

# 공급사슬경영과 시뮬레이션

서석주 · 김경섭

연세대학교 대학원 산업시스템 공학과

## Supply Chain Management and Simulation

Seok-Joo Seo · Kyung-Sup Kim

This paper reviews the general concept and application area of Supply Chain Management (SCM). Then, the general concept, function, modeling methodology, and operation methodology of Supply Chain Simulation are also reviewed. SCM software solutions and their modules developed by popular IT companies are introduced and compared. The role of simulation in SCM is emphasized as a strategic decision making solution for modeling and analyzing dynamics of a supply chain. Several stand-alone supply chain simulators are introduced and compared.

### 1. 서론

기업 환경의 글로벌화, 고객수요의 다품종 소량화, 제품의 수/배송 시간 단축 등과 같은 이슈들이 기업의 최대 관심사로 떠오름에 따라 공급사슬경영(SCM)에 대한 관심이 갈수록 증폭되고 있다. 공급사슬이라는 단어는 비교적 최근에 등장한 것이지만 그 개념은 과거 재고관리, 생산계획관리, 수요예측, 수/배송 계획수립 등과 같은 전통적인 생산관리의 요소 기술들을 하나의 사슬개념으로 통합한 것이라 할 수 있다. 즉 과거 각 사슬 별로 운영되던 여러 정책들을 전체적인 공급사슬 개념에서 바라보면서 고객 만족을 극대화하고 기업의 이윤을 최대화하는 방법론인 것이다.

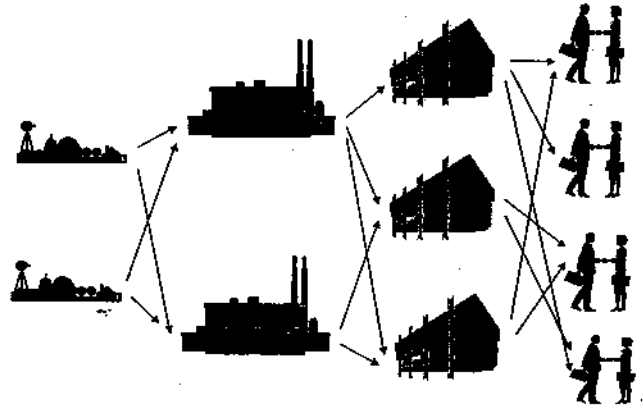
공급사슬경영은 계획(Plan), 원자재 구입(Sourcing), 생산(Production), 수/배송(Delivery)에 이르는 기업활동의 모든 영역을 대상으로 하고 있는 매우 복잡한 시스템이며 또한 시간의 흐름에 따라 역동적으로 변화하는 시스템이다. 기업과 사회의 공급사슬경영에 대한 관심이 증폭됨에 따라 세계의 우수한 IT(Information Technology)업체들이 경쟁적으로 공급사슬경영을 위한 통합 솔루션을 출시하고 있다. 이러한 흐름은 지난 수 년 동안 기업경영의 가장 중요한 영역으로 평가받던 ERP(Enterprise Resource Planning)의 뒤를 이어 공급사슬경영이 그 자리를 급속한 속도로 대체하고 있는 것으로 해석된다. 즉 공급사슬경영은 과거의 ERP를 비롯하여 전통적인 생산관리기술을 모두 통합하여 기업의 통합 솔루션을 제공하는 방법론으로 발전하고 있다. 이러한 통합 솔루션은 공급사슬경영의 3가지 레

벨인 Operational Level, Tactical Level, Strategic Level을 모두 포함하고 있다. 과거 기업 운영 솔루션들이 주로 하위레벨인 Operational Level, Tactical Level에 초점을 두었다면 공급사슬경영은 좀 더 상위레벨인 Strategic Level에 관심을 두고 있다. 기업 전체에 있어서의 네트워크 디자인 변화, 각 사이트에서의 운영 정책 변화, 장기적인 고객수요의 변화 등이 기업 전체의 공급사슬에 어떠한 영향을 미칠 것인지를 파악하는 것에 좀더 많은 관심을 가지고 있는 것이다. 이러한 목적을 이루기 위해서는 공급사슬의 모델링과 분석에 있어 고도의 기술이 요구되며 확정적 모델(Deterministic Model)을 다루는 최적화(Optimization) 방법론과 추계적 모델(Stochastic Model)을 다루는 시뮬레이션(Simulation) 방법론의 적절한 응용이 필요하다. 특히 최적화 방법론에 비해 시뮬레이션은 공급사슬에 존재하는 여러 불확실성, 즉 고객의 수요, 제품의 사이클 타임 및 생산시간, 운송시간 등을 효과적으로 반영하여 공급사슬을 모델링/분석해주어 기업의 전략적인 의사결정에 결정적인 도움을 제공해 줄 수 있다는 점에서 그 중요성이 매우 크다. 이에 공급사슬 통합 솔루션과는 별도로 Stand-Alone 형태의 공급사슬 시뮬레이터에 대한 기업의 관심이 커지고 있다. 본 논문에서는 공급사슬경영의 개괄적인 내용과 공급사슬경영의 응용 분야, 그리고 이들을 위한 여러 IT업체들의 공급사슬경영 솔루션들에 대해서 살펴본다. 또한 기업의 전략적 의사 결정을 위한 공급사슬 시뮬레이션과 이의 구현을 위한 Stand-Alone 형태의 공급사슬 시뮬레이터(Supply Chain Simulator)의 국내외 연구 및 개발현황을 정리하였다.

## 2. 공급사슬경영과 솔루션

### 2.1 공급사슬경영

공급사슬경영은 전체적인 공급사슬의 효율성을 극대화시켜 고객 납기를 준수하여 고객 만족도를 높이고 기업이 보유해야 되는 재고량을 최소화시켜 기업의 생산력을 극대화시키려는 총체적 활동이라고 정의할 수 있다. <그림 1>은 공급사슬의 일반적인 모습을 보여준다.



Supplier Plant D.C Customer

그림 1. 공급사슬의 구조

#### 2.1.1 공급사슬경영의 레벨

공급사슬경영에 있어 필요한 기업의 활동들은 그 관심 영역에 따라 Operation Level, Tactical Level, Strategic Level의 3가지 레벨로 분류할 수 있다. 특히 공급사슬경영은 이 3가지 중에서도 가장 상위레벨인 Strategic Level에 많은 초점을 맞추고 있다 (Ricki, 1998; Shigeki and Albert, 1998).

1) Operation Level : Scheduling Level로 볼 수도 있으며 일반적으로 생산공장, 물류센터와 같은 단일 사이트에서의 단일 제품을 대상으로 한 짧은 기간 동안의 활동을 포함하고 있다. 고정된 자원과 고정된(또는 거의 고정되었다고) 확신할 수 있는) 수요에 대한 자원의 할당과 작업의 우선순위 결정 등에 관심이 있는 영역이다. 이 레벨에서는 LP(Linear Programming), IP(Integer Programming), MIP(Mixed Integer Programming)와 같은 확정적 모델의 최적화 방법론에 기초한 문제해결이 전통적으로 좋은 결과를 보여 주었다.

2) Tactical Level : 일반적으로 몇 달의 기간에 걸친, 다소 긴 기간 동안의 기업활동에 관심을 가지고 있는 레벨이다. 단일 사이트보다는 여러 사이트를 포함하고 있는 지역을 대상으로 하거나 기업 전체를 대상으로 하고 있다. 자원의 범위가 단일 머신에서 단일 공장으로 확대가 되고 어느 공장에서 어떤 제품을 생산해야 될 것인지와 같은 문제들이 관심분야이다. 자원은 생산공장의 수처럼 고정될 수도 있지만 노동인력의 수처럼 고정되지 않을 수도 있다. Operation Level에 비해 수요는 불확실성이 매우 증가한 상태이다. 수요에 대한 가변성을 통제하기가 어려워지며 수학적 모델의 경우 고려해야 될 제약식의 수가 크게 증가하기 때문에 대상 모델에 대한 단순화가 이루어진다.

이처럼 수요의 불확실성과 모델의 단순화로 인해 최적화 방법론으로 해법을 도출할 경우 문제점이 발생할 수도 있다. 이러한 경우 추계적 모델을 다룰 수 있는 시뮬레이션이 좋은 성과를 거둘 수 있다.

3) Strategic Level : 짧게는 1년, 길게는 수년 동안의 기업활동에 관심이 있는 가장 상위의 레벨이다. 장기간의 고객수요를 바탕으로 한 기업의 전략적 계획이 만들어진다. 이러한 전략적 계획에는 생산공장의 폐쇄/중설과 같은 기업 네트워크 자인의 변화나 단일 사이트, 또는 멀티 사이트에서의 운영정책 변화(예, 생산정책의 변화: BTO(Build to Order)에서 BTP(Build to Plan))들이 장기적으로 기업의 공급사슬에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구가 포함된다. 고객의 수요는 매우 불확실하며 따라서 합리적인 의사결정을 내리기가 매우 어려운 레벨이다. 수요예측의 정확도에 대한 요구가 매우 높고 공급사슬 상에 가변성을 가진 요소들이 매우 많이 존재하기 때문에 추계적 모델링 및 분석이 필요하다.

<표 1>은 위에서 언급한 공급사슬경영의 3가지 레벨을 요약, 정리하여 보여준다.

#### 2.1.2 공급사슬경영의 응용분야

위에서 살펴본 것처럼 공급사슬경영은 관리목적과 기간, 목

표 1. 공급사슬경영 레벨

Level	Periods	Target Sites	Solution Methodology	Example
Operational	1 week ~ 4 weeks	Single Plant	Optimization	· 제품의 생산 스케줄 결정
Tactical	1 month ~ 12 months	Multi Plant or Single region	Optimization & Simulation	· 각 공장에서의 제품 생산목록 결정 · 각 사이트에서의 자원 분배 문제 결정
Strategic	1 year ~	Corporate-wide	Simulation	· 각 사이트에서의 운영정책 결정 · 공장, 또는 물류센터의 수 결정

적 사이트에 따라 3가지 레벨로 분류할 수가 있다. 이와 관련하여 본 절에서는 공급사슬경영을 응용분야별로 살펴보도록 한다. 공급사슬경영의 응용분야는 수요예측부터 완제품의 수/배송 계획수립에 이르는 기업활동의 모든 영역을 망라하고 있다. 공급사슬의 응용 분야를 정리하면 <표 2>와 같다(Steven, 1998).

표 2. 공급사슬경영의 응용분야

Level	Application Area	Description	Methodology
Tactical & Strategic	Enterprise Resource Planning (ERP)	• Daily단위의 전사적 자원(재정, 인적 노동력, 생산자원 등)의 관리 및 통합	Optimization (Algorithm & Heuristic)
Operational	Advanced Planning and Scheduling	• 각 생산 공장에서의 제품의 생산계획 및 구체적인 스케줄 수립	Optimization (Algorithm & Heuristic)
Tactical or Strategic	Demand Planning	• 여러 가지 최적화 방법론이나 알고리즘을 기반으로 한 수요예측	Optimization (Algorithm & Heuristic)
Tactical	Inventory Planning	• 수요를 충족시키기 위해 각 사이트에서의 재고 관리 계획수립	Optimization (Algorithm & Heuristic)
Tactical	Distribution Planning	• 각 Distribution Center에서의 재고관리와 물량 분배할당 규칙 선정	Optimization (Algorithm & Heuristic)
Tactical	Transportation Planning	• 제품의 수송을 위한 각 사이트에서의 최적경로 수송수단, 수송방법 등의 수송계획 수립	Optimization (Algorithm & Heuristic)
Tactical	Product Data Management	• 제품의 디자인 정보에서 생산정보까지의 제품 정보 변화 관리	DBMS
Strategic	Strategic Management	• 기업의 네트워크 디자인이나 사이트의 정책 변화 결정 등을 통한 전략적 의사결정	Simulation
Operational	Manufacturing Execution Systems	• 생산공장에서의 Shop Floor 컨트롤	Optimization (Algorithm & Heuristic)
Operational & Tactical	Global ATP	• 고객 납기 회신 (Available to Promise)	Optimization (Algorithm & Heuristic)

### 2.2 공급사슬경영 솔루션

공급사슬경영의 관심이 증폭됨에 따라 이를 모델링하고 분석하기 위한 공급사슬경영 솔루션들이 세계의 우수한 IT업체들을 중심으로 경쟁적으로 쏟아져 나오고 있다. SAP, i2, Oracle, Bann 등 ERP 솔루션들을 제공하던 IT업체들이 빠른 속도로 그 중심을 공급사슬경영 솔루션으로 옮겨가고 있다. 공급사슬경영 솔루션이란 공급사슬상의 정보와 물류의 흐름을 실시간으로 분석하고 관리할 수 있는 도구를 말한다. 현재 IT기업들이 제공하고 있는 공급사슬경영 솔루션들을 살펴보면 과거에 그들이 제공하던 일반적인 생산관리 솔루션들을 하나의 패키지로 통합하여 제공하고 있음을 알 수 있다. 이러한 생산관리 솔루션들은 위에서 살펴본 공급사슬경영의 활동 영역별로 특화되어 있는 모듈이라 할 수 있으며 업체들에 따라서는 독립된 제품으로서 판매되기도 한다(예 : i2의 Factory Planner). 따라서 IT업체들은 공급사슬경영을 위한 하나의 솔루션을 제공하기보다는 솔루션을 이용할 기업들이 관심을 가지고 있는 영역들 각각에 대한 솔루션 모듈들을 제공하고, 이들을 통합적으로 관리함으로써 공급사슬경영을 펴하고 있다. 공급사슬경영 솔루션은 과거의 ERP 솔루션과는 달리 Transaction 처리가 중심이 아니라 기업내부에서 오고 가는 물류와 정보의 흐름을 파악하고 이들을 효과적으로 관리하여 좀더 나은 의사결정을 지원하는 것에 중심을 두고 있다. <그림 2>는 공급사슬경영 솔루션이 오늘의 모습을 이루기까지 발전되어온 과정을 보여준다. 현재 전 세계에는 백 여 개의 공급사슬경영 솔루션 벤더들이 있으며 이러한 벤더들이 제공하는 소프트웨어를 이용하여 컨설팅을 수행하는 컨설팅 업체들이 치열한 경쟁을 벌이고 있다. <표 3>은 전세계 주요 공급사슬경영 솔루션 벤더들을 보여 주고 있으며 <그림 3>은 <표 3>에서 언급된 IT업체 솔루션들의 모듈들을 공통기능을 중심으로 보여준다.

### 2.3 국내 공급사슬경영 솔루션 연구활동

국내에서도 공급사슬경영에 대한 관심이 증대하면서 이에

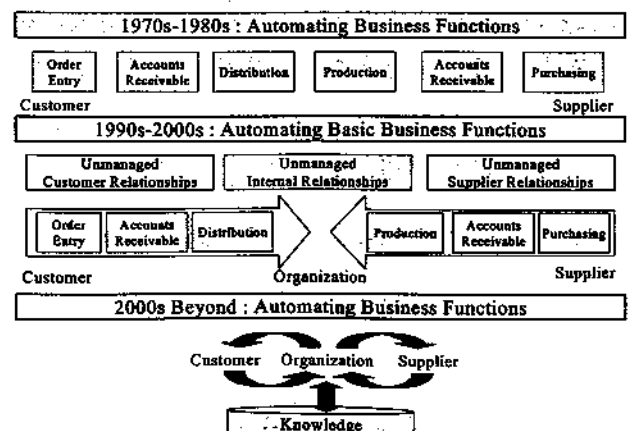


그림 2. 기업 관리 솔루션의 발전.

	i2	Manugistics	Logility	Paragon	Baan	SAP-APO	Numetrix	Richter Systems	Cheasa peake	Oracle	HK systems
	Supply Chain Planning Inventory Planning Demand Fulfillment	Constraint-Based Master Planning Real-Time ATP+	Value Chain Designer Inventory Planning	Supply Chain Planner Global Real-Time ATP Material/Capacity Planner Reactive/Dynamic Scheduler	Supply Chain Planning Scheduler Demand Planner Trans Pro Route Pro	Supply Network Planning & Deployment Global ATP Product Planning & Detailed Scheduling Demand Planning	Enterprise Planning Production Scheduling Demand Planning	BI Advisor Inventory Planning Allocation Purchasing Order	ATP Planning Scheduling Forecasting Demand Manage	Supply Chain Planning Global Capable-to-Promise Planning & Simulation Production Enterprise Procurement Optimization	Order Mgt. System Warehouse Mgt. System Transportation Mgt. System
	Factory Planning Optimal Scheduler Demand Planning Transportation Management Global Procurement Manager	Manufacturing Planning & Scheduling Demand Management Transportation Management Purchasing Planning	Manufacturing Planning Demand Planning T. Planning T. Management	Demand Planner Global Strategic Planner Web Based Agents	Supply Chain Coordinator Planner Execution	Supply Chain Cockpit	Distribution Planning Integration & Data Flow	Merchandising Order Processing Costing Pick Slips Return Merchandise Authorization		Sales Order Management Supply Base Management Trading Partner Collaboration New Product Engineering Material Management Cost Management Quality Management	Equipment Mgt. System Order Advantage
	Global Fulfillment Manager Global Demand Manager Global Logistics Manager Sales & Operations Review Supply Chain Strategist Sales Configurator	Configuration Material Planning Network Design & Optimization Networks Open Allocation Integration Replenishment Planning Supply Chain Analytics	Event Planning Replenishment Planning Warehouse Pro Demand Chain Voyager								

그림 3. 주요 공급 사슬 솔루션의 모듈 비교.

표 3. 공급사슬경영 솔루션 제공 IT 업체

업체명	제품명	URL
i2 Technologies	Rhythm	<a href="http://www.i2.com">http://www.i2.com</a>
Manugistics	Manugistics 6	<a href="http://www.manugistics.com">http://www.manugistics.com</a>
Logility	Logility Value Chain Solutions	<a href="http://www.logility.com">http://www.logility.com</a>
Paragon	Paragon Products & Solutions	<a href="http://www.paragonms.com">http://www.paragonms.com</a>
Baan	Bann Supply Chain Solutions	<a href="http://www.baan.com">http://www.baan.com</a>
SAP	APO	<a href="http://www.sap.com">http://www.sap.com</a>
NUMETRIX	Numetrix/3	<a href="http://www.jdedwards.com/numetrix">http://www.jdedwards.com/numetrix</a>
Richter Systems	Richter Success	<a href="http://www.richter.net">http://www.richter.net</a>
Chesapeake	Supply Chain Suite of Solutions	<a href="http://www.chesapeake.com">http://www.chesapeake.com</a>
Oracle	Supply Chain and Manufacturing Products	<a href="http://www.oracle.com">http://www.oracle.com</a>
HK systems	SCM/Enterprise	<a href="http://www.hksystems.com">http://www.hksystems.com</a>
LPA software	LPA Vision	<a href="http://www.xelus.com">http://www.xelus.com</a>
GSCA	Mixed-Integer Network Optimization Tool	<a href="http://www.gsca.com">http://www.gsca.com</a>
IMI	Vivaldi	<a href="http://www.im.se/im_home.html">http://www.im.se/im_home.html</a>
PeopleSoft (RedPepper)	Supply Chain Management Software	<a href="http://www.peoplesoft.com">http://www.peoplesoft.com</a>
Aspect Development	CSM	<a href="http://www.aspectdv.com">http://www.aspectdv.com</a>

대한 많은 연구들이 이루어지고 있다. 공급사슬경영이라는 분야가 갑자기 등장한 것이 아니라 과거 여러 생산관리기술들을 기반으로 한 것인 만큼 이들에 대한 연구활동이 공급사슬경영이라는 큰 흐름 속에서 자연스럽게 통합되고 있는 듯한 모습을 보이고 있다. 현재 필자가 소속된 연구팀에서는 공급사슬경영을 위한 통합 솔루션을 개발하고 있으며 이 솔루션에는 공급사슬 모델링 및 시뮬레이션을 위한 G-SCS(Global - Supply Chain Simulator), 정확하고 과학적인 수요예측을 위한 Demand Planner, 고객 납기 회신의 정확도를 높이기 위한 Global - ATP, 각 물류센터에서의 재고정책 관리를 위한 Distribution Manager, 최적 수송계획 수립을 위한 Transportation Manger의 5가지 모듈이 개발되고 있다.

### 3. 공급사슬 시뮬레이션

#### 3.1 공급사슬 시뮬레이션의 필요성

공급사슬 시뮬레이션은 추계적 모델을 모델링하고 분석하는 시뮬레이션 방법론을 공급사슬경영을 위해 응용한 것이다. 2장에서 살펴본 것처럼 공급사슬경영은 많은 응용분야를 가지고 있으며 특히 전략적 의사결정은 기업의 중/장기적인 공급사슬을 디자인하는 분야로서 그 중요성이 매우 크다. 따라서 전략적 의사결정을 지원 할 수 있는 솔루션에 대한 기업들의 요구가 증대하고 있다. 시뮬레이션은 이에 대한 가장 효과적인 대안이 될 수 있다. 특히 시뮬레이션은 고객의 수요와 같은 가변성을 모델에 반영할 수 있다는 점에서 장기적인 공급사슬 운영을 설계할 수 있는 강점을 가지고 있다. 전략적 의사결정을 위한 공급사슬 시뮬레이션의 강점을 살펴보면 다음과 같다(Brad et al, 2000).

1) 공급사슬은 매우 복잡한 모델이다: 시뮬레이션이 공급사슬 모델링 및 분석에 있어서의 가장 주요한 강점은 공급사슬이 가지고 있는 복잡한 시스템 성격에 기인한다. 공급사슬에 존재하는 가변성을 무시하더라도 공급사슬 전체를 수학적 모델을 이용하여 모델링하기 위해서는 많은 가정과 간략화가 따라야 되기 때문에 정확한 해를 구하기가 어렵다. 시뮬레이션은 대상 공급사슬이 매우 복잡하더라도 컴퓨터상에서의 적절한 모델링을 통하여 공급사슬을 분석할 수가 있다.

2) 공급사슬상의 불확실성을 모델링에 반영할 수 있다: 공급사슬의 모델링 및 분석에 있어 그 레벨이 하위레벨이든 상위레벨이든 가장 큰 문제는 정확한 수요에 대한 정보가 없다는 것이다. 비록 매우 정교한 수요예측이 이루어졌다고 하더라도 그 값이 현실세계에 그대로 반영되리라는 보장을 할 수가 없다. 이처럼 미래에 대한 수요는 가변성을 가지고 있고 이를 적절히 반영할 필요가 있다. 시뮬레이션은 고객의 수요뿐만 아니라 생산제품의 제조시간 및 사이클 타임, 원자재의 수/배송 시간, 고객 주문의 신뢰도, 원자재 공급자의 신뢰도와 같은 공급사슬상에 존재하는 여러 가변성들을 모델링에 반영하여 적절한 운영 결과를 제공해 줄 수 있다.

3) 각종 입력 데이터나 공급사슬의 각 사이트에서의 정책들을 변화시켜 봄으로써 여러 대안들을 비교 분석할 수 있다: 고객수요나 생산시간 등의 변화는 전체 공급사슬 운영에 많은 영향을 미칠 수 있다. 고객수요나 다른 여러 입력 데이터를 시뮬레이션 사용자가 원하는 만큼 변화시킴으로써 공급사슬이 전체적으로 어떠한 양상을 띄게 될지를 사전에 면밀히 살펴볼 수가 있다. 또한 공급사슬경영에 있어서 각 사이트에서의 정책 변화도 전체 공급사슬에 큰 영향을 미칠 수가 있다. 각 사이트에서의 다양한 정책 변화를 통해 기업 운영 환경 변화 결과를 비교, 분석해 줄 수 있는 강력한 기능을 시뮬레이션

은 제공해 준다.

4) 이익/비용 등과 같은 기업이 관심을 가지고 있는 재정적인 문제들에 대한 효과적인 결과를 제공해 줄 수 있다: 기업들의 궁극적인 목적은 제품을 생산/판매하여 이윤을 내는 것이다. 따라서 기업은 공급사슬상에서 기업활동을 통해 발생할 수 있는 여러 종류의 이윤 항목들에 큰 관심을 가지고 있다. 그리고 단순히 기업 이윤만이 아니라 제품 당 생산비용, 단위 무게 당 운송비용과 같은 여러 가지 비용 항목들에도 관심을 가지고 있다. 시물레이션은 기업의 판매, 생산, 운송 등과 같이 기업활동으로 일어나는 여러 가지 재정적인 관심 요소들에 대한 결과들을 수치 데이터뿐만 아니라 강력한 그래픽 기능들을 통해 시간흐름에 따른 이윤과 비용 결과값들을 다이나믹하게 사용자에게 제공하여 준다.

5) 애니메이션(Animation)을 통해 공급사슬의 물류와 정보의 흐름을 시각적으로 표현할 수 있다: 시물레이션이 가지고 있는 또 다른 강점은 애니메이션 기능의 제공이다. 비록 이것이 시물레이션이 제공하는 고유의 기능은 아니지만 시물레이션과 결합했을 때 그 기능은 더욱 부가된다. 즉 공급사슬경영에 있어서 가장 중요한 두 가지 흐름인 정보와 물류의 흐름들을 시각적으로 보여 줄 수 있다. 또한 네트워크 디자인에 있어서도 그래픽에 기반한 모델링을 통해 공급사슬의 모습을 직관적으로 파악할 수 있는 장점이 있다.

### 3.2 공급사슬 시물레이션의 기능

앞서 언급했듯이 공급사슬 시물레이션은 기업의 전략적 의사결정을 지원하기 위한 전략적 차원의 솔루션이다. 따라서 공급사슬 시물레이션이 수행하는 기능도 좀더 거시적인 레벨의 것이며 기업의 장기적인 기업운영과 연관된 것이다. 공급사슬 시물레이션이 수행할 주요한 기능은 공급사슬 상에 존재하고 있는 여러 가변적인 항목들을 모델링에 반영하여 시물레이션을 수행함으로써 공급사슬의 행동양식을 비교/분석하는 것이라 정의할 수 있다. 다음은 공급사슬 시물레이션으로 수행할 수 있는 주요한 기능들이다.

- 공급사슬에서의 이상적인 생산공장의 위치와 수, 물류센터의 위치와 수, 공급자의 위치와 수 결정
- 각 공급사슬 사이트에서의 가장 적합한 보충/생산 정책의 결정
- 공급사슬을 이루는 각 사이트에서의 생산제품 최적 재고 수준 결정
- 고객 수요 변화에 따른 기업의 재고정책 비교/분석
- 공급사슬을 이루는 네트워크에서의 재고, 고객만족도에 영향을 미치는 사이클 타임, 수/배송 시간, 수요예측 등의 민감도 분석
- 여러 공급사슬경영 시나리오들에 대한 비교 분석 및

### What-If Analysis

- 시물레이션 결과에 대한 경제적 분석

### 3.3 공급사슬 시물레이션의 연구 내용

지금까지 이루어진 공급사슬 시물레이션에 대한 연구들은 주로 이산사건 시물레이션(Discrete Event Simulation) 방법을 기반으로 하고 있다. 이는 이산사건 시물레이션이 공급사슬의 다이나믹한 행동양식을 표현하기에 적합하기 때문이다. 본 절에서는 공급사슬 시물레이션에 관해 지금까지 이루어진 학문적 연구 내용들을 살펴보도록 한다. 공급사슬 시물레이션과 관련한 기존의 학문적 연구들을 정리하면 1) 시물레이션 모델링 방법론에 대한 연구, 2) 공급사슬 시물레이션의 불확실성, 또는 가변성을 통제하기 위한 방법론의 개발에 대한 연구, 3) 공급사슬 시물레이션의 운영에 관한 연구의 3가지 영역으로 구분할 수 있다.

1) 시물레이션 모델링 방법론: 시물레이션 모델링 방법론의 최근 연구들의 추세는 재사용이 가능하고, 확장성이 뛰어나며, 모듈성을 지닌 방법론의 개발이다. 다음의 2가지 연구 주제들은 이러한 흐름을 잘 반영하고 있다고 할 수 있겠다.

a) Object-Oriented Modeling: 객체지향적 모델링은 최근 뛰어난 재사용성 및 확장성, 모듈성 등의 강점으로 인해 많은 각광을 받고 있다. Alfieri와 Brandimarte는 공급사슬 시물레이션 모델링에 있어 객체지향적 기법을 도입한 연구를 통해 주목을 받고 있다(Alfieri and Brandimarte, 1997). 그들의 연구는 간단한 물류 네트워크의 객체지향 모델링을 통해 공급사슬 시물레이션 모델링의 하나의 가능성을 제시하였다. 물류 네트워크를 수요가 발생하는 DemandPoint, 재고를 취급하는 StockPoint, 제품을 생산하는 Factory의 3가지 노드로 인식하고 객체지향 언어인 MODSIM을 바탕으로 공급사슬에 필요한 클래스들과 각 클래스들의 변수 및 매소드를 개발하였다. 그들이 제시한 클래스는 Nodeobj, Destobj, Sourceobj, Routerobj, Demandpoint, Stockpoint, StockpointQR, StockpointSS, Factory 등이 있다. F. Kubota 등도 공급사슬 시물레이션에 객체지향 기법을 도입하였다(Kubota et al., 1999). 그들은 Physical-Entity Class, Decision-Making Class, Production-Equipment Class, Agent Class의 4가지 타입의 클래스를 제안하였다. 공급사슬은 객체지향 방법으로 모델링하기에 용이한 장점, 즉 구체적인 객체들과 각 객체들의 행동양식이 명확하다는 점 때문에 앞으로도 많은 연구가 이루어지리라 기대된다.

b) Agent-Based Modeling: Agent란 객체지향 모델링에서의 Object와 유사한 개념으로 인공지능이나, 데이터베이스, 네트워크, 유저 인터페이스 등의 분야에서 새로운 모델링 방법론으로 각광받고 있다(Fu-Ren et al., 1998; Jayashankar et al., 1998; Mihai et al., 1997). Mihai 등은 공급사슬 모델링을 위해 Planning, Materials, Production, Dispatching, Markets, Distribution Centers,

Purchasing, Customer, Sales, Transportation을 포함한 40개의 Agent들과 40개의 Conversation Rule을 제시했다(Mihai *et al.*, 1997). Fu-Ren 등은 공급사슬의 OFF(Order Fulfillment Process)를 Agent를 이용하여 모델링하고 Swarm이라 불리는 Multi-Agent 시뮬레이션 소프트웨어를 이용하여 시뮬레이션을 하였다. 그들은 Order Management, Inventory Management, Production Planning, Capacity Planning, Manufacturing Planning, Shopfloor Control, Manufacturing, SCN Management Agent들을 이용한 MAIS (Multi-Agent Information System)를 제안하였다(Fu-Ren *et al.*, 1998). Jayashankar 등도 공급사슬의 모델링 및 시뮬레이션을 위한 Multi-Agent 방법론을 제안하였으며 Structural Elements와 Control Element로 분류되는 14개의 Agent들을 제안하였다. 그리고 이들을 이용하여 식료 잡화 판매 산업의 공급사슬을 모델링하고 시뮬레이션을 수행하였다(Jayashankar *et al.*, 1998).

2) 불확실성 통제를 위한 방법론 : 공급사슬에서 가장 불확실하고 가변성이 높은 요소는 무엇보다도 고객의 수요이다. 따라서 이 고객수요를 정확하게 반영하는 것은 매우 중요한 요소라 하겠다. 전통적으로 고객수요의 입력을 위해서는 과거의 고객수요 데이터를 바탕으로 미래의 수요를 예측하여 확률 분포값으로 변환하여 반영하였다. 그러나 이런 경우 필요한 과거 데이터가 존재하지 않거나 과거 데이터의 정확도에 대한 신뢰도가 떨어져 정확한 수요예측을 하기가 용이하지 않다. Fuzzy sets를 이용한 모델은 이러한 경우 매우 유용하게 사용될 수 있다. Dobrila 등은 Fuzzy Set을 이용하여 고객수요를 표현하고 이를 Fuzzy Algorithm 규칙에 의하여 계산을 한 후 시뮬레이션을 수행하였다 (Dobrila *et al.*, 1998; Dobrila *et al.*, 1999).

3) 공급사슬 시뮬레이션의 운영 : 시뮬레이션이 기업의 전략적 의사결정을 위한 지원 도구로 효과적인 기능을 수행할 수 있지만 더욱더 완벽한 분석이 이루어지기 위해서는 최적화 방법론과 연계한 분석이 이루어져야 한다. 2장에서 살펴본 것처럼 공급사슬 시뮬레이션은 전략적인 의사결정을 위한 도구이며 이를 위해서는 각 사이트에서의 여러 입력 값들이 시뮬레이션 이전에 최적화되어 있어야만 좀더 나은 시뮬레이션 결과를 얻을 수 있다. 즉 공급사슬 상의 여러 자원들의 분배나 생산계획 등의 최적화가 바탕이 되어야 하는 것이다. 일반적으로 공급사슬 시뮬레이션은 <그림 4>와 같은 과정을 통해 운영될 때 더욱 더 큰 효과를 볼 수가 있다(Donald, 1999; RamKumar, 1997; Roland, 1999).

a) Network Optimization : 네트워크 최적화는 공급사슬의 모든 수요를 충족시키면서 수많은 제약 조건들을 만족시키고 발생 가능한 비용을 최소화할 수 있도록 공급사슬의 자원들을 할당하는 과정을 의미한다. 이 과정을 통해 각 사이트의 재고 최적화, 생산공장에서의 최적 생산 계획 생성, 최적 수배송 계획 생성 등과 같은 최적화 과정들이 수행된다.

b) Simulation : 네트워크 최적화 단계에서 최적화된 값들을 바

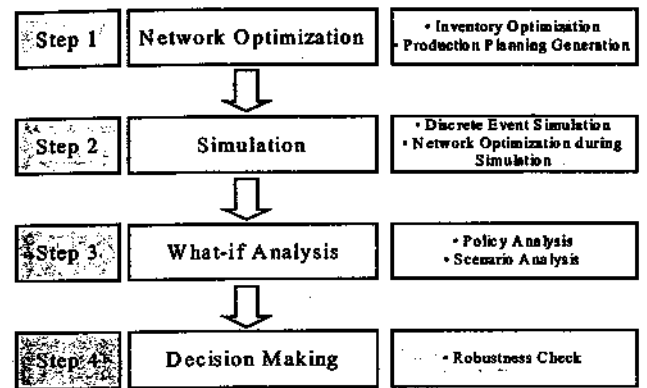


그림 4. 공급사슬의 운영.

탕으로 하여 일정 기간 동안의 시뮬레이션을 수행한 후, 공급사슬이 어떤 행동양식을 가지는지를 파악하는 단계이다. 공급사슬은 시간의 흐름에 따라 수요예측 정보와 같은 값들이 변할 수 있기 때문에 이러한 값들이 재고수준이나 생산계획에 반영될 필요가 있을 때는 Network Optimization 단계를 통해 시뮬레이션 중간에 최적화를 수행하도록 한다.

c) What-If Analysis : 실제 공급사슬의 각 사이트를 운영하는 정책들은 여러 가지가 있을 수 있다. 공급센터에서의 재고관리 정책의 경우 Continuous, Periodic 등이 있고 생산정책도 BTO, BTP 등이 존재한다. What-If Analysis는 이러한 정책들을 변화시켜 시뮬레이션을 수행 한 후, 결과의 비교/분석을 통하여 최선의 운영정책을 결정하는 단계이다.

d) Decision Making : 최종적으로 분석된 공급사슬 시나리오에 대한 의사결정 단계이다. 시뮬레이션 모델의 Robustness를 체크하고 분석된 결과를 사용자의 전문적인 지식을 바탕으로 제시된 목적에 시뮬레이션 결과가 정확하게 부합하는지를 결정하도록 한다.

### 3.4 공급사슬 시뮬레이터

공급사슬 시뮬레이터(Supply Chain Simulator)는 공급사슬 시뮬레이션을 구현해 주는 도구를 의미하며 여러 외부 입력 값들을 바탕으로 시뮬레이션 엔진을 이용하여 시뮬레이션을 수행한 후 사용자가 원하는 결과값들을 생성해내는 범용 시뮬레이터와 기본적인 개념은 거의 유사하다. 그러나 공급사슬경영만을 위한 템플릿이나 공급사슬망의 여러 구성요소를 표현하기 위한 특화된 모듈을 가지고 있는 것이 일반적이다. 또한 시뮬레이션 기능 이외에도 최적 재고 수준 결정이나 생산계획 수립 등과 같은 최적화(Optimization) 기능 도구도 시뮬레이터 안에 구현되어 시뮬레이션과 상호 연관을 가지며 동작하게끔 개발된 것도 있다. 많은 IT업체들이 공급사슬경영 솔루션들을 제공하고 있지만 그 규모가 너무 방대하고 공급 사슬 시뮬레이션만을 위해서 뚜렷한 성격을 보이고 있는 모듈이 존재하지 않는 실정이다. 따라서 공급사슬 시뮬레이션을 위한 Stand-

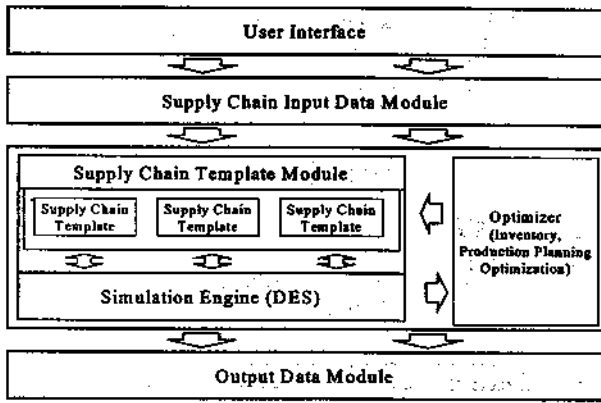


그림 5. 공급사슬 시물레이터의 구조

Alone 형태의 강력한 시물레이션 기능을 수행할 수 있는 공급사슬 시물레이터의 연구 및 개발이 필요하다. 이러한 공급사슬 시물레이터는 다른 최적화 도구들과 연계되어 사용되거나 시물레이터 자체에 최적화 알고리즘을 적용하여 시물레이션 기능과 더불어 사용됨으로써 보다 큰 효과를 거둘 수 있다. 현재 공급사슬 시물레이터와 관련한 학문적 연구가 활발히 진행되고 있으며 몇몇 산업 영역에서는 자사의 공급사슬 시물레이션을 위해 내부적으로 개발된 제품들이 공급사슬 시물레이션을 수행하고 있다.

3.4.1 Stand-Alone 형태의 공급사슬 시물레이터 입/출력 데이터 및 시스템 구조

공급사슬 시물레이터는 일반적으로 User Interface, Supply Chain Data Input Module, Simulation Engine, Supply Chain Template Module, Output Module들로 구성되어 있다. 그리고 최적화 기능을 시물레이터 자체에서 수행하는 시물레이터는 최적화를 수행하는 모듈이 탑재되어 있다(<그림 5>). User Interface는 공급사슬 시물레이션의 네트워크 디자인을 담당하며 여러 입력 값들을 사용자로부터 받는 부분이다. 공급사슬의 구성 요소들을 그래픽적인 템플릿을 이용하여 표현하기 때문에 공급사슬의 전체적인 네트워크를 시각적으로 확인할 수 있다. Supply Chain Data Input Module은 방대한 공급사슬 데이터를 입력, 처리하는 부분으로서 고도의 데이터 운영이 필요한 부분이다. 공급사슬 시물레이션이 입력받아야 하는 데이터는 여러 가지 형태로 분류할 수 있지만 일반적으로 <표 4>와 같이 분류할 수 있다. Simulation Engine은 시물레이션을 구동하기 위한 모듈로서 일반적으로 이산사건 시물레이션(Discrete Event Simulation) 방법을 사용하고 있는 상용 시물레이터를 사용한다. 이러한 상용 시물레이터에는 ARENA, SimProcess, ProModel 등의 시물레이터가 있다. Supply Chain Template Module은 공급사슬을 구성하는 각 사이트를 표현하기 위한 것으로 사이트 운영에 필요한 각종 데이터들과 운영 로직들이 구현되어 있다. Optimizer는 공급사슬 시물레이션에 필요한 최적화된 데이터(최적 재고량, 생산계획 등)를 제공해주는 모듈이다. Output Module은 공급사슬 시물레이션 운영 후 필요한 데이터를 생성하여 텍스트 문서와

표 4. 공급 사슬 시물레이터에서의 입력 데이터

Input Data	
대분류	소분류
Manufacturing	Products
	BOM
	Product Delays
	Supply Constraints
	Setup
Inventory	Initial Inventory
	Reorder Points
	Maximum Inventory
	Order Sizes
	Safety Stock
Network Design	Routes
Customer	Customer Demand
	Classes
Resource	Storage Space
	Transportation Resource
Global	General Resource
	Facility
	Company

그래픽, 또는 애니메이션 기능을 통하여 사용자에게 제공한다. 공급사슬 시물레이터는 기업의 전략적 의사결정을 지원하기 위하여 일반적인 시물레이터의 결과 데이터와는 별도로 재정적인 결과 데이터도 제공해 줄 수 있어야 한다. 즉 기업의 이익/비용과 관련된 데이터를 제품별, 사이트별, 주문별로 제공해주어 의사결정에 실질적인 도움을 줄 수 있도록 해야 한다. 최근에는 ABC(Activity Based Cost)를 제공하는 시물레이터도 개발되어 공급사슬 시물레이터에 있어 재정적인 결과 데이터 제공의 중요성을 더욱 크게 하고 있다.

3.4.2 공급사슬 시물레이터 비교

지금까지 연구/개발된 공급사슬 시물레이터들을 기업에서 개발된 것들을 중심으로 살펴보면 다음과 같다(<표 5>).

1) IBM SCA : IBM의 SCA(Supply Chain Analyzer)는 상용 시물레이션 도구인 SimProcess를 기반으로 운영되는 공급사슬 시물레이터이다. IBM의 컨설팅 업무에 이용되었던 SCS(Supply Chain Simulator)를 기반으로 했으며 재고최적화를 위한 Inventory Optimizer와 생산계획 수립을 위한 Supply Planning Optimizer가 시물레이터 내부에 구현되어 있다. 컨설팅 업무의 목적에 알맞도록 시물레이션 결과에 대한 강력한 재정 분석 보고서 기능을 가지고 있는 것이 특징이다. 공급사슬 시물레이션의 기능을 위해 Customer, Manufacturing, Distribution Center, Transportation, Forecasting, Inventory Planning, Supply Planning의 7가지 템플릿이 SimProcess 위에 첨가되어 있으며 방대한 공급사슬 시물레이션 데이터 입력을 위한 Supply Data 모듈을 가지고



표 5. 공급사슬 시뮬레이터

회사명	상품명	시뮬레이션 엔진	방법론	주요 특징	주요 모듈
IBM	SCA	Sim-Process	DES	• Inventory Optimizer, Supply Chain Planning의 2가지 Optimizer제공	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Customer,</li> <li>• Manufacturing</li> <li>• D.C</li> <li>• Transportation</li> <li>• Forecasting</li> <li>• Inventory Planning</li> <li>• Supply Planning</li> </ul>
IBM	eSCA	Sim-Process	DES	• Client/Server Architecture, • Distributed Simulation, Model Catalog 제공	<ul style="list-style-type: none"> <li>• SCA의 7개 모델</li> <li>• Model Catalog</li> </ul>
COM-PAQ	CSCAT	ARENA	DES	• Simulator for Computer Manufacturing Industry	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Customer</li> <li>• Company</li> <li>• Inventory</li> <li>• Manufacturing</li> <li>• Geo</li> <li>• Product Divisions</li> <li>• Products</li> <li>• Capital</li> <li>• Countries</li> </ul>
NOKIA	LOG-SIM	ProModel	DES	• Simulator for Mobile Phone Manufacturing Industry	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Suppliers,</li> <li>• Buffers,</li> <li>• Production Assembly Process,</li> <li>• Customers,</li> <li>• MRP</li> </ul>

있다. 이 모듈은 위의 7가지 템플릿과 연동되어 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션 수행 도중에 필요에 따라 Inventory Planning, Supply Planning의 2가지 템플릿을 통해 공급사슬 최적화 기능을 수행할 수 있다(Bob, 1998; George *et al.*, 1999; Sugato *et al.*, 1998).

2) IBM eSCA : eSCA는 SCA의 확장 버전으로 Web을 기반으로 한 Client/Server 환경의 시뮬레이터이다. 원격지에서 독립된 어플리케이션 또는 웹 브라우저를 통해서 서버의 SCA에 접근하여 파일전송 및 시뮬레이션 모델링과 같은 작업이 가능하다. 또한 여러 원격지에서 동시작업을 통한 Distributed Simulation과 Batch Simulation 기능을 지원하며 특히 모델링의 편의를 위해 각 산업 영역 별로 공급사슬의 Model Catalog를 제공하여 그 효율성을 극대화하고 있다(Chen *et al.*, 1999).

3) Compaq CSCAT : CSCAT(Compaq Supply Chain Analysis Tool)는 컴퓨터 생산/판매 업체인 컴팩이 자사의 공급사슬경영을 위해 상용 시뮬레이션 도구인 ARENA를 기반으로 해서 만든 공급사슬 시뮬레이터이다. CSCAT는 ARENA가 기본적으로 제공하고 있는 모듈들 이외에 Site Module과 Data Module로 구분되는 모듈들을 가지고 있다. Site Module은 공급사슬의 구성요소를 표현하기 위한 것으로서 Manufacturing, Inventory, Customer 모듈을 포함한다. Data module에는 Countries, Product,

Divisions, Capital 등의 모듈이 포함되어 있다. 결과 보고서에서 세금을 고려한 재정적 분석(NPAT: Net Profit After Tax)을 행하는 것이 특징이다. 컴팩 자사의 공급사슬망을 위한 것이므로 다른 산업 영역의 적용에는 한계가 있다(Ricki and Cynthia, 1999).

4) NOKIA LOGSIM : LOGSIM은 핸드폰 생산업체인 NOKIA가 자사의 공급사슬 모델링 및 분석을 위해 상용 시뮬레이션 툴인 ProModel을 기반으로 해서 만든 시뮬레이터이다. LOGSIM은 Suppliers, Buffers, Production and Assembly Processes, Customers, Material Requirement Planning의 5가지 구성 요소로 이루어져 있다. CSCAT와 마찬가지로 핸드폰 생산 및 유통을 위한 공급사슬을 위해 만들어졌기 때문에 다른 산업 영역으로의 응용에는 한계가 있다(Saku, 1998).

### 3.5 국내 연구활동

국내에서의 공급사슬 시뮬레이션에 대한 연구는 아직 미비한 실정이며 따라서 이 분야에 대한 많은 연구활동이 필요하다. 특히 기업들의 공급사슬 시뮬레이션에 대한 관심의 증대는 관련 연구활동을 가속화시키고 있는 실정이다. 본 연구팀에서는 ARENA를 기반으로 한 공급사슬 시뮬레이터인 G-SCS(Global-Supply Chain Simulator)에 대한 연구를 수행하고 있다. 시뮬레이터의 전체적인 framework은 위에서 살펴본 <그림 5. 공

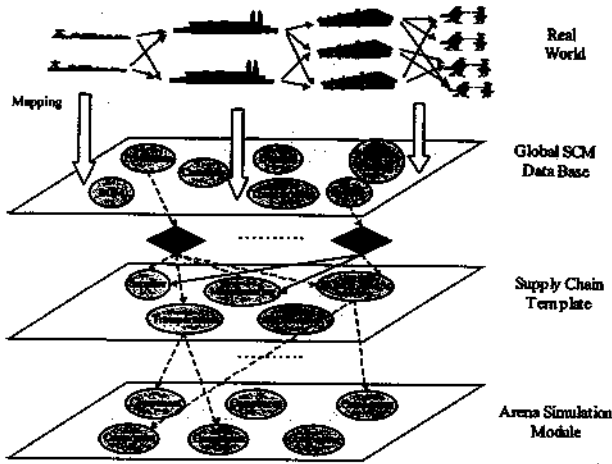


그림 6. Global Supply Chain Simulator System Architecture.

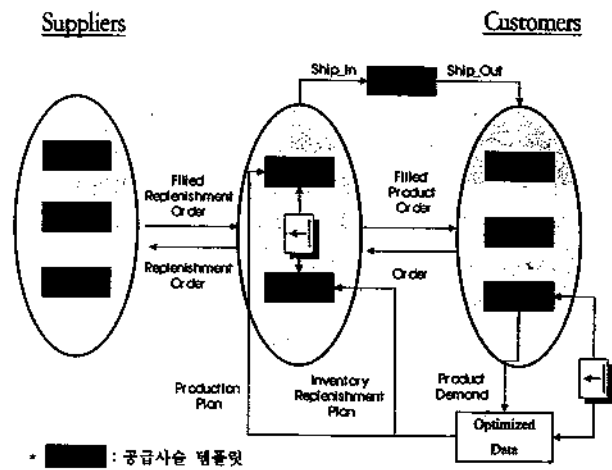


그림 7. 템플릿간의 Data Flow.

급사슬 시뮬레이터>와 비슷한 구성을 하고 있다. G-SCS는 ARENA를 시뮬레이션 구동을 위한 엔진으로 이용하고 이를 기반으로 공급사슬 시뮬레이션을 위한 템플릿(공급사슬의 구성 요소를 표현한다. Supplier, Manufacturing, Distribution Center, Transportation, Customer)을 구현함으로써 이루어진다. 또한 외부의 Optimizer 모듈에서 최적화된 데이터를 입력받아 시뮬레이션을 수행하게 된다. <그림 6>은 본 연구팀이 제안한 G-SCS(Global-Supply Chain Simulator)의 시스템 구조를 보여준다. 본 시뮬레이터에서 가장 핵심적인 부분은 공급사슬을 표현할 템플릿으로서 이들은 <그림 7>과 같은 Data Flow를 이루며 시뮬레이션을 수행하게 된다. 각 템플릿은 ARENA Professional Version을 이용하여 구현된다.

4. 결론

본 논문에서는 공급사슬경영에 있어서 관심을 가질 수 있는 응용 분야와 이들 응용 분야를 위한 여러 IT업체들의 공급사슬

경영 솔루션에 대하여 살펴보았다. 과거의 생산관리기술들이 주로 Operation Level이나 Tactical Level에 초점을 맞추어 왔다면 공급사슬경영은 Strategic Level에 초점을 맞추어 기업의 장기적인 전략적 계획을 수립하고 이에 필요한 여러 가지 의사결정을 도와주는 도구이다. 그러나 이를 효과적으로 지원해 줄 수 있는 솔루션에 대한 연구가 국/내외적으로 아직 미흡한 실정이다. 따라서 공급사슬경영의 전략적 의사결정을 지원하기 위한 공급사슬 시뮬레이션에 대한 학계와 산업체의 요구가 증가하고 있다. 본 논문에서는 공급사슬 시뮬레이션에 대한 개략적인 개념과 지금까지 이루어진 공급사슬 시뮬레이터의 연구 및 개발 현황에 대해서 살펴보았다. 앞으로 기업의 공급사슬 경영에 대한 솔루션, 특히 전략적 의사결정 지원을 위한 공급사슬 시뮬레이션에 대한 요구는 더욱더 커져 갈 것이라 예상되며 이에 대한 활발한 연구활동이 필요할 것이라 생각된다. 공급사슬 시뮬레이션과 관련한 주요한 향후 연구 이슈들은 1) 공급사슬 시뮬레이션 모델링 방법론 개발 2) 공급사슬 시뮬레이션에서 가변성을 가지고 있는 요소들에 대한 통제 방법론 개발 3) 공급사슬 운영 방법론 개발 4) 공급사슬 시뮬레이션을 구현할 수 있는 상업적 공급사슬 시뮬레이터의 개발 등으로 요약할 수 있겠다.

참고문헌

Alfieri, A. and Brandimarte, P. (1997), Object-Oriented Modeling and Simulation of Integrated Production Distribution Systems, *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 10(4), 261-266.

Archibald, George. & Karabakal, Nejat and Karlsson, Paul (1999), Supply Chain vs. Supply Chain : Using Simulation to Complete Beyond the Four Walls, *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, 1207-1214.

Bagchi, Sugaro & Buckley, Stephen J. & Ertl, Markus and Lin, Grace Y. (1998), Experience Using the IBM Supply Chain Simulator, *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, 1387-1394.

Bhaskaran, Sita (1998), Simulation Analysis of a Manufacturing Supply Chain, *Decision Sciences*, 29(3), 633-657.

Bowman, Bob. (1998), IBM'S New Supply-Chain Simulator, *World Trade*, 11(2), 56-59.

Chen, Bob H. & Bimber, Oliver & Chhatre, Chintamani & Poole, Elizabeth and Buckley, Stephen J. (1999), eSCA : A Thin-Client/Server/Web-Enabled System for Distributed Supply Chain Simulation, *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, 1371-1377.

Ganesban, RamKumar (1997), *Analytical Essays in Supply Chain Management*, The Pennsylvania State University.

Hicks, Donald A. (1999), A Four Step Methodology for Using Simulation and Optimization Technologies in Strategic Supply Chain Planning, *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, 1215-1220.

Hicks, Donald A. (1999), The State of Supply Chain Strategy, *IIE Solutions*, 31(8), 24-29.

Hieta, Saku(1998), Supply Chain Simulation with Logsim-Simulator, *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, 323-326.

Ingalls, Ricki G. and Kasales, Cynthia.(1999), CSCAT : The Compaq Supply Chain Simulator, *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, 1201-1206.

- Ingalls, Ricki G. (1998), The Value of Simulation in Modeling Supply Chain, *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, 1371-1375.
- Kahl, Steven J. (1998), What's the "Value" of Supply Chain Software? *Supply Chain Management Review*, Fall.
- Kubota, F., Saro, S. and Nakano, M. (1999), Enterprise Modeling and Simulation Platform Integrating Manufacturing System Design and Supply Chain, *IEEE*, IV-511 - IV-515.
- Marbuceanu, Mihai & Rune, Teigen and Fox, Mark S. (1997), Agent Based Design and Simulation of Supply Chain Systems, *IEEE*, 36-41.
- Mielke, Roland R. (1999), Applications for Enterprise Simulation, *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*, 1490-1495.
- Petrovic, Dobrila & Roy, Rajat and Petrovic, Radivoj (1998), Modeling and Simulation of a Supply Chain in an Uncertain Environment, *European Journal of Operational Research*, 109, 299-309.
- Petrovic, Dobrila & Roy, Rajat and Petrovic, Radivoj (1999), Supply Chain Modeling Using Fuzzy Sets, *International Journal of Production Economics*, 59, 443-453.
- Swaminathan, Jayashankar M., Smith, Stephen F. and Sadeh, Norman M. (1998), Modeling Supply Chain Dynamics: A Multiagent Approach, *Decision Sciences*, 29(3), 607-632.
- Tin, Fu-Ren & Tan, Gek Woo and Shaw, Michael J. (1998), Modeling Supply-Chain Networks by a Multi-Agent System, *IEEE. Proc. 31<sup>st</sup> Annual Hawaii International Conference on System Science*, 105-114.
- Umeda, Shigeki and Jones, Albert (1998), An Integration Test-Bed System for Supply Chain Management, *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, 1377-1385.
- Wyland, Brad & Buxton, Ken and Fuqua, Ben (2000), Simulation the Supply Chain, *IIE Solutions*, January, 37-42.

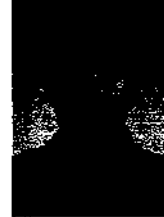


### 서석주

연세대학교 산업시스템공학과 학사 졸업

현재: 연세대학교 산업시스템공학과 물류/시  
뮬레이션 석사과정

관심분야: 공급사슬경영 및 시뮬레이션, 객체  
지향 시뮬레이션, 물류공학



### 김경섭

연세대학교 기계공학과 학사

University of Nebraska-Lincoln 산업공학과 석사  
North Carolina State University 산업공학과 박사

현재: 연세대학교 기계전자공학부 부교수  
관심분야: 시뮬레이션, 물류공학, 공급사슬경영