



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

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

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



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

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

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사학위논문

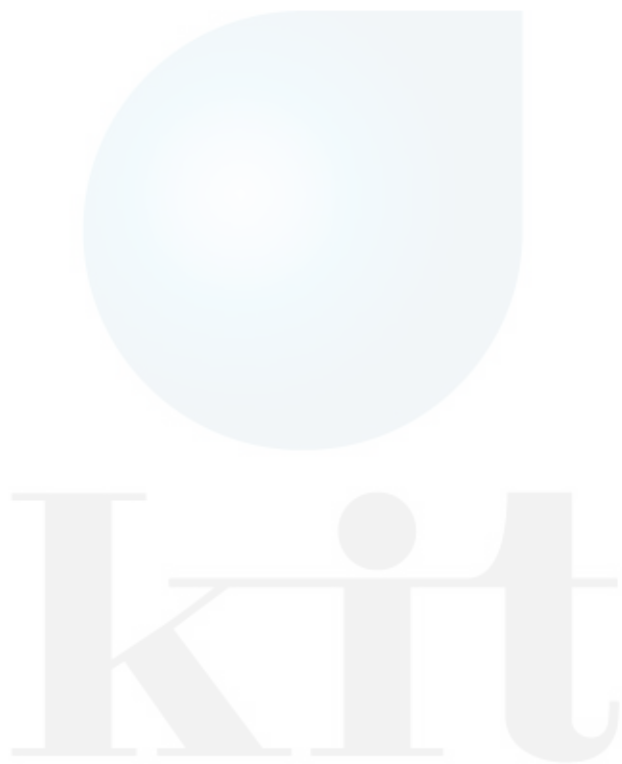
시뮬레이션 기반  
반응 표면 모델(S-RSM)을 사용한  
공급사슬 네트워크의 실시간 수송계획  
동적 재배열 프레임워크 및 분석

2015 년 11 월

금오공과대학교 대학원

산업공학과

김진배



공학석사학위논문

시뮬레이션 기반  
반응 표면 모델(S-RSM)을 사용한  
공급사슬 네트워크의 실시간 수송계획  
동적 재배열 프레임워크 및 분석

2015 년 11 월

금오공과대학교 대학원

산업공학과

김진배

시뮬레이션 기반  
반응 표면 모델(S-RSM)을 사용한  
공급사슬 네트워크의 실시간 수송계획  
동적 재배열 프레임워크 및 분석

지도교수 이 현 수

이 논문을 공학석사 학위논문으로 제출함.

2015 년 11 월

금오공과대학교 대학원

산업공학과

김 진 배

김진배의 공학석사 학위논문을 인준함

2015 년 11 월 25 일

심사위원장 이 현 수 (인)

심 사 위 원 이 지 수 (인)

심 사 위 원 이 종 환 (인)

금오공과대학교 대학원

# Real-time Dynamic Reconfiguration Framework and Analysis of Supply Chain Network Using Simulation based Response Surface Model

Jin-bae Kim

Department of Industrial Engineering, Graduate School  
Kumoh National Institute of Technology

## Abstract

As contemporary supply chains are getting globalized more, their structures are getting complicated and the size of their embedding uncertainties grows bigger. These tendencies make the real-time decisions and controls be difficult for reconfiguring supply chain networks. This paper focuses on a new and effective real-time reconfiguration method in a globalized supply chain network. When a network has various uncertainties in volatile environments and it is possible to be many alternative dynamic configurations, the suggested method generates the fast and effective supply chain configuration without reformulations and computations of the mathematical model. The provided framework is based on the simulation based response surface model which has mapping relationships between

control variables and network configurations. The model is generated using a sampling based simulation procedures considering possible supply chain scenarios. The driven response surface model is used for generate the right network configuration in the related dynamic situation. In order to prove the effectiveness of the suggested framework, the numerical case studies are provided. The provided framework contributes to generate a reconfigured supply chain network with minimized computation burdens.





# 시물레이션 기반 반응 표면 모델(S-RSM)을 사용한 공급사슬 네트워크의 실시간 수송계획 동적 재배열 프레임워크 및 분석

김진배

금오공과대학교 대학원 산업공학과

요약

오늘날의 공급사슬은 점차 세계화 되면서, 그 구조가 복잡해지고 불확실성이 내제되면서 규모가 커지고 있다. 본 논문은 새롭고 효과적인 글로벌 공급망 네트워크의 실시간 재구성 방법에 초점을 맞추고 있다. 네트워크를 구성하는 환경이 다양한 불확실성을 가지고 있을 때, 공급망 네트워크의 수학적 계산없이 제안하는 방법에 의해 많은 대안이 동적으로 구성되며 신속하고 효과적인 공급망 네트워크를 생성한다. 제어 변수와 네트워크를 구성하는 요소 사이의 매핑을 통해 시물레이션을 기반으로 한 반응표면 모델을 사용하여 구성된 프레임워크를 제안하고, 반응 표면 모델은 가능한 공급망의 시나리오를 고려하여 샘플링 기반의 시물레이션 방법을 사용하였다. 프레임워크의 효과를 입증하기 위해 수치예제를 제안하며, 제안하는 프레임워크는 연산부담을 최소화한 공급망 네트워크를 생성한다.

# 목 차

[그림 차례]	i
[표 차례]	ii
[수식 차례]	iii
[기호 설명]	iv
제 1 장 서론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 범위 및 구성	4
제 2 장 기존 논문 연구	6
2.1 공급사슬 네트워크에 관한 선행 연구	6
2.2 시뮬레이션 기반 의사결정 최적화에 관한 선행연구	7
2.3 불확실성의 관리에 관한 선행 연구	7
제 3 장 이론적 배경	9
3.1 공급사슬관리	9
3.1.1 공급사슬관리의 정의	9
3.1.2 공급사슬관리의 발전과 확장	10
3.2 공급사슬 성과 요인	12
3.2.1 설비요인	12
3.2.2 재고요인	13
3.2.3 수송요인	13
3.2.4 정보요인	13
3.2.5 외주결정요인	14
3.2.6 가격결정요인	14

3.3 공급사슬 네트워크 설계에서 불확실성의 영향 .....	16
3.4 공급사슬 위험관리와 네트워크 설계 .....	17
3.5 불확실성 하에서 공급사슬 설계 의사결정 .....	20
3.5.1 전략적 계획과 재정적 계획의 결합 .....	20
3.5.2 평가를 위한 다양한 측정 기준 사용 .....	20
3.5.3 재정적 분석의 이용 .....	20
3.5.4 민감도 분석과 평가의 사용 .....	20
3.6 시뮬레이션 기반 설계 .....	21
3.6.1 시뮬레이션 .....	21
3.6.2 시뮬레이션의 특징 .....	23
3.6.3 컴퓨터 시뮬레이션 .....	24

## 제 4 장 시뮬레이션 기반 공급사슬 네트워크의

<b>동적 재배열 프레임워크 .....</b>	<b>25</b>
4.1 시뮬레이션 기반 반응 표면 모델 구성 절차 .....	25
4.1.1 공급사슬 데이터 분석과 수리모형의 수립 .....	25
4.1.2 불확실성에 따른 절차 이분화 .....	26
4.1.3 최적 대안 구축 및 시뮬레이션 기반 반응표면 모델 정립 .....	27
4.2 공급사슬 네트워크 문제의 정의 .....	29
4.3 수리모형 .....	32
4.3.1 집합변수의 정의 .....	32
4.3.2 의사결정 변수의 정의 .....	33
4.3.3 파라미터의 정의 .....	34
4.3.4 수리모형의 정의 .....	34
4.4 시뮬레이션 기반 반응표면 모델의 구성 .....	37
4.4.1 불확실성 모형 .....	37
4.4.2 시뮬레이션 기반 반응표면 모델 구성을 위한 조건 정의 .....	38
4.4.3 시뮬레이션 기반 반응표면 모델의 구성 .....	40
4.5 시뮬레이션 기반 반응표면 모델을 사용한 수치예제 .....	42
4.5.1 조건의 입력 .....	43

4.5.2 최적 공급사슬 네트워크 수송계획 후보 생성 .....	46
4.5.3 수치예제 결과 분석 .....	47
제 5 장 결론 및 향후 연구 과제 .....	49
[참고 문헌] .....	50



## [그림 차례]

그림 1.1	동적 공급사슬 수송경로 선택 .....	4
그림 3.1	공급자 - 생산 - 유통 시스템 .....	10
그림 3.2	공급사슬관리의 역사 .....	12
그림 3.3	공급사슬 의사결정 구조 .....	15
그림 4.1	공급사슬 데이터 분석, 수리모형 구축 그리고 변수 추정 단계 .....	25
그림 4.2	불확실성에 따른 절차 이분화 단계 .....	26
그림 4.3	시물레이션 기반 반응 표면 모델 구축 단계 .....	27
그림 4.4	시물레이션 기반 반응 표면 모델의 구축 절차 .....	28
그림 4.5	동적 상황 발생 시 공급사슬 네트워크의 재 구성 절차 .....	29
그림 4.6	기존 입지가 완료된 공급사슬 시설물 .....	31
그림 4.7	수송계획에 따른 시설물의 사용 유, 무 .....	31
그림 4.8	다변량 정규분포(Multi-variate Normal PDF)로 가시화된 공급사슬의 불확실성 .....	38
그림 4.9	시물레이션 기반 반응표면 모델 구축 프로그램 .....	41
그림 4.10	불확실성을 띄는 변수의 확률밀도 함수 맵핑과 벡터화를 통한 시나리오 값 출력 .....	43
그림 4.11	시나리오에 따른 발생확률 출력 .....	44
그림 4.12	의사결정변수 $X_{f,w}$ 의 출력 .....	45
그림 4.13	의사결정변수 $Y_{s,w}$ 의 값에 따른 최적 수송계획 .....	45
그림 4.14	시물레이션 기반 반응표면 모델을 사용한 수송경로 계획 후보 생성 .....	46

[표 차례]

표 3.1 네트워크를 설계 시 고려되는 공급사슬 위험 요인 ..... 18

표 3.2 네트워크를 설계하는 동안의 맞춤 완화전략 ..... 19

표 3.3 시뮬레이션의 장단점 ..... 23

표 4.1 집합변수들의 정의 ..... 32

표 4.2 의사결정변수들의 정의 ..... 33

표 4.3 파라미터들의 정의 ..... 34

표 4.4 시나리오별 발생확률 ..... 39

표 4.5 수치예제를 위한 조건 상징 ..... 42

표 4.6 시나리오별 최적 수송경로 계획 ..... 48



## [수식 차례]

수식 4.1 .....	34
수식 4.2 .....	34
수식 4.3 .....	34
수식 4.4 .....	34
수식 4.5 .....	35
수식 4.6 .....	36
수식 4.7 .....	36
수식 4.8 .....	36
수식 4.9 .....	36
수식 4.10 .....	36
수식 4.11 .....	37
수식 4.12 .....	37
수식 4.13 .....	38
수식 4.14 .....	39
수식 4.15 .....	39



## [기호 설명]

$p$	Products. ( $p$ made by the factories)
$f \in F$	Set of Factories.
$w \in W$	Set of Warehouses.
$s \in S$	Set of Shops.
$FCap_f \in A$	Set of factories' capacities.
$WCap_w \in B$	Set of warehouse' capacities.
$\pi'_{FCap_f, WCap_w}$	Occurring probabilities of ( $FCap_s, WCap_w$ ) scenarios.
$X_{f,w}$	The amount of Product (from factory $f$ to warehouse $w$ )
$Y_{s,w}$	A binary variable taking value 1 (when $s$ is associated with $w$ )
$MTC$	Manufacturing and Transportation Cost
$FW_{f,w}$	The cost of product that is transported from Factory to Warehouse
$WS_{s,w}$	The cost of product that is transported from Warehouse to Shop
$PC_f$	The Cost of Manufacturing of Product in Factory
$TD_{f,w}$	The Transportation Distance between Factory and Warehouse
$TC$	The Transportation Cost of Product
$D_s$	The Demand for each Product in a Shop



# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구의 배경 및 목적

오늘날 기업들은 본질적인 목적인 이윤창출을 위해 사회가 필요로 하는 재(財) 또는 서비스를 다양한 운영 방법과 전략 수립을 통해 생산하고 공급, 제공하는 활동을 하고 있다. 과거의 경우 저렴한 가격과 좋은 품질의 제품 및 서비스 생산을 위한 관리에만 국한되어 기업의 운영 전략들이 수립되었지만 점차 고객의 요구는 다양해지고 시장의 구조가 바뀜에 따라 이에 대응하기 위해 새로운 기업 활동 방향을 찾고 있다. 또한 이러한 활동의 규모와 범위가 세계화에 따라 거대해 지고 복잡해지면서 기업들은 새로운 문제들을 해결하기 위한 운영 전략의 수립에 대한 중요성을 인지하고 노력을 기울이고 있다.

기업들이 직면한 가장 큰 문제는 기업의 운영 전략에 영향을 주는 사회, 경제, 환경 그리고 정책을 통한 기업규제 및 환율변동과 같은 여러 요소들이 세계화에 따라 신속하고 복잡하게 변화한다는 점이다. 따라서 기업들은 문제를 해결하기 위해서 정확한 예측과 분석을 통해 내린 의사결정을 기업의 운영 방법과 전략으로 수립해야 한다.

이러한 문제점들에 대한 해결 방법으로 1980년대 말 부터 기업 뿐 아니라 전문가들의 연구를 통해 기업 경영혁신을 위한 기법으로 공급사슬관리(Supply Chain Management)에 대한 다양한 연구 사례들이 제시되어 왔다. 공급사슬(Supply Chain)은 원재료의 구매와 조달부터 부품으로의 가공 및 유통, 최종 완제품의 조립 및 생산, 배송까지의 전 과정을 수행하는 생산자와 공급자, 운송, 보관창고, 도매상 및 소매상들로 구성된 네트워크를 말한다. 고객의 요구 사항을 만족시키고 동시에 기업 이익의 극대화를 위해서 기업이 제공하는 재(財) 또는 서비스의 생산 프로세스와 시스템에서 발생하는 비용을 최소화하여 정확한 요구 수량과 장소, 시간에 생산과 공급하기 위해 네트워크를 구성하는 요소들을 효율적으로 관리하고 통합하는데 사용되는 기법이다.

하지만 자연재해로 인한 지진, 태풍, 산업재해, 시설 및 장비의 고장 등과

같은 요인으로 인한 영향으로 공급사슬에 해를 끼치는 위험요소들의 역동적이고 복잡한 상황에 대처하기 위한 유연한 공급사슬 전략이 필요하다.

공급사슬에 막대한 해를 끼친 위험 요인에 의한 피해 사례를 보면 2011년 3월 일본의 지진과 해일로 인해 후쿠시마에 위치한 후쿠시마 원전이 수소폭발을 일으켰고, 그로 인해 후쿠시마 현에서 생산되는 농산물과 수산물에서 방사능이 검출 되어 관련 기업들에 막대한 손실을 가져왔다. 또한 2015년 메르스 사태로 인해 대한민국 관광산업 전체에 2조6천억원 가량의 피해를 입혔으며, 관광서비스를 제공하는 기업들에게 막대한 손실을 불러 일으켰다. 그리고 2012년 중국의 전자제품 제조업체인 폭스콘이 근로자들에게 낮은 임금과 과도한 시간의 노동을 강요하여 중국 노동법을 위반하였다. 근로자들의 열악한 복지 및 근무환경의 영향이 근로자들의 자살과 산업 재해로 이어져 폭스콘에서 생산되는 제품들에 대한 공급사슬 관리에 막대한 영향을 주었다.

이러한 불확실성에 의해 기업의 이익에 큰 영향을 미치는 사례들이 발생하게 되면서, 기업의 공급사슬 전략 수립에서 불확실성에 대한 관리의 중요성이 부각되기 시작하였다.

기업들은 제품이 생산되면 수요가 발생하는 곳으로 수송하기 위한 공급사슬 네트워크를 설계하게 되는데 이때 제품의 수송을 최적화 하기 위한 문제는 공급사슬을 구성하는 시설물들의 입지와 크기, 범위의 결정에 대한 문제이다. 제품 수송에 따른 이윤의 최적화 문제에서 시설물의 입지와 관련된 문제는 큰 투자를 수반하기 때문에 기업이 공급사슬 전략을 세우기 위해 고려하는 요소들 중 가장 우선적으로 고려하는 문제이다. 시설물의 입지와 같은 의사결정은 한번 결정되면 시설을 옮기거나 폐쇄하는데 큰 비용이 필요하다. 따라서 단기간에 수정하거나 반복 할 수 없고 장기간 유지됨으로 신중한 고려를 통해 의사결정 하게 된다.

하지만 천재지변, 시설물의 공장 등과 같은 불확실성에 의한 동적인 상황의 발생으로 인한 수송 경로의 수정 및 수송 방식의 변화와 같은 상황은 그에 따라 발생하는 비용이 바뀌고 기업의 입장에서는 손실을 최소화 하기 위한 대책이 필요하기 때문에 현실에서 보다 빈번하게 일어나며 전략이 수정되기도 한다.

기업은 기존 공급사슬 전략에 의해 입지가 완료된 시설물들 중 수요지의

요구 충족 및 비용의 절감, 이윤의 최대화를 위한 최적 수송경로 계획을 위해 수송경로에 적합한 시설들을 선택하여 공급사슬 전략을 구축한다. 또한 입지가 확정된 시설물들이 과거에는 공급 사슬 전략의 수송경로에 포함되었지만 불확실성에 의한 동적인 상황의 발생으로 수정된 공급사슬 전략에 의해 수송 경로에서 제외되어 공급사슬에 포함되지 않는 경우가 발생 할 수 있다.

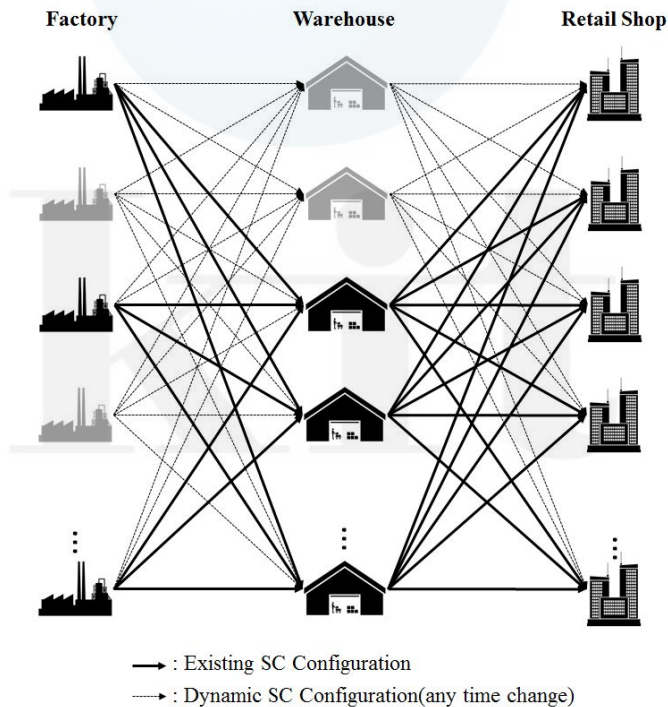
따라서 실제 현실의 불확실한 상황을 충분히 고려여 실시간으로 대응 할 수 있는 공급사슬 네트워크를 재배열하는 기법이 필요하다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로는 사전 모의실험(Simulation based Experiment)을 통하여 발생 가능한 상황을 모두 고려한 공급사슬 전략 후보들을 모델링 하고, 동적인 불확실성이 발생되면 그에 해당되는 최적화된 공급사슬 네트워크 전략을 수립하여 적용하는 프레임워크가 필요하다. 앞서 언급 했듯이 공급사슬의 설계에서 여러 가지 전략들을 직접 기업운영에 적용하는 것은 막대한 비용과 투자가 수반되기 때문에 아주 위험한 일이 아닐 수 없다.

이에 본 연구에서는 효과적인 공급사슬 네트워크 전략의 수립을 위해서 불확실성에 의한 동적인 상황이 수반된 공급사슬 전략들을 사전 모의실험을 통해 모델링 하고, 상황이 발생하면 그에 최적화된 전략을 바로 채택하여 대처할 수 있는 실시간 수송계획 동적 재배열 프레임워크를 제안한다.



## 1.2 연구의 범위 및 구성

본 연구는 제조 기업을 대상으로 기존에 입지를 결정한 공급사슬의 시설들이 존재하고 있으며, 최적의 수송 경로 계획 결정을 하기 위한 의사결정을 통해 공장, 창고, 소매점간의 수송경로와 수송량을 결정한다. 중요한 점은 각각의 공급사슬 시설들의 수송경로와 수송량은 소매점의 수요를 충족시키기 위해 언제든지 동적으로 바뀌게 되며, 그에 따라 제품의 수송을 위해 기존에 입지해 있던 시설들은 사용 될 수도, 그렇지 않을 수도 있다는 점이다. [그림 1.1]에서 보는 것과 같이 입지가 확정된 시설물들이 과거에는 공급 사슬 전략의 수송경로에 포함되었지만 동적인 상황의 발생으로 수정된 공급사슬 전략에 의해 수송경로에서 제외되어 공급사슬에 포함되지 않는 경우가 발생 할 수 있다.



[그림 1.1] 동적 공급사슬 수송경로 선택

이와 같이 공급사슬을 구성하는 시설물 중 공장, 창고 그리고 수요지의 개

수가 결정되면 이들 중 사용될 시설물의 선택과 그 경로의 구성, 수송량은 혼합정수계획법을 통해 수리적 모델을 구성하여 결정한다. 또한 발생 가능한 시나리오의 샘플링을 통해 여러번 시뮬레이션 하여 공급사슬 네트워크 전략들을 도출하기 한다. 이와 같은 연구 절차를 위해 공학용 소프트웨어 Matlab을 활용할 것이다.

본 논문은 총 5장으로 구성되어 있으며 각 장은 다음과 같이 구성된다.

제 2 장에서는 본 연구의 근간이 되는 시뮬레이션을 기반으로 한 공급사슬 네트워크 전략 수립에 관련된 연구와 논문들을 살펴보고 선행 연구들의 한계점 및 발전 방향에 대하여 알아보도록 하겠다.

제 3 장에서는 본 연구의 이론적 배경인 공급사슬관리에 대해 자세히 알아보기 위해 공급사슬관리에 대한 정의와 공급사슬관리의 발전과 확장에 대하여 정리 하겠다. 또한 본 연구에서 제안하는 시뮬레이션 기반 공급사슬 네트워크 전략 수립 프레임워크에 필요한 이론 및 기존 연구들의 방법들에 대해 자세하게 살펴보도록 하겠다.

제 4 장에서는 본 연구에서 제안하는 프레임워크에 대해 구체적으로 설명한 뒤 공급사슬 네트워크를 수리모형으로 모델링하고 이를 분석하기 위한 방법에 대해 설명한 뒤, 수치예제를 통해 실제 시뮬레이션을 통한 공급사슬 수송계획을 도출해 보고, 조건에 걸 맞는 최적 공급사슬 네트워크의 수송계획 및 수송량을 구해보도록 하겠다.

제 5 장에서는 본 연구의 결과를 정리하여 결론을 도출하고, 향후 연구과제에 대하여 논하겠다.

## 제 2 장 기존 논문 연구

### 2.1 공급사슬 네트워크(Supply Chain Network)에 관한 선행 연구

기업의 공급사슬의 설계에 있어서 시설물의 입지, 제품의 수송경로, 수요를 충족시킬 최적의 수송량은 중요한 의사결정 항목이다. Dal-Mas의 연구에서는 공급사슬의 원재료 구매가격의 불확실성이 내재된 특정 지역의 공급사슬 시설 입지와 수송방법의 선택, 수송경로 등을 결정하기 위해, 재무분석(Financial Analysis)을 통해 투자규모계획(Investment Capacity Planning)을 수립하기 위한 프레임워크를 제안하였다. 이를 통하여 제조공장(Factory) 및 보관창고(Warehouse)의 최적 결정 방법으로 확률계획법을 채택하여 프레임워크를 제안하고 있다.[1]

또한 공급사슬 네트워크 설계에 관한 수리 모형을 구축한 선행 연구에 대해서 살펴보면 2006년 김정대의 연구에서는 시장수요를 충족시키기 위해, 다수의 공급자와 다수의 공장 및 다수의 저장소로 이어지는 공급사슬 네트워크 상에서, 관련비용의 최소화를 위하여 공급자, 공장, 저장소를 모두 선정의 대상에 포함하는 공급사슬 네트워크를 설계하고 수리모형을 통해서 각 시장의 수요를 최소의 비용으로 충족시킬 수 있는 공급자, 공장, 저장소의 선정 및 공급자에서부터 시장까지의 수송비를 산정하였다. 그리고 공장의 경우, 각 공장의 생산량은 퍼지(fuzzy)기호로 표시된 제약식을 통해 적정 생산량에 근접하도록 하였다. 또한 적정 생산능력을 초과하거나 미달하는 경우에 발생하는 추가적인 비용을 반영하도록 함으로써 현실적인 요소를 고려하고 있다.[2]

공급사슬 네트워크의 효율적인 구성을 위해 시뮬레이션 기반 최적화 알고리즘을 사용한 연구는 2003년 Truong의 연구에서 나타난다. 공급사슬 시설의 위치, 생산 정책, 생산 용량 등 공급사슬을 구성하기 위한 요인들을 고려하여 사전 모의 실험을 통해 각각의 요인들을 모두 최적화 하는 프레임워크를 제안하고 있다.[3]

## 2.2 시뮬레이션 기반 의사결정 최적화에 관한 선행 연구

공급사슬의 의사결정 변수를 최적화 하기 위한 다양한 모의실험 프레임워크는 많은 선행 연구를 통해 그 기법들이 제시되었다. 이와 관련하여 2005년 Xiaota는 시뮬레이션 기반의 최적화 알고리즘 중 반응 표면 모델(Response Surface Model)과 확률 근사(Stochastic Approximation)의 중요성에 대해서 그의 연구에서 이야기 하였으며, 시뮬레이션 결과에 포함된 불필요한 결과인 노이즈(Noise)를 제거하는데 반응 표면 모델이 중요한 역할을 하는 것에 대해 설명하였다.[4] 무엇보다도 공급사슬 전략의 결정에 있어서 시뮬레이션 기반의 최적화 프레임워크가 효율적임을 제안하고 있다. 본 연구에서도 시뮬레이션 기반의 반응 표면 모델을 통해 모델로부터 도출된 최적의 결과를 공급사슬 전략 결정에 사용하는 방법을 제안한다.

Fernando(Fernando et al, 2006)의 연구 또한 시뮬레이션 기반의 최적화 프레임워크를 제안하였는데, 이산 시뮬레이션(Discrete Simulation)을 통해 상황을 모델링 하였으며, 전략수립 과정을 두 단계로 나누었으며, 선행단계에서 이산 발생 시스템 기반의 시뮬레이션을 진행하고, 후행 단계에서 휴리스틱(Heuristic) 알고리즘을 사용하여 최적화 과정을 제안하고 있다.[5] 본 연구에서는 이러한 기법을 발전시켜, 시뮬레이션 기반 최적화를 통하여 반응 표면 모델을 만들고, 이를 통해 동적 상황 하에서의 의사결정에 사용한다.

## 2.3 불확실성의 관리에 관한 선행 연구

공급사슬 설계에서 고려되는 변수들의 불확실성에 대해 2009년 Lee는 분산형 불확실성(Variance Type Uncertainty) 과 모호성 불확실성(Ambiguity Type Uncertainty)으로 구분하였다. 전통적 공급사슬 설계에서 불확실성의 연구 방향은 확률분포를 사용하여 분산형으로 모델링 하는 반면, 예측하고자 하는 변수들이 보다 모호하고, 정량화하기 힘들 때 퍼지 로직(Fuzzy Logic)를 통하여 그 불확실성은 모호성에 기반하여 모델링하고 풀어낼 수도 있다.[6]

공급사슬에서 고려되는 변수 중 수요의 불확실성과 관련하여 2000년 Gupta

는 재고의 고갈 문제를 해결하기 위한 방법으로 확률적 제약조건 기법 (Chance Constraint Programming)을 적용하여 공급사슬 전략을 설계 하였고, 2003년 그의 또 다른 연구 에서는 수요의 불확실성뿐만 아니라 소비자 물가지 수(Consumer Price Index)를 고려하여 공급사슬 설계에 있어서의 공급사슬 전략을 제안하였으며, 확률분포를 통해 확률적 최적화(Stochastic Optimization)기법을 통해 의사결정을 실시하였다.[7,8] 이러한 확률적 최적화 는 기존의 혼합정수계획법이 다루지 않았던 여러 개의 시나리오를 가정하고, 고려하여 해를 만든다는 사항에서 현재 많이 활용되고 있다.

기존의 혼합정수 계획법의 경우 2001년 Tsiakis는 공급사슬을 모델링하고, 공급사슬 네트워크에서 고려되는 비용의 최소화를 위한 설계에 사용 하였다.[9]

2005년 Santoso의 연구에서는 복잡한 시스템을 간단한 구조로 분해하여 조 건부 확률을 사용하는 분해법(Decomposition Method)과 표본 추출방법 (Sampling Method), 표본 평균 근사법(Sample Average Approximation)을 사 용해 공급사슬 설계 문제를 해결하는 방법을 제안하였다.[10]

또한 2006년 Almansoori의 연구에서는 이러한 기법을 활용해 공급사슬의 시설들 사이의 수송방법에 따른 최적 수송량의 결정과, 시설의 입지를 동시에 고려 하였다.[11] 반면, 시나리오 별 확률을 고려하거나, 분포자체를 계수로 가 지는 모델에서는 확률 계획법을 주로 사용한다.

2007년 Tsang의 연구에서는 다양한 상황에서의 제품생산 용량 계획을 위 한 순현재 가치(Net Present Value)를 확률적 분석을 통해 근사식을 찾는 방 법을 제안 하였다. 2007년 그의 또 다른 연구에서는 같은 방법을 통해 재무 리스크 분석을 하였다.[12,13]



## 제 3 장 이론적 배경

### 3.1 공급사슬관리

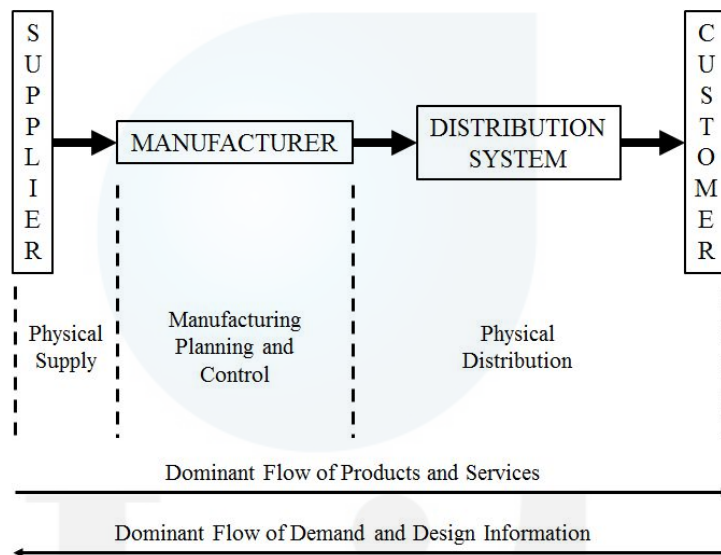
공급사슬관리(Supply Chain Management)는 1980년대 말부터 물류, 유통분야에서 사용되어 왔으며 고객의 요구를 충족시키기 위해 직간접적으로 참여하는 모든 요소들로 구성된다. 공급사슬은 일반적으로 원자재(Raw Material)를 생산하고 공급하는 공급자(Supplier), 원자재를 이용해 중간재 혹은 완제품을 생산하는 생산자(Manufacturer), 제품을 보관하고 운송, 분배하기 위한 유통(Distribution)과 제품의 수요를 발생시키는 고객(Customer)로 이루어진 사슬을 의미한다. 공급사슬을 구성하는 시설물들에는 공장(Factory), 창고(Warehouse), 판매지(Retail Shop)가 있으며 고객의 요구를 받고 이를 충족시키기 위한 다양한 기능들을 수행한다. 재고관리, 생산관리, 분배 및 유통의 기능을 하며 서로 유기적으로 작용한다. 과거에는 효율적인 물류관리를 위한 정도로 인식하였으나, 오늘날 기업에서는 더욱 포괄적인 개념으로 사용되고 있다. 본 절에서는 공급사슬관리에 대한 정의를 살펴보고, 그 등장 배경과 발전과정 그리고 성공요인과 그에 대한 효과에 대해 알아본다.

#### 3.1.1 공급사슬관리의 정의

공급사슬관리는 바라보는 시각이나 성향에 따라 다양하게 정의되어 질 수 있다. 그 중 공급사슬관리에 대한 일반적인 정의로 다음과 같은 정의가 활용될 수 있다.

“공급사슬관리란 공급자, 생산자, 물류창고 및 소매상을 효율적으로 통합하는 접근방식들의 집합이다. 공급사슬관리는 고객이 요구하는 서비스 수준을 만족하면서 기업이 운영하는 시스템 비용을 최소화하기 위함을 목적으로 하며, 이를 통하여 적절한 양의 제품과 서비스가 적절한 위치 및 시간에 생산되고 수송된다.[14]”

공급사슬의 개념에 대해 이해하기 위해 원자재의 흐름을 통한 관점에서 살펴보면 다음과 같이 이해 할 수 있다. 원자재가 물리적 공급 시스템을 통해 생산 공장으로 이동하고 원자재는 생산에서 처리되며 최종적으로 최종 상품은 물리적 유통시스템을 통해 최종소비자에게 전달된다. [그림 3.1]은 이 시스템을 도식적으로 보여준다. 이 그림은 단지 하나의 공급자와 하나의 고객을 보여주지만 일반적으로 공급망은 수요와 공급관계에서 여러 공장들로 구성된다.[15]



[그림 3.1] 공급자 - 생산 - 유통 시스템

### 3.1.2 공급사슬관리의 발전과 확장

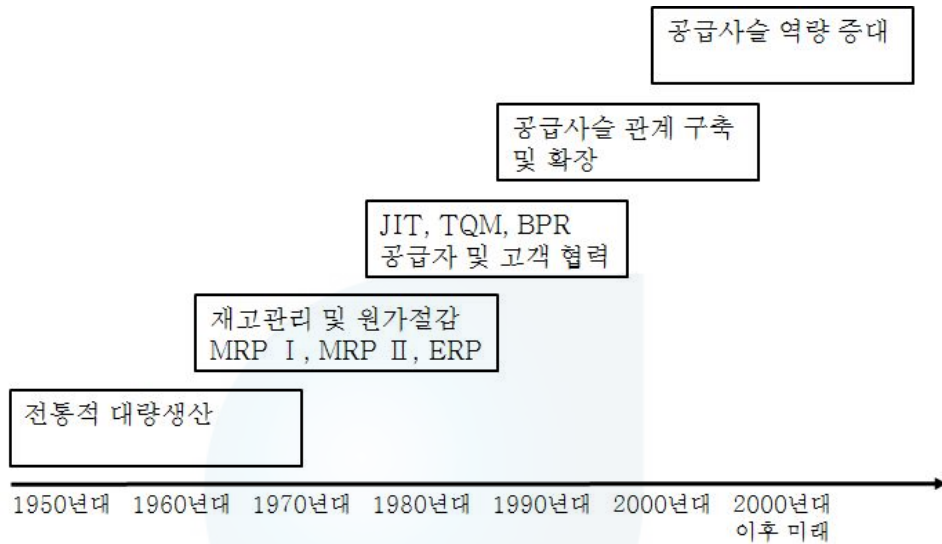
공급사슬관리의 발전과 확장에 대해서 [그림 3.2]와 같이 도식화 하였다. 1950년대와 1960년대에 기업은 공급자와의 파트너십 유지, 프로세스 설계와 유연성 및 제품품질 향상에 상대적으로 관심을 덜 가진 반면, 원가를 절감하고 생산성을 향상시키기 위하여 대량생산방식을 채택하였다. 신제품 설계와 개발은 지지부진 했고, 전적으로 내부자원과 기술력, 그리고 생산능력에 의존하였다. 전략적 구매자-공급자 파트너십을 통하여 기술과 전문지식을 공유한다는 얘기는 그때까지 들어볼 수 없었다. 기계를 가동시키고 자재흐름을 원활

하게 유지하기 위해 재고를 보유하였으며 그 결과 공정재고(Work-in-process, WIP)에 많은 투자가 이루어지게 되었다.

1960년대와 1970년대에는 필요한 자재의 소요량을 계산하여 발주하는 자재 소요계획(Material Requirement Planning : MRP I) 시스템과 제조자원을 총괄하여 관리할 수 있도록 확장하고자 하는 제조자원계획(MRP II) 시스템이 개발되었고, 재고량이 제조비용과 보관비용에 미치는 영향을 제조업체가 인식함에 따라 자재관리의 중요성이 강조되었다. 컴퓨터 기술의 발전에 따라 재고 추적 소프트웨어도 더 정교해 졌으며, 이로서 구매부품과 보급품에 필요한 내부 의사소통이 원활하게 되었고 재고비용 절감이 가능하게 되었다. 또한 생산, 자재, 협력업체, 고객, 배송, 회계, 원가 등 기업의 전 프로세스를 일관되게 통합할 수 있어야 한다는 요구가 나타나게 됨에 따라 MRP I와 MRP II를 기반으로 전사적 자원관리(Enterprise Resource Planning)시스템이 탄생하였다. ERP 시스템은 제조, 유통, 회계, 재무, 인적자원관리, 프로젝트관리, 재고관리, 서비스, 유지보수, 수송, 배송 등을 모두 통합하여 기업 전체에 접근성, 가시성, 일관성을 제공하게 되었다.[16]

1980년대부터 시작된 극심한 글로벌 경쟁으로 인하여 기업들은 질 높은 고객서비스와 함께 저원가, 고품질의 제품생산에 주력하게 되었다. 제조업체는 품질개선, 제조효율성, 납기개선을 위하여 적시(JIT)생산 시스템과 전사적품질경영(TQM) 시스템 전략을 활용했다. 재고가 거의 없이 운영되는 적시생산 시스템 환경에서 공급자-구매자-고객의 협력적이고 전략적인 관계의 중요성과 혜택을 기업이 이해하게 되었다. 1990년대 물류비와 재고비 증가, 시작의 글로벌화 경향으로 미국 내에서의 경쟁이 더욱 치열해짐에 따라, 품질개선, 제조효율성, 고객서비스, 신제품 설계 및 개발과 관련한 도전도 증가되었다. 이러한 도전에 대처하기 위해서 제조업체는 검증되고 우수한 서비스품질을 보유한 소수 선별된 공급업체로부터 부품을 구매하기 시작하였고, 또한 원가절감, 품질개선, 서비스개선 분야는 물론이고 신제품 설계 및 개발 분야까지 이러한 우수 공급업체들을 참여시켰다. 다시 말하면, 제조업체가 대부분의 구매물량을 소수의 정예 공급자에게 몰아주면, 그 대가로 이들 공급업체에게 도움을 받아서 납기, 품질, 제품설계의 개선을 통하여 더 많은 매출을 창출할 수 있으며, 또한 자신의 공정, 원자재, 부품에 관심을 기울여 원가절감을 기할 수 있음을

깨달았다. 이러한 구매자-공급자 협력관계는 대단히 성공적이었음이 입증되었다.[17]



[그림 3.2] 공급사슬관리의 역사

## 3.2 공급사슬 성과 요인

### 3.2.1 설비요인

공급사슬에서 설비는 실제 물리적인 위치로 제품을 보관하고 조립하며 또는 가공하는 장소를 의미한다. 설비의 두 가지 주요 형태는 생산장소와 저장장소이다. 설비의 위치, 용량, 유연성에 관한 의사결정은 공급사슬 성과에 큰 영향을 미친다. 예를 들어, 고객 대응도를 위해 노력하는 자동차 부품 배송업체는 비록 효율성은 감소되지만 고객에게 가까운 장소에 충분히 많은 창고 설비를 보유하고 있다. 고효율의 운송업체는 비록 고객 대응도는 감소하지만 효율성을 높이기 위해 적은 수의 창고를 보유하고 있다.

### 3.2.2 재고요인

재고는 공급사슬 내에 있는 원자재, 재공품, 완제품 모두를 포함한다. 재고 정책의 변화는 공급사슬의 효율성과 대응도에 지대한 영향을 끼친다. 예를 들어, 의류 소매자는 많은 양의 재고를 보유함으로써 고객 대응수준을 더 높일 수 있다. 그러나 많은 양의 재고는 소매자의 재고비용을 증가시키기 때문에 비효율적이다. 재고절감은 고객 대응도에는 해를 끼치지만 소매자로 하여금 효율성을 높여준다.

### 3.2.3 수송요인

수송은 공급사슬 내의 한 지점에서 다른 지점으로 재고의 이동을 수반한다. 수송은 그 방법과 경로에 따라 각각 특징적인 많은 조합을 생성할 수 있다. 수송의 선택은 공급사슬의 대응도와 효율성에 큰 영향을 미친다. 예를 들면, 우편 주문 판매회사는 제품을 배송하기 위해 Federal Express(FedEx)사를 이용함으로써 공급사슬을 더 효율적이게 한다. 그러나 FedEx사와 제휴한다면 높은 비용으로 효율성을 감소할 것이다. 또 기업은 제품 배송을 위해 육상운송을 사용함으로써 공급사슬의 효율성을 증가시키지만 고객 대응도에 있어서는 제약을 받기도 한다.

### 3.2.4 정보요인

정보는 공급사슬 전반에 걸친 재고, 운송, 고객에 대한 데이터와 분석 정보로 구성된다. 정보는 공급사슬 성과의 가장 큰 요소로써 다른 요소에 직접적으로 영향을 미치기 때문에 필수적이다. 정보는 공급사슬을 더 민첩하고 효율적으로 만들기 위한 기회의 경영을 의미한다. 예를 들어, 제약회사는 고객 수요의 동향에 대한 정보를 사용하여 고객의 수요에 앞서 미리 약품을 생산하고 저장할 수 있다. 고객은 원하는 시기에 원하는 물품을 찾을 수 있기 때문에 이는 공급사슬을 더 민첩하게 만든다. 또한 이러한 수요정보는 제약회사로 하여금 수요를 더 잘 예측하게 하고 단지 필요한 만큼만 생산하도록 하기 때문

에 더 효율적인 공급사슬을 가능케 한다. 또한 정보는 경영자에게 선적 옵션, 예를 들어 고객 서비스 요구수준을 만족시키는 가장 저렴한 비용을 가진 선택안을 제공함으로써 공급사슬의 효율성을 더 증가시킨다.

### 3.2.5 외주결정요인

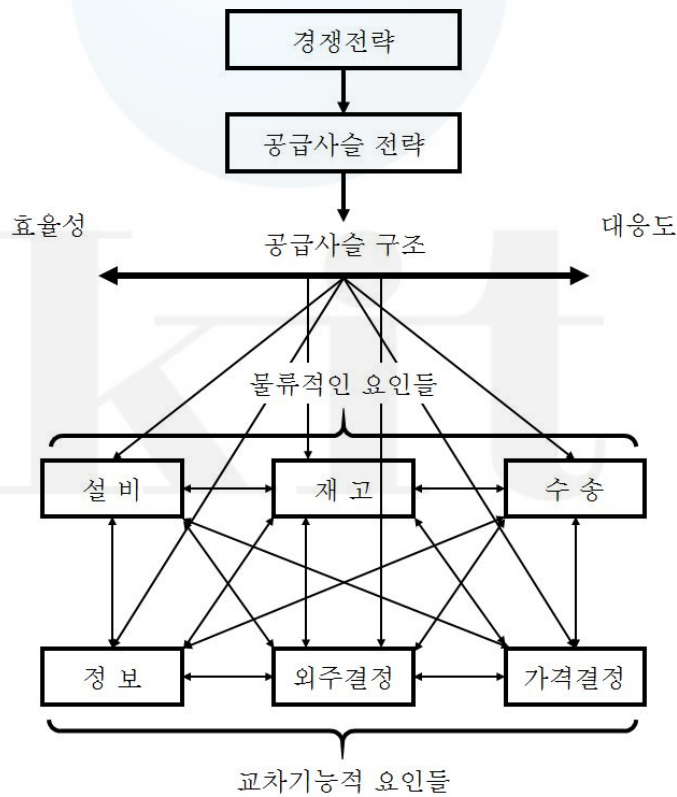
외주결정은 생산, 저장, 수송 또는 정보관리들과 같은 개별 공급사슬 활동을 누가 수행할 것인가에 대한 선택이다. 어떤기능은 회사 내에서, 그리고 어떤 기능은 외주를 통해 할 것인가에 대한 의사결정은 전략단계에서 결정된다. 외주에 대한 의사결정은 공급사슬의 대응도와 효율성에 영향을 끼친다. Motorola사는 그들의 많은 제품들을 중국에 있는 생산자와 외주생산하기로 계약한 후, 효율성은 증가되었으나 긴 거리로 인해 대응도는 손해를 입었다. 떨어진 대응성을 회복하기 위해 Motorola사는 증가된 수송비용에도 불구하고 그들의 몇몇 휴대전화를 항공기를 이용해 중국으로부터 가져왔다. 전자회사인 Flextronics사는 그들의 고객에게 대응적이면서도 효율적인 외주결정 옵션 모두를 제공하기 위해 생산자와 계약했다. 효율적인 저비용의 국가에 생산공장을 유지하면서 빠른 대응을 위해 미국 내에도 생산공장을 만드는 것을 시도하는 것이었다. Flextronics사는 이 공장들의 결합을 통해 모든 고객에 대하여 효과적인 외주가 되기를 바랬던 것이다.

### 3.2.6 가격결정요인

가격결정은 회사가 공급사슬 내의 가용한 상품과 서비스에 얼마나 많은 돈을 지불할 것이냐를 결정하는 것이다. 가격결정은 상품과 서비스의 구매자에게 영향을 미침으로써 공급사슬 성과에 영향을 끼친다. 예를 들어, 운송회사가 고객에게 제공되는 리드타임에 따라 가격을 변화시킨다고 한다면, 당연히 효율성에 가치를 두는 고객들은 일찍 주문을 할 것이고 대응도에 가치를 두는 고객들은 기다렸다가 제품이 배송되기를 원하는 직전에 주문할 것이다. 가격이 리드타임에 따라 달라지지 않는다면 빠른 주문들은 적어질 것이다.

이런 요인들에 대한 정의는 물류와 공급사슬 관리를 묘사하기 위한 것이다. 공급사슬 관리는 공급사슬 이익을 증가시키기 위해 물류 요인과 교차 기능적인 요인들의 사용을 포함한다. 교차 기능적인 요인들은 최근 몇 년 동안 공급사슬 이익을 증가시키는데 점점 더 중요하게 되었다. 물류 요인이 중요한 부분이긴 하지만, 공급사슬 관리는 점점 3개의 교차 기능적인 요인에 더욱 주목하고 있다.

앞서 이야기 했듯이 공급사슬 전략의 목적이 경쟁전략과의 전략적 적합성을 달성하기 위해 고객 대응도와 효율성 사이의 균형을 맞추는 것이라고 이야기 하였다. 이러한 목적에 도달하기 위해 기업은 앞서 소개한 3개의 물류 요인과 3개의 교차기능적 요인들을 올바른 조합으로 구조화해야 한다. 각각의 요인에 대해 공급사슬 관리자들은 효율성과 대응도 사이에서 다른 요소와의 상호작용에 기초해서 트레이드오프를 만들어야 한다.



[그림 3.3] 공급사슬 의사결정 구조

공급사슬의 의사결정 구조는 [그림 3.3]에 나타나 있다. 대부분의 기업들은 경쟁전략을 시작으로 하여 그들의 공급사슬 전략이 어떠한 방향으로 나아갈 것이지를 결정한다, 공급사슬 전략은 공급사슬이 효율성과 고객 대응성을 고려하여 어떻게 수행되어야 하는지를 결정한다. 공급사슬은 공급사슬 전략이 제시한 수준과 공급사슬의 이익을 최대화하는 성과를 달성하도록 3개의 물류 요인과 3개의 교차 기능적인 요인들을 이용해야 한다. 일반적으로 이러한 구조가 위에서 아래로 향하는 수직적인 관계로 보이지만, 6가지 구성요소에 대한 연구는 공급사슬과 심지어 경쟁전략까지 모두 변화해야 한다는 필요성을 지적하고 있다.[18]

### 3.3 공급사슬 네트워크 설계에서 불확실성의 영향

공급사슬 설계와 관련된 의사결정, 이를테면 지어야 할 공장의 수와 크기, 유통 시스템의 크기와 범위를 결정하거나, 설비를 구입해야 할지 대여해야 할지 결정하는 것과 같은 문제는 상당한 투자를 수반한다. 이러한 의사결정은 한 번 결정되면 단기간에 바꿀 수 없다. 그것들은 몇 년 동안 그대로 유지되고, 공급사슬 내에서 반드시 고려되어야 하는 제약 조건을 형성한다. 그러므로 이러한 의사결정은 가능한 한 정확하게 평가되는 것이 중요하다.

결정된 공급사슬 네트워크를 유지하는 동안 기업은 수요, 가격, 환율, 경쟁 환경에서 변동을 경험한다. 현재 환경에서 매우 좋아 보이는 의사결정은 상황이 변하면 매우 좋지 않을 수 있다. 예를 들어, 창고에 대한 장기계약은 창고의 수요와 가격이 미래에 변하지 않거나 창고의 가격이 오른다면 더욱 매력적이다. 반대로, 단기계약은 창고의 수요나 가격이 미래에 낮아지면 더욱 매력적이다. 수요와 가격의 불확실성의 정도는 기업이 가져야 하는 장기 및 단기 창고공간의 적절한 구성에 상당한 영향을 미친다.

수요와 가격의 불확실성은 공장에서 유연한 생산용량을 요구한다. 만약 가격과 수요가 글로벌 네트워크 내에서 시간이 지남에 따라 다양하게 변한다면, 유연한 생산용량은 새로운 환경 하에서 수익을 최대화하기 위하여 바뀔 수 있다. 1990년대 후반, 일본의 T자동차 회사는 각 공장이 다양한 시장에 공급할



수 있게 하기 위하여 글로벌 조립공장을 더욱 유연하게 하였다. 이러한 유연성의 주된 이익 중 하나는 그것이 수익을 최대화하기 위하여 생산을 변경함으로써 수요, 환율 그리고 가격에 존재한다면 기업은 적은 수요 또는 공급의 불확실성에 대해서도 유연한 글로벌 공급사슬을 구축할 것이다. 그러므로 공급, 수요, 그리고 재정적 불확실성은 네트워크를 설계하는 의사결정을 할 때 반드시 고려되어야 한다.[18]

### 3.4 공급사슬 위험관리와 네트워크 설계

글로벌 공급사슬 네트워크는 공급분열, 공급지연, 수요변동, 가격변동, 그리고 환율변동이 포함된 다양한 위험에 노출되어 있다. 만약 적절한 완화계획이 있지 않으면, 이러한 위험들은 공급사슬 성과에 막대하게 해를 끼칠 수 있다. [표 3.1]에 공급사슬 위험의 분류와 네트워크 설계 동안 고려되어야 할 위험의 요인들이 나와 있다.[18]

[표 3.1] 네트워크를 설계 시 고려되는 공급사슬 위험 요인

범 주	위험 요인
분열	천재지변, 전쟁, 테러 근로노동자의 반발, 공급자 파산
지연	공급원천의 높은 생산력 이용률 공급원천의 비유연성 공급원천의 나쁜 품질 또는 부족한 생산
시스템 위험	정보 하부구조 고장 시스템 통합 또는 네트워크화 되는 시스템의 확장
예측위험	긴 리드타임과 계절성에 기인한 부정확한 예측 제품 다양성, 짧은 수명주기, 작은 고객층
지적재산위험	공급사슬의 수직적 통합, 글로벌 아웃소싱과 시장
조각위험	환율위험, 단일원천으로부터 구매권 일부분 산업전반적인 생산능력 기동
채권위험	고객의 재정적 강세
재고위험	제품노후율, 재고유지비용, 제품가치 수용과 공급의 불확실성
생산능력	생산능력의 비용, 생산능력 유연성

좋은 네트워크 설계는 공급사슬 위험을 완화하는데 중요한 역할을 할 수 있다. 그러나 각 완화전략은 비용을 증가시키고 또한 다른 위험을 증가시킬 수 있다. 예를 들면, 재고 증가는 지연의 위험을 완화시키지만 폐기의 위험은 증가시킨다. 다수의 공급자를 얻는 것은 분열의 위험을 완화시키지만 각 공급자가 규모의 경제를 이루는데 어려움을 가지기 때문에 비용을 증가시킨다. 따라서 완화되는 위험의 양과 비용의 증가 사이에 알맞은 균형을 이루기 위해 네트워크를 설계하는 동안 맞춤 완화 전략을 개발하는 것은 매우 중요하다. 몇 가지 맞춤 완화전략이 [표 3.2]에 개략적으로 나와 있다.[18]

[표 3.2] 네트워크를 설계하는 동안의 맞춤 완화전략

위험완화 전략	맞춤 전략
생산능력 증가	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 저비용과 예측가능 수요에 대한 분산된 생산능력에 초점 맞추기</li> <li>- 예측 불가능한 수요에 집중화된 생산능력 짓기</li> <li>- 생산능력의 비용이 감소함에 따라 분산화 증가</li> </ul>
충분한 공급자 보유	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 공급원천의 높은 생산력 이용률</li> <li>- 공급원천의 비유연성</li> <li>- 공급원천의 나쁜 품질 또는 부족한 생산</li> </ul>
대응성 증가	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 필수품에 대해 대응성보다 비용의 관점 고려</li> <li>- 짧은 수명주기의 제품에 대해서는 비용보다 대응성의 관점 고려</li> </ul>
재고 증가	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 예측 가능하고, 더 낮은 가치의 제품의 재고 분산하기</li> <li>- 예측이 어렵고, 더 높은 가치의 제품의 재고 집중하기</li> </ul>
유연성 증가	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 예측 가능하고 대량 생산 제품에 대해 유연성보다 비용 고려</li> <li>- 예측이 어렵고, 대량 생산 제품에 대해 유연성 고려</li> <li>- 제품 가격이 높다면 소수의 지역에 유연성 집중하기</li> </ul>
수요공동관리 또는 통합	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 예측불가능 정도가 높을수록 통합증가</li> </ul>
공급처 능력 증가	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 높은 가치와 위험을 가진 제품에 대해 비용보다 생산능력의 관점 고려</li> <li>- 낮은 가치의 필수품에 대해 생산능력보다 비용의 관점 고려</li> <li>- 가능하다면 유연한 공급처에 높은 생산능력 집중하기</li> </ul>

## 3.5 불확실성 하에서 공급사슬 설계 의사결정

### 3.5.1 전략적 계획과 재정적 계획의 결합

대부분의 조직에서는 재정적 계획과 전략적 계획이 독립적으로 수행된다. 전략적 계획은 종종 정밀한 정량적 분석이 없이 미래의 불확실성을 준비하려고 시도하는 반면, 재정적 계획은 예측 가능한 혹은 잘 정의된 미래를 가정하고 정량적 분석을 수행한다. 의사결정자는 전략적 옵션의 구성-기다리는 옵션, 초과 생산능력을 가지는 옵션, 유연한 생산능력을 가지는 옵션, 장기계약을 하는 옵션, 현물시장으로부터 구매하는 옵션 등-을 고려하여 공급사슬 네트워크를 설계해야 한다. 다양한 옵션은 미래 불확실성의 맥락에서 평가되어야 한다.

### 3.5.2 평가를 위한 다양한 측정기준 사용

하나의 측정기준이 그림의 한 부분만을 보여 줄 수 있듯이 기업 수익, 공급사슬 수익, 고객 서비스 수준, 그리고 대응시간과 같은 다양한 측정기준을 사용하여 네트워크 설계 의사결정을 시험하는 것이 유익하다. 좋은 의사결정은 대부분 적절한 측정기준의 범위에서 잘 수행된다.

### 3.5.3 재정적 분석의 이용

재정적 분석은 종종 해결책을 도출하고 해결하는데 활용할 수 있는 정량적 자료가 풍부하기 때문에 의사결정 과정에서 훌륭한 도구이다. 그러나 재정적 방법론은 혼자서는 대안들의 완전한 그림을 제공하지 않고 다른 비정량적 입력요소와 함께 고려되어야 한다.

### 3.5.4 민감도 분석과 평가의 사용

재정적 분석에 사용되는 투입요소를 정확하게 측정하는 것이 불가능 하다

면 이를 활용하는 것은 어렵다. 이는 재정적 분석이 길고 지루한 과정이 되도록 할 수 있다. 매우 정확하게 투입요소를 산정하는데 과도한 시간이 걸릴 때 과정을 신속하게 하고 좋은 의사결정에 도달하는 가장 좋은 방법 중 하나는 예측된 투입요소값을 사용하는 것이다. 우리가 다른 현실지향적인 부분의 몇 가지를 논의했듯이, 평가를 사용하는 것은 평가가 민감도 분석으로써 예비될 때 좋다. 대개 투입의 어느 한 점을 도출하는 것보다 투입의 범위를 잡아 주는 것이 더 쉽다. 투입의 범위에 민감도 분석을 수행함으로써, 경영자들은 종종 진실한 투입이 범위 내 어디에 놓여 있다 할지라도 의사결정은 동일함을 보일 수 있다.[18]

## 3.6 시뮬레이션 기반 설계

### 3.6.1 시뮬레이션

일반적으로 시뮬레이션이란 실제 시스템의 모델을 설계하고 시스템의 거동과 운영에 대해 실행 가능한 여러 방법을 이해하기 위하여 모델을 실험하는 일체의 과정이라고 정의할 수 있겠다.

오늘날의 시뮬레이션 프로젝트는 복잡한 시스템을 설계하거나 재설계하는데 초점을 맞추고 있다. 이들은 종종 개발된 시뮬레이션으로 검증되는 새로운 시스템 제어 논리의 개발을 이끌어 내는 복잡한 시스템 제어 쟁점들을 다루어야 한다.

시뮬레이션은 복잡한 공정 또는 시스템의 설계 및 운영의 결과를 효율적으로 분석하는 도구 중의 하나이다. 치열한 경쟁 사회에 있어서 시뮬레이션은 대상을 미리 예측, 비교할 수 있다는 점에서 시스템 분석에 있어 매우 훌륭한 도구이다.

시뮬레이션은 실제 시스템의 거동을 모방하기 위한 방법과 응용의 광범위한 집합으로, 보통 적절한 소프트웨어로써 컴퓨터상에서 수행된다. 대다수의 사람들이 시스템을 공부하는 목적은 시스템의 성능을 평가하고, 시스템의 운영을 향상시키며, 존재하지 않는 시스템을 설계하기 위한 것이다. 때로는 시스

템을 직접 시험할 수 없다. 이런 경우 모델을 구축함으로써 아무런 피해 없이 그 모델을 여러 가지 아이디어로 마음대로 시험함으로써 가치 있는 대안을 찾아낼 수 있는데, 이런 것은 실제로 시험에 볼 수 없었던 것들이다.

수학적인 정확한 해를 구하지 못할 수도 있는데, 바로 그러한 부분에서 시뮬레이션이 필요하다. 컴퓨터 시뮬레이션은 시스템의 운영과 특성을 모방하기 위하여 고안된 소프트웨어를 사용하여 수치적인 평가를 함으로써, 현실 세계 시스템의 광범위한 모델의 다양성을 연구하는 방법을 말한다.

실질적인 관점에서 시뮬레이션은 주어진 조건에 대하여 그 시스템의 행동에 대한 보다 나은 이해를 제공할 수 있도록 수치적인 실험을 수행할 목적으로, 실제 시스템이나 제안된 시스템에 대한 컴퓨터화 된 모델을 설계하고 창조하는 과정이다.

시뮬레이션에 의한 데이터 수집의 강점은 항상 보다 많은 반복 실행에 의해 보다 많은 것을 얻을 수 있다는 것이다.[19]



### 3.6.2 시뮬레이션의 특징

시뮬레이션을 활용하기 위해서는 시뮬레이션의 특성을 충분히 파악하고 이해해야 한다. 시뮬레이션의 특징을 장단점으로 살펴보면 [표 3.3]과 같다.[20]

[표 3.3] 시뮬레이션의 장단점

장점	단점
복잡한 모델을 다룰 수 있다	시뮬레이션에 의한 해가 최적해가 아닐 수 있다.
시행착오 없이 현실시스템에 적용 가능하다.	효과적인 시뮬레이션 모형 개발에 많은 경험과 노력이 필요하다
현실 시스템 대안을 쉽게 비교 할 수 있다.	시뮬레이션으로 얻은 출력자료는 통계적 표본값에 불과해 통계적 처리를 해야한다.
수리적인 방법으로 해를 구할 수 없는 경우 해결책이 될 수 있다.	시뮬레이션 결과를 분석하기 위해서는 통계적인 전문 지식이 있어야 한다.
외부 환경변화의 조절이 쉽다.	시뮬레이션 모델링과 분석을 하는 시간이 많이 들고, 그 비용이 비싸다.
운영 중인 시스템에 방해를 주지 않고 새로운 운영방안, 정책을 실험할 수 있다.	수학적인 방법(공식이나 알고리즘)으로 해결 가능한 경우, 시뮬레이션을 이용하는 것은 비효율적일 수 있다.
새로운 하드웨어의 구입 없이 전체적인 시스템의 성능을 평가할 수 있다.	
시스템 요소들 간의 상호작용에 대한 통찰력을 제공한다.	
시스템의 병목(Bottleneck)지점을 발견 할 수 있다.	
What if 질문에 대한 해답을 제공한다.	

### 3.6.3 컴퓨터 시뮬레이션

컴퓨터 시뮬레이션은 시스템의 운영 또는 특성을 모방하기 위하여 설계된 소프트웨어를 사용하여 수치적인 평가를 함으로써, 현실세계 시스템의 다양한 모델을 연구하는 방법을 지칭한다. 실질적인 관점에서 보면, 시뮬레이션은 주어진 조건하에서 시스템의 거동에 대한 보다 나은 이해를 제공할 수 있도록 수치적인 실험을 수행할 목적으로, 실제 시스템이나 제안된 시스템에 대하여 컴퓨터화된 모델을 설계하고 생성하는 과정이다. 시뮬레이션은 간단한 시스템의 연구에도 사용될 수 있지만, 실질적인 강점은 복잡한 시스템의 연구에 사용될 경우에 나타난다.

시뮬레이션은 모델을 공부하는데 사용할 수 있는 유일한 도구는 아니지만, 자주 선택되는 방법이다. 그 이유는 시스템을 정확하게 나타낼 필요가 있다면, 시뮬레이션 모델이 꽤 복잡해질 수 있으며, 그 복잡한 모델에 대해서도 여전히 분석이 가능하다는 점이다. 다른 방법들은 분석을 가능하게하기 위해 시스템에 관한 가정을 더욱 단순화하기를 요구할지도 모르며, 이것은 모델의 유효성에 대해 의문을 갖게 할 수도 있다.[21]





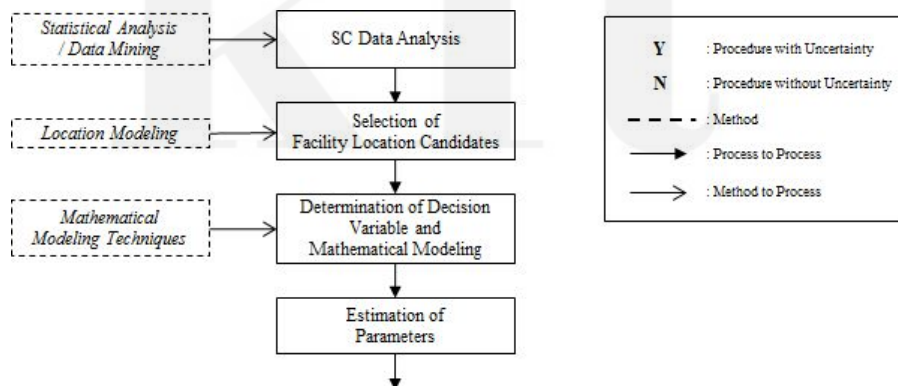
# 제 4 장 시물레이션 기반 공급사슬 네트워크의 동적 재배열 프레임워크

## 4.1 시물레이션 기반 반응 표면 모델 구성 절차

### 4.1.1 공급사슬 데이터 분석과 수리 모형의 수립

공급사슬 네트워크를 구성하는 물류적인 요인인 설비, 재고, 수송과 교차 기능적 요인인 정보, 의주결정, 가격결정과 관련된 정보들이 수집되면 공급사슬 네트워크 전략의 수립을 위해 수집된 정보들을 통계적 분석(Statistical Analysis)과 데이터 마이닝(Data Mining)과 같은 기법을 통해 공급사슬 전략 수립에 필요한 관심있는 데이터들을 분석하고, 유용한 데이터 들을 분류한다.

또한 기존 입지된 시설물중 공급사슬 네트워크에 포함 될 후보지를 선정한다. 이 후 공급사슬 네트워크의 수리 모형 수립을 위해 의사결정 변수를 정의하고 목적함수, 제약조건으로 구성된 수리 모형을 결정한다. 수리 모형이 결정되면 수리 모형을 구성하는 변수들의 파라미터를 추정한 뒤, 불확실성을 띄는 변수의 유, 무에 따른 절차를 따르기 위해 확인한다.[그림 4.1]

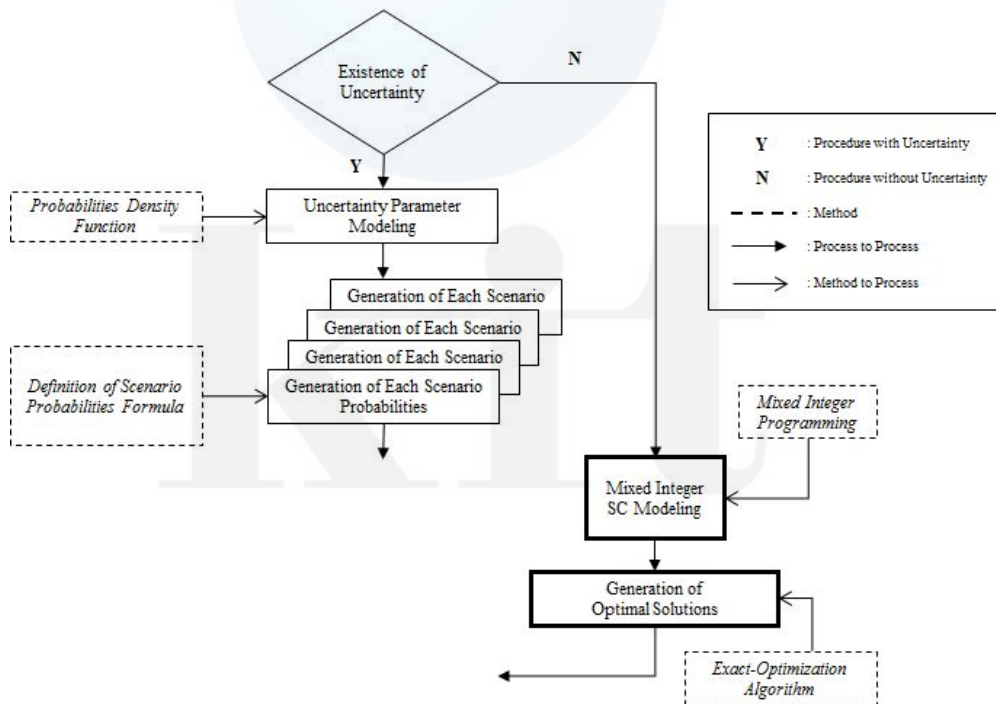


[그림 4.1] 공급사슬 데이터 분석, 수리모형 구축 그리고 변수 추정 단계

### 4.1.2 불확실성에 따른 절차 이분화

공급사슬 네트워크를 구성하는 요인들 중 불확실성을 띄고, 동적인 상황을 유발할 가능성이 높은 요인을 모델링 하기 위해 확률분포를 사용한 분산형 (Variance Type) 모형을 사용한다. 불확실성에 의해 발생 가능한 상황들의 시나리오를 이산형(Discrete)상황으로 보고 각각의 시나리오별 발생 확률에 대해 확률 밀도 함수(Probabilities Density Function)로 계산하여 정의한 뒤 다음 절차를 진행한다.

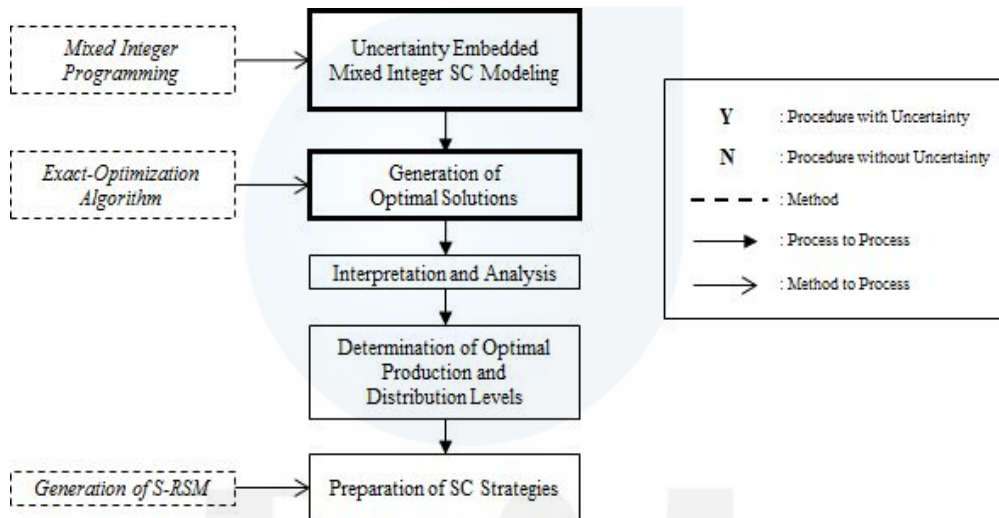
만약 추정된 파라미터가 불확실성을 띄지 않는다면 앞서 수립한 공급사슬 네트워크의 수리모형을 적합한 수리 모델 해석 기법과 최적화 알고리즘의 적용을 통해 연산하여 최적 대안을 수립하고 다음 절차에 따라 진행 한다.[그림 4.2]



[그림 4.2] 불확실성에 따른 절차 이분화 단계

### 4.1.3 최적 대안 구축 및 시물레이션 기반 반응표면 모델 정립

불확실성이 내재된 공급사슬 수리모형을 적합한 수리 모델 해석 기법과 최적화 하기 위한 알고리즘의 적용을 통해 연산한 뒤 앞서 결정한 의사결정 변수인 생산량과 공급사슬 네트워크를 구성하는 시설물의 네트워크 포함 유, 무에 대해 정의한다. 그 결과로 구성된 공급사슬 네트워크 전략을 확률 밀도 함수를 사용한 시물레이션 기반 반응 표면 모델로 구축한다.[그림 4.3]

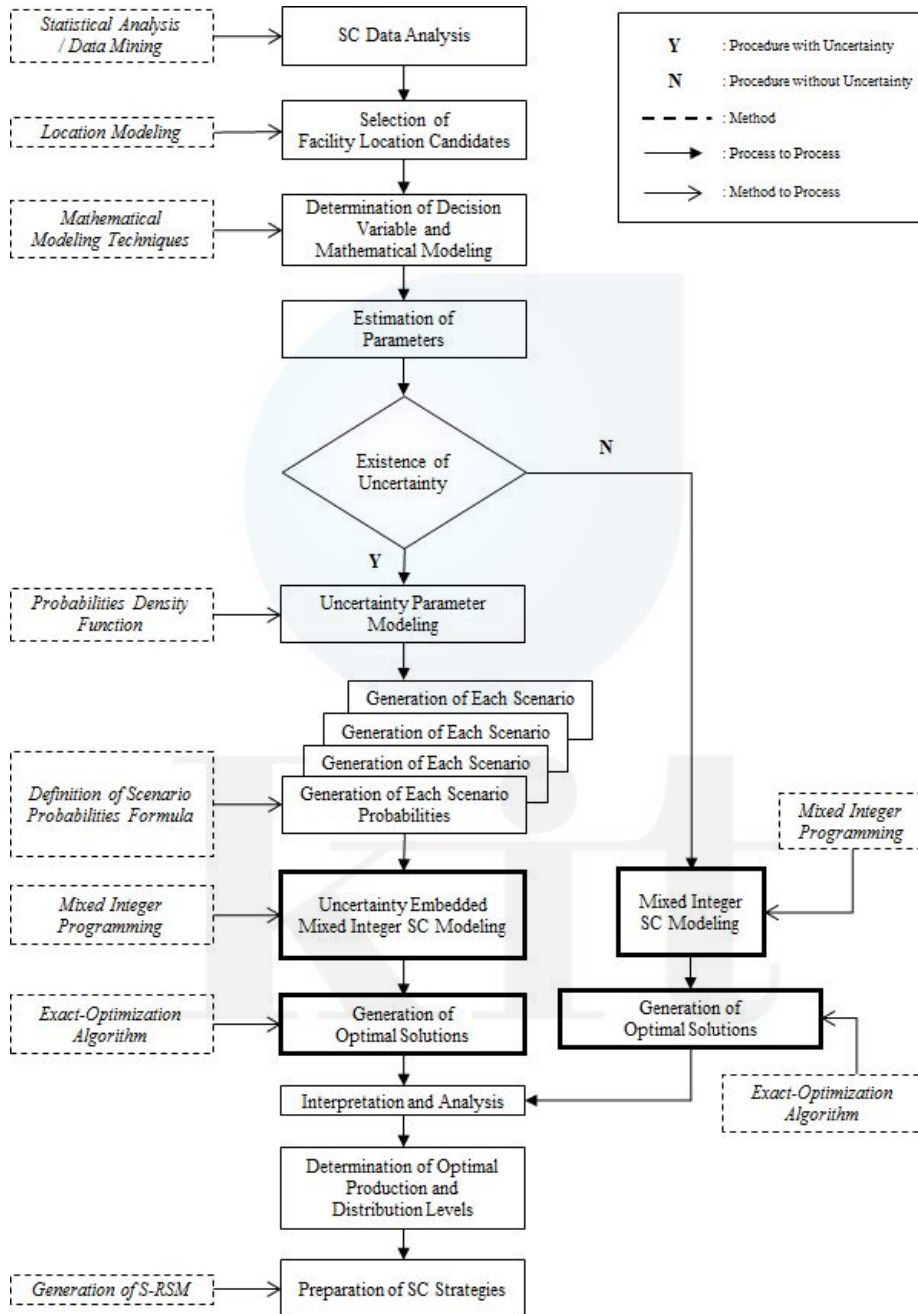


[그림 4.3] 시물레이션 기반 반응 표면 모델 구축 단계

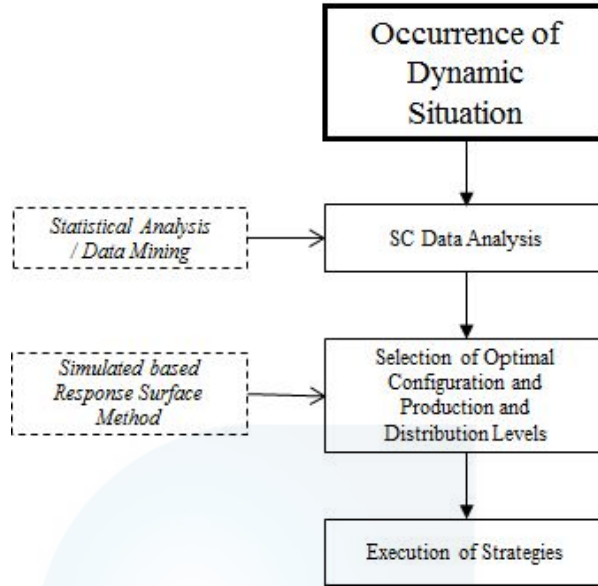
본 연구에서 제안하는 시물레이션 기반 반응 표면 모델을 사용한 공급사슬 네트워크 프레임워크는 앞서 이야기한 절차들을 종합하여 [그림 4.4]와 같은 프로세스에 의해 구축된다. 불확실한 상황의 발생을 확률분포를 사용하여 모델링하고, 공급사슬 네트워크 전략을 수립하기 이전에 시물레이션을 통하여 시나리오에 걸 맞는 최적 대안들을 구축해 놓음으로써 동적인 상황이 발생하였을 때 이에 대처하는 수송계획이 빠르게 재 생성되어 대처 할 수 있게 된다.

절차에 따라 발생 가능한 시나리오를 모두 고려하여 시물레이션을 하여 공급사슬 네트워크 전략 후보들이 준비가 되면, [그림 4.5]에서처럼 불확실성에 따른 동적인 상황이 발생하였을 때, 발생한 상황에 대한 통계적 분석과 같은 정량적인 분석 절차에 따라 분석 결과가 구해진다. 이어서 분석 결과를 시

물레이션 기반 반응표면모델에 대입하여 산출된 결과에 따라 준비된 후보들 중 적합한 공급사슬 네트워크 전략을 수립하게 된다.



[그림 4.4] 시물레이션 기반 반응 표면 모델의 구축 절차



[그림 4.5] 동적 상황 발생 시 공급사슬 네트워크의 재 구성 절차

## 4.2 공급사슬 네트워크 문제의 정의

본 연구에서는 제조 기업에서 일반적으로 일어날 수 있는 상황을 토대로 문제를 정의하고 앞서 제안한 프레임워크의 여러 가지 절차에 따라 문제 해결을 위해 집행된다.

기업이 공급사슬 네트워크를 구성하는 물류적인 요인과 교차 기능적 요인들을 고려하여 공급사슬 네트워크 전략을 수립한 상태에서 기존에 입지를 결정한 공급사슬의 시설들이 존재 하고 있으며, 의사결정을 통해 공장, 창고, 소매점 간의 수송경로를 최적화 하여 공급사슬 네트워크 전략을 수립하고, 수립된 경로를 통해 유통되어 질 수송량을 결정한다. 관련된 다른 연구들과는 다르게 본 연구에서 중요한 점은 각각의 공급사슬 네트워크를 구성하는 시설들의 수송경로는 수요가 발생하는 수요지인 소매점의 요구를 충족시키기 위해 언제든지 동적으로 바뀌게 되며, 그에 따라 제품의 수송을 위해 기존에 입지해 있던 시설들은 사용 될 수도, 그렇지 않을 수도 있다는 점이다.

따라서 본 연구에서는 위와 같은 실제 문제에 몇 가지 가정을 더하여 관련 모델링을 실시한다.

가정 1)

공급사슬 네트워크를 구성하는 시설물은 완제품을 생산하기 위한 공장 (Factory), 생산된 완제품을 보관하기 위한 창고(Warehouse), 수요가 발생하는 수요지인 소매점(Retail Shop)으로 구성하며, 공장에서는 1가지 종류의 단일 제품이 생산된다.

가정 2)

공장과 창고, 소매점의 개수는 일정 수준으로 한정하여 배치하고, 기업의 공급사슬 전략에 의해 이미 입지가 완료되어있다.[그림 4.6]

가정 3)

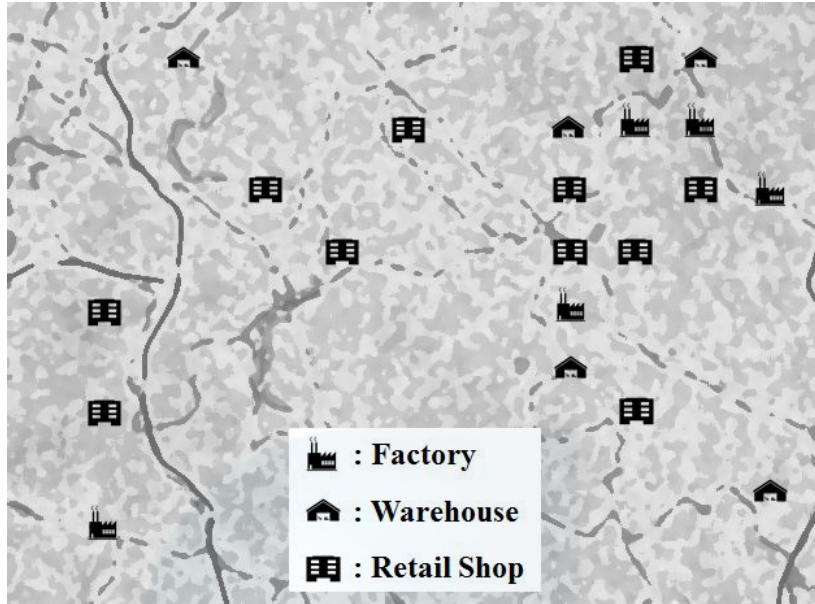
입지가 완료된 시설물들 중 공급사슬 네트워크 전략의 수립에 있어서 수송 계획에 포함 될 수도, 포함 되지 않을 수도 있다.[그림 4.7]

가정 4)

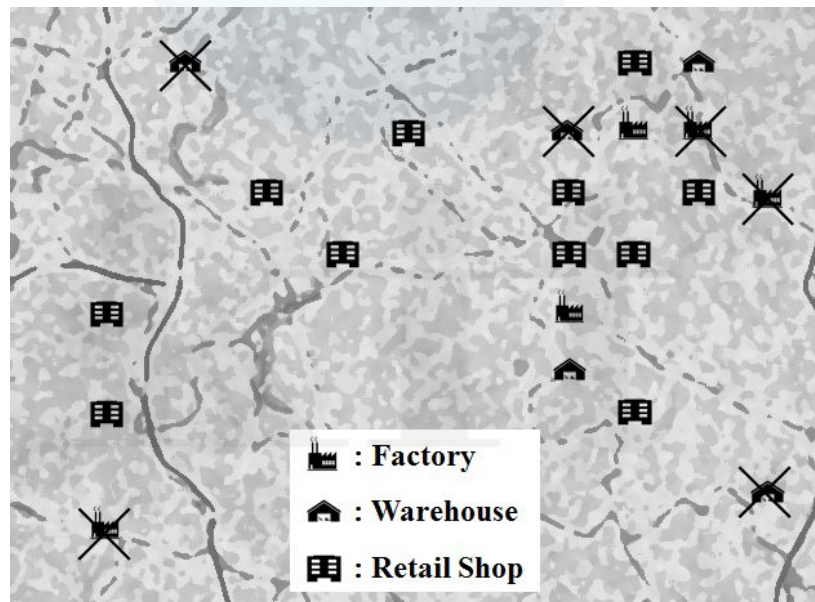
공급사슬 네트워크를 구성하는 시설물들 중 공장의 생산능력과 창고의 수용능력이 불확실성을 띄고 있음을 가정한다.

가정 5)

공급사슬 네트워크를 구성하는 시설물들 수요지는 하나의 창고로부터 제품을 받아와 수요를 충족 한다.



[그림 4.6] 기존 입지가 완료된 공급사슬 시설물



[그림 4.7] 수송계획에 따른 시설물의 사용 유, 무

## 4.3 수리모형

본 연구에서 사용하는 수리적 모델의 변수 및 기호 표현은 다음과 같다.

### 4.3.1 집합변수의 정의

[표 4.1] 집합변수들의 정의

Modeling Symbol	Description
$f \in F$	Set of Factories.
$w \in W$	Set of Warehouses.
$s \in S$	Set of Shops.
$FCap_f \in A$	Set of factories' capacities.
$WCap_w \in B$	Set of warehouse' capacities.
$\pi'_{PCap_f WCap_w}$	Occurring probabilities of $(PCap_s, WCap_w)$ scenarios.

[표 4.1]은 수리모델에 필요한 파라미터들에 대하여 보여준다. 공장, 창고, 소매점은 각각  $f$ ,  $w$ ,  $s$ 로 표현되며,  $FCap_f$ 는 공장의 생산능력을 나타내고,  $WCap_w$ 는 창고의 저장한계를 나타낸다.  $\pi'_{PCap_f WCap_w}$ 는  $FCap_f$ 와  $WCap_w$ 로 이루어지는 각각의 시나리오의 발생 확률을 보여준다.



### 4.3.2 의사결정 변수의 정의

[표 4.2] 의사결정변수들의 정의

Modeling Symbol	Description
$X_{f,w}$	The amount of Product $p$ (from factory $f$ to warehouse $w$ )
$Y_{s,w}$	A binary variable taking value 1 (when $s$ is associated with $w$ )

[표 4.2]는 모델링에서의 독립변수인 의사결정변수를 보여준다.  $X_{f,w}$ 는 공장  $f$ 에서 창고  $w$ 간의 운송량을 나타내며,  $Y_{s,w}$ 는 이진수 형태의 의사결정 변수로서 1이면 창고  $w$ 에서부터 소매점  $s$ 까지 제품을 수송하는 수송 경로가 공급사슬 망으로 선택된다는 것을 의미한다. 이렇게 구성된 수리계획법은 제품의 최적 운송량과 수송 경로의 선택 유무를 구하기 위해서 혼합 정수 선형 계획법(Mixed Integer Linear Programming)을 통해 최적화된 값이 도출된다.



### 4.3.3 파라미터의 정의

[표 4.3] 파라미터들의 정의

Modeling Symbol	Description
$MTC$	Manufacturing and Transportation Cost
$FW_{f,w}$	The cost of product that is transported from Factory to Warehouse
$WS_{s,w}$	The cost of product that is transported from Warehouse to Shop
$PC_f$	The Cost of Manufacturing of Product in Factory
$TD_{f,w}$	The Transportation Distance between Factory and Warehouse
$TC$	The Transportation Cost of Product
$D_s$	The Demand for each Product in a Shop
$TR$	The Turnover Rate of Product

### 4.3.4 수리모형의 정의

[표 4.3]에서는 목적함수와 제약식을 구성하는 파라미터들을 보여준다.

$$\inf MTC_{FCap_f, WCap_w} \times \pi'_{FCap_f, WCap_w}$$

$$\forall, FCap_f, WCap_w \text{ 식(1)}$$

목적함수는 식(1)과 같이 이루어지며 공급사슬의 제조비용과 운송비를 포함한 비용은  $MTC_{FCap_f, WCap_w}$  표현하며, 공장의 최대 생산능력 한계가  $FCap_f$  이고

창고의 저장능력 한계가  $WCap_w$  일 때의 확률  $\pi'_{FCap_f WCap_w}$ 의 값을 최소화 하는 것으로 표현된다.

$$MTC_{FCap_f WCap_w} = FW_{f,w,FCap_f, WCap_w} + WS_{s,w,FCap_f, WCap_w}$$

$$\forall ,FCap_f, WCap_w \text{ 식(2)}$$

$MTC_{FCap_f WCap_w}$ 는 공장의 최대 생산능력 한계가  $FCap_f$ 이고 창고의 저장능력 한계가  $WCap_w$ 일 때, 공급사들의 제조비용과 수송비용을 의미하며, 식(2)와 같이 표현된다.  $FW_{f,w}$ 는 공장  $f$ 로 부터 창고  $w$ 까지 운송될 때의 수송비용을 의미하며 식 (3)과 같고,  $WS_{s,w}$ 는 창고  $w$ 에서부터 소매점  $s$ 까지 운송될 때 수송비용이며 식 (4)와 같이 표현된다.

$$FW_{f,w,FCap_f, WCap_w} = \sum_f \sum_w X_{f,w} \times ((TC \times TD_{f,w}) + PC_f)$$

$$\forall ,FCap_f, WCap_w \text{ 식(3)}$$

$$WS_{s,w,FCap_f, WCap_w} = \sum_s \sum_w (D_s \times TC \times TD_{s,w} \times Y_{s,w})$$

$$\forall ,FCap_f, WCap_w \text{ 식(4)}$$

즉, 공장  $f$ 에서 생산되는 생산비용은  $PC_f$ 로 표현하며, 생산된 제품이 공장  $f$ 에서 창고  $w$ 로 운송되는 거리는  $TD_{f,w}$ 로 표현한다. 이때 운송하는 비용은  $TC$ 로 표현한다. 소매점  $s$ 에서 수요는  $D_s$ 로 표현하며, 재고회전율은  $TR$ 로 표현하였다.

$$s.t \quad \sum_f X_{f,w} = \sum_s (D_s \times Y_{s,w}) \quad \text{식(5)}$$

$$\sum_w X_{f,w} \leq FCap_f \quad \text{식(6)}$$

$$\sum_s \frac{D_s}{TR} \times Y_{s,w} \leq WCap_w \quad \text{식(7)}$$

$$\sum_w Y_{s,w} = 1 \quad \text{식(8)}$$

$$X_{f,w} \geq 0 \quad \text{식(9)}$$

$$Y_{s,w} \in \{0,1\} \quad \text{식(10)}$$

제약조건들은 식(5)~식(10)과 같이 구성된다. 수요의 충족을 위한 제약은 식(5)와 같이 표현되며, 공장의 수요가 발생하는 수요지  $s$ 에서 수요량인  $D_s$ 와 창고에서 수요지로 제품이 운송되는 수송경로로 선택되는 지에 대한 유, 무를 결정하는 의사결정 변수인  $Y_{s,w}$ 의 곱의 총 합이 공장  $f$ 에서 창고  $w$ 로 운송되어질 운송량의 총합  $\sum_w X_{f,w}$ 과 같아야 함을 표현한다.

공장  $f$ 의 생산능력  $FCap_f$ 에 관한 제약은 식(6)와 같이 표현되며, 공장  $f$ 에서 창고  $w$ 로 운송되어질 운송량 총합  $\sum_w X_{f,w}$ 은 공장  $f$ 의 생산능력  $FCap_f$ 과 같을 수는 있으나 넘을 수는 없음을 표현한다.

창고  $w$ 의 수용능력  $WCap_w$ 에 관한 제약은 식(7)과 같이 표현되며, 수요가 발생하는 수요지  $s$ 에서 수요량인  $D_s$ 를 회전률  $TR$ 로 나눈 값에 창고에서 수요지로 제품이 운송되는 수송경로로 선택되는 지에 대한 유, 무를 결정하는 의사결정 변수인  $Y_{s,w}$ 의 곱의 총 합이 창고  $w$ 의 수용능력  $WCap_w$ 와 같을 수는 있으나 넘을 수는 없음을 표현한다.

수송 경로와 관련된 제약조건인 식(8)은 각각의 수요지는 하나의 창고로부터 수요를 충족받는다.

비음조건인 식(9)는 공장  $f$ 에서 생산되어 창고  $w$ 로 운송되어질 운송량  $X_{f,w}$ 는 음의 수를 가질 수 없음을 의미한다.

식 (10)은 이진수 형태의 의사결정 변수인  $Y_{s,w}$ 는 가 1이면 창고  $w$ 에서부터 소매점  $s$ 까지 제품을 수송하는 수송 경로가 공급 사슬 망으로 선택된다는 것을 의미한다. 0일 경우 수송 경로로 선택되지 않음을 의미한다.

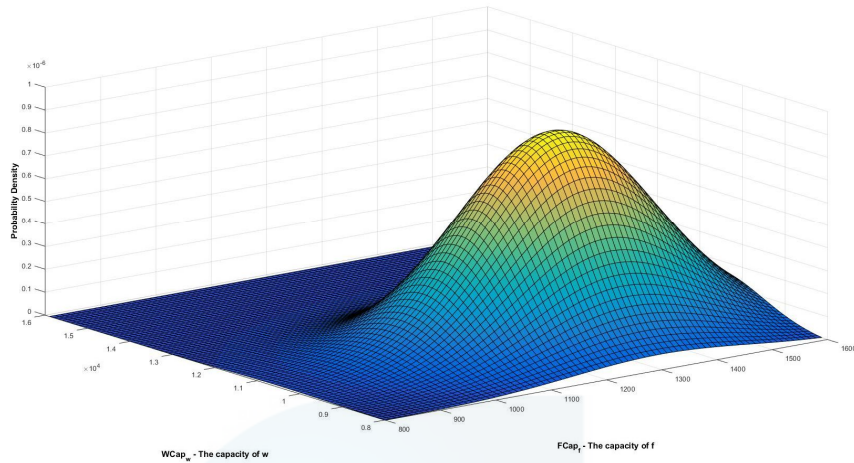
## 4.4 시물레이션 기반 반응표면 모델의 구성

### 4.4.1 불확실성 모형

본 연구에서 공장의 생산능력 와 창고의 수용능력 는 불확실성을 띄고 있음을 앞서 가정하였다. 불확실성은 식(11)과 식(12)과 같이 확률밀도 함수로 표현되며, [그림 4.8]과 같은 모습의 다변량 정규 분포(Multivariate Normal PDF)를 통해 그 불확실성이 가시화 된다.

$$P(FCap_f) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{FCap_f}}} \exp\left[-\frac{(FCap_f - \overline{FCap_f})^2}{2\sigma_{FCap_f}^2}\right] \quad \text{식(11)}$$

$$P(WCap_w) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{WCap_w}}} \exp\left[-\frac{(WCap_w - \overline{WCap_w})^2}{2\sigma_{WCap_w}^2}\right] \quad \text{식(12)}$$



[그림 4.8] 다변량 정규분포(Multi-variate Normal PDF)로 가시화된  
공급사슬의 불확실성

#### 4.4.2 시뮬레이션 기반 반응표면 모델 구성을 위한 조건 정의

본 연구에서 제안하는 시뮬레이션 기반 반응표면 모델 구성을 위하여 불확실성의 발생 시나리오의 조건을 정의한다. 본 연구에서 발생하는 불확실성은 공급사슬 네트워크를 구성하는 공장의 생산능력, 창고의 수용능력이다. 공장의 생산능력은  $FCap_f$ 로 표현하기로 하였고, 창고의 수용능력은  $WCap_w$ 로 표현하기로 하였다. 각각의 불확실성은 식(13)과 식(14)와 같이 평균과 분산을 가지는 정규분포로 표현된다.

$$P(FCap_f) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{FCap_f}} \exp\left[-\frac{(FCap_f - \overline{FCap_f})^2}{2\sigma_{FCap_f}^2}\right]$$

$$\text{where, } \overline{FCap_f} = 1300, \sigma_{FCap_f} = 160 \quad \text{식(13)}$$

$$P(WCap_w) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{WCap_w}}} \exp\left[-\frac{(WCap_w - \overline{WCap_w})^2}{2\sigma_{WCap_w}^2}\right]$$

$$\text{where, } \overline{WCap_w} = 10500, \sigma_{WCap_w} = 1100 \quad \text{식(14)}$$

[표 4.4] 시나리오별 발생 확률

	$FCap_f$		
$WCap_w$	$\pi'_{FCap_f WCap_w}$	800	920
	13900	0.11272	0.00008
	15900	0.88659	0.00062

[표 4.4]에서는 식(13)과 식(14)에서 정의한 평균과 분산에 따라 공장의 생산능력  $FCap_f$ 와 창고의 수용능력  $WCap_w$ 의 발생 가능한 상황을 각각 두 가지로 정리하였으며, 조합에 의해 총 4가지의 상황이 발생함을 표현하였다. 각각의 시나리오  $FCap_f \in A = [800, 920]$ 와  $WCap_w \in B = [13900, 15900]$ 에 따른 발생 확률은 첫 번째 시나리오에서 공장의 생산능력  $FCap_f$ 이 800이고, 창고의 수용능력  $WCap_w$ 이 13900일 때 0.11272이며, 두 번째 시나리오에서 공장의 생산능력  $FCap_f$ 이 800이고, 창고의 수용능력  $WCap_w$ 이 15900일 때 0.88659이다. 마찬가지로 세 번째 시나리오에서 공장의 생산능력  $FCap_f$ 이 920이고, 창고의 수용능력  $WCap_w$ 이 13900일 때 0.00008이며, 네 번째 시나리오에서 공장의 생산능력  $FCap_f$ 이 920이고, 창고의 수용능력  $WCap_w$ 이 15900일 때 0.00062이다. 총 네 가지의 시나리오의 발생 확률은  $\pi'_{FCap_f WCap_w}$ 로 표현하며 식(15)에 의해 계산된다.

$$\pi'_{FCap_f WCap_w} = \frac{\pi_{FCap_f WCap_w}}{\sum \pi_{FCap_f WCap_w}} \quad \text{식(15)}$$

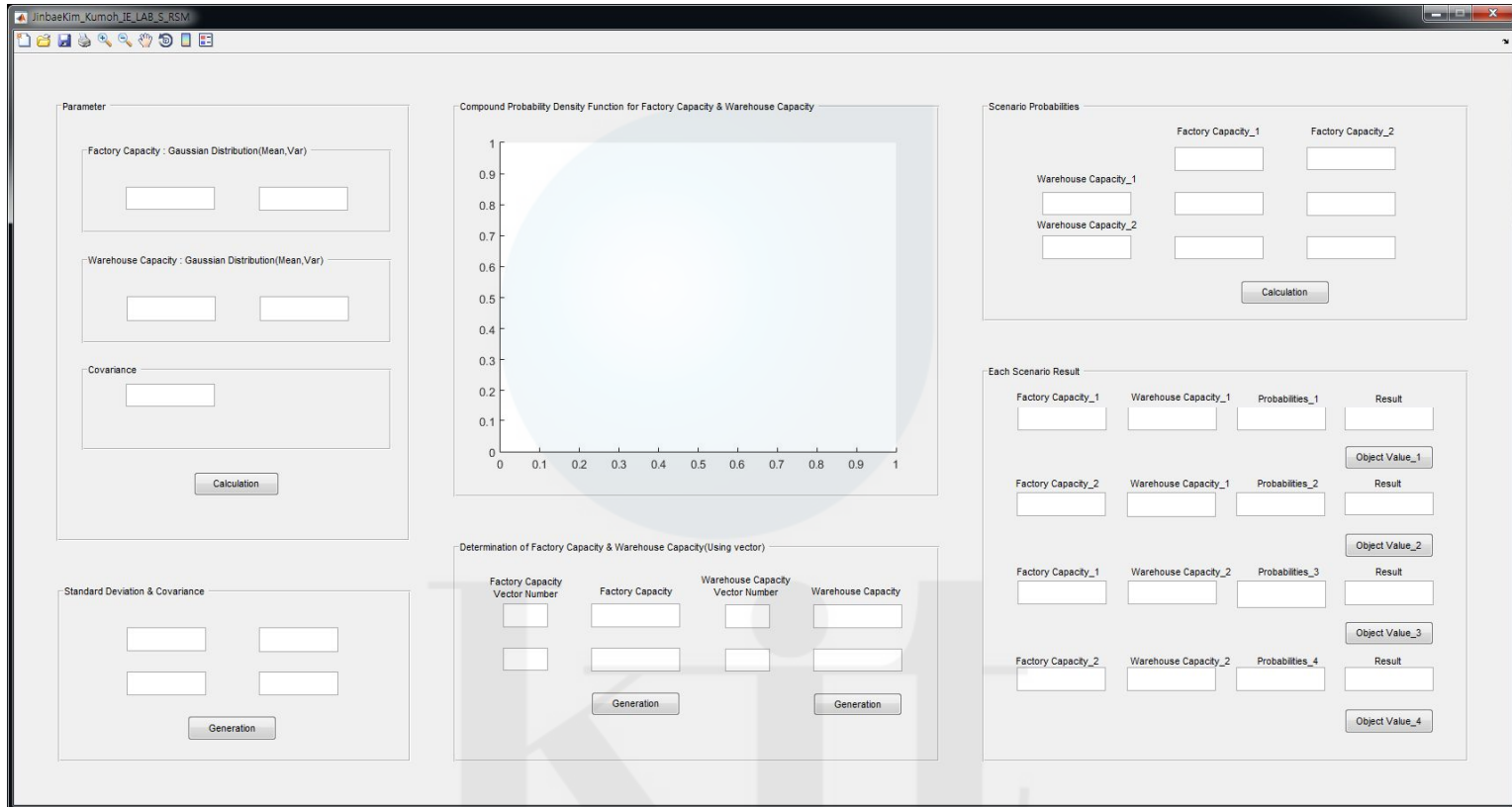
#### 4.4.3 시뮬레이션 기반 반응표면 모델의 구성

앞서 정의한 여러 조건들을 바탕으로 시뮬레이션 기반 반응표면 모델을 구성하기 위해 공학용 소프트웨어인 Matlab을 사용하였다. 시뮬레이션 기반 반응표면 모델을 생성하기 위한 조건들을 손 쉽게 입력하기 위해 인터페이스(Interface)를 구성 하였으며, 조건의 입력에 따라 결과 값을 확인하기 쉽도록 응용프로그램(Application)으로 개발하였다.[그림 4.9]





[그림 4.9] 시뮬레이션 기반 반응표면 모델 구축 프로그램



## 4.5 시뮬레이션 기반 반응표면 모델을 사용한 수치예제

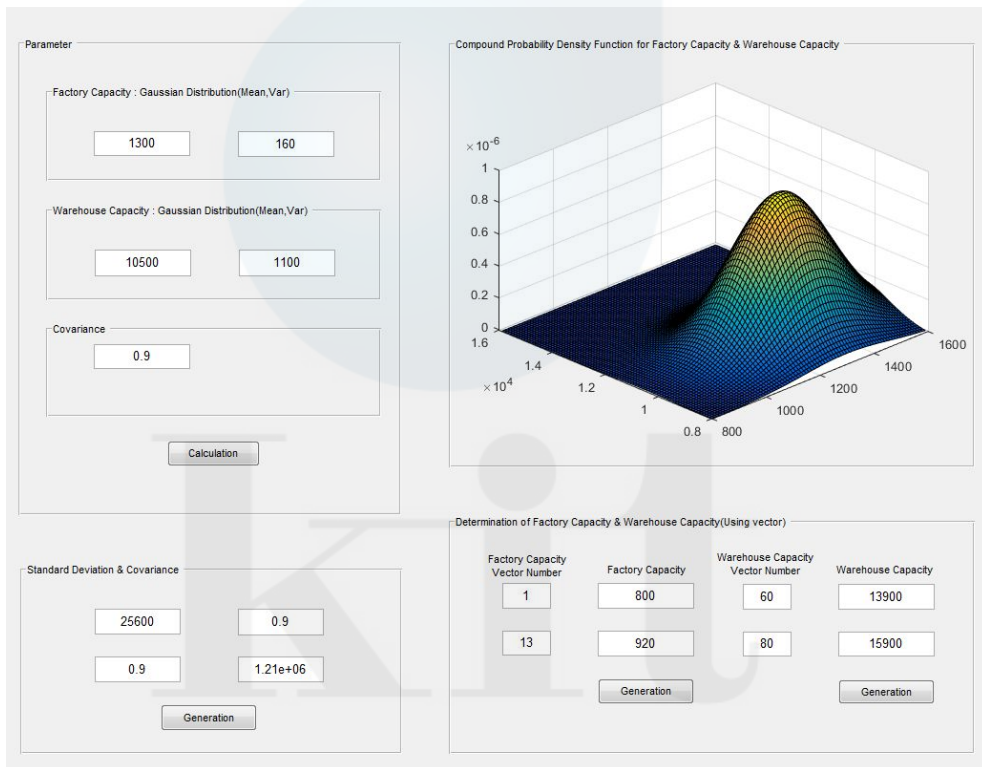
본 연구에서 제안하는 불확실성에 의한 동적 상황 발생 시 시뮬레이션 기반 반응표면 모델을 사용한 공급사슬 네트워크의 동적 재구성 프레임워크를 구현해 보기 위해 [표 4.5]와 같은 조건을 상정하여 수치예제를 실시하며, 프레임워크 구현의 각 단계 절차에 대해 자세하게 설명하도록 하겠다.

[표 4.5] 수치예제를 위한 조건 상정

Modeling Symbol	Description	Value
$f \in F$	Set of Factories.	6
$w \in W$	Set of Warehouses.	6
$s \in S$	Set of Shops.	12
$PC_f$	The Cost of Manufacturing of Product in Factory	30
$TC$	The Transportation Cost of Product	7.5
$D_s$	The Demand for each Product in a Shop	400
$TR$	The Turnover Rate of Product	0.9

### 4.5.1 조건의 입력

우선 불확실성을 띄는 두 변수  $FCap_f$ 와  $WCap_w$ 를 확률분포로 표현하기 위해 각각에 해당하는 평균과 분산을 입력하면, 두 변수의 평균과 분산에 따른 공분산이 계산되고 그에 따른 확률밀도함수가 그래프로 가시화 된다. 입력한 평균과 분산에 따라 확률밀도함수가 정해지면 그 범위 안에서 두 변수의 시나리오를 결정하기 위해 벡터화한 발생 가능 시나리오들 중 분석하고자 하는 벡터를 샘플링 하면 해당되는 시나리오 값이 출력된다.[그림 4.10]



[그림 4.10] 불확실성을 띄는 변수의 확률밀도함수 맵핑과 벡터화를 통한 시나리오 값 출력

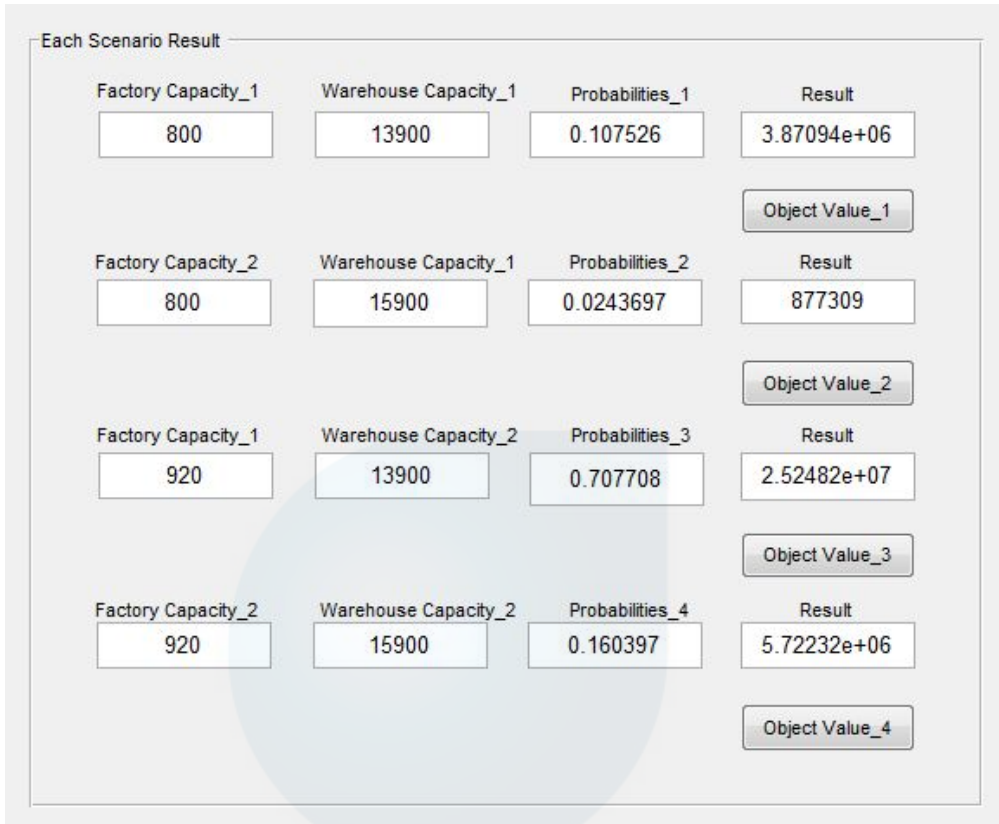
결정된 시나리오에 따른 발생 확률은 [그림 4.11]와 같이 연산되어 출력된다.

	Factory Capacity_1	Factory Capacity_2
Warehouse Capacity_1	800	920
Warehouse Capacity_2	0.107526	0.707708
	0.0243697	0.160397

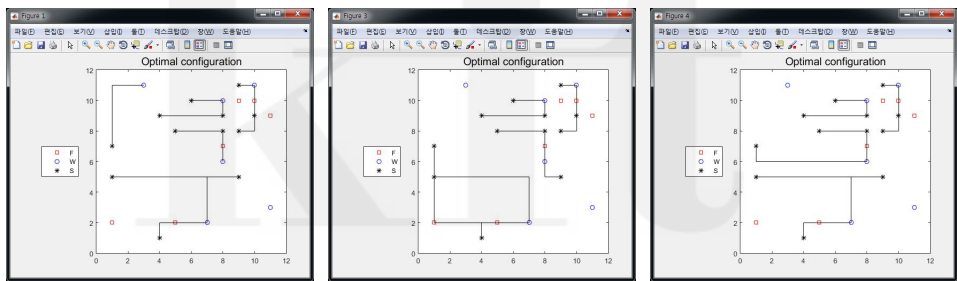
Calculation

[그림 4.11] 시나리오에 따른 발생 확률 출력

시나리오에 따른 발생 확률이 결정되면 각각의 시나리오에 따른 결과값이 출력되는데, 의사결정변수인 생산량  $X_{f,w}$ 와 이진수 형태인  $Y_{s,w}$ 의 값에 따른 최적 수송계획이 직교좌표계(Coordinates System)로 표현되어 출력된다.[그림 4.12]



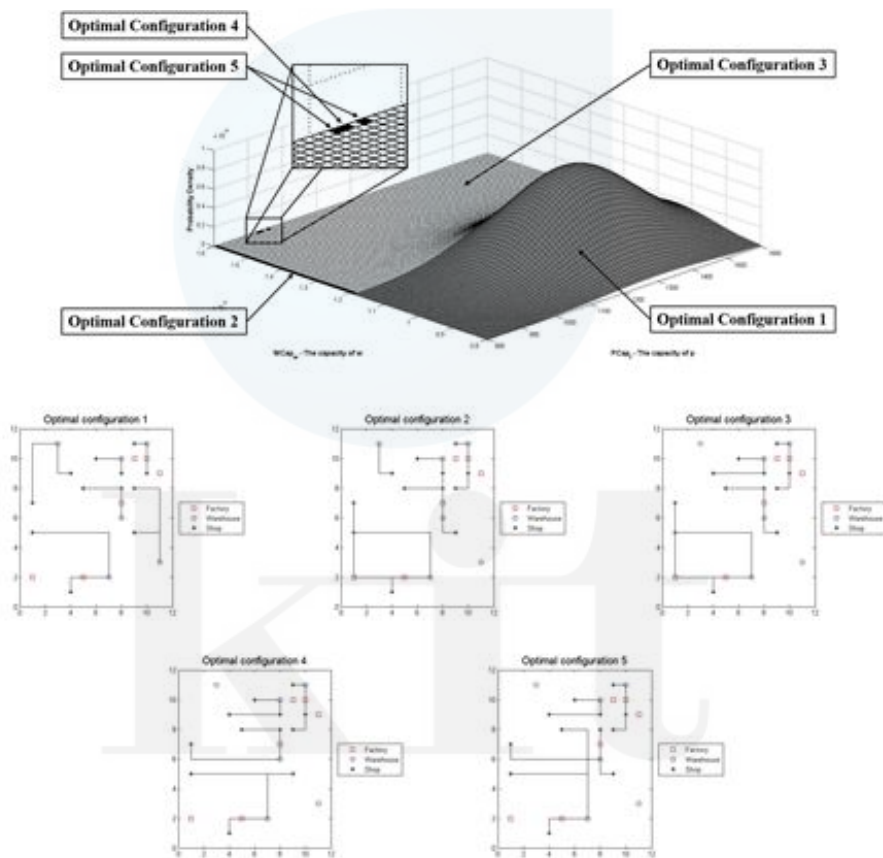
[그림 4.12] 의사결정변수  $X_{f,w}$  의 출력



[그림 4.13] 의사결정변수  $Y_{s,w}$  의 값에 따른 최적 수송계획

## 4.5.2 최적 공급사슬 네트워크 수송계획 후보 생성

본 연구에서 제안하는 불확실성에 의한 동적 상황 발생 시 시뮬레이션 기반 반응표면 모델을 사용한 공급사슬 네트워크의 동적 재구성 프레임워크의 구현을 통해 최적 공급사슬 네트워크 수송경로 계획 후보들이 [그림 4.14]와 같이 구성된다. 최적 공급사슬 네트워크 수송경로 계획 후보들은 불확실성 변수의 확률밀도함수에서 해당되는 시나리오에 따른 구역별로 생성된다.



[그림 4.14] 시뮬레이션 기반 반응표면 모델을 사용한 수송경로 계획 후보 생성

### 4.5.3 수치예제 결과 분석

불확실성을 띄는 두 변수를 확률밀도함수로 맵핑하고 샘플링을 통해 발생 가능한 시나리오를 선택한 뒤 제안하는 시뮬레이션 기반 반응표면 모델을 사용한 프레임워크를 통하여 수치실험을 실행하게 되면 시나리오  $FCap_f \in A = [800, 920]$ 와  $WCap_w \in B = [13900, 15900]$ 에 해당되는 공급사슬 네트워크 수송경로 계획은 [표 4.6]와 같이 도출된다. 본 시뮬레이션 기반 최적화 모델을 통하여 주어진 상황의 범위 내에서 수립 할 수 있는 총 5가지의 최적 수송경로 전략과 어떤 상황에서 이러한 전략들이 선택되는 지에 대한 모델이 구축되어, 동적 상황 발생 시 추가적인 분석절차 없이 설정된 모델을 통하여 해당되는 상황에 최적화된 수송경로를 산출할 수 있게 한다.



[표 4.6] 시나리오별 최적 수송경로 계획

		$FCap_f = 800$		$FCap_f = 920$	
$WCap_w$	$WCap_w = 13900$				
	$WCap_w = 15900$				



## 제 5 장 결론 및 향후 연구 과제

본 논문에서는 제조 기업이 공급사슬 네트워크 전략을 수립 할 때 고려하는 공급사슬의 시설 중 공장과 창고의 생산용량, 수용한계가 동적으로 변화하는 상황에서 어떻게 빠른 의사결정을 하는지를 본 논문에서 제안하는 시뮬레이션 기반 반응 표면 모델을 이용한 프레임워크를 사용하여 제시하였다. 공급사슬 전략의 수립 과정에서 수집된 데이터들을 통계적 분석과 같은 기법을 통해 공급사슬 전략 수립에 필요한 데이터들을 분류하고, 분석하여 조건으로 설정한 뒤 반응 표면 모델을 구성한다. 결과로 도출된 반응 표면 모델을 기반으로 동적으로 변하는 상황을 확률분포를 통해 정의한 뒤 발생 가능한 시나리오를 샘플링 하여 각 시나리오에 따라 해당되는 최적의 공급사슬 네트워크 수송경로 후보들을 산출하여 해당되는 시나리오가 발생되면 최적의 공급사슬 네트워크 수송경로가 전략으로 수립되어 진다. 공급사슬 전략을 수립하기 위한 수송 계획 동적 재배열 방안은 실시간 공급사슬 망 통제의 기반 프레임으로 활용될 수 있다. 현실 문제의 불확실성을 가장 잘 표현 할 수 있는 확률분포 기반의 모델링을 통해 보다 효과적인 공급사슬 전략 구축을 위한 방안이 제시되었고, 이에 기반 한 각 시나리오를 혼합정수계획법으로 수리모형을 모델링 하여 최적의 수송량 및 수송경로 후보들을 구해지며, 전체 시나리오를 아우르는 모델의 수립은, 동적인 상황 변화에 맞는 최적의 수송경로 설정에 적합한 방법으로 여겨진다.

향후 연구과제 방향으로 본 연구에서 다룬 설비의 생산능력, 수용한계 뿐 아니라 공급 사슬을 구성하는 다양한 요인들의 불확실성을 고려하여 보고, 또한 현실상황의 불확실성 대부분이 비선형의 모습인 점을 고려하여, 이를 비선형 함수로 모델링하고, 전역최적화에 가까운 메타 휴리스틱(Meta Heuristic) 기법의 적용이 시뮬레이션 기반의 반응 표면 모델과 결합 될 수 있다. 또한, 기존의 기 건설된 시설의 수송경로 선택문제가 아니라, 투자를 고려한 입지 선택의 유무를 의사결정 변수로 한다면 공급 사슬 망의 라이프 사이클을 고려한 연구가 될 것이다.

## [참고문헌]

- [1] Dal-Mas, M, Giarola, S, Zamboni, A, and Bezzo, F, “Strategic design and investment capacity planning of the ethanol supply chain under price uncertainty”, *Biomass and Bioenergy*, Vol.35, No.2, pp.2059-2071, 2011.
- [2] 김정대, “공급사슬 네트워크 설계에 관한 포괄적 모형 구축”, *대한경영학회*, *대한경영학회지*, 제19권 제2호, pp.561-580, 2006.
- [3] Truong, T. H, and Azadivar, F, “Simulation optimization in manufacturing analysis: simulation based optimization for supply chain configuration design”, *Proceedings of the 2003 Winter simulation Conference*, pp.1268-1275, 2003.
- [4] Wan, Xiaotao, Joseph F. Pekny, and Gintaras V. Reklaitis. “Simulation-based optimization with surrogate models—Application to supply chain management.”, *Computers & chemical engineering* Vol.29, No.6, pp.1317-1328, 2005.
- [5] Mele, F. D, Guillen, G, Espuna, A, and Puigjaner, L, “A simulation-based optimization framework for parameter optimization of supply-chain networks.”, *Industrial & engineering chemistry research*, Vol.45, No.9, pp.3133-3148, 2006.
- [6] Lee, H and Banerjee, A, “Design, Simulation and Analysis of Logistics with Uncertainties“, *International Conference on Value Chain Sustainability*, pp.19-21, 2009.
- [7] Gupta, A, Maranas, C. D, and McDonald, C. M, “Mid-term supply

- chain planning under demand uncertainty: customer demand satisfaction and inventory management.”, *Computers & Chemical Engineering*, Vol.24, No.12, pp.2613–2621, 2000.
- [8] Gupta, A, and Maranas, C. D, “Managing demand uncertainty in supply chain planning.”, *Computers & Chemical Engineering*, Vol.27, No.8, pp. 1219–1227, 2003.
- [9] Tsiakis, P, Shah, N, and Pantelides, C. C, “Design of multi-echelon supply chain networks under demand uncertainty.”, *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol.40, No.16, pp.3585–3604, 2001.
- [10] Santoso, T, Ahmed, S, Goetschalckx, M, and Shapiro, A. “A stochastic programming approach for supply chain network design under uncertainty.” *European Journal of Operational Research*, Vol.167, No.1, pp.96–115, 2008.
- [11] Almansoori, A, and Shah, N, “Design and operation of a future hydrogen supply chain: snapshot model.” *Chemical Engineering Research and Design*, Vol.84, No.6, pp.423–438, 2006.
- [12] Tsang, K. H, Samsatli, N. J, and Shah, N, “Capacity investment planning for multiple vaccines under uncertainty: 1: Capacity planning.”, *Food and bioproducts processing*, Vol.85, No.2, pp.120–128, 2007.
- [13] Tsang, K. H, Samsatli, N. J, and Shah, N, “Capacity investment planning for multiple vaccines under uncertainty: 2: Financial risk analysis.” *Food and bioproducts processing*, Vol.85 No.2, pp.129–140, 2007.

- [14] Simchi-Levi, E, and Kaminsky, P, Designing and managing the supply chain: Concepts, strategies, and cases, McGraw-Hill, United-States, 1999
- [15] Arnold, JR Tony, Introduction to materials management. Pearson Education, India, pp.5-10, 2011.
- [16] 김명학, “시뮬레이션을 이용한 공급사슬망의 최적 주문정책에 관한 연구”, 건국대학교 대학원, 석사학위논문, pp.7-8, 2009.
- [17] Wisner, Joel, Keah-Choon Tan, and G. Leong, Principles of supply chain management: a balanced approach, 2<sup>nd</sup> ed., Cengage Learning, United-States, pp.26-27, 2015.
- [18] 정봉주, 이영훈, 박광태, Supply Chain Management: 전략 · 계획 및 운영, 도서출판 석정, pp.61-87, 2009.
- [19] 노영준, “JIT 물류시스템에서의 효율적인 Cross Docking에 관한 연구”, 명지대학교 대학원, 석사학위논문, pp.22-23, 2006.
- [20] 유형근, “시뮬레이션을 이용한 ATM기 유지보수 운영회사의 효율적 운영에 관한 연구”, 서울산업대학교 대학원, 석사학위논문, pp.24-25, 2009.
- [21] 문일경, 윤원영, 조규갑, 최원준, Arena 를 이용한 시뮬레이션, 3<sup>rd</sup> ed., pp.6-7, 2005.



네트워크의  
시물레이션  
기반  
반응표면  
모델(S-  
RSM)을  
사용한  
공급사슬  
및  
분석  
공학적  
석사  
학위논문

2015년  
11월

김진배