3. 공식1의 목표재고수준 설정

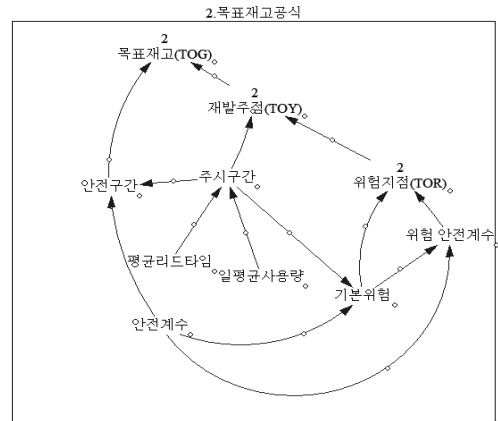


그림 4. 공식2의 목표재고수준 설정

#### 3) 시뮬레이션 모형 및 결과의 비교 분석

시뮬레이션 모형은 그림 5와 같이 동일한 수요에 대하여 목표수준을 다르게 정했을 때 입력 변수를 조정하면서 발주량 및 재고량 품질 발생 횟수가 어떻게 달라지는가를 시뮬레이션 하였다. 정해진 목표수준에서 재고에 발주누계를 더한 가용량의 크기가 황색구역 상단 이하로 떨어지면 녹색구역 상단까지 발주하도록 2개 모델을 동일하게 설계하였다.

Vensim DSS 버전을 활용하여 개발한 본 시뮬레이션 모델에 사용된 모든 변수 및 변수에 적용된 계산 공식은 부록으로 첨부하였다.

공식1에 의한 시뮬레이션 결과는 표 1의 공식1 시뮬레이션 결과 요약과 같이 안전율이 2 일 때는 품질이 7 번

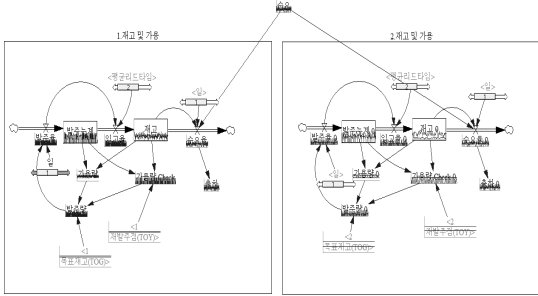


그림 5. 시뮬레이션 모델

발생하였으며 점차 증가시켜서 안전율 12를 적용했을 때는 품질 없이 모든 수요를 만족시킬 수 있었다. 그림 6은 안전율이 12를 적용한 시뮬레이션 결과 그래프이다.

공식2에 의한 시뮬레이션 결과는 표 2의 공식2 시뮬레이션 결과 요약과 같이 안전계수 0.5를 적용했을 때 재고 및 가용량이 충분하였다. 그래서 안전계수를 점차 줄여서 0.1을 적용한 경우의 값이 품질을 예방하는 최소한의 목표재고수준이 되었다. 그림 7은 안전계수 0.1을 적용한 시뮬레이션 결과 그래프이다.

2가지 공식 적용 결과 비교는 다음과 같다. 재발주 지점인 황색구역의 크기는 213, 222로 거의 유사함을 알 수 있다. 그러나 전체 목표재고 크기는 공식2의 242개가 공식1이 320개에 비해 약 25% 낮은 수준이며, 이와 연계하여 평균재고수준도 공식2가 100개로 공식1의 135개에 비해서 27% 낮은 수준으로 보다 우수함을 보여주고 있다. 또한 가용성 수준에서도 공식2의 197개를 공식1의 229개와 대비해 보면 목표재고, 평균재고수준의 감소 비율보다도 낮은 약 16% 감소는 가용성이 보다 더 크다는 것을 나타낸다. 즉 공식2가 전체 목표재고수준, 평균재고량, 가용성 수준 측면에서 모두 우수함을 보여주고 있었다. 반면 수요의 편차를 10에서 50까지 10씩 증가시키며 표준편차 10, 안전계수 12일 때의 공식1과 안전계수 0.1을 적용한 공식2의 2개 모델을 비교분석한 결과는 표 3과 같다.

재고수준이 높은 공식1이 수요편차가 클수록 전량 출하횟수 및 출하손실 누계량에서 우수함을 알 수 있다. 재고수준이 높음에 따라 수요 편차에 따른 변동성을 더 많이 커버할 수 있기 때문에 우수한 것으로 나타났음을 알 수 있었다.

긴급을 나타내는 적색구역의 크기는 초기 황색구역 크기를 결정할 때는 작용을 하지만, 실행측면에서 독축을 판단하기 위한 기준선임을 알 수 있었다. 또한 녹색구역의 크기는 공식1이 공식2에 비해 크며, 이에 의해서 공식

표 1. 공식1 시뮬레이션 결과 요약

표준 편차	안전 계수	안전 재고	Green	Yellow	Red	수요	출하	재고	가용량
10	2	20	220	146	73	50	43	78	162
10	3	30	230	153	76	50	44	84	165
10	4	40	240	160	80	50	45	86	172
10	5	50	250	166	83	50	47	91	180
10	6	60	260	173	86	50	48	88	187
10	7	70	270	180	90	50	48	92	193
10	8	80	280	186	93	50	48	109	201
10	9	90	290	193	96	50	49	116	208
10	10	100	300	200	100	50	49	122	215
10	11	110	310	206	103	50	49	129	224
10	12	120	320	213	106	50	50	135	229
10	13	130	330	220	110	50	50	141	237

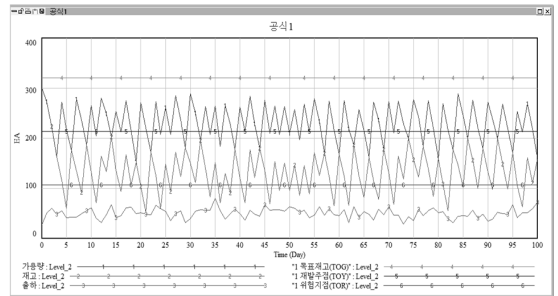


그림 6. 표준편차10, 안전율 12의 시뮬레이션 결과

표 2. 공식2 시뮬레이션 결과 요약

안전 계수	Green	Yellow	Red	수요	출하	재고	가용량
0.5	450	350	150	50	50	265	363
0.4	392	312	112	50	50	219	333
0.3	338	278	78	50	50	170	267
0.2	288	248	48	50	50	141	236
0.1	242	222	22	50	50	100	197
U	200	200	U	50	47	67	158

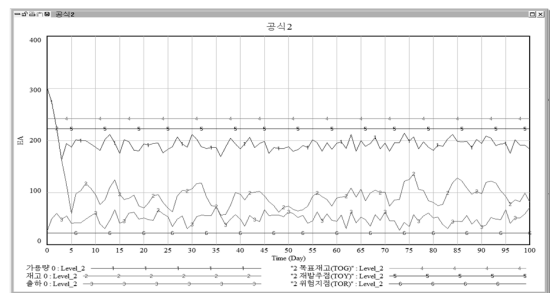


그림 7. 안전계수 0.1을 적용한 시뮬레이션 결과

1의 발주 수량의 크기가 크다는 것을 알 수 있다. 즉 녹색 구역의 크기는 실제 발주수량의 크기에 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

표 3. 수요의 편차에 따른 결과 비교

수요 편차	수요	공식1 (표준편차:10, 안전계수:12, Green:320, Yellow:213, Red:106)					공식2 (안전계수:0.1, Green:242, Yellow:222, Red:22)				
		출하평균	재고평균	가용량	전량출하 횟수	출하손실 누계	출하평균	재고평균	가용량	전량출하 횟수	출하손실 누계
10	50	50	136	232	50	0	50	100	196	49	7
20	52	50	139	237	41	208	52	101	196	33	313
30	52	50	139	237	41	208	52	101	196	33	313
40	50	50	136	232	0	0	50	100	196	49	7
50	51	49	142	236	42	244	48	104	196	32	337

이러한 시뮬레이션 과정을 통하여 목표재고수준의 크기 및 각 구역별 버퍼의 크기가 평균재고수준, 가용량, 발주주기 결정에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 목표재고 및 버퍼구역을 적정하게 결정하는 것이 효과적인 재고관리를 위한 첫 번째 중요한 요소임을 검증할 수 있었다.

### 5. 결론 및 추후과제

본 연구에서는 시스템 다이내믹스 기법의 Vensim을 활용하여 동일한 임의 수요에 대하여 목표재고수준이 다르게 설정하고 재보충방식에 의한 재고를 관리하는 경우에 그 결과가 어떻게 달라지는가를 간단한 시뮬레이션 모델 개발을 통하여 재고수준 및 가용량의 수준 비교분석을 통하여 보다 목표재고 수준을 적정하게 결정할 수 있는 방법론을 만들어 보았다. 공급 리드타임의 변동성 및 그에 따른 공급수량의 변동을 Delay\_material 함수를 적용하여 보다 현실과 유사한 시뮬레이션 모델을 만들고자 하였다. 향후에는 임의의 수요가 아니라 기업의 실제 입출고 데이터를 활용하여 적정 목표재고수준을 시뮬레이션을 통하여 설정할 수 있는 모델로 발전시키려고 한다. 또한 급증 수요에 대한 사전 대응 메커니즘, 수요 변동성에 따라 적절한 주기로 목표재고수준을 재조정할 수 있는 메커니즘, 미래의 예상 수요를 가정하여 사전에 시뮬레이션 해볼 수 있는 모델로 확장 발전시켜서 미래의 급변하는 상황에 사전 시뮬레이션을 통하여 적정 재고수준을 관리할 수 있는 재고관리 사전 시뮬레이션 모델을정립 발전시켜 나갈 예정이다.

### 참고 문헌

1. 권치명, “수요가 재생 도착과정을 따르는 (s,S) 재고시스템

에서 시뮬레이션 민감도 분석을 이용한 최적 전략”, 한국시뮬레이션학회 논문지, 제12권 제3호, pp. 31-40, 2003년 12월.  
 2. 김기찬의 역저, “Vensim을 활용한 SYSTEM DYNAMICS”, pp. 52-96, 서울경제경영  
 3. 김종수, 김정형, 서정필, “시뮬레이션을 이용한 수정(R,S) 정책의 효율성 연구”, 2010 한국경영과학회 추계학술대회 논문집, pp. 478-482, 2010.  
 4. 박성일, 김종수, “비정상 수요를 가진 품목을 위한 예측기반 재고정책”, Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, Vol. 37, No. 3, pp. 216-228, 2011년 9월.  
 5. 이정학, 정석재, 김경섭, “2계층 분배시스템에서 혼합재고 정책을 이용한 적정재고수준 결정에 관한 연구”, 한국시뮬레이션학회 2006년 추계학술대회논문집, pp. 8-15, 2006.  
 6. 조면식, “스무딩된 주문 정책이 공급 사슬의 성과 지표에 미치는 영향”, 한국시뮬레이션학회 논문지, Vol. 20, No. 2, pp. 19-27, 2011년 6월.  
 7. 함정근, 최원준, “TOC 동기화경영”, 동양문고, 서울, pp. 205-226, 2005.  
 8. Chuang S.H, Li R.K, “Applying TOC replenishment method to improve production performance of TFT-LCD industry,” 19th Int. Conf. on Product. Res., Valparaiso, Chile, Session, pp. 1-6, 2007.  
 9. Hung K-T, Liou D. Edwin, Chang Y-C, “Decision support System for Inventory Management by TOC Demand-Pull Approach”, Advanced Semiconductor Manufacturing Conference (ASMC), 2010 IEEE/SEMI, pp. 23-26, 2010.  
 10. Merkurjeva Galina, Vecherinska Olesya “Simulation-Based Approach for Comparison of (s,Q) and (R,S) Replenishment Policies Utilization Efficiency in Multi-echelon Supply Chains”, 2008 IEEE, DOI 10.1109, pp. 434-440, 2008.  
 11. Orlicky Joe, “material Requirement Planning”, McGraw-Hill, USA, 1975  
 12. Ptak A. Carol, Smith Chad, “ORLICKY'S Material Require-

- ments Planning Third edition”, McGraw-Hill, USA, pp. 385-478, 2011.
13. Schragenheim Eli, Dettmer William, Patterson Wayne, “Supply Chain Management at Wrap Speed: Integrating the System from End to End”, CRC Press, USA, pp. 150-160, 2009.
  14. Yuan Kuo-Jung, Chang Sheng-Hung, Li Rong-Kwei, “Enhancement of TOC Replenishment Using a Novel Generic Buffer Management Procedure”, International Journal of Production Research, Vol. 41, No. 4, pp. 725-740, 2003
  15. Özden Engin Çakici, “Introduction of (Q, R, S) Inventory Policy and the Comparison of Continuous and Periodic Review Policies under Continuous Time Costing”, 2011 MSOM Annual Conference, pp. 1-3, 2011.
- ### 부록: 적용공식
1. “1 목표재고(TOG)”= 평균목표량+안전재고 Units: EA
  2. “1 위험지점(TOR)”= INTEGER(“1 재발주점(TOY)”\*1/2) Units: EA
  3. “1 재발주점(TOY)”= INTEGER(“1 목표재고(TOG)”\*2/3) Units: EA
  4. “2 목표재고(TOG)”= “2 재발주점(TOY)”+안전구역 Units: EA
  5. “2 위험지점(TOR)”= 기본위험+위험 안전계수 Units: EA
  6. “2 재발주점(TOY)”= “2 위험지점(TOR)”+주시구역 Units: EA
  7. FINAL TIME = 100 Units: Day The final time for the simulation.
  8. INITIAL TIME = 0 Units: Day The initial time for the simulation.
  9. SAVEPER = TIME STEP Units: Day [0,?] The frequency with which output is stored.
  10. TIME STEP = 1 Units: Day [0,?] The time step for the simulation.
  11. 가용량= 재고+발주누계 Units: EA
  12. 가용량 0= 재고 0+발주누계 0 Units: EA
  13. 가용량 Check= IF THEN ELSE((재고+발주누계)>“1 재발주점(TOY)”, 0, 1) Units: EA
  14. 0>“2 재발주점(TOY)”, 0, 1) Units: EA
  15. 기본위험= 주시구역\*안전계수 Units: EA
  16. 발주누계= INTEG(발주율-입고율, 0) Units: EA
  17. 발주누계 0= INTEG(발주율 0-입고율 0, 0) Units: EA
  18. 발주량= IF THEN ELSE(가용량 Check=0, 0, IF THEN ELSE(가용량>“1 목표재고(TOG)” 0, “1 목표재고(TOG)”-가용량)) Units: EA
  19. 발주량 0= IF THEN ELSE(가용량 Check 0=0, 0, IF THEN ELSE(가용량 0>“2 목표재고(TOG)” 0, “2 목표재고(TOG)”-가용량 0)) Units: EA
  20. 발주율= 발주량/일 Units: EA/Day
  21. 발주율 0= 발주량 0/일 Units: EA/Day
  22. 수요= INTEGER(RANDOM NORMAL(0, 100, 50, 10, 1)) Units: EA
  23. 수요율= (IF THEN ELSE(수요>재고, 재고, 수요))/일 Units: EA/Day
  24. 수요율 0= (IF THEN ELSE(수요>재고 0, 재고 0, 수요))/일 Units: EA/Day
  25. 안전계수= 0.1 Units: Dmnl 표준편차 10, 안전계수 :2시그마
  26. 안전구역= 주시구역 \* 안전계수 Units: EA
  27. 안전율= 12 Units: \*\*undefined\*\*
  28. 안전재고= 표준편차\*안전율 Units: \*\*undefined\*\* 표준편차(10) \* 2시그마
  29. 위험 안전계수= 기본위험\*안전계수 Units: EA
  30. 일= 1 Units: Day
  31. 일평균사용량= 100 Units: EA/Day
  32. 입고율= DELAY MATERIAL(발주율, 평균리드타임,0) Units: EA/Day
  33. 입고율 0= DELAY MATERIAL(발주율 0, 평균리드타임, 0) Units: EA/Day
  34. 재고= INTEG(입고율-수요율, 300) Units: EA
  35. 재고 0= INTEG(입고율 0-수요율 0, 300) Units: EA
  36. 주시구역=(평균리드타임)\*일평균사용량 Units: EA
  37. 출하= 수요율 Units: EA/Day
  38. 출하 0= 수요율 0 Units: EA/Day
  39. 평균리드타임= 2, Units: Day
  40. 평균목표량= 일평균사용량\*평균리드타임 Units: EA
  41. 표준편차= 10 Units: \*\*undefined\*\*





**이 정 숙 (jay\_lee@hanmail.net)**

1984 고려대학교 통계학과 학사  
1998 서강대학교 경영전문대학원 경영학석사  
2010 서울과학기술대학교 IT정책전문대학원 박사과정  
2007~현재 서울과학기술대학교 산업정보시스템공학 겸임교수  
2006~현재 TOC VISION 상무

관심분야 : TOC, Demand Driven MRP, SCM, 시뮬레이션, 시스템 다이내믹스



**장 성 용 (syjang@seoultech.ac.kr)**

1980 서울대학교 산업공학과 학사  
1982 서울대학교 산업공학과 석사  
1991 서울대학교 산업공학과 박사  
1987~현재 서울과학기술대학교 글로벌융합산업공학과(산업정보시스템공학) 교수

관심분야 : 컴퓨터시뮬레이션, 제약경영, 프로젝트관리