

공급 사슬망의 동력학 문제에 대한 몬테카를로 모사에 기반한 연구

류준형[†] · 이인범

포항공대 화학공학과
790-784 경북 포항시 남구 효자동 산 31
(2008년 4월 2일 접수, 2008년 5월 31일 채택)

A Monte Carlo Simulation Approach on Supply Chain Dynamics

Jun-Hyung Ryu[†] and In-Beum Lee

Department of Chemical Engineering, POSTECH, San 31, Hyoja-dong, Pohang 790-784, Korea
(Received 2 April 2008; accepted 31 May 2008)

요 약

공급 사슬망은 최근 학계와 기업에서 매우 큰 관심사로 떠오르며 그 중요성이 강조되고 있다. 통합적으로 관리하고 조망해야 한다는 필요성에 기반하고 있지만 전체적으로 조망하면서 지속적으로 일어나는 변동성을 어떻게 대응하고 준비해야 하는가에 대해서는 연구가 상대적으로 활발하지 않았다. 본 논문에서는 공급 사슬망의 동적 특성들에는 어떤 것들이 있는지 살펴 보고 이를 통해 적절한 운영 방식을 찾기 위해 준비하였다. 각각 참여 요소(entity)들이 가지고 있는 변동성이 전체에 어떤 영향을 가지고 있는지 전체 소요 시간(Turn Around Time, TAT) 중심의 방법을 제안하였다. 이를 Monte Carlo Simulation 방법을 통해 7개의 인자들로 구성된 공급 사슬망의 사례를 제시하였다.

Abstract – Supply chain management (SCM) has been drawn increasing attention in industries and academia. The attention is mainly due to a need to integrate the multiple activities in a process network from the overall perspective under the constantly varying economic environment. While many researchers have been addressing various issues of SCM, there is not much research explicitly handling the overall dynamics of supply chain entities from PSE literature. In this two-part series paper, it is investigated how the overall supply chain processing times vary in response to the variation of individual entities using Monte Carlo simulation. Instead of figuring out the operation levels of individual entities, the overall operation time called TAT(Turn-Around-Time) is proposed as a performance indicator. An example of 7 entity-supply chain is presented to illustrate the proposed methodology.

Key words: Supply Chain, Variation, Monte Carlo Simulation, Turn-Around-Time (TAT)

1. 서 론

공급 사슬망(Supply Chain)은 최근 산업체와 학계에서 큰 관심을 끌고 있으며 공급 사슬망을 어떻게 운영할 수 있는가는 공급 사슬망 관리(Supply Chain Management, SCM)라 하여 중요한 학문의 한 영역으로 자리잡고 있다. 전체 프로세스를 최적화한다고 하여 Enterprise-wide Optimization이라고도 불리며 이와 관련되어 PSE 분야에서도 점차 많은 연구가 발표되고 있다[1, 2]. 일반적으로 공급 사슬망은 Fig. 1과 같이 여러 개의 구성원들로 이루어져 있다.

공급 사슬망은 원재료를 공급하는 공급자, 제조자 그리고 생산된 제품들을 소비되는 곳으로 배송하는 물류와 이를 저장하는 배송 창고 및 그로부터 제품을 받아 판매하는 판매자와 소비자 등으로 구

성되어 있다. 개별 산업의 특성에 따라 한 개별 인자(entity)가 여러 단계로 되어 있는 경우도 있다. 제1 생산자, 제2 생산자 등으로 생산 공정이 각기 다른 지역이나 회사에서 이루어지거나, 한 공급 사슬망의 제품이 다른 제품 공급 사슬망의 원료로 사용되는 것이 그 예라 할 것이다. 개별 인자들은 같은 회사에 속한 체로 각각의 목표에 더 우선 순위를 가지거나, 각각의 다른 목적을 가지고 있는 서로 다른 회사일수도 있다. 정보와 물건의 흐름 측면에서 이들 개체들 사이에 제품을 주문하는 정보가 소비자에게서 판매상으로 다시 물류 창고로 전달되고 각각의 물류 창고들로부터 모여진 정보가 생산자로 가며 이들이 모여진 정보가 재료 주문상에게 전달된다. 이러한 주문 정보들에 따라 역순으로 재화(물건이나 서비스)가 전달되면서 발생하는 이익을 통해 전체 공급 사슬망이 운영되게 되는 것이다. 그런데 이처럼 복잡한 네트워크로 구성된 공급 사슬망을 만드는 이유는 무엇일까? 또한 다차원의 복잡한 의사결정 지원 시스템을 만드는 이유는 무엇일까? 가장 큰 이유는 최소의 비용으로 예

[†]To whom correspondence should be addressed.

E-mail: jun2002@postech.ac.kr

[‡]이 논문은 인하대학교 정성택 교수님의 정년을 기념하여 투고되었습니다.

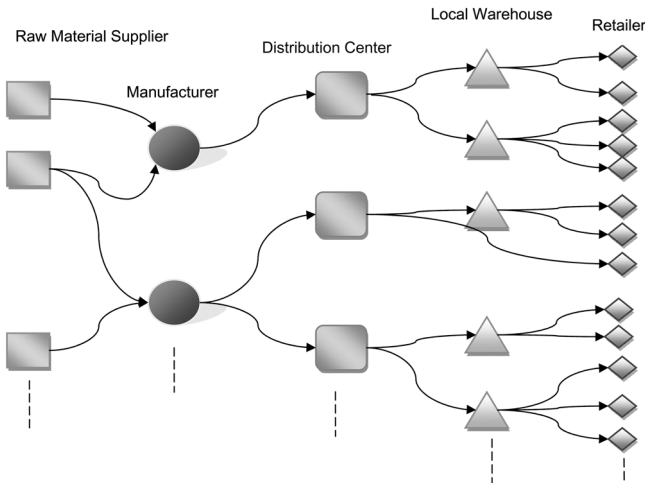


Fig. 1. A schematic illustration of a supply chain.

즉 불가능한 수요에 정확하게 대응하기 위해서이다. 즉 소비자의 수요는 여러 곳에 걸쳐 다양하게 분산되어 있고 변화한다. 어느 한 쪽 시장만 공략하는 것은 효율의 저하와 추가적 개선을 가져오지 못해 경쟁력이 떨어지게 된다. 따라서 다양한 수요에 대응할 수 있어야 한다. 그러기 위해서는 한 곳에서 생산된 제품을 여러 곳에 효과적으로 공급할 필요가 발생하며 이러한 필요성에 따라 개별 인자들이 서로 유기적인 상관 관계를 가진 네트워크를 형성하게 된 것이다. 따라서 파급 효과와 상관관계를 고려하기 위해 결과적으로 서로 긴밀하게 연계된, 다시 말하면 변동성의 영향을 크게 받는 네트워크 형태를 가지게 되었다.

공급 사슬망의 의사 결정 문제에서 중요 이슈로 그 공급 사슬망에 참여하는 수 많은 개체들의 존재(multiplicity)와 그들이 가지고 있는 불확실성(uncertainty)을 어떻게 해결하느냐의 문제로 정리할 수 있다. 즉 참여하는 개체들이 많이 있기 때문에 각 개체들이 주문에 대한 정보와 이에 대한 실제 재화를 어떻게 최대의 효과를 보면서 만족시킬 수 있는가는 전체 사슬망의 효율을 결정하는데 매우 중요하다. 또한 이들의 활동이 애초에 약속된 대로 이루어지지 않는 경우가 많아지게 된다. 여기서 한 개체의 변동이 계속 전달될 경우에는 전체 사슬망에서 이에 대한 영향을 받게 된다. 각 개체 사이에 존재하는 재고(inventory)가 여기서 제품이 부족하지 않도록 완충재(buffer)의 역할을 수행하지만 이 또한 언제나 만족할 만한 수준을 유지한다고 가정할 수는 없다. 따라서 불확실성은 언제나 어디에서나 존재하며 그에 대한 영향으로 인해 얼마만큼의 안전 재고를 가지고 프로세스를 운영해야 하는가의 문제를 풀어야 한다. 너무 많은 재고를 가져가 나중에 처리 불능으로 낭비가 될 수도 있고 또는 재고 부족으로 인해 고객 대응 능력 저하가 될 수 있다.

불확실성에 대해 가장 중요한 이슈는 매개변수의 해당 값이 누구도 알 수 있는 것이 아니라 실제로 발생하고 난 이후에만 알 수 있다는 것이다. 예를 들어 Fig. 2와 같이 계획치(planned value)와 실적치(executed value)의 서로 다른 값에 따라 프로세스의 변화가 일어나고 언제나 정확하게 일치하기는 매우 어렵다. 따라서 중요한 것은 이러한 편차가 얼마나 될 수 있는가를 계산이나 모사하여 그에 대한 대비를 하는 것이다. 이를 통해 가능한 줄일 수 있도록 계획 수정 또한 이를 바탕으로 보다 합리적으로 변경할 수 있어야 한다.

공정 시스템 분야에서는 공급 사슬망에 대한 많은 관심으로 연구

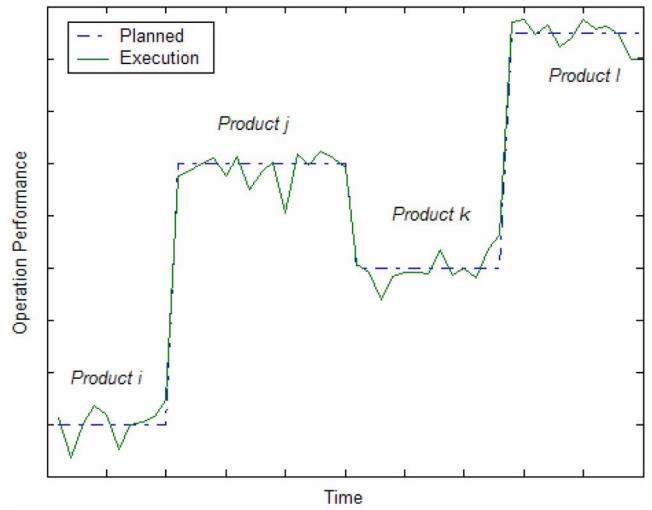


Fig. 2. An Illustration of process of equipment.

가 되어 왔다. Ryu and Pistikopoulos[3]은 서로 다른 회사에 소속한 공급 사슬망을 일종의 기업화된 프로세스 네트워크(enterprise-wide process network)로 개념을 잡고 이들을 운영하는데 각각의 개체들의 운영 방식에 따라 협력(coordination), 협동(cooperation), 경쟁(competition)의 운영 방식(operation policy)으로 나누어 이들 방식에 따른 설계 모델을 제안하였다. 이후 Ryu and Pistikopoulos[4]은 이렇게 나누어진 공급 사슬망에 대한 다중 시간에 대한 생산 계획(multiperiod production planning)을 수립하는 모델을 제시하였다. 미국 Arizona 주립 대학의 Rivera 교수와 Kempf 박사의 Intel 연구진은 supply chain의 dynamics를 일반 화학공정의 tank dynamics로 설명하고 제어(control) 개념을 통해 이를 해결하려고 시도하였다[5]. 그 예로 반도체 공정을 개략적으로 모델링하여 동적 모사(simulation)를 통해 운영 level을 결정하려고 하였다. 하지만 그들의 연구는 실제 적용을 위한 시도보다는 제어 개념을 실험하는 수준에서 각 매개변수들을 정하였다. 즉 실제 공정 운영 상황에서 이들을 반영하기에는 어려움이 아직은 많다. 기존 PSE 분야의 대부분 연구들은 전체 SC의 설계나 확장 계획 등을 대상으로 한 수학적 모델을 제시하는데 집중하였다. 실제 공정 상황에서 일어날 수 있는 상황들을 전반적으로 다 고려하고 이에 대해 적절한 의사 결정을 내리기 위해서 아직도 많은 노력이 필요하다. 이 문제와 관련하여 산업공학 측면에서의 시도들과 비교할 필요도 있다. 여기서 강조할 부분은 비는 프로세스 산업의 공급 사슬망 관리에 대한 접근 방식은 조립 기반의 일반 제조업의 STO(stock to order) 혹은 MTO(Make-to-order) 방식의 산업 공학적 접근 방식으로만 설명할 수는 없는 차별점을 두어야 한다. 그 접근 방식에서의 차별점은 화학 산업 및 프로세스 산업의 특징에 기반한 개념적 접근을 필요로 하며 이 부분이 공정 시스템 공학에서 기여해야 하는 부분이다.

이러한 연구의 중요성에도 불구하고 관련 연구가 미비하기 때문에 본 논문에서는 공급 사슬망의 Supply chain기반의 동적 현상(dynamics)에 대해 살펴보고자 한다. 구체적으로 공급 사슬망의 동적 현상에 대해서 개별 단위 설비 및 공정에 대한 분석이 아니라 전체 공급 사슬망의 운영 현황에 대한 동적 현상을 조망하는 것이다. 이러한 전체적 구조에 대한 상황에 대한 연구는 컴퓨터와 인터넷의 발달로 인해 모든 제품들에 대한 상세 데이터를 관리할 수 있게 되

었기 때문에 가능하며 전체 사슬망에 대한 관리의 측면에서 그 활용도가 강조될 수 있다.

제품 생산 공정의 dynamics에 대한 이해를 통해 현 공정의 운영 상황에 대해 보다 많은 이해를 할 수 있다. 다시 말하면 다양한 변동 상황에 따라 그 프로세스가 얼마만큼 영향을 받을 수 있는지를 미리 살펴볼 수 있다. 공급 사슬망은 위에서 언급한 여러 가지 인자들로 구성되어 있고 이 중 어느 하나의 일방적인 상황에 따른 것이 아니라 주변 다양한 요인들에 의해 상호 반응을 한다. 따라서 이들 변동에 따라서 공급 사슬망 전체가 어떻게 영향을 받는가를 알 수 있게 되어 개별적 이해가 아닌 전체적 이해를 가능하게 해 줄 것이다.

본 연구는 다음과 같이 구성되어 있다. 다음 section에서는 연구 방법에 대해 설명하고 공급 사슬망의 각각의 인자들이 가질 수 있는 변동성의 형태에 대하여 분석하였다. 그리고 이들에 대해 제조 완료 시간(Turn Around Time, TAT) 관점의 Monte Carlo Simulation 방법을 제시하였다. 이러한 형태에 대하여 7개의 개별 인자로 구성된 공급 사슬망의 예제를 통해 제시된 방법에 대해 추가적인 설명이 제시된다.

2. 이론 및 방법론

컴퓨터를 이용한 계산 능력의 증가와 인터넷을 비롯한 네트워킹 기술의 발달로 인해 생산 계획, 판매 계획, 물류 계획은 통합적으로 관리할 수 있는 어느 정도의 이론적 기반 및 실행적 기반을 갖추어 졌다고 말할 수 있다. 이제 중요한 것은 실제로 실천할 수 있는 시스템의 통합을 가져올 수 있는 전체 체계를 갖출 수 있는가의 문제이다. 즉 고객이 원하는 주문에 대해 제품 종류, 수량, 납기일이 정해져 있다면 현재 그 주문에 해당하는 제품이 라인에 어디에 위치하고 있으며 그 주문의 예상 납기일을 알려 줄 수 있는 가시성(visibility)을 강조할 필요가 있다. 즉 수요(demand)를 실제 제조 라인에서 대응(match)시킬 수 있게 된다. 이러한 계산 능력의 발달을 실질적으로 활용할 수 있기 위해서는 공정 운영의 결과로 얼마만큼의 변화가 예상되는지 이에 대한 가능성을 염두에 두고 그 가능성의 범위 내에서 준비할 수 있는 전략이 필요하다. 일반적으로 실제 현장에서는 어떤 제품을 진행하는데 어느 공정에서 얼마만큼의 시간이 필요로 하는지에 대해 대부분 알고 있다. 소위 말하는 병목 공정(bottleneck process)이 무엇인지 알고 있다. 그런데 여기서 간과하기 쉬운 것은 전체 공급 사슬망에서 실제로는 계속 변하기 마련이라는 것이다. 따라서 개별 설비나 공정 현황 그리고 주변 환경에 따라서 그 병목 공정이나 공정 상황이 바뀔 수 있다는 것이다. 중요한 것은 이러한 변화된 병목 공정을 빨리 알아내고 그에 적절한 조치를 취할 수 있어야 한다는 것이다. 따라서 본 연구에서 제안하는 것은 각 공정 별로 그 실적을 분석하는 것이 아니라 공급 사슬망 전체를 하나의 큰 공정(one unified process)이라 보고 전체 개별 제품들의 실적을 한꺼번에 몬테카를로 모사방법(monte carlo simulation) 기법을 사용하여 현재 그 공급 사슬망의 상태를 판별하는 것이다. 몬테카를로 모사 방법은 기계공학, 금융 공학, 전자 공학 등 다양한 분야에서 변동성의 영향력을 파악할 수 있는 방법이며 많은 문헌과 소프트웨어를 이용할 수 있다[6].

Fig. 3에서처럼 공급 사슬망에 대한 운영 수준에 대하여 공정 모사를 한다면 여러 가지 상황에 따라서 적절한 재고 운영 수준을 결정할 수 있도록 해 줄 것이다. 적정 재고 운영 수준을 결정하여 고

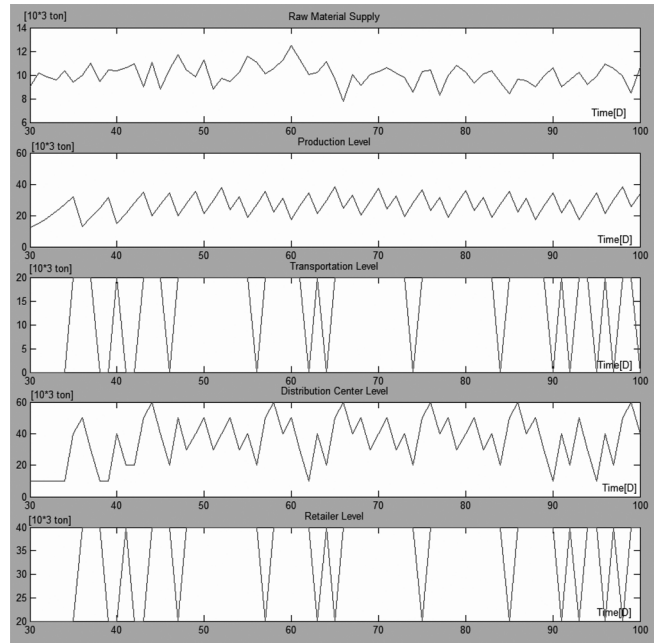


Fig. 3. An illustration of level-based supply chain simulation.

객 변화에 대응 할 수 있도록 관련된 정보를 줄 수는 있을 것이다. 하지만 이러한 운영의 결과로 전체 소요 시간이 어떻게 분포되는가에 대해서는 알 수 없게 된다.

따라서 공급 사슬망의 동적 현상을 효과적으로 예측하기 위하여 본 연구의 대상은 각 개별 인자의 성능과 각 단계 별로 소요 시간 (processing time)을 전체적으로 관리하는 것이다. 본 논문에서 제시하는 방법의 결과로 각 공정이 가지고 있는 변동성에서 그에 따른 전체 결과가 어떠한 분포를 가지고 있는지를 파악하는 것이다. 실제로 진행된 실적만을 가지고 그 분포 전체를 다 안다고 말하는 것은 다양한 경우의 수를 따진다면 극히 일부분 만에 해당한다. 향후에 발생할 수 있는 다양한 경우를 충분히 고려하는 것이 유리하다. 본 논문에서는 Fig. 4에 나와 있는 공급 사슬망의 사례를 통하여 설명하고자 한다.

Fig. 4에서 보여주는 일반적인 공급 사슬망은 제조와 물류 이동 그리고 이를 연결하는 저장과 판매라는 공급 사슬망의 전형적인 기능들을 모두 포함한다. 여기서 각 개별 인자들은 자신들의 역할을 최대한 잘 수행하기 위해 노력한다. 그런데 이들은 앞 부분의 인자들의 운영 결과에 따라서 영향을 받게 되는데 이는 각각의 발생할 수 있는 상황에 대해 어떻게 대처할 수 있는가에 대한 능력에 따라 달라질 수 있다.

2-1. 제시 방법론

본 논문에서 제시하는 공급 사슬망 모사 방법은 다음과 같다.

Step 1. 공급 사슬망의 구조를 결정한다

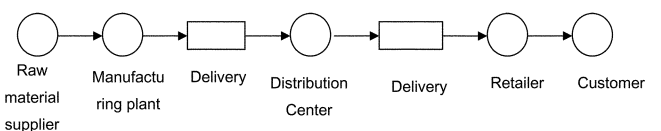


Fig. 4. A generic flow of illustrative supply chain.

- Step 2. 공급 사슬에 참여하는 개별 인자들의 고정 기간 동안의 소요 시간 관련 데이터를 구성한다.
 Step 3. Monte Carlo Simulation을 구현한다.
 Step 4. Step 3의 결과를 해석한다.

여기서 Step 2의 경우 관련 데이터를 얻는 방법으로 여러 가지가 있다. 실제 프로세스 운영해서 얻어진 실적치를 사용할 수도 있고 단순히 상한치(upper bound)와 하한치(lower bound)의 사이에서 불규칙이거나 정상 분포(normal distribution)를 가진 난수(random number)를 이용할 수도 있다. 실제 발생 데이터를 분석하여 Poisson이나 다른 통계학적 난수를 이용할 수도 있다. 보다 많은 다양한 통계 난수에 관한 사항은 문헌[7]에 나와있다.

2-2. 전체 모델 구성

공정의 가장 기본이 되는 단위를 고객의 주문이다. 주문 o 는 거래선, 예상 인도 날짜, 수량 등 관련 정보들에 바탕을 두고 상위 계층(higher level) 의사 결정 문제인 planning과 scheduling 문제에서 주어진다. 주문 하나가 한 제품 단위로 표시될 수도 있지만 대부분 고객의 주문을 복수개의 개별 주문으로 나누어 표시한다. 공급 사슬 네트워크 상에 있는 제품을 고객에게 제공하는 기본 단위를 X_o 라 할 때 supply chain에서 전체 소요되는 시간은 Fig. 5와 같이 표현할 수 있다.

기업에서 전체 공급 사슬망의 처음부터 완료될 때까지의 시간을 TAT(Turn Around Time)라 부르며 여기에는 전체 인자들의 각각의 소비 시간들의 합으로부터 구할 수 있게 된다(Fig. 5참조). 하나의 고객 주문이 처음 원재료 준비에서부터 제조 완료 되어 운송되어 소비자에게까지 인도된 시간 전부의 합이 되며 아래처럼 나타낼 수 있다.

$$TAT_o = R_o + M_o + L_o + W_o + TE_o \quad (1)$$

여기서 R_o 는 raw material supplier에서 소요된 시간, M_o 은 manufacturing site에서 소요된 시간, L_o 는 물류 이동에 소요된 시간, W_o 는 물류 창고에서 소요된 시간, TR_o 은 retailer에서 소요된 시간을 나타낸다. 여기서 idle time으로 인한 대기 시간도 각각 포함된다. 기업에서는 전체 KPI(Key Performance Indicator)로 TAT의 평균치를 사용한다. 각 주문 별 TAT(TAT_{o1} , TAT_{o2} , ..., TAT_o)들이 모두 서로 같은 값을 가진다면 그 공정은 매우 안정하고 강건한(robust) 프로세스라 말할 수 있다. 하지만 일반적으로 여러 가지 요인들에 의해 이들 값은 계속적으로 변동한다. 즉 제품별로, 주문의 우선 순위 혹은 설비의 상태에 따라 달라지게 된다. 공급 사슬망에서 단축하고자 하는 것은 전체 TAT를 말하는 것이며 목적을 만족시키기 위해서 (이는 대부분의 경우 최대 수익을 가져올 수 있도록) 전체 제품의 TAT를 동시에 단축해야 한다는 것을 의미한다.

수식 (1)의 각 변수들은 각각 특성을 가지고 있는데 이들에 대한 특성은 개별적으로 다음과 같이 분석할 수 있다.

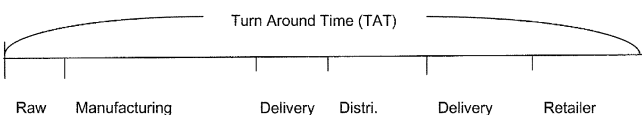


Fig. 5. Schematic diagram of TAT in a supply chain.

2-2-1. Raw Material Supplier

대규모 생산에 있어 필요한 원자재는 공급자가 필요한 자재를 지속적으로 관리하지만 생산량과 품목의 변동에 따라 전부 대응하지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 수식 (1)에서 R_o 는 이와 같은 raw material supplier에서 공급되는 시간을 나타낸다. 공급자에게서 제품을 받는 빈도와 수량은 일반적으로 같은 양과 주기적으로 된다고 생각할 수 있다.

2-2-2. Manufacturer

M_o 은 manufacturing site에서 소요된 시간을 나타내는데 제조 과정 내에서 소비되는 시간 전체를 나타낸다. 제조 시간에 영향을 주는 요소들은 매우 많기 때문에 다음과 같이 우선 나타낼 수 있다.

$$M_o = f(\text{yield, product, process, ...}) \quad (2)$$

공급 사슬망에서 제조 과정에서 가장 많은 변동성이 발생할 수 있는데 이는 투입된 원자재를 가공하고 처리할 때 그 성능이 운영 능력에 따라 달라지게 된다. 그 운영 능력은 흔히 수율(Yield)에 의해 결정되는데 0에서 1 사이의 값을 나타내며 생산 초기에는 낮다가 생산량이 늘어나고 제조 경험이 길어지면서 기술이 성숙될수록 안정된 값으로 나타낼 수 있게 된다. 하지만 수율이 실상 하나의 값으로 보이지만 제조 각 공정에 있는 설비의 성능 parameter들 또한 지속적으로 변하기 때문에 계속 변화한다.

Fig. 6은 일반적인 프로세스에서 제품을 생산할 때 그 수율이 제품을 생산하는 시간에 따라 어떻게 변화하는가를 보여준다. 구간 A처럼 제품을 해당 공정에서 운영하기 시작하는 초기 생산 시기의 경우 그 변동성이 매우 크며 생산 효율이 아직 정상화되지 않았다. 설비 운영을 시험적으로 하는 경우에 해당되며 아직 신기술을 적용 발전시키지는 못하는 경우이다. 하지만 경험과 추가 비용의 투자로 인해 점차 수익률이 증가하게 되는 구간 B로 진행된다. 여기서 생산량 증대를 위한 설비 확장과 개선으로 인해 시장에서의 반응이 좋을 경우 추가적인 투자가 이루어진다. 즉 안정적 생산 수량이 만들어지게 되는 구간 C로 성숙되게 된다. 프로세스를 운영하면서 그에 대한 변동성이 적어지며 수율이 증가세가 감소하여 제품에 대한 수율이 성숙기에 접어들게 된다. 이러한 성숙기에 대부분의 제품이 상품으로 시장에 공급되게 된다. 제품 시장의 성격에 따라 수율이

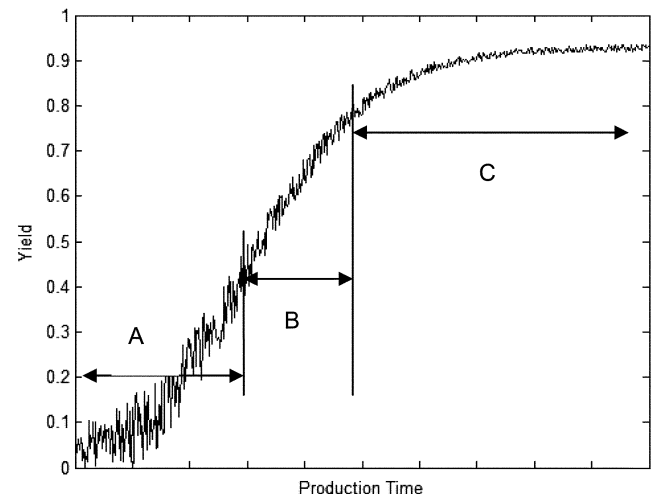


Fig. 6. An illustration of yield in process.

언제나 안정적으로 유지되어 지속적으로 진행되기도 하거나 새로운 제품이 계속 나타나는 경우도 있을 수 있다.

제조 시간 또한 수율의 영향을 받는데 이 둘 사이의 관계는 개별 기업에 따라 달라질 수 있는 매우 중요한 문제이다. 본 연구에서는 난수로 가정하여 구성하였다.

2-2-3 Logistics

물류는 한 공정에서 다른 공정으로의 이동인데 여기서는 생산을 마친 후 다음 단계인 물류 창고로의 이동과 물류 창고에서 개별 판매자들 사이의 제품 이동을 의미한다. L_o 는 물류 이동에 소요된 시간으로 다음과 같은 인자(factor)들의 영향을 받는다고 할 수 있다. 즉 수송 수단과 거리 및 해당 제품의 개별 특성의 영향을 받게 된다.

$$L_o = f(\text{vehicle type, distance, weight, ...}) \quad (3)$$

생산을 끝낸 제조에서 물류 창고(distribution center)로 이동하는 물량에 그 주문이 가지는 특성에 따라 차량이나 선박, 기차, 항공 등 방법이 선택되고 수송양에 따라 비용이 대부분 결정된다. 물류 업체가 같은 소속일 경우도 있지만 흔히 3PL(3rd party logistics)이라 불리는 전문 용역 업체에 의존하는 경우도 있다. 여기서 소요 시간 측면에서 중요한 것은 정해진 일정에 따라 이동할 경우 생산 완료 시점과 배차 간격에 따른 차이나 운송 효율에 따른 시간 변동을 어떻게 처리할 수 있는 가이다. 전자의 예로 배차 간격이 일별로 오전 12시로 한 번일 경우, 12시 30분에 완료된 제품은 다음 날 오전에 생산된 제품과 같은 차량으로 운송되게 되어 전체 생산에서 소요 시간이 길어지게 된다. 물론 이를 줄이기 위해 배차 간격을 줄일 수도 있지만 이 경우 늘어나는 운송 비용을 고려해야 한다. 또한 많은 화학 제품들의 경우 이동에 있어 제품 자체뿐만 아니라 container나 다른 보조 설비를 이용하게 되는데 이러한 보조 설비를 어떻게 효율적으로 사용하는가에 따라 비용이나 효율에서 개선할 여지가 있다. 이러한 잠재적인 비효율 부분을 개선하는 것이 SCM 측면에서 전체 생산성 혁신에 기여할 수 있는 부분이다. 지역 물류센터에서 최종 소매점포(retailer)로 소요된 시간(TR_o) 또한 물류 시간에 해당한다. 물류의 경우 출발 장소에서 도착 장소 사이의 교통 상황에 따른 수치적 변동과 함께 해운이나 항공에서 발생하는 자연 재해, 정치적 사고 등의 변수로 인한 문제가 생길 수 있다.

2-2-4. Warehouse

W_o 는 물류 창고에서 소요된 시간으로 여기에는 대기시간과 물류 내부에서 장치이동에 소요되는 시간으로 구성된다. 분배 센터(distribution center)의 경우 각 지역별 제품을 저장하여 고객 주문 변동에 대응하는 곳이다. 실제 기업의 경우 선입 선출(First-In-First-Out)에 의해 운영되어 일견 문제가 없을 것처럼 보이지만, 실제 현장에서는 생산해서 이송된 시간보다 제품이 이송되어 거래선까지 인도되는 시간이 더 긴 경우도 자주 발견된다.

2-3. 의견 및 논평

시간을 중점적으로 다루는 본 연구 방법은 수요 자체가 지속적이며 규모가 크며 지속적으로 생산이 계속되는 산업에 대해 적합하다. 한 번에 대규모로 생산하여 놓고 수요에 대응하는 산업에 적용하는

것은 어렵다 생각된다.

본 논문의 주요 기여부분은 설비 자체의 성능별 분석이 아니라 전체 SCM 관점에서 분석하여 변동성이 어디에 가장 많이 있는가를 알아내며 현재의 상태를 가장 정확하게 파악할 수 있도록 한다는 것이다. 여기서 해당 공정이 batch나 lot별 공정이 아닌 연속식 공정일 경우에는 어떻게 각 공정별 실적을 구할 수 있는 가이다. 연속 공정일 경우 각 공정별 각 단위 프로세스별 효율 및 소요 시간을 구할 수 있다는 가정에 있다. 이러한 시간 중심의 분석은 제한된 전체 시간 중에서 얼마만큼의 생산이 가능한가를 알아볼 수 있으며 현재 제품 진행에 있어 변동성이 가장 큰 단계가 어디이며 그 영향력은 얼마나 되는지를 알 수 있게 해 준다.

3. 예제와 결과

Fig. 4와 같은 공급 사슬망에 대하여 각 개별 인자들이 정상 분포나 uniform distribution을 각각 가지고 있는 상태에서 그에 따른 결과적인 TAT는 Fig. 7과 같이 나타난다 (모사에 사용된 변수들의 난수 형태와 반복 횟수에 따른 변화 등 추가 사항들은 Appendix를 참

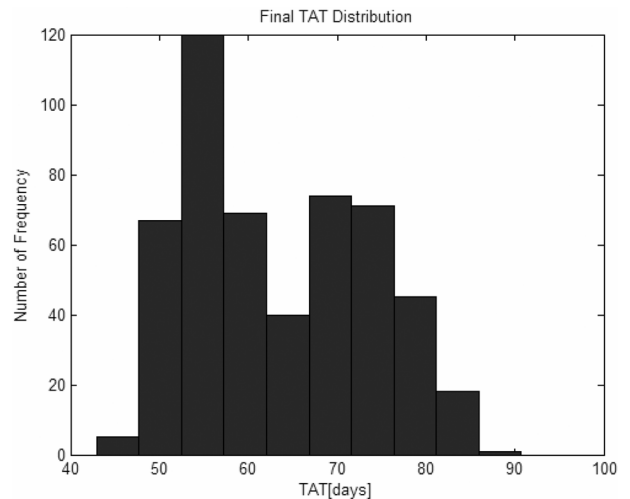


Fig. 7. An illustration of TAT distribution.

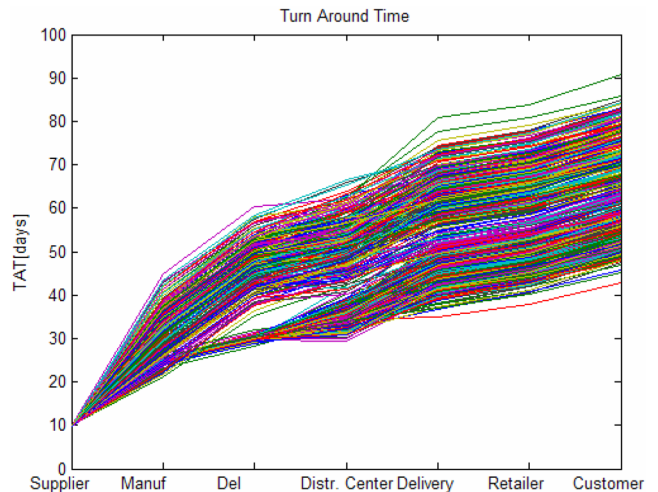


Fig. 8. An illustration of simulation of processing time at individual entities.

조). 이 결과로부터 해당 공급 사슬망을 운영했을 때 처음부터 끝 부분까지 얼마만큼의 시간이 필요한지 그리고 그 값이 어떤 분포를 가질 수 있는가를 알 수 있다. 그런데 실제로 이러한 결과가 나올 수 있게 되기까지의 각 개별 인자의 변동에 따라서 어떤 분포를 가질 수 있는가를 중심으로 할 경우 본 논문에서 제시한 방법에 의하면 Fig. 8을 통해 알 수 있다.

Fig. 8은 같은 원료를 사용하여 두 제품들이 생산되어 이동하게 되는 경우를 나타낼 수 있고, 각각의 물류 및 지역 운송 저장소에서 각각 다른 운송 시간이 소모되어 결국에는 다양한 분포를 갖게 되는 전체 공급 사슬망의 운영 현황을 알 수 있게 한다. 즉 Fig. 7과 같은 공급 사슬망은 60시간 정도의 공정 소요 시간을 가지고 있지만 그 제품군에 따라 다른 소요 시간을 가지고 있다는 것을 알 수 있다. 이를 확장한다면 여러 개의 제품들을 가지고 다양한 물류 창고 및 판매소를 가진 공급 사슬망도 TAT를 중심으로 한 번에 표현할 수 있다. 또한 각 부분별 누적 분포를 통해서 각 부분별 발생 가능한 빈도 또한 알 수 있다.

4. 토론 및 향후 연구

본 논문에서는 공급 사슬망의 동적 요인에 대해 살펴보고 이들을 종합적으로 관리할 수 있는 TAT 중심의 관리 방안을 제시하였다.

공급 사슬망의 동적 현상을 전체 생산 계획 수립 부분과 연계하여 다음과 같은 사항들을 지적할 수 있다. 공정 운영의 목표는 X_o 를 최소화하거나 혹은 고객이 원하는 시간 D_o 와의 차이, $X_o - D_o$ 를 최소화 하는 것이다.

$$\text{obj}^1 = \min_{\forall o} \sum_{o=1}^o (X_o - D_o) \quad (4)$$

여기서, obj^1 은 시간(time)에 대한 값이므로 이를 비용이나 수익의 측면으로 환산하여 생각할 경우 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{obj}^2 = \min_{\forall o} \sum_{o=1}^o a_o(X_o - D_o) \quad (5)$$

그런데 이러한 계획값과 실제값(결과값)의 차이를 처리하는 것이 중요하다. 주문 o 에 대한 계획값을 P_o 라 하고 실제 결과값을 E_o 라 할 경우에 그에 따른 차이 Δo 에 따라 전체 시스템이 안정되었느냐 그렇지 않느냐를 결정할 수 있다. P_o 의 경우 프로세스가 실제로 제작해야 하는 시간 및 수량을 고객의 요구를 고려하여 공급 사슬망 운영에서 제어 단계보다 높은 단계(level)에서 결정되어 주어진다. 그 계획치를 실행시킬 수 있는 상세 일정계획(scheduling)이 결정되

어 예상 납기 시기(due date)가 결정된다. 여기서 이 일정 계획의 결정에 따라 후속 개체들의 생산 계획 및 자체 운영 조정되기 때문에 만약 변동될 경우 그에 대한 변동통지가 빠르게 전달될 수 있어야 한다는 것이다.

$$P_o - E_o = \Delta o \geq \epsilon_o \quad (6)$$

여기서 ϵ_o 는 여기서 허용 가능한 오차 범위를 나타내며 이보다 커질 경우 전체 주문들의 주문 필요량이 커지게 된다. 하지만 주문들에 대한 시점에 따라 계획값이 늘어나거나 감소할 수 있기 때문에 이에 따른 Δo 의 값 또한 달라진다. 이를 모델로 구성하여 모델 예측 제어(Model Predictive Control)[8]를 이용하여 설명할 수도 있을 것이다. 이러한 활용에서 필요한 것은 복잡한 실제 상황을 단순화하면서도 적절한 모델로 변환시켜 효과적으로 설명하는 것이다. 이에 대해서 연속되는 다음 논문에서 다룰 예정이다.

감 사

본 연구에 대한 BK21의 재정적 지원에 감사 드립니다.

참고문헌

1. Grossmann, I. E., "Enterprise-wide Optimization: A New Frontier in Process Systems Engineering," *AIChE Journal*, **51**, 1846-1857(2005).
2. Ryu, J. and Lee, I. B., "Key Issues and Challenges of Semiconductor," *Korean Chem. Eng. Res.*, **46**(3), 571-580(2008).
3. Ryu, J. and Pistikopoulos, E. N., "Design and Operation of an Enterprise-wide Process Network under Uncertainty - 1. Design," *Ind. Eng. Chem. Res.*, **44**(7), 2174-2182(2005).
4. Ryu, J. and Pistikopoulos, E. N., "Multiperiod Planning of Enterprise-wide Supply Chains Using an Operation Policy," *Ind. Eng. Chem. Res.*, **46**(24), 8058-8065(2007).
5. Wang, W., D. E. Rivera, and K.G. Kempf, "Model Predictive Control strategies for supply chain management in semiconductor manufacturing," *Int. J. of Prod. Eco.*, **107**(1), 56-77(2007).
6. Rubenstein, R. Y., *Simulation and the Monte Carlo Method*, John Wiley, New York, NY(1981).
7. Ross, S. M., "Introduction to Probability Models," 8th Eds., Elsevier, San Diego, CA(2003).
8. Morari, M. and Lee, J. H., "Model Predictive Control: Past, Present and Future," *Comp. Chem. Engng*, **23**, 667-682(1999).

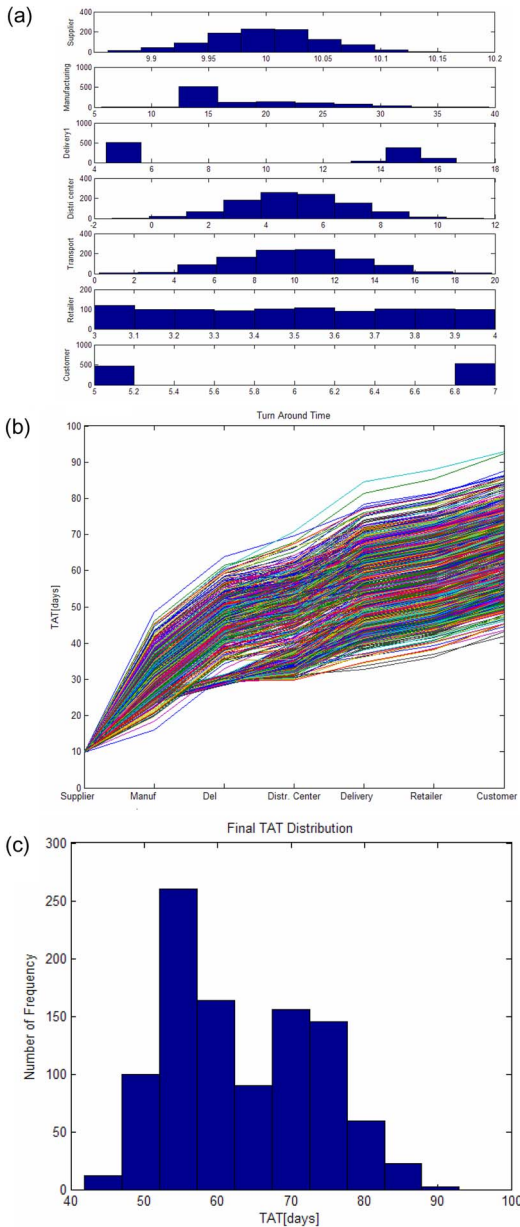
Appendix

1. 공급 사슬망 변수 형태

Entity	Random Number	(Medium, Std)
Raw material supplier	Normal Distri.	(10,3)
Manufacturer	Normal Distri.	(15, 0.2), (22.5, 0.5)
Delivery	Normal Distri.	(2, 0.2), (15, 0.5)
Distribution center	Normal Distri.	(5, 2)
Delivery	Normal Distri.	(1, 0.5), (2.5, 0.5)
Retailer	Uniform Distri.	(3,1)
Customer	Binominal Distri.	5 or 7

2. Results according to iteration : (a) 각 개별 인지별 변동 폭, (b) 각 단계별 TAT 변동, (c) 최종 TAT 분포

2-1. H(iteration number)=1000



2-2. H=10,000

