

工學碩士 學位論文

역물류를 고려한 공급사슬 시뮬레이터  
개발에 관한 연구

**A study on development of the SCM simulator on  
considering reverse logistics**

指導教授 申 宰 榮

2005年 12月

韓國海洋大學校 大學院

東北亞物流시스템學科

孫 載 旻

# **A study on development of the SCM simulator on considering reverse logistics**

Son, Jae Gyoung

Department of Logistics Engineering  
Graduate School of Korea Maritime University

## **Abstract**

In paper, we developed Supply Chain Simulator on considering reverse logistics. This Simulator allows to model SCM networks and to support main decision of supply chain management – inventory policy, distribution policy. The simulator include reverse logistics situation in this paper which was not considered pervious research. New concept idea of the simulator like flow, transfer with node, arc which is elements of network model was proposed. We verified this simulator through actual. This simulator is developed by Object –Oriented Language. The simulator has next–event time advance clock.

# 목 차

## ABSTRACT

표목차, 그림목차

제 1 장 서 론.....	3
1.1 연구의 배경 및 필요성.....	3
1.2 기존 연구 고찰.....	4
제 2 장 공급사슬모델.....	6
2.1 역물류(Rreverse Logistics).....	6
2.1.1 역물류.....	6
2.1.2 역물류의 특성.....	7
2.2 역물류를 포함한 공급사슬.....	11
제 3 장 시뮬레이터 설계.....	17
3.1 설계범위 및 고려사항.....	17
3.2 시뮬레이터 구성.....	18
3.2.1 사이트(Site).....	19
3.2.2 연결(Link).....	21
3.2.3 흐름(Flow).....	24
3.3 개체간 프로세스.....	25
3.4 결정정책.....	27
3.3.1 생산정책.....	28
3.3.2 입고주도 재고정책.....	28
3.3.3 출하주도 재고정책.....	30
3.3.4 배송/수거정책.....	31
3.5 입력 파라미터.....	32
제 4 장 시뮬레이터 구현.....	33
4.1 시뮬레이터의 구조.....	33
4.2 클래스 속성과 함수.....	34
4.2.1 package: node.....	34
4.2.2 package: arc.....	36
4.2.3 package: flow.....	37
4.2.4 package: policy.....	38

<b>4.2.5 package: contoller</b> .....	40
<b>4.3 이산사건 시뮬레이터</b> .....	41
제 5 장 시뮬레이션 및 결과분석 .....	43
<b>5.1 예제 시나리오</b> .....	43
<b>5.2 시뮬레이션 실행</b> .....	44
<b>5.2.1 시뮬레이션</b> .....	44
<b>5.2.2 파라미터 입력</b> .....	45
<b>5.3 결과 및 분석</b> .....	50
제 6 장 결론 .....	52
참 고 문 헌 .....	53

# 표 목 차

<표 2-1> 역물류의 특징 .....	7
<표 2-2> 역물류를 고려한 공급사슬네트워크 수요의 종류 .....	10
<표 3-1> Site의 운영정책 결정 .....	27
<표 3-2> 시뮬레이터의 주요 입력 파라미터 .....	32
<표 4-1> InventoryManager 클래스를 상속받는 재고관리 클래스 .....	38
<표 4-2> TransManager 클래스를 상속받는 배송관리 클래스 .....	39
<표 5-1> 예제 시나리오의 파라미터 입력 .....	45
<표 5-2> 예제 시나리오의 파라미터 입력 및 정책결정 .....	48
<표 5-3> 정책변경에 따른 시뮬레이션 총 비용 비교 .....	51

## 그 립 목 차

[그림 2-1] 역물류를 포함한 공급사슬 네트워크 모형.....	8
[그림 2-2] 역물류를 포함한 공급사슬 네트워크 모형.....	11
[그림 2-3] 물류센터-고객 프로세스.....	12
[그림 2-4] 생산공장-물류센터 프로세스.....	13
[그림 2-5] 역물류센터-고객/물류센터 프로세스.....	14
[그림 2-6] 재생산공장-역물류센터 프로세스.....	15
[그림 2-7] 재생산공장-생산공장 프로세스.....	16
[그림 3-1] 공급사슬 시뮬레이터 구조.....	18
[그림 3-2] 사이트(Site) - 설비, 고객, 폐기소.....	19
[그림 3-3] 재고와 설비.....	19
[그림 3-4] 연결: 재고간 연결.....	21
[그림 3-5] 사이트간 다중 재고연결.....	21
[그림 3-6] 출하주도(PUSH)연결.....	22
[그림 3-7] 입고주도(PULL)연결.....	22
[그림 3-8] 사이트간 PUSH, PULL연결.....	23
[그림 3-9] 재고간 변형.....	23
[그림 3-10] PULL연결 프로세스.....	25
[그림 3-11] PUSH연결 프로세스.....	26
[그림 3-12] 재고관리 프로세스.....	28
[그림 3-13] 배송정책 개념도.....	31
[그림 4-1] 시뮬레이터를 구성하는 클래스들의 패키지 구조.....	33
[그림 4-2] 사이트 간 이벤트 발생에 따른 시뮬레이터 시간 진행.....	42
[그림 5-1] 시뮬레이터에서 모델링 한 공급사슬구조.....	44
[그림 5-2] 시뮬레이터 실행.....	50

# 제1장 서론

## 1.1 연구의 배경 및 필요성

점차 높아지고 있는 환경에 대한 관심은 기업의 전략적 정책에 많은 영향을 주고 있다. 수명을 다한 물품, 고객이 더 이상 필요로 하지 않는 물품, 재활용 가능한 물품에 대한 처분의 책임이 제조 혹은 판매 기업이 져야 한다는 환경책임론이 확산되었고(P. FRASER JOHNSON, 1998), 이미 유럽의 여러 국가에서 폐기품, 재활용품, 위험물에 대한 기업의 수거의무를 법제화하였으며, 우리나라 또한 기업의 환경관련 법규가 점차 강화되고 있다. 그러나 이러한 기업환경변화는 오히려 기업에 긍정적 요소로 작용될 수 있다. 경제적 측면에 재활용품의 활용은 기업 이윤에 큰 도움이 될 수 있다. 제한된 자원은 원자재 가격 상승을 가져오고 결국 제조원가 상승을 초래하는데 재활용품을 활용하는 것이 그 좋은 대안이 될 수 있다.(Ian M. Langella, 2005), 또 구매품의 수리 및 유지보수, 폐기품의 수거와 같이 고객의 상품구매 후에 발생하는 활동에 대한 서비스는 기업과 고객과의 관계에 긍정적인 영향을 미친다. (M. Mehdi Amini, 2005) 게다가 이러한 기업의 친환경 전략은 기업의 'Green' 이미지를 부각시키는 좋은 마케팅 요소 중 하나로 작용될 뿐 아니라 기업의 높은 사회공헌도에 따른 기업이미지 개선효과를 얻을 수 있다.(Vaidyanathan Jayaraman, 2003)

이러한 기업환경의 변화는 기업의 물류전략에도 큰 영향을 미쳤고 공급사슬에서 역물류(Reverse Logistics)의 필요성이 대두되었다. 역물류는 '가치의 재창출 혹은 적절한 폐기를 위해 소비지에서 원산지까지 원자재, 현 재고, 다 쓴 제품, 관련정보를 계획, 실행, 컨트롤 하는 과정(Council of Logistics Management 정의)'이라 할 수 있으며 이 역물류를 고려한 공급사슬을 G-SCM(Green - Supply Chain Management)라고 부른다. 그러나 정물류와 역물류가 통합되어 있는 G-SCM의 중요성이 높아지고 있음에도 불구하고 G-SCM에 대한 연구는 특정기업에 대한 사례연구나 단순한 공급사슬의 연결구도로 그 범위가 제한되어 있으며, 공급사슬의 전략적 모델에 대한 연구는 많지 않다.(Jiuh-Biing Sheu, 2005)

공급사슬에 역물류를 포함하기 위해서는 크게 세가지 주요의사결정이 필요한데, 역물류관련 설비 신설 및 증설, 설비변화에 따른 공급사슬 네트워크 리모델링, 그리고 이 네트워크의 운영정책에 대한 결정이 그것이다. 그러나 기존의 연구 이 세가지 목적을 통합적으로 고려하지 못하고 있다. 본 연구에서 역물류를 포함한 공급사슬의 주요 정책에 대한 의사결정에 지원하는 공급사슬 프레임워크를 제안하였으며 이를 시뮬레이션 해 볼 수 있는 시뮬레이터를 개발하였다.

## 1.2 기존 연구 고찰

역물류가 본격적으로 연구의 주제로 부각된 것은 최근 수년의 일이다. 이전의 대부분의 관련 논문들은 역물류의 필요성과 중요성을 강조하는데 그쳤다. 최근에 와서는 역물류에 대한 일반적 프레임워크를 제안하는 논문들이 늘고 있고 특히 역물류를 계량적 모형으로 다루는 연구가 활발히 진행되고 있다. Fleischmann et.(1997)는 역물류의 계량모형의 연구영역을 - 분배계획(Distribution Planning), 재고관리(Inventory Control), 생산계획(Production Planning) - 으로 분류할 것을 제안하였다. Tung-Lai Hu(2002)는 역물류 활동을 수집(collection), 저장(storage), 취급(treatment), 운송(transportation) 등 4단계로 분류될 수 있음을 제안하고 역물류 총 활동 비용 - 수집비, 재고비, 취급비, 운송비의 합 - 을 최소화 하는 이산 시간 선형분석 모델을 제안하였다. Rainer Kelber(2002)는 폰트리아긴의 최대원칙(Pontryagin's Maximum Principle)을 이용하여 회수품의 최적 생산/재생산/폐기정책 결정을 위한 선형비용 모델을 제안하였다. Vaidyanathan(2003)는 역물류센터와 재생산공장의 개설을 결정하는 문제를 휴리스틱 알고리즘으로 접근하였다. Hokey Min(2004)는 역물류센터와 재생산공장의 입지선정을 위한 유전알고리즘을 개발하였다. 이를 확장하여 Hyun Jeung Ko(2005)는 역물류를 고려한 통합물류망 구축을 위해서 물류센터와 역물류센터의 수와 네트워크 흐름량을 결정하는 유전알고리즘 해법을 제안하였다. Jiuh-Biing Sheu(2005)는 역물류를 고려한 통합 공급사슬 모델을 제안하고 공급사슬의 이익최대화를 위한 물류망 수요량 결정 모형을 다중목적계획법으로 제안하였다. 한편 Kris Lieckens(2005)은 역물류네트워크의 혼합정수계획법에 대기모델(Queueing)을 접목하여 리드타임과 재고상태의 변동성과 역물류의 불확실성을 반영하였다. Manu Sharme(2005)는 역물류네트워크 상의 최적 설비 대여와 관리이익을 위한 혼합정수계획법을 개발하였다.

이와 같이 역물류에 관한 기존연구에서는 재생산공장, 역물류센터와 같은 물류설비의 입지 및 개수 결정 문제와 역물류 네트워크 상의 흐름량을 결정하여 전체 네트워크 비용을 최소화 하는데 국한되어 있다. 또한 역물류와 정물류를 통합적으로 다룬 논문이 드물다. 역물류와 정물류가 함께 고려한 몇몇 연구에서도 정물류와 역



물류 수요의 교차가 발생하지 않아 통합이라고 보기 어려우며 또 역물류 수요의 특성을 충분히 고려하지 않아 역물류를 고려한 공급사슬의 일반적인 프레임워크라 하기에는 부족함이 있다. 게다가 대부분의 역물류의 연구는 계량모형과 메타휴리스틱을 활용한 수학적모델로써 복잡하고 큰 현실의 문제를 다루기에는 어려움이 크다.

따라서 본 연구에서는 역물류의 수요특징과 흐름을 고려하여 역물류를 포함한 공급사슬의 일반적인 프레임워크를 제안하고 공급사슬의 각 설비의 효율적인 운영정책 결정을 시뮬레이션 해 볼 수 있는 공급사슬 시뮬레이터를 객체지향 언어 Java로 개발하였다. 시뮬레이터에서는 각 사이트의 규모와 개수, 각 사이트간 연결(Arc) 별 수요의 흐름과 특성에 따른 사이트의 운영정책(재고/배송/수거정책)을 시뮬레이션 할 수 있다

## 제 2 장 공급사슬모델

### 2.1 역물류(Reverse Logistics)

#### 2.1.1 역물류

역물류란 CLM(Council of Logistics Management)의 정의에 의하면 ‘가치의 재창출 혹은 적절한 폐기를 위해 소비지에서 원산지까지 원자재, 현 재고, 다 쓴 제품, 관련정보를 계획, 실행, 컨트롤 하는 과정’이다.

일반적으로 제조 기업의 처지에서 물류를 영역으로 구분하는 경우, 일반적으로 조달 물류, 생산 물류, 판매 물류, 폐기 물류로 구분하고 있다. 최근에는 여기에 상품의 생산에서 소비로 향하는 통상의 흐름과 반대의 흐름(backward channel)을 총칭한 회수 물류를 포함시키게 된다. 이 회수 물류의 대표적인 것으로 쓰레기 회수를 들 수 있다. 회수 물류는 반품, 물류 기기 그리고 포장/원료의 물류 따위의 세 가지로 크게 나누어 볼 수 있다. 고객 서비스가 강조될 수록 불량품 또는 팔고 남은 것 등의 반품 처리를 위한 독자적인 물류 시스템의 구축이 요구된다. 또 파레트이나 컨테이너와 같은 물류 기기의 반복 사용을 위한 물류 시스템도 구축되어야 한다. 이러한 회수 가능한 기기에 대하여는 그 기업과는 별도의 회수 채널이 존재하기도 하지만 자사가 행하는 일이 대부분이고, 포장과 원료가 되는 물품의 회수도 마찬가지이다(한 중길, 1999). 역물류는 사용자가 더 이상 필요로 하지 않는 제품이 시작에서 다시 사용 가능한 제품이 되기까지의 모든 물류활동을 포함하여 역물류의 핵심활동으로는 분배계획, 재고관리, 재생산계획이 있다. (Fleischmann et al. 1997)

### 2.1.2 역물류의 특성

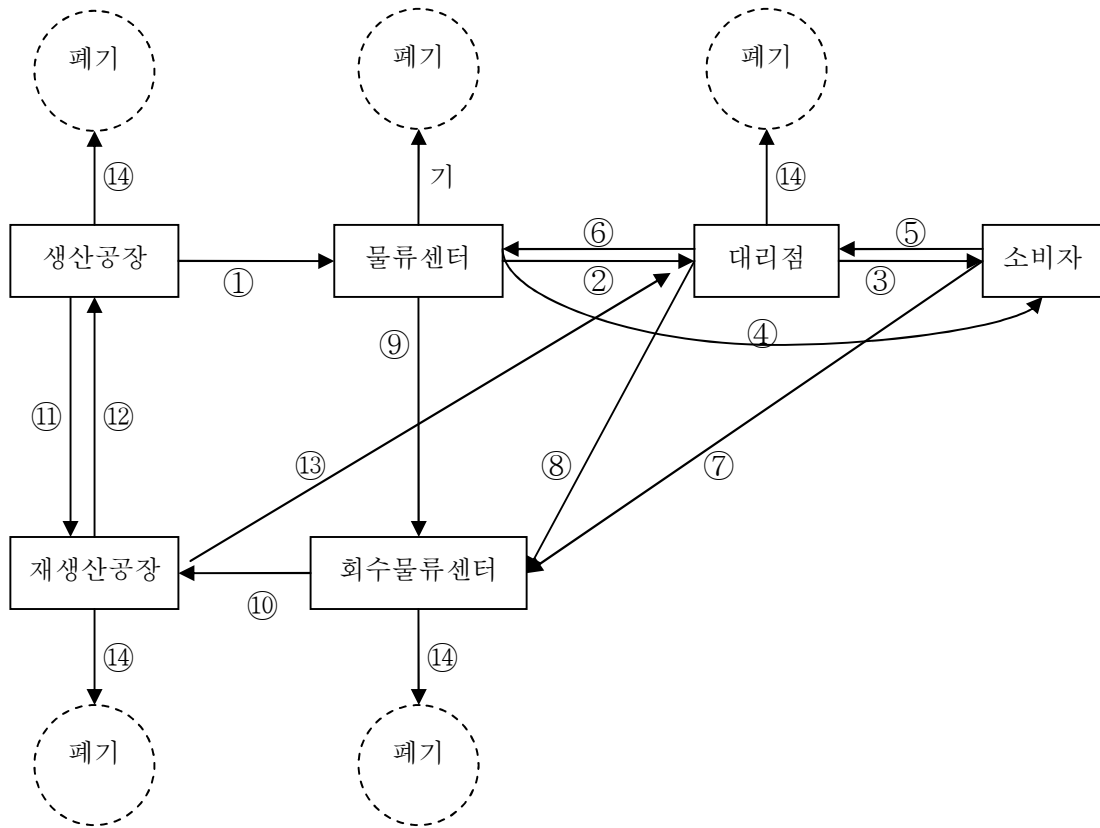
Sarkis et al.(1995)는 정 방향 물류와 구분되는 역물류의 특징을 3가지로 규정하였다. 대부분의 물류시스템에서 역 경로(reverse channel)의 물류를 처리할 장비를 갖추지 못하고 있다. 역물류의 유통비용은 공장에서 고객에 이르는 정 방향 물류비용보다 높다. 회수물품을 수송, 보관, 취급하면서 정 방향 물류활동과 같은 방법으로 다룰 수 없다. Vaidyanathan은 역물류 수요의 종류를 감소(Reduce), 대체(Substitution), 재사용(Reuse), 재활용(Recycle)으로 분류하였다.

Shear et al(1995) 는 정물류와 역물류의 차이를 아래와 같이 규정하였다.

항목	Reverse Logistics	Forward Logistics
수량	적다	많다
정보흐름	물품추적을 위해 수동과 자동 시스템 혼용한다	자동시스템을 사용한다
주문사이클타임	중간이상 오래 걸린다	주문사이클이 짧다
상품가치	중간 이하 낮다	높다
재고정책	중요하지 않다	중요하다
우선순위	낮다	높다
비용요소	알기 힘들다	분명하다
물품의 흐름	Push and Pull	Pull
채널	복잡하고 다양하다	덜 복잡하다

자료) Shear et al. "The Warehousing link of reverse logistics" 2003

<표 2 -1> 역물류의 특징



[그림 2-1] 역물류를 포함한 공급사슬 네트워크 모형

역물류를 포함한 공급사슬네트워크에는 기존의 공급사슬과 다른 점은 우선 수요의 특징이다. 네트워크 안에서 수거품은 목적과 형태 따라 다양하게 분류된다. 이런 수요의 특징을 처리하기 위해서 두 가지 설비가 추가 되는데 회수물류센터와 재생산공장이다. 회수물류센터는 소비자로부터 회수된 물품의 집결 지이고, 회수품을 재가공하거나 분해하여 재활용품으로 만들고 폐기품은 폐기하는 곳이 재생산공장이다. 또 네트워크의 모델이 다른데 추가된 설비와 여러 종류의 수요에 따라 일반적인 공급사슬보다 복잡한 구조의 네트워크 모형을 형성한다.

[표 2-2]는 국내 L전자 사례로 본 정/역물류 수요의 종류이다. 발주인의 요청으로 物의 흐름이 수주 인에서 발주인으로 흐르면 이를 정물류 수요(Forward Demands)라 하고 발주인의 요청으로 物의 흐름이 발주인에서 수주 인으로 흐르면 이를 역물류 수요(Reverse Demands)라 명명하겠다.

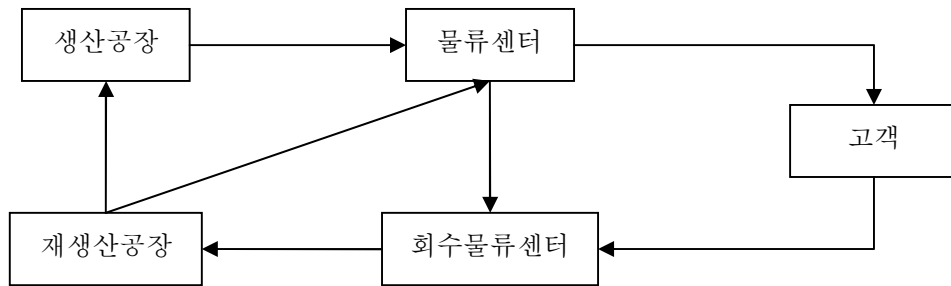
From - To	F/R	수요	설명
F. 생산공장 T. 물류센터	정	일반수요	물류센터의 발주에 따라 공장에서 출하되어 물류센터로 가는 완제품 흐름이 이에 속한다.
F. 물류센터 T. 대리점	정	일반수요	대리점의 발주에 따라 물류센터에서 출하되어 대리점을 가는 완제품의 흐름이 이에 속한다.
		교환의 대체수요	대리점의 교환요청에 따라 물류센터에서 교환된 물품이 다시 대리점으로 가는 수요가 이에 포함된다.
F. 대리점 T. 소비자	정	일반수요	고객이 대리점에 주문한 물품을 배송한다.
F. 물류센터 T. 소비자	정	無점포구매	소비자가 인터넷이나 전화 등 無점포 구매한 물품은 물류센터에서 직접 배송한다.
F. 소비자 T. 대리점	역	불량	대리점으로부터 구입한 새 물품이 불량일 경우 발생한다.
		수리	소비자가 사용 중인 물품에 대한 수리 요청이 있을 경우 발생한다.
		폐기/재활용 수거	새 물품 구입에 따른 대체 역수요가 발생한다.
		반품	소비자의 교환 또는 환불요청에 따라 반품수요가 발생한다.
F. 대리점 T. 물류센터	역	교환수요	대리점의 발주에 따라 물류센터에서 출하되어 대리점을 가는 완제품의 흐름
		Recall	물품이 Recall이 발생하여 수거한다.
		반품	물품의 반환/환불 요청이 생겨 수거한다. 예) 계절상품의 반품
		폐점	대리점의 폐점되어 온 제품을 수거한다.
F. 소비자 T. 역물류센터	역	폐기/재활용 수거	소비자가 더 이상 사용을 원치 않는 물품에 대해 수거 혹은 폐기를 요청할 경우 해당 물품을 회수 물류센터로 옮긴다.

From - To	F/R	수요	설명
F. 대리점 T. 역물류센터	역	불량	소비자로부터 온 불량품이나 대리점 보관상 파손품 등을 회수물류센터로 보낸다.
		폐기/재활용수거	소비자로부터 수거해온 폐기/재활용품을 물류센터로 보낸다.
F. 물류센터 T. 역물류센터	역	불량	대리점으로 반환된 불량품, 물류과정 발생한 파손품, 오랜 보관기간으로 인한 불량품을 회수물류센터로 옮긴다.
F. 역물류센터 T. 재생산공장	역	분해/재활용	대리점 또는 물류센터에서 수거된 물품을 분해하여 재활용하기 위하기 위해 재처리 공장으로 옮긴다.
		재사용	적당한 처리를 거친 뒤 재사용할 물품을 재처리 공장으로 옮긴다.
F. 생산공장 T. 재생산공장	역	생산불량	생산과정에서 생긴 불량품이나 파손품을 재생산 공장으로 보낸다.
F. 재생산공장 T. 생산공장	정	재활용/부품	회수되어 분해 또는 재처리 된 부품 중에 물품 생산 시 사용 가능한 것 들을 생산공장에 보낸다.
F. 재생산공장 T. 대리점	정	재활용/부품	재활용 가능한 부품을 대리점에서 A/S 용 부품으로 쓰여진다.
F. 각 Site T. 폐기장	역	폐기	각 Site의 물류과정에서 나오는 폐기품을 폐기한다.

<표 2-2> 역물류를 고려한 공급사슬네트워크 수요의 종류

## 2.2 역물류를 포함한 공급사슬

역물류를 포함하는 공급사슬네트워크는 공장, 물류센터, 대리점, 역물류센터, 재생산공장 등 크게 6종류의 설비들과 이들 사이를 정방/역방향으로 연결하는 망, 이 네트워크의 흐름인 주문으로 구성되어 있다. 공장과 물류센터 대리점은 정방연결망으로 이어져 있고 대리점 역물류센터 재생산공장은 역물류 망으로 구성되어 있다.



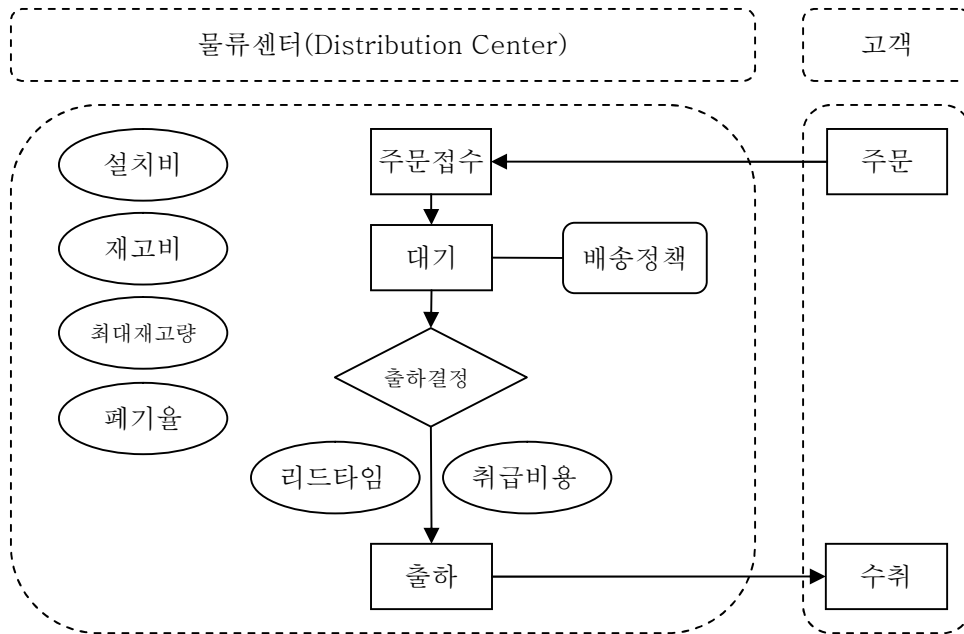
[그림 2-2] 역물류를 포함한 공급사슬 네트워크 모형

고객(대리점)으로부터 일반수요의 주문이 발생하면 물류센터로 주문이 접수되고 일정한 주문처리 리드타임을 가진 뒤 물류센터의 배송정책에 따라 고객에게 물품이 전달된다. 물류센터에서는 고객의 주문에 따라 감소하는 재고량을 주기적으로 관찰하다 채택하고 있는 재고정책에 따라 공장에 적정 주문량을 발주하게 된다. 공장에서는 수주량을 처리할 만큼의 충분재고를 항상 보유 하고 있으며 주문을 접수하는 즉시 물류센터로 배송하는 것을 가정한다.

고객이나 물류센터로부터 역물류 수요의 주문이 발생하면 역물류센터에서 주문을 접수 받아 역물류센터의 수거정책에 따라 물품을 수거해와서 재생산공장으로 보내지기 전까지 역물류센터에 보관하게 된다. 회수물류센터에서는 재고정책에 따라 적절한 주문주기에 적절한 주문량만큼을 재생산공장으로 보낸다. 재생산공장에서는 회수물품이 일정 비율에 따라 일부는 폐기되고 나머지는 생산공장으로 재활용되거나, 물류센터로 재활용 된다고 가정하였다.

## 고객

고객은 일반수요와 회수수요의 주문을 발생시킨다. 주문은 임의주문발생기(Random Order Generator)의 주문데이터나 실제 과거데이터의 파일에서 읽어오는데 일반수요주문과 회수수요주문을 동시에 발생시킨다. 일반수요를 주문하면 물류센터로부터 주문물품이 도착하기를 기다렸다가 수취함으로써 주문이 완료된다. 주문발생 후 수취(종료)까지의 대기시간을 고객이 가지고 있지는 않다. 회수품 수거를 요청하면 회수물류센터에서 수거해갈 때까지 기다렸다. 차량이 도착하면 반납한다.

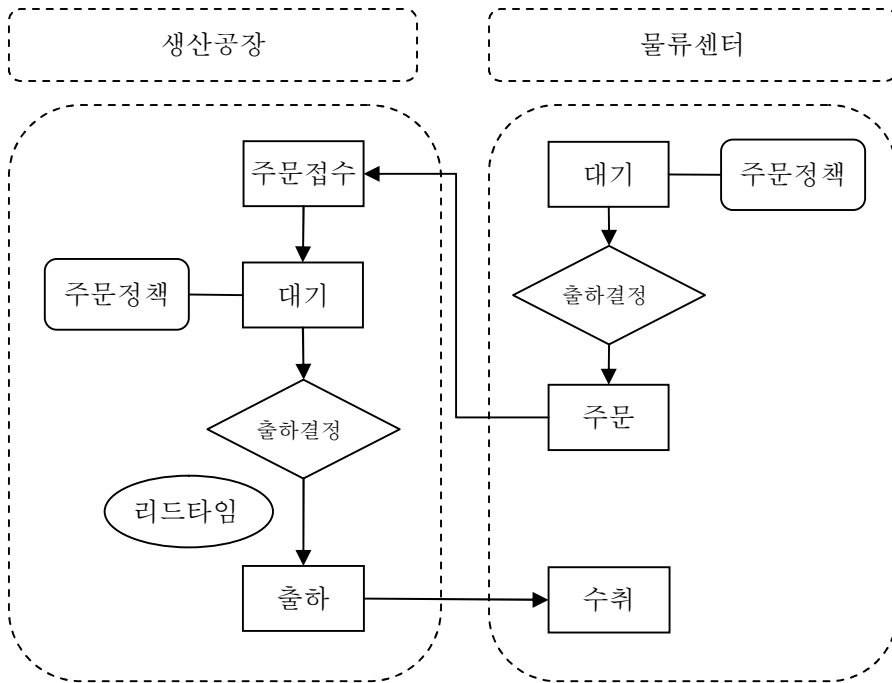


[그림 2-3] 물류센터-고객 프로세스



## 물류센터

물류센터는 공장에서 생산된 제품을 고객에게 전달되기 전에 보관, 포장, 유통 가공이 일어나는 곳이다. 물류센터에는 3가지 정책을 결정하여야 한다. 첫째, 고객의 주문이 오면 주문을 얼마나 자주 배송할 것인지를 결정해야 하는데 이것이 고객주문 배송정책이다. 둘째, 고객주문에 따른 재고감소량을 보충하기 위해 적절한 주문주기에 적절한 양만큼을 공장에 주문하여야 하는데 이것이 물류센터의 재고통제정책이다. 셋째, 물류센터에서는 재고량의 일정비율로 회수물류센터로 가는 회수수요가 발생하는데 이것이 폐기배송정책이다. 시뮬레이터에서 물류센터 객체를 생성할 때 설정해줘야 하는 속성이 있는데 물류센터는 최대 재고량 속성이 있으며 이를 설정해줘야 한다. 이 최대 재고량에 비례하는 설치비용이 존재한다. 접수된 고객주문이 출하 결정되면 출하될 때까지 주문처리비용과 리드타임이 존재한다.



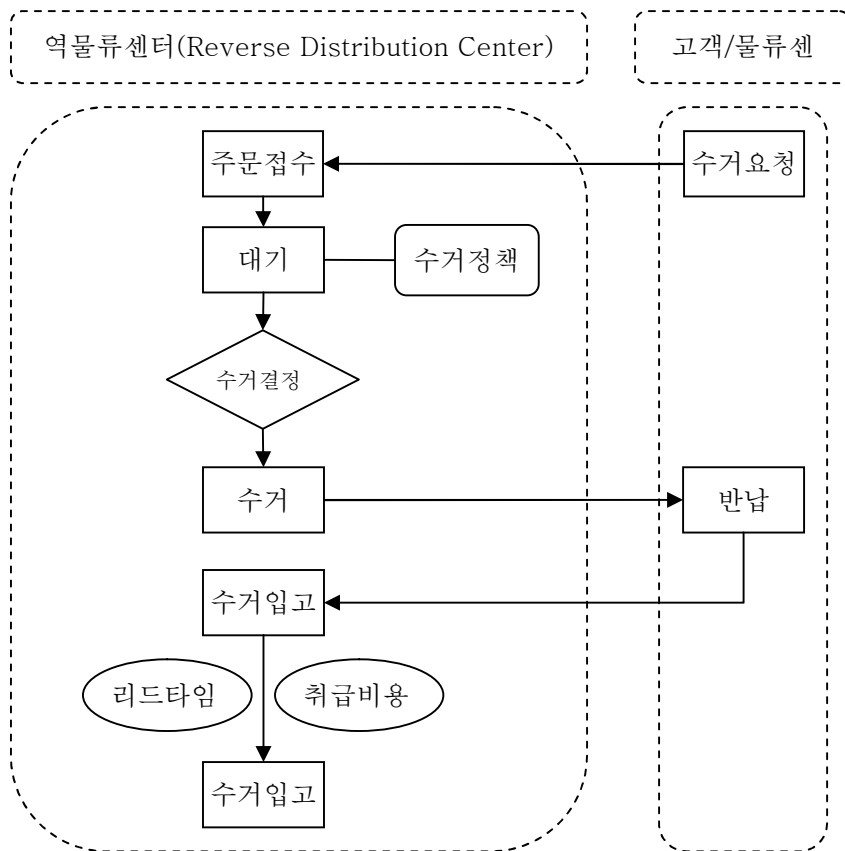
[그림 2-4] 생산공장-물류센터 프로세스

## 생산공장

생산공장은 공급사슬의 취급 물품을 생산한다. 물류창고로부터 주문이 오면 주문을 접수 받고 즉시 출하결정을 한다고 가정한다. 생산공장에서는 물류센터의 주문을 즉시 출하할 수 있게 항상 충분한 재고를 가지도록 하는 적절한 생산정책을 가지고 있다고 가정한다. 출하결정 후 배송되기 전까지 리드타임이 존재하나 출하비용은 고려하지 않았다. 그 외에 생산과 취급에 관련된 리드타임과 취급비용은 고려하고 있지 않다.

### 회수물류센터

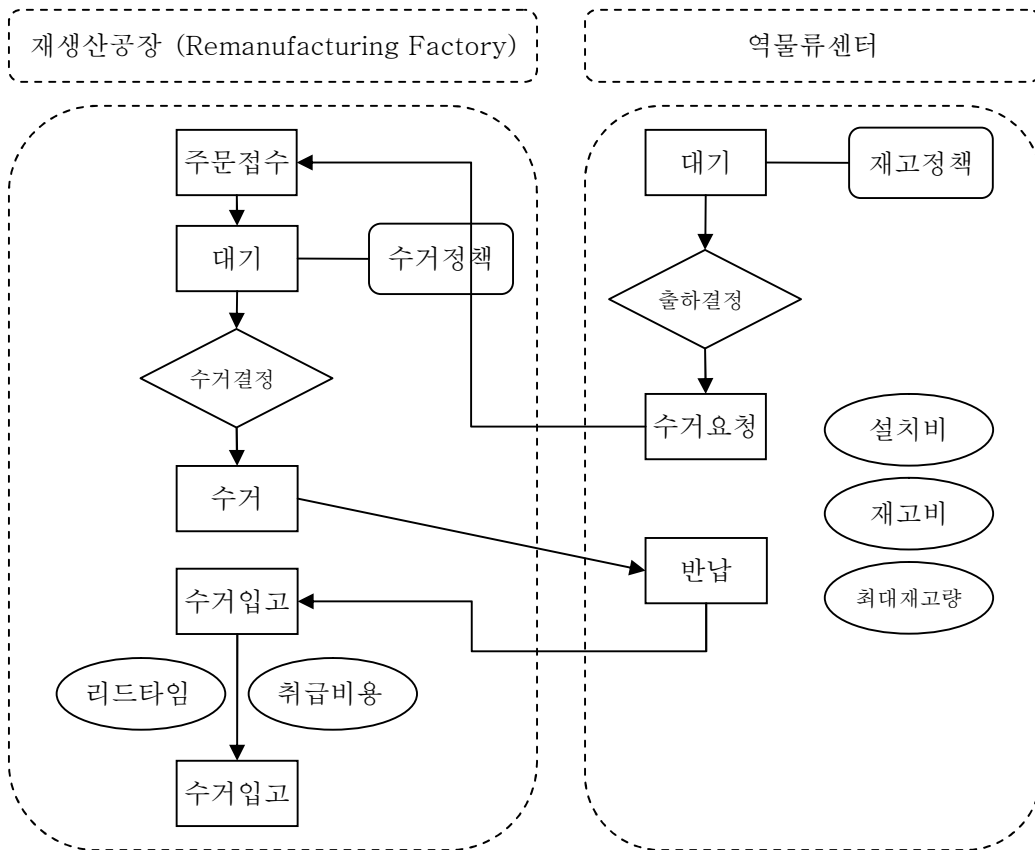
회수물류센터는 고객과 물류센터에서 발생한 수거품(재활용 및 폐기)을 재생산공장으로 일괄적으로 보내기 위해 회수/보관 하는 곳이다. 회수물류센터는 수거정책에 따라 적절한 주문주기에 적절한 회수량으로 고객과 물류센터의 불용품을 수거한다. 회수물류센터에 보관되어 있는 회수품은 재고정책에 따라 정적인 주기와 량으로 재생산공장으로 옮겨진다. 회수물류센터는 최대재고량이 있으며 이에 따라 초기 설치비가 책정된다. 회수된 물품은 보관되기 전에 유통가공의 단계를 거치는데 이에 따른 비용과 시간이 소요된다.



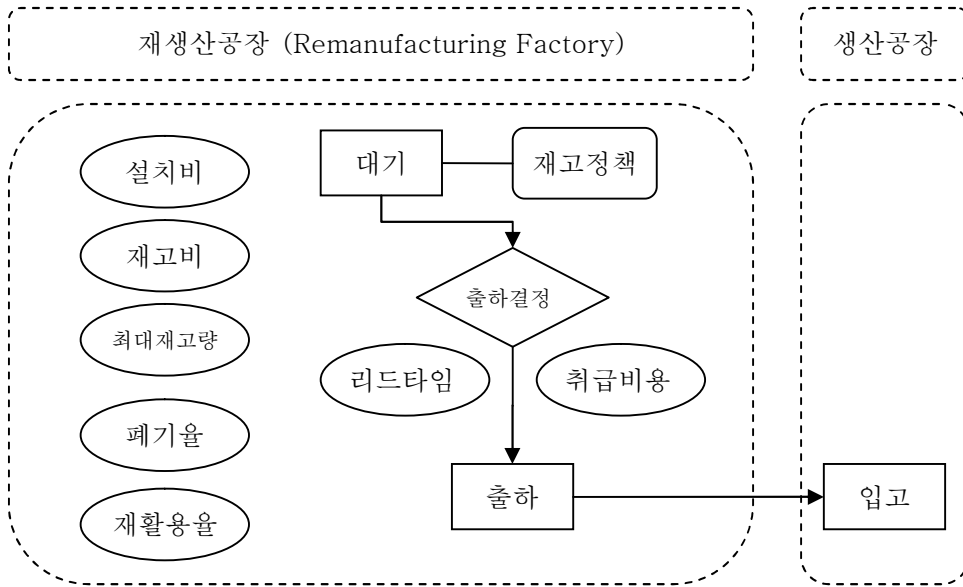
[그림 2-5] 역물류센터-고객/물류센터 프로세스

### 재생산공장

재생산공장은 회수물류센터로부터 입고된 불용품을 일부는 폐기하고 일부 재활용품으로 만드는 재처리작업을 한다. 재처리작업 후에는 물품의 형태와 무게가 변경되므로 총 수거품의 일정비율로 폐기품과 재활용품이 발생한다고 가정하여 수거품을 정보화 하였다. 재생산공장은 최대재고량이 정해져 있으며 이에 비례하여 설치비가 책정된다. 수거품량의 비율로 보관비가 존재하며 재처리작업에 리드타임과 비용이 소모된다. 수거품 중 폐기품과 생산공장으로 가는 재활용, 물류센터로 가는 재활용 비율이 존재하며 지정된 배송정책에 따라 적정주기와 적정량으로 목적지로 배송된다.



[그림 2-6] 재생산공장-역물류센터 프로세스



[그림 2-7] 재생산공장-생산공장 프로세스

## 제 3 장 시뮬레이터 설계

### 3.1 설계범위 및 고려사항

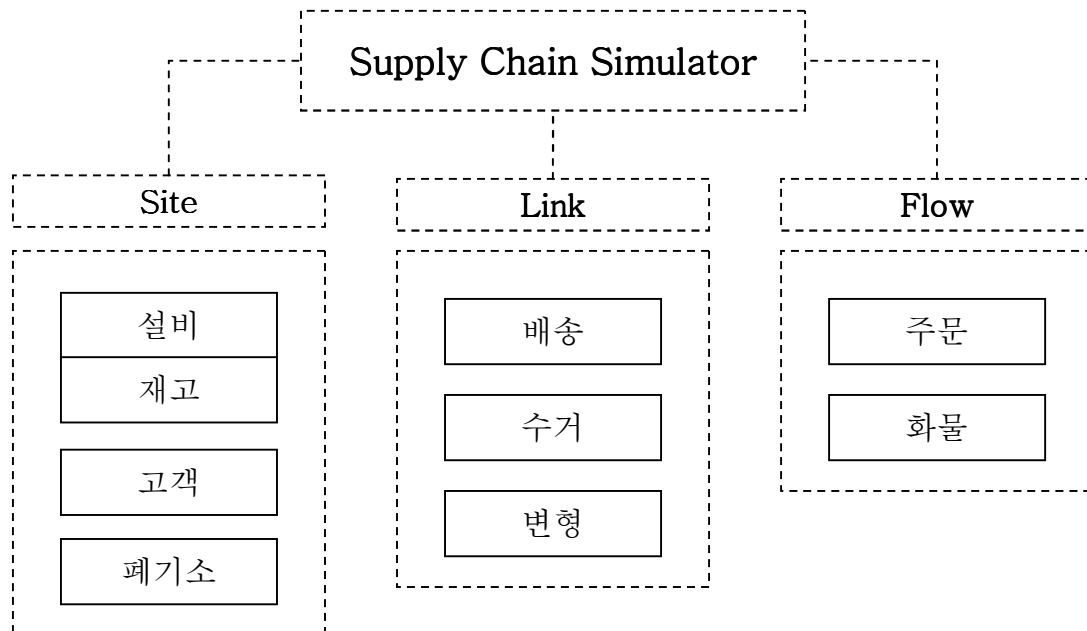
본 연구는 역물류를 포함한 공급사슬의 전략적 의사결정을 지원하는 시뮬레이터 개발에 관한 연구이다. 기존의 공급사슬시뮬레이터가 정방향 흐름만을 고려했던 것에 비해 본 시뮬레이터는 역물류를 포함한 공급사슬네트워크를 모델링 할 수 있다. 시뮬레이터의 틀(template)은 네트워크의 노드(node)에 해당하는 사이트(Site)와 아크(Arc)에 해당하는 연결(Link), 이들 사이를 오가는 흐름(Flow)로 구성되어 있다. 사이트는 물류센터, 공장, 등의 시설과 고객을 포함하며, 연결은 사이트를 잇는 배송 등을 의미하며, 흐름에는 주문과 화물 등이 있다. 본 시뮬레이터에서는 역물류를 표현하기 위하여 사이트영역에서는 재생산공장, 역물류센터를 포함하고, 연결영역에서는 정방향 물류의 배송에 대응하는 역물류의 수거를 포함하였고, 특히 사이트 내에 화물의 폐기, 분해, 재생산, 가공 등에 의한 형태변화가 가능하도록 변형(transform)이라는 개념을 도입하였다.

시뮬레이터는 공급사슬의 여러 가지 전략적 의사결정을 지원한다. 첫째, 설비의 수와 규모의 효용성을 시뮬레이션 할 수 있다. 둘째, 네트워크 모델의 타당성 검증이 가능하다. 셋째, 설비의 재고정책과 배송/수거정책 결정에 도움을 준다. 특히, 설비의 재고정책결정에 있어서 설비간 주도관계에 따라 PUSH방식과 PULL방식으로 분류하였고 이를 다시 재고통제운영방식에 따라 정기발주시스템, 정량발주시스템, 정기정량발주시스템으로 나누어 정책결정 옵션의 다양성을 추구하였다. 마찬가지로 배송정책도 정기배송, 정량배송, 즉시배송에 대한 시뮬레이션이 가능하도록 하였다.

본 연구에서는 Site, Link, Flow로 구성된 현실의 공급사슬 네트워크모형을 직관적으로 표현하기 객체지향언어 Java를 사용하여 시뮬레이터를 구현하였다.

### 3.2 시뮬레이터 구성

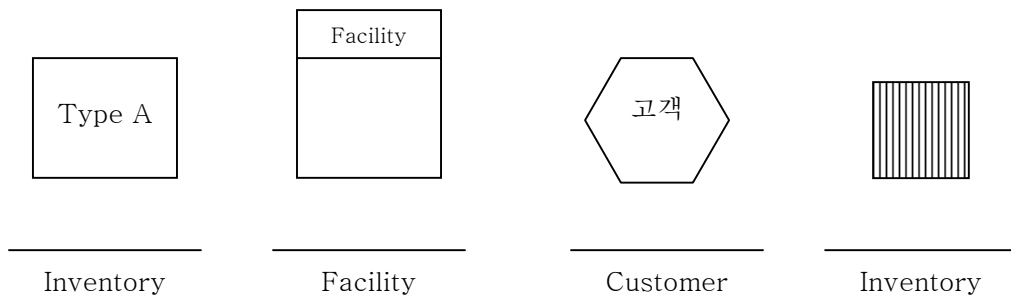
시뮬레이터는 네트워크의 노드(node)에 해당하는 사이트(Site)그룹과 아크(arc)에 해당하는 연결(Link)그룹과 이들 사이를 오가는 흐름(Flow)그룹으로 구성되어 있다. 사이트그룹에는 설비와 재고, 고객, 폐기소가 있으며 연결그룹에는 배송과 수거, 변형이 있으며 흐름그룹에는 주문과 화물이 있다. 재고는 독립적으로 존재할 수 없으며 반드시 설비에 포함되어 있어야 하며, 설비는 반드시 하나 이상의 재고를 가지고 있어야 한다.



[그림 3-1] 공급사슬 시뮬레이터 구조

### 3.2.1 사이트(Site)

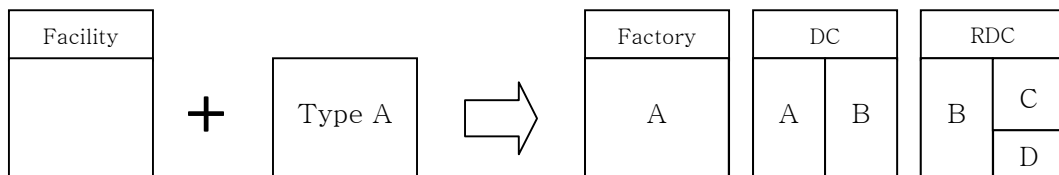
사이트 패키지는 재고, 설비, 고객, 폐기소로 구성되어 있으며, 재고를 제외하고 설비, 고객, 폐기소는 모두 Site 클래스를 상속 받는다. 각 사이트를 [그림 3-2]와 같은 형태의 도형으로 표현하였다.



[그림 3-2] 사이트(Site) - 설비, 고객, 폐기소

재고(Inventory)

[그림 3-3]의 「A」, 「B」 처럼 같은 설비에 속해 있는 같은 종류의 제품 군을 하나의 재고라고 한다. 재고는 독립적으로 존재할 수 없다. 반드시 설비 안에 포함되어 있어야 한다. 하나의 설비에는 여러 개의 재고가 속해 있을 수 있다. [그림 3-3]의 DC(Distribution Center)가 재고 「A」와 「B」를 동시에 가지고 있는 형태이다. 본 시뮬레이터에서 재고는 핵심이다. 주문과 화물의 이동이 재고간 이동이기 때문이다. 사이트는 node를 표현하는 포장일 뿐 실질적인 시뮬레이션의 프로세스는 재고 간 흐름이다.



[그림 3-3] 재고와 설비

### 설비(Facility)

공급사슬네트워크 상에는 노드(node)의 성격을 띠는 물류센터, 역물류센터, 생산공장, 재생산공장, 고객과 같이 다양한 종류의 사이트가 존재한다. 그러나 본 시뮬레이터에서는 [그림 3-2]와 같이 여러 사이트들을 ‘설비’, ‘고객’, ‘폐기소’ 3분류로 두었다. 즉 고객과 폐기소를 제외한 그 밖의 설비 - 물류센터, 역물류센터, 생산공장, 재생산공장 - 의 구분이 없다. 이 설비들은 재고를 보유하고 있고, 적절한 처리과정을 거치며 그에 따른 비용과 시간이 발생하는 비슷한 기능과 속을 가지므로 모든 종류의 시설을 하나의 설비(Site)라는 개념으로 일반화하였다. 대신 시뮬레이터에서 사용자가 직접 원하는 기능과 속성을 가진 사이트를 만들 수 있게 하여 설비의 다양성을 추구하였다. 즉 생산공장이라는 노드(node)를 만들려면 설비(Facility)를 하나 생성하고 그 안에 생산공장의 기능과 속성, 재고를 넣은 뒤 ‘생산공장’이라는 이름을 부여하면 된다. [그림 3-3] 또한 재고의 수, 재고변형 등을 달리하여 다양한 형태의 생산공장을 만들 수 있다.

### 고객(Customer)

고객은 관리해야 할 재고도 없으나 시뮬레이터 구조의 일관성을 위해 가상의 재고를 보유하고 있다. 부차적인 시간과 비용이 발생하지 않으며 오직 주문만 발생하는 사이트로 그 밖의 설비들과 다른 기능과 속성을 가지므로 Site 클래스를 상속받는 고객(Customer)라는 클래스로 다르게 구체화 하였다. 고객은 정물류와 역물류수요의 주문이 이루어지는 곳으로 시뮬레이터의 시작점이기도 하다.

### 폐기소(Disposal Point)

폐기소는 재고가 소멸하는 곳이다. 폐기소 또한 실질 재고는 없으며 가상의 재고를 포함하고 있다. 폐기소에서는 말 그대로 폐기가 될 수도 있고 물류센터에서 판매처로 보내는 것을 나타내기도 하고 또는 물류센터나 공장에서 사용되는 소모품일 수도 있다. 이 모든 것을 폐기소라고 표현하였다.



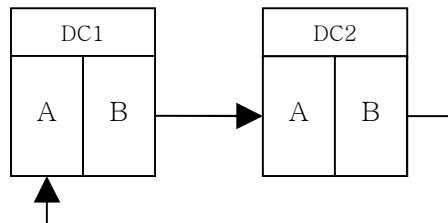
### 3.2.2 연결(Link)

연결은 네트워크모형에서 각 노드(node)를 연결하는 아크(arc)를 표현한 것인데 본 시뮬레이터의 연결은 사이트 간 연결이 아니라 [그림 3-4]처럼 재고간 연결로 다루었다.



[그림 3-4] 연결: 재고간 연결

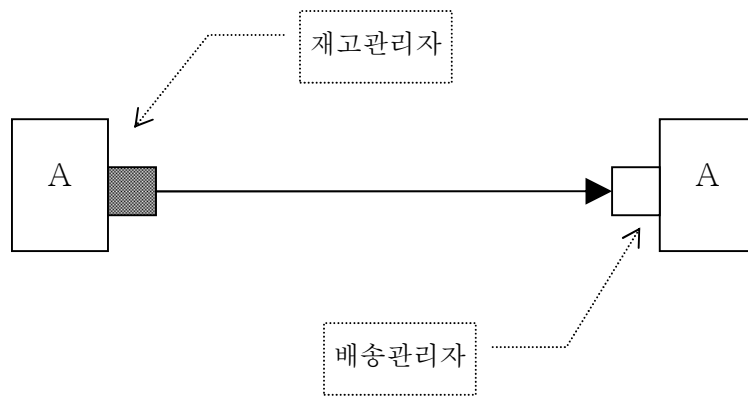
그것은 재고간의 연결로 취급하는 것이 보다 유연성이 있기 때문이다. 예를 들어 [그림 3-5]와 같이 두 사이트 간에 다른 두 종류의 재고 흐름이 있을 수 있다. 이것을 표현하기 위해서는 재고간 연결로 취급하는 것이 바람직하다.



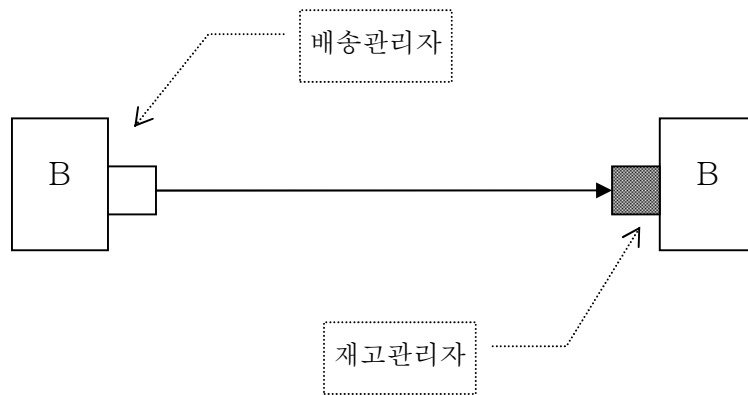
[그림 3-5] 사이트간 다중 재고연결

연결은 재고간의 주문 및 화물 교환을 표현하는 것이므로 [그림 3-4]와 [그림 3-5]처럼 방향성을 띤다. 또한 같은 재고 형태 사이에만 연결이 가능하다.

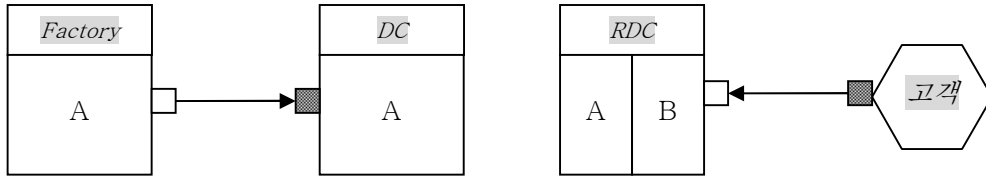
본 시뮬레이터의 연결에는 배송과 변형이 있다. 같은 사이트의 다른 형태 재고간 연결을 변형이라 하고 다른 사이트의 같은 형태 재고간의 연결을 배송이라 한다. 단 배송은 반드시 같은 종류의 재고 간에만 이루어 진다. 배송은 주문주체에 따라 출하주도(PUSH)연결과 입고주도(PULL)연결로 나뉘어 진다. 재고간에 입하 즉 재고에서 발주가 일어나는 상황이면 PULL연결, 출하 즉 재고에서 발주가 일어나면 PUSH 연결이라 한다. 일반적으로 PULL연결은 정물류 상황에서 PUSH 연결은 역물류 상황에서 자주 발생한다. 재고간 연결에서 발생하는 배송, 수송, 변형과 같은 활동 들은 재고관리자와 배송관리자에 의해 통제된다. 재고관리자는 재고상태를 확인하고 적절한 시기에 주문을 하는데 주문을 받는 재고에는 배송관리자가 있어 받은 배송정책에 따라 배송이 이루어 진다. 그러므로 연결은 한쪽 끝이 재고관리자이면 다른 한쪽 끝은 반드시 배송관리자이어야 한다.



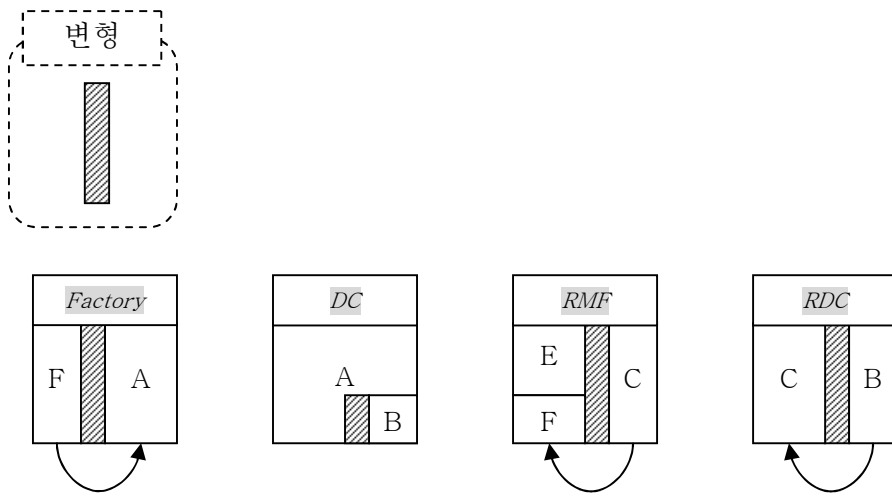
[그림 3-6] 출하주도(PUSH)연결



[그림 3-7] 입고주도(PULL)연결



[그림 3-8] 사이트간 PUSH, PULL연결



[그림 3-9] 재고간 변형

변형은 사이트 내에서 특정 프로세스 진행 후 재고간의 형태/부피 변화를 표현하기 위한 개체이다. 본 시뮬레이터에서는 화물의 취급을 lot단위로 한다. 제품의 형태변화에 취급단위 변화, 불가산(不加算) 형태의 화물을 표현하기 위해서 lot 단위로 화물을 계량화 하였다. 단위 lot은 수량, 무게, 부피 등으로 지정해 줄 수 있으며 일반적으로 트럭 한 대로 표현하는 것이 간편하다. 변형은 [그림 3-9]의 위쪽 도형과 같이 표현하며 모든 종류의 사이트에서 이루어질 수 있다. [그림 3-9]처럼 물류센터에서 유통가공, 포장 후 제품의 형태변화 이에 따른 폐기물 발생, 역물류센터에서 수거품의 정비 후 부피 및 형태 변화, 재생산공장에서 수거품의 분해, 재가공 후 부피 및 형태 변화, 생산공장에서 생산 후 부피 및 형태 변화, 이 모든 것이 변형의 과정이다.

### 3.2.3 흐름(Flow)

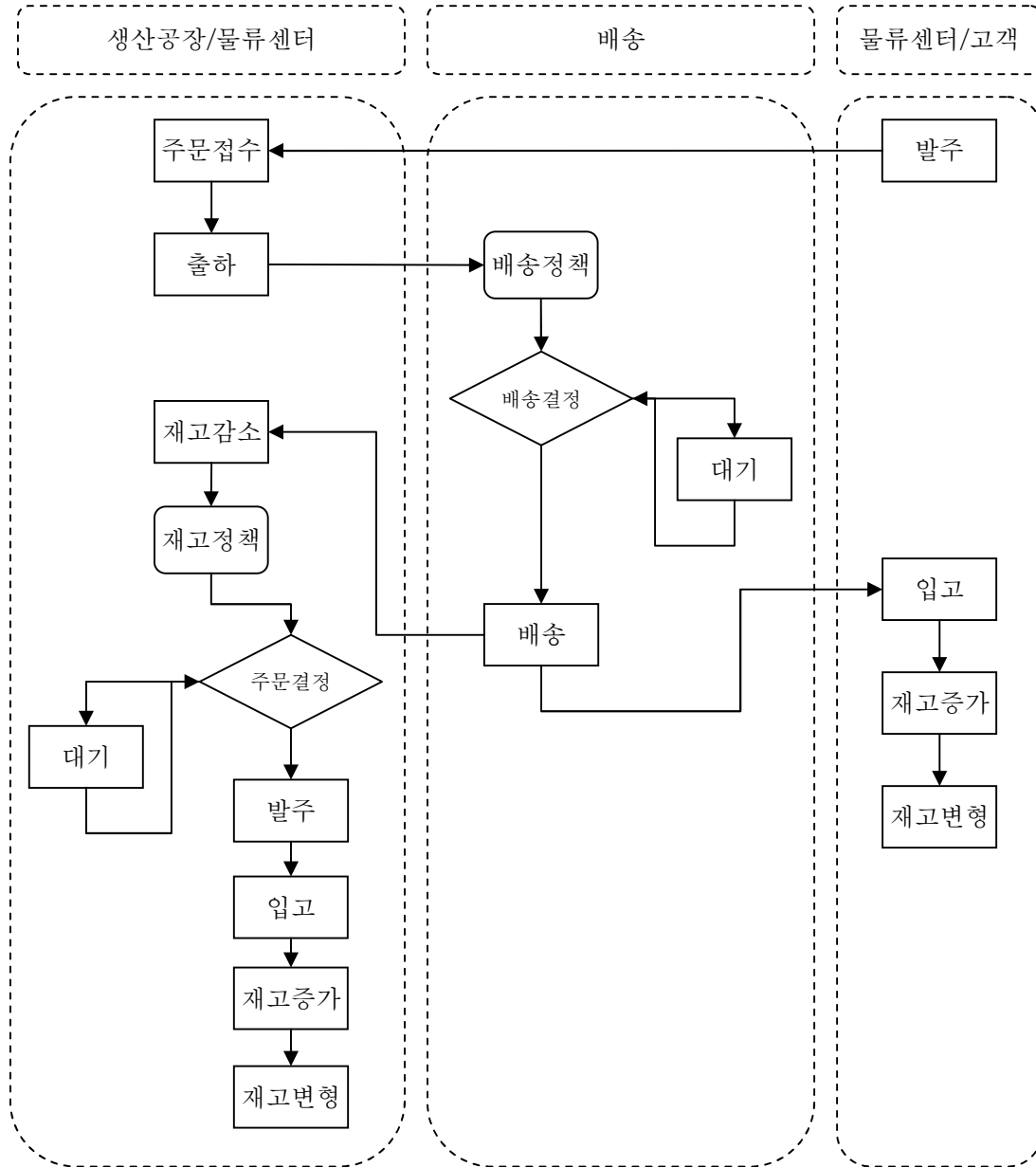
#### 제품

시뮬레이터의 분자라고 할 수 있는 기초 구성요소이다.

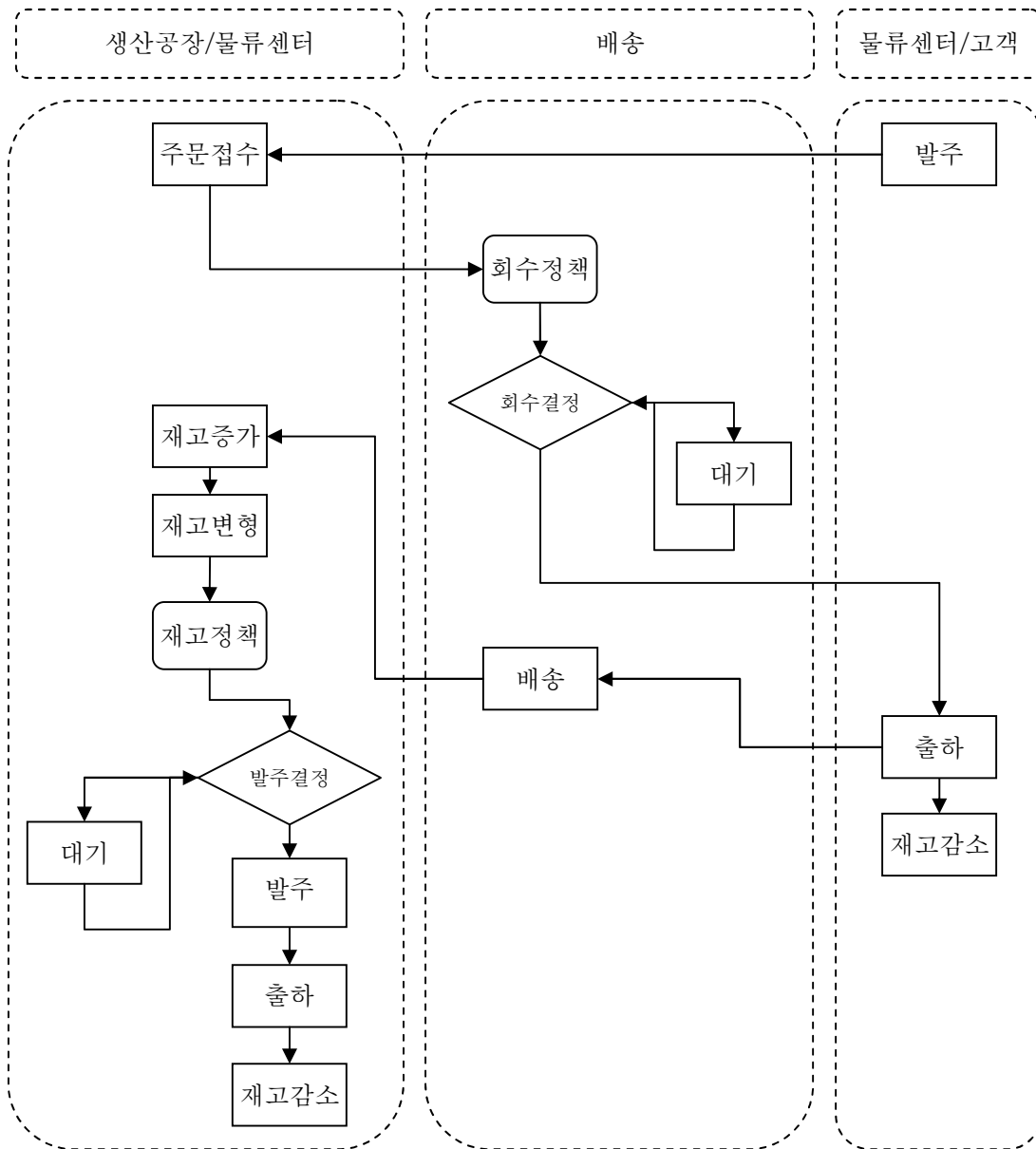
#### 주문

설비간 화물이동 요청을 주문이라 한다. 주문은 출발지와 제품형태, 수량, 주문시간, 완료시간의 속성을 포함하고 있다. 주문은 재고관리자에서 배송관리자 방향으로 주문이 흘러간다. 화살표 방향으로 화물이 흘러간다.

### 3.3 개체간 프로세스



[그림 3-10] PULL연결 프로세스



[그림 3-11] PUSH연결 프로세스

### 3.4 결정정책

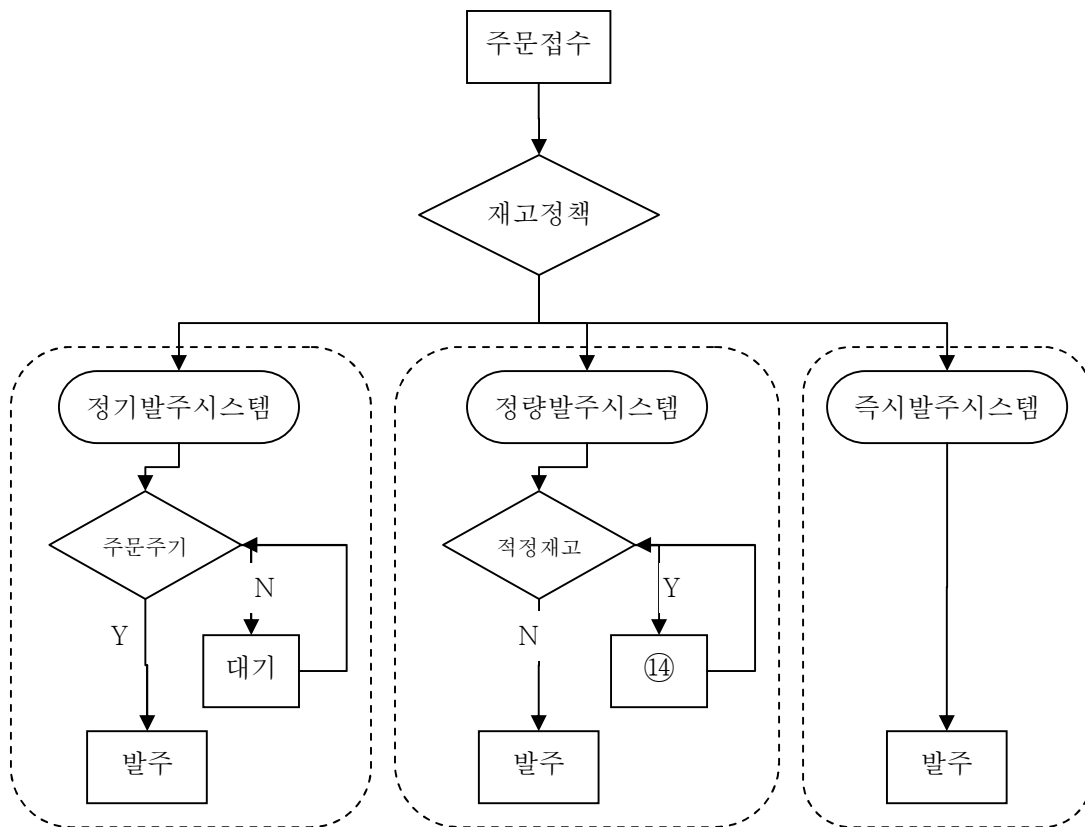
분 류	정 책	시 스템
생산관련	생산정책	-
재고관련	입고주도재고정책	정기발주시스템
		정량발주시스템
		정기정량발주시스템
	출하주도재고정책	정기출하시스템
		정량출하시스템
		정기정량출하시스템
운송관련	배송정책	정기배송시스템
		정량배송시스템
		즉시배송시스템

<표 3-1> Site의 운영정책 결정

### 3.3.1 생산정책

생산공장에서의 생산정책은 고려하지 않는다. 본 시뮬레이터는 공급사슬네트워크 상의 물(物)의 흐름과 그에 따른 시간, 비용을 중점적으로 다루기 때문에 생산공장의 생산정책은 고려하지 않아도 무방하다. 따라서 생산공장은 물류센터의 수요를 항상 만족시키는 적절한 생산정책을 쓰고 있다고 가정하였다.

### 3.3.2 입고주도 재고정책



[그림 3-12] 재고관리 프로세스



### 정기발주 시스템

고정 간격 재주문 시스템 또는 주기적 재주문(periodic reorder)시스템이라고 부르는 주기 조사(P)시스템이 있는데, 이 시스템에서는 재고수준을 연속적으로 조사하지 않고, 주기적으로 조사한다. 재고수준을 조사할 때마다 재주문하게 되므로 주문간의 간격(TBO)이 P로 고정되어 있다. 수요가 확률변수이므로 재고조사 시점 사이의 수요도 매번 달라진다. P시스템에서는 주문간격이 고정되어 있고 로트 크기가 주문할 때마다 달라진다. 주기 조사 시스템의 대표적인 예로 매주 소매점을 순회하는 음료수 회사의 예를 들 수 있다. 음료수 회사는 매주 소매점의 재고를 조사하여 그 다음 주까지의 수요량과 안전재고량만큼 재고를 보충해 준다.

### 정량발주 시스템

재주문점(reorder point: ROP) 시스템이나 고정 주문량(fixed order quantity) 시스템이라고도 부르는 연속조사시스템(continuous review system)에서는 재고를 인출할 때마다 잔여 재고량을 추적하여 재주문할 시점이 되었는지를 판단한다. 시물레이션에서는 재고를 인출할 때마다 조사한다. 재고를 조사할 때마다 재고상태에 대한 의사결정을 하게 된다. 재고상태가 너무 낮다고 판단하면 주문을 시작한다. 재고상태(inventory position: IP)는 해당 품목의 미래 수요를 만족시킬 수 있는 능력을 측정하는 것으로 예정입고(scheduled receipt: SR)와 보유재고(on-hand inventory: OH)의 합에서 미납주문(back order: BO)을 뺀 것이다. 예정입고를 기발주주문(open order)라고 부르기도 한다. 재고상태를 구체적으로 표현하면 다음과 같다.

$$\text{재고상태} = \text{예정입고} + \text{보유재고} - \text{미납주문}$$

### 정기정량발주 시스템

현재 재고상태와 관계없이 정기적으로 고정 주문량을 발주한다.

### 3.3.3 출하주도 재고정책

#### 정기출하 시스템

적정출하주기와 적정재고수준을 정한다. 주기적으로 재고수준을 조사하여 현 재고량이 적정재고수준 이상이 되면 현재재고량에서 적정재고수준을 뺀 만큼을 출하(수거)요청한다.

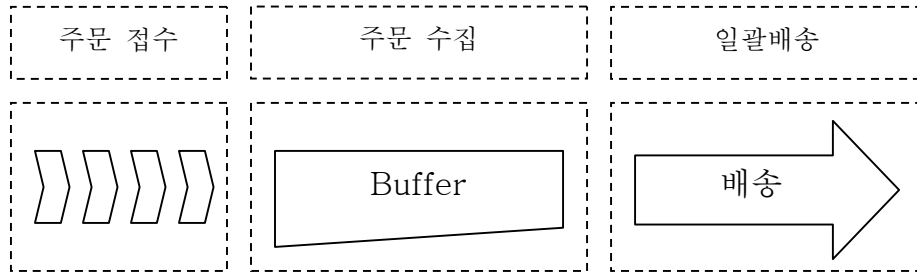
#### 정량출하 시스템

적정 발주량과 적정재고수준을 정한다. 연소적으로 재고수준을 조사하여 현 재고량에서 적정재고수준을 빼 량이 적정 발주량 이상이 될 때 적정 발주량만큼을 출하(수거)요청 한다.

#### 정기정량출하 시스템

적정발주주기와 적정 발주량을 정한다. 주기적으로 재고수준을 조사하여 재고량이 발주량 이상이 될 때 적정 발주량만큼을 출하(수거)요청한다.

### 3.3.4 배송/수거정책



[그림 3-13] 배송정책 개념도

#### 정기배송 시스템

고정 배송량을 결정하고 주문이 들어오면 고정 배송량 이상 주문 접수량이 누적되기를 기다렸다가 일괄배송 하는 시스템이다. 주문량이 많고, 주문간격이 짧은 수요에 유용하다.

#### 정량배송 시스템

고정 배송주기를 결정하고 배송점까지 누적된량을 일괄배송 하는 시스템이다. 주문량이 적고, 주문간격이 긴 수요에 유용하다.

#### 즉시배송 시스템

주문이 발생한 즉시 배송이 이루어진다. 주문량이 많고, 주문간격이 긴 수요에 유용하다.

### 3.5 입력 파라미터

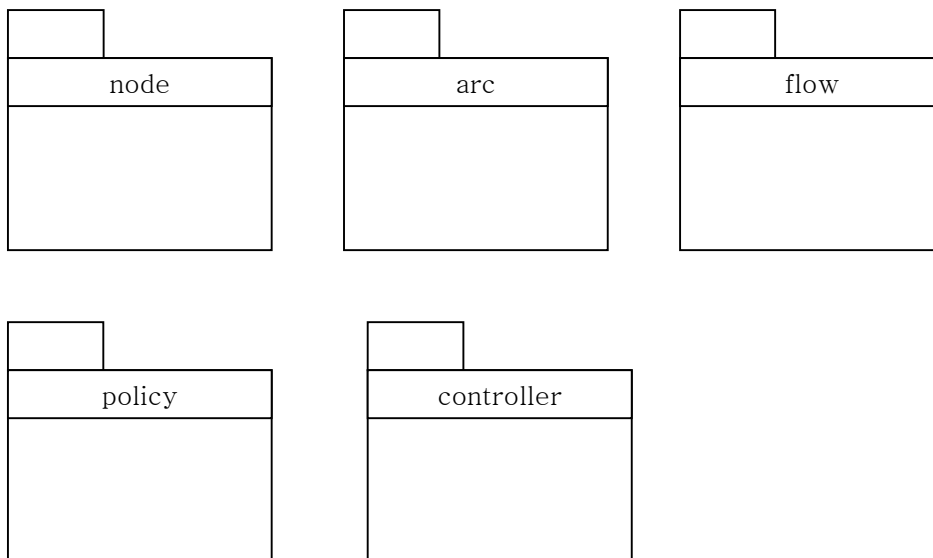
Object	Parameters	Statement
Site	설치비	초기 설치/개장 비용
	고정비	단위 시간당 고정비
Inventory	최대재고량	최대재고량
	초기재고량	초기재고량
	단위당 재고비용	단위시간당 물품당 재고 비용
	재고정책	재고통제시스템
	배송정책	배송시스템
Transport	리드타임	편도 수송 시간
	단위당 수송비용	편도 수송 비용
Transform	변형률	단위 시간당 변형률
	변형비용	물품 당 변형비용

<표 3-2> 시뮬레이터의 주요 입력 파라미터

## 제 4 장 시물레이터 구현

### 4.1 시물레이터의 구조

본 시물레이터를 구성하는 클래스는 그 속성에 따라 물리적으로 4개의 패키지로 나뉘어져 있다. node패키지에는 공급사슬 네트워크의 노드에 해당하는 Site, Facility, Customer, Disposal Point 클래스, 재고 클래스 등이 포함되어 있으며 arc 패키지에는 재고 간을 잇는 배송과 변형에 관계된 클래스가 포함되어 있다. flow패키지에는 주문과 화물 클래스가 포함되어 있고, policy패키지에는 재고정책, 운송정책 등 정책옵션에 관한 클래스가 속해있다. controller패키지는 공급사슬 템플릿을 표현하는 클래스 외에 시물레이터 구동에 필요한 이벤트클래스, 스케줄러클래스 등이 모여있다.



[그림 4-1] 시물레이터를 구성하는 클래스들의 패키지 구조

## 4.2 클래스 속성과 함수

### 4.2.1 package: node

[Site.java]

클래스	Site	설 명
속 성	- name	이름
	- type	Site의 형태 (공장, 물류센터, 고객, 회수물류센터)
	- installCost	설치(오픈)비용
	- fixedCost	고정비용

: 생산공장, 물류센터, 역물류센터, 재생산공장을 표현할 수 있는 Facility클래스와 고객클래스, 폐기소클래스 등 모든 노드 클래스의 부모클래스이며, 추상클래스 이다. 모든 노드 클래스는 Site클래스를 상속하고 있어서 Site클래스의 속성을 공통으로 포함하고 있다.

[Facility.java]

클래스	Factory extends Site	설 명
속 성	- inventory	설비에 포함되어 있는 재고들의 집합
함 수	+ addInventory(s)	설비에 재고를 추가한다.

: 생산공장, 물류센터, 역물류센터, 재생산공장을 표현하는 클래스로 Site클래스를 상속받았다. 재고를 하나 이상 포함할 수 있으며 그에 관련된 속성과 함수가 있다.

[Customer.java]

클래스	Customer extends Site	설 명
속 성		
함 수	+ order()	주문하다
	+ input()	물품을 받다.
	+ output()	물품을 내보내다.

[DisposalPoint.java]

클래스	DisposalPoint extends Site	설 명
속 성		
함 수	+ input()	물품을 받다.
	+ disposal()	물품을 사용/폐기하여 소멸시키다.

[Inventory.java]

클래스	Inventory	설 명
속 성	- inventoryManager	재고관리자들의 집합
	- productType	재고형태/제품형태
	- maxInventory	최대재고량
	- quantity	현재 재고량
	- cost	단위 당 재고비용
	- totalcost	총 누적 재고비용
함 수	+ input()	재고에 물품을 들이다.
	+ output()	재고에서 물품을 빼다.

#### 4.2.2 package: arc

[Link.java]

클래스	Link	설 명
속 성	- fromInventory	시작(출발)재고
	- toInventory	끝(도착)재고
	- transType	연결형태{PULL,PUSH,TRANSFOM}
	- productType	물품형태(재고형태)
	- leadTime	소요시간
	- cost	소요비용

[Transport.java]

클래스	Transport extends Link	설 명
속 성	- inventoryManager	연결된 재고관리
	- transManager	연결된 배송관리
함 수	+ transOrder()	주문을 전달하다.
	+ transFreight()	물품을 전달하다

[Transform.java]

클래스	Transform extends Link	설 명
속 성	- toInventories	변형되는 재고집합
	- rates	변형비율 집합
함 수	+ input()	입력하다.
	- run()	변형하다.
	+ output()	출력하다.



### 4.2.3 package: flow

[Order.java]

클래스	Order	설 명
속 성	- code	주문코드
	- productType	제품형태
	- quantity	주문량
	- leadTime	총 리드타임
	- cost	총 비용
	- orderState	주문상태
함 수	+ changeOrderState()	주문상태변경
	+ addLeadTime()	리드타임 증가
	+ addCost()	비용 추가

#### 4.2.4 package: policy

[InventoryManager.java]

클래스	Transform extends Link	설 명
속 성	- name	변형되는 재고집합
	- type	재고관리시스템
	- inventory	관리 대상 재고
	- transType	운송형태 {PUSH, PULL}
	- transport	연결된 운송클래스
	- jobevent	다음사건 이벤트 저장
함 수	+ decideOrder()	주문이벤트 저장하다.
	+ order()	주문하다.
	+ takeOrder()	주문 받다.
	+ decideInput()	입고이벤트 저장하다.
	+ input()	입고하다.
	+ decideOutput()	출하이벤트 저장하다.
	+ output()	출하하다.

클래스명	속성
InputFixedPeriodInventorySystem.java	PULL방식
InputFixedQuantityInventorySystem.java	
InputFixedPeriodFixedQuantityInventorySystem.java	
OutputFixedPeriodInventorySystem.java	PUSH방식
OutputFixedQuantityInventorySystem.java	
OutputFixedPeriodFixedQuantityInventorySystem.java	

<표 4-1> InventoryManager 클래스를 상속받는 재고관리 클래스

[TransManager.java]

클래스	Transform extends Link	설 명
속 성	- name	변형되는 재고집합
	- type	재고관리시스템
	- inventory	관리 대상 재고
	- transType	운송형태{PUSH, PULL}
	- transport	연결된 운송클래스
	- jobevent	다음사건 이벤트 저장
함 수	+ takeOrder()	주문 받다.
	+ decideInput()	입고이벤트 저장하다.
	+ input()	입고하다.
	+ decideOutput()	출하이벤트 저장하다.
	+ output()	출하하다.

클래스명	속성
InputFixedPeriodTransSystem.java	PUSH방식
InputFixedQuantityTransSystem.java	
OutputFixedPeriodFixedQuantityTransSystem.java	
OutputFixedPeriodTransSystem.java	PULL방식
OutputFixedQuantityTransSystem.java	
OutputFixedPeriodFixedQuantityTransSystem.java	

<표 4-2> TransManager 클래스를 상속받는 배송관리 클래스

#### 4.2.5 package: contoller

[JobEvent.java]

클래스	Transport extends Link	설 명
속 성	- time	이벤트 실행 시간
	- job	수행 이벤트
	- object	파라미타

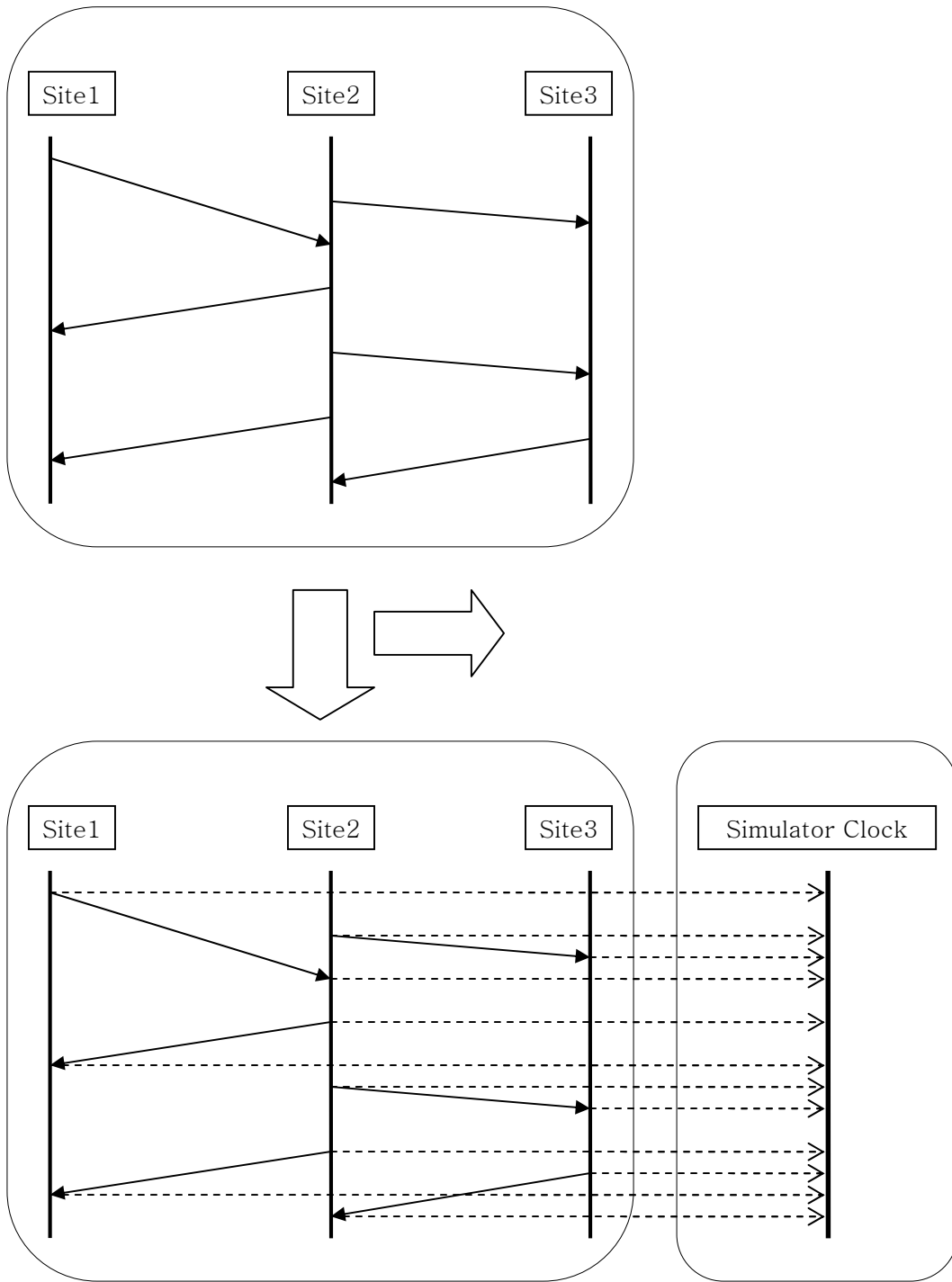
[Scheduler.java]

클래스	Transport extends Link	설 명
속 성	- policyRunner	재고정책과 배송정책의 집합
함 수	+ run()	수행하다.

### 4.3 이산사건 시뮬레이터

이산사건 시뮬레이션은 시간 상 구분 가능한 시점(사건발생 시점)에서만 시스템 상태 변수의 변화를 추적하는 방식으로 시스템을 모형화한 이산적이고 동태적인 모형에 대한 시뮬레이션이다. 이산사건 시뮬레이션 모델의 동적인 성질 때문에, 시뮬레이션을 진행함에 따라 시뮬레이션 된 시간의 현재 값을 유지할 필요가 있으며, 시간을 진행시키기 위한 메커니즘이 필요하다. 시간의 현재 값을 가지는 시뮬레이션 모델의 변수를 시뮬레이션 시계라 한다. 시뮬레이션 시계를 진행시키기 위해서 2가지 방식, 즉 다음사건 시간 진행법(next-event time advance)과 고정증가 시간 진행법(fixed-increment time advance)이 제안되어 왔다. 첫 번째 방식은 대다수의 시뮬레이션 언어와 범용언어로 모델을 작성하는 사람들이 주로 사용하며, 두 번째 방식은 첫 번째 방식의 특수한 부류에 속한다. (이영해, 박두권,1993)

본 시뮬레이터의 시간진행은 이벤트발생에 의한 이산 시간 진행법을 사용하였다. 모든 재고관리자와 배송관리자는 자신의 다음사건(next event)에 대한 정보를 가지고 있다. 이벤트는 재고관리자와 배송관리자의 주문 입출력에 대한 의사결정 시와 재고의 입출력 시(input, output)에 발생한다. 이벤트가 발생하면 event scheduler를 호출하고 event scheduler는 모든 재고관리자와 배송관리자의 다음 사건을 비교하여 가장 빠른 이벤트를 실행하게 된다. 이벤트가 실행되면 그 영향으로 새로운 이벤트가 발생하게 되며 다시 위의 과정을 반복하면서 시뮬레이터 시간은 진행된다.



[그림 4-2] 사이트 간 이벤트 발생에 따른 시뮬레이터 시간 진행

## 제 5 장 시뮬레이션 및 결과분석

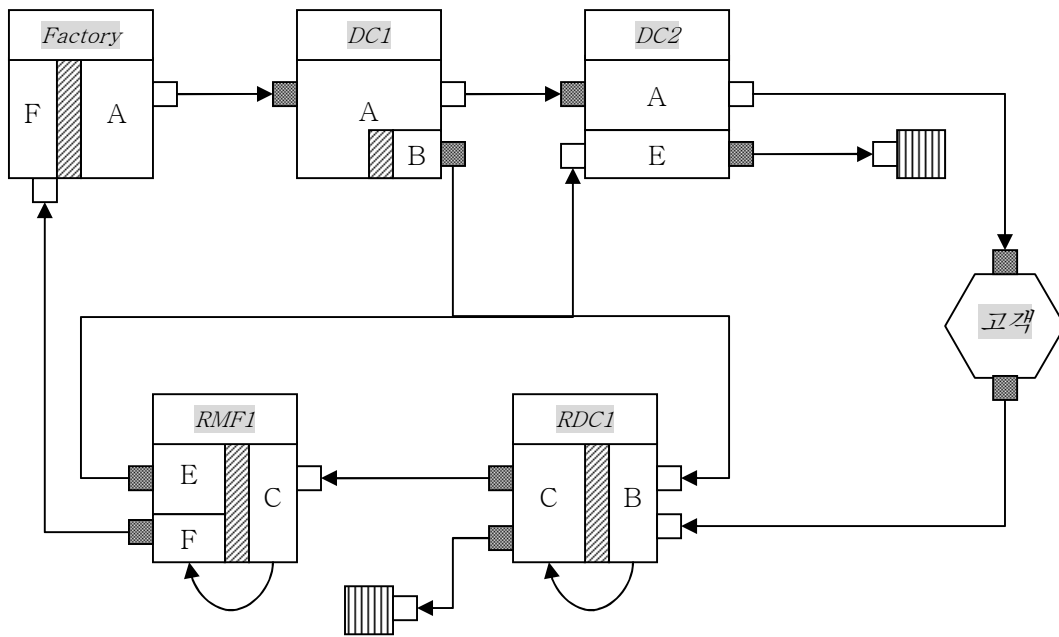
### 5.1 예제 시나리오

국내 L전자회사의 공급사슬구조를 바탕으로 약간의 수정을 가하여 제조업 공급사슬의 예제 시나리오를 작성하였다.

현재 제조업 A기업은 전국적인 공급사슬망을 보유하고 있다. 이 공급사슬망에서는 역물류활동을 위한 설비도 갖추고 있어 물류과정에서 발생하는 폐기품과 고객에서 발생하는 폐기품에 대한 처리가 가능하다. 생산공장에서 생산된 물품은 물류센터와 대규모 도매점을 거쳐 고객에게 전달된다. 고객으로 다 쓴 제품에 대한 수거요청이 들어오면 이를 수거하여 역물류센터를 거쳐 재생산공장으로 보낸다. 또한 물류센터에서 발생하는 불량품 또한 역물류센터로 보내어진다. 역물류센터에서는 수거된 물품을 적절히 가공하여 재생산공장으로 보내는데 가공과정에서 일정량만큼 폐기품 발생한다. 재생산공장에서는 역물류센터에서 회수된 물품을 재가공하여 일부 재활용품은 공장으로 보내고, 또 일부는 수리부품으로 도매점으로 보낸다. 도매점에서는 이 재생산공장에서부터 받은 부품을 A/S수리 부품으로 사용한다.

## 5.2 시뮬레이션 실행

### 5.2.1 시뮬레이션



[그림 5-1] 시뮬레이터에서 모델링 한 공그사슬구조



### 5.2.2 파라미터 입력

<표 5-1> 예제 시나리오의 파라미터 입력

Site	Inventory/Link	Parameter	Value
Factory	-	설치비	0
		단위 시간당 고정비	0
	재고A	최대재고량	10000
		초기재고량	5000
		단위당 재고비용	10
	Transform	변형률	1, 0.8
		변형비용	10
	재고F	최대재고량	10000
		초기재고량	5000
		단위당 재고비용	10
Distribution Center1	-	설치비	0
		단위 시간당 고정비	0
	재고A	최대재고량	10000
		초기재고량	5000
		단위당 재고비용	10
	Transform	변형률	0.001, 0.5
		변형비용	1
	재고B	최대재고량	1000
		초기재고량	500
		단위당 재고비용	10

Site	Inventory/Link	Parameter	Value
Distribution Center2	-	설치비	0
		단위 시간당 고정비	0
	재고A	최대재고량	10000
		초기재고량	5000
		단위당 재고비용	10
	재고E	최대재고량	10000
		초기재고량	5000
		단위당 재고비용	10
	Reverse Distribution Center	-	설치비
단위 시간당 고정비			0
재고B		최대재고량	10000
		초기재고량	5000
		단위당 재고비용	10
Transform		변형률	1,0.8
		변형비용	10
재고C		최대재고량	1000
		초기재고량	100
		단위당 재고비용	10

Site	Inventory/Link	Parameter	Value
Remanufacturing Factory	-	설치비	0
		단위 시간당 고정비	0
	재고C	최대재고량	10000
		초기재고량	1000
		단위당 재고비용	10
	Transform(C->E)	변형률	1, 0.5
		변형비용	10
	재고E	최대재고량	10000
		초기재고량	1000
		단위당 재고비용	10
	Transform(C->F)	변형률	1, 0.4
		변형비용	10
고객	-	설치비	0
		단위 시간당 고정비	0
Disposal Point1	-	설치비	0
		단위 시간당 고정비	0
Disposal Point2	-	설치비	0
		단위 시간당 고정비	0

<표 5-2> 예제 시나리오의 파라미터 입력 및 정책결정

Link	Path	Parameter	Value
Transport1	Factory(A) DC1(A)	리드타임	5
		단위당 수송비용	100
		Lot Size	10
		재고정책	PULL_FQ
		배송정책	DIRECT
Transport2	DC1(A) DC2(A)	리드타임	5
		단위당 수송비용	100
		Lot Size	10
		재고정책	PULL_FQ
		배송정책	DIRECT
Transport3	DC2(A) 고객	리드타임	5
		단위당 수송비용	100
		Lot Size	10
		재고정책	PULL_FQ
		배송정책	Fixed Period
Transport4	고객 RDC1(B)	리드타임	5
		단위당 수송비용	100
		Lot Size	10
		재고정책	PUSH_FP
		배송정책	Fixed Period
Transport5	RDC(B) RMF(B)	리드타임	5
		단위당 수송비용	100
		Lot Size	10
		재고정책	PUSH_FP
		배송정책	Fixed Quantity

Link	Path	Parameter	Value
Transport6	RMF1(E) DC2(E)	리드타임	5
		단위당 수송비용	200
		Lot Size	10
		재고정책	PUSH_FQ
		배송정책	Fixed Quantity
Transport7	RMF1(F) Factory(F)	리드타임	5
		단위당 수송비용	200
		Lot Size	10
		재고정책	PUSH_FQ
		배송정책	Fixed Quantity
Transport8	DC1(B) RDC1(B)	리드타임	5
		단위당 수송비용	200
		Lot Size	10
		재고정책	PUSH_FQ
		배송정책	Fixed Quantity
Transport9	DC2(E) DP1	리드타임	5
		단위당 수송비용	200
		Lot Size	10
		재고정책	PUSH_FP
		배송정책	Direct
Transport10	RDC1(C) DP2	리드타임	5
		단위당 수송비용	200
		Lot Size	10
		재고정책	PUSH_FP
		배송정책	Direct

### 5.3 결과 및 분석

```
>> Import "F:/project/thesis/scm/order.txt"
Success importing 100 orders.
>> Start
Simulator Start.
.....
Simulator End.
>> Export
[Site Cost & Average of Order Lead Time]
Factory: 7314531 (21)
Distribution Center1: 13869325 (23)
Distribution Center2: 18869322 (25)
Customer: 0 (17)
Reverse Distribution Center: 9012152 (50)
Remanufacturing Factory: 15002516 (31)

[Transport Cost]
Transport1: 78400
Transport2: 98200
Transport3: 125300
Transport4: 98500
Transport5: 7800
Transport6: 6670
Transport7: 3230
Transport8: 2850
Transport9: 630
Transport10: 780

[Total Cost]
: 64490206
>>
```

[그림 5-2] 시뮬레이터 실행

<표 5-3> 정책변경에 따른 시뮬레이션 총 비용 비교

Link	Inventory/Transport Policy	Case	Total Cost
Transport2	PULL_Fixed_Quantity System	CASE1	64490206
	DIRECT System		
	PULL_Fixed_Period System	CASE2	
	DIRECT System		
Transport3	PULL_Fixed_Quantity System	CASE1	64490206
	Fixed Period System		
	PULL_Fixed_Period System	CASE3	
	Fixed Period System		
Transport4	PULL_Fixed_Period System	CASE1	64490206
	Fixed Period System		
	PULL_Fixed_Quantity System	CASE4	64490206
	DIRECT System		

## 제 6 장 결론

본 연구에서는 역물류를 고려한 공급사슬 시뮬레이터를 개발하였다. 본 공급사슬 시뮬레이터는 기존의 정 방향 물류 망을 설계할 수 있을 뿐 아니라, 역물류망을 공급사슬에 포함하여 다양한 형태의 공급사슬 네트워크를 설계할 수 있다. 공급사슬에 역물류를 다루기 위하여 역물류 설비 - 재생산공장과 역물류센터 - 의 기능과 속성을 고려하였다. 특히 역물류수요가 역물류 설비를 통해 재생산, 분해 등의 가공을 거치면서 부피와 취급단위가 달라지는 것 감안하여 취급 단위 - 부피, 비용의 일관성을 두기 위해서 변형이라는 작업을 고안하였다. 역물류관련 수요의 흐름으로는 고객으로부터 발생하는 회수수요와 물류과정에서 발생하는 불량에 대한 수거수요, 물류시설에서 발생하는 폐기수요, 재생산공장에서 재생산된 재활용 수요 등을 고려하였다. 시뮬레이터에서는 설비의 수와 규모의 효용성을 시뮬레이션 할 수 있고 네트워크 모델의 타당성 검증이 가능하며 설비의 재고정책과 배송/수거정책 결정에 도움을 준다. 재고정책은 설비간 관계적 특성에 따라 출하주도(PUSH)방식과 입고주도(PULL)으로 분류하였으며 더 구체적으로 재고통제방법에 따라 정기발주, 정량발주, 정기정량발주로 선택사항을 나누었다. 배송정책은 주문 받은 화물을 배송하는 방법으로 정기배송, 정량배송, 즉시배송 의 선택사항을 두었다.

향후 정확한 실증분석을 통하여 보다 현실감 있는 결과를 도출 할 수 있도록 시뮬레이터를 향상 시켜야겠고 나아가 재고정책과 배송정책, 규모와 수를 자동으로 결정할 수 있는 방안의 연구가 필요하다.,



## 참 고 문 헌

David Simchil-Levil, Philp Kaminsky, Edith Simchi-Levi, 『Design and Manageing The Supply Chain』

이영해, 백두권, 『시스템시뮬레이션』, 1993

서석주, “공급사슬의 객체지향모델링 및 시뮬레이션에 대한 연구”, 연세대학교 석사학위논문, 2000

박준호, “Arena를 이용한 공급사슬 시뮬레이터 개발에 관한 연구”, 연세대학교 석사학위논문, 2001

윤정현, “최적 주문 및 생산 정책을 결정하기 위한 공급사슬 시뮬레이터 개발에 관한 연구”, 연세대학교 석사학위논문, 2002

이정세, “회수물류(Reverse Logistics)관리를 위한 네트워크 구축방안”, 대전대학교 학술연구지원비, 2003

Moritz Fleischmann, Han Ronald Krikke, Rommert Dekker, Simme Douwe P. Flapper, “A characterisation of logistics networks for product recovery”, The International Journal of Management Science, Omega 28 (2000) 653-666

Hokey Min, Hyun Jeung Ko, Chang Seong Ko, "A genetic algorithm approach to developing the multi-echelon reverse logistics network for product returns", *The International Journal of Management Science*, 2004

Hyung Jeung Ko, Gerald W. Evans, "A genetic algorithm -based heuristic for the dynamic intergrated forward/reverse logistics network for 3PLs", *Computer & Operations Research*, 2005

Sarkis, j.j Darnall, N., Nehman, G., Priest, J., "The role of supply chain management within the industrial ecosystem", *Proceeding of the 1995 IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, Orlando, FL, pp.229-234, 1995

Moritz Fleischmann, Jacqueline M. Bloemhof-Ruwaard, Rommert Dekker, Erwin van der Laan, Jo A.E.E. van Nunen, Luk N. Van Wassenhove, "Quantitative models for reverse logistics - A review", *European Journal of Operational Research*, 1997;103:1-17

Shear H, Speh TW, Stock JR, "The warehousing link of reverse logistics", *The 26<sup>th</sup> annual warehousing education and research council conference*, 2003

Jiuh-Biing Sheu, Yi-Hwa Chou, Chun-Chia Hu, "An integrated logistics operational model for green-supply chain management", *Transportation Research Parte*, 2004

Vaidyanathan Jayaraman, Raymond A. Patterson, Erik Rolland, "The design of reverse distribution networks: Model and solution procedures", *European Journal of Operation Research* 150(2003) 128-149, 2003

Kris Lieckens, Nico Vandaele, "Reverse logistics network design with stochastic lead times", *Computers & Operations Research*, 2005

M. Mehdi Amini, Donna Retzlaff-Roberts, Carol C. Bienstock, "Designing a reverse logistics operation for short cycle time repair service", *International Journal of Production economics* 96(2005) 367-380

Ian M. Langella, "Heuristics for demand-driven disassembly planning", *Computer & Operation Research*, 2005

P. FRASER JOHNSON, "MANAGING VALUE IN REVERSE LOGISTICS SYSTEMS", *Transpn Res-E (Logistics and Transpn Rev.)*, Vol. 34, No. 3, pp. 217-227, 1998

Rainer Kelber, Stefan Minner, Gudrun Kiesmuller, “A continuous time inventory model for a product recovery system with multiple options”, *International Journal of Production Economics*, 79(2002) 121-141

Tung-Lai Hu, Juih-Biing Sheu, Kuan-Hsiung Huangk, “A reverse logistics cost minimization model for the treatment of hazardous wastes”, *Transportation Research Part E* 38 (2002) 457-473

Kris Lieckens, Nico Vandaele, “Reverse logistics network design with stochastic lead times”, *Computer & Operations Research*, 2005

Manu Sharma, Jane C. Ammons, Joseph C. Hartman, “Asset management with reverse product flows and environmental considerations”, *Computer & Operations Research*, 2005

## 감사의 글

석사학위 논문을 쓰기까지 도와 주신 많은 분들께 감사의 뜻을 전하고 싶습니다.

### Thanks

부족한 저를 거두어 주시고 지난 3년 6개월 동안 아낌없는 가르침으로 이끌어 주신 신재영 교수님께 감사 드립니다.

물류정보실험실의 모범이 되어주신 하태영 선배, 저에게 앎보다 중요한 것을 가르쳐 주셨던 이채민(fiancé) 선배, 고뇌하는 저에게 조언과 격려 아끼지 않으신 최훈호(huno) 선배, 버릇없는 저에게 조차 든든한 울타리가 되어 주셨던 [Cigarette Yeo]병호 선배, 실험실 살림 사는 법을 가르쳐 주셨던 [Charley Park]지철 선배께 감사 드립니다. 석사학위 수여의 기쁨을 함께 한 손성일(sean) 선배, [Digital Kim]웅섭(bear) 선배, 서경무(seo) 선배께도 감사를 드리며 두 책상을 셋이 같이 쓰며 공부했던 송현주와 김준석에게는 미안함과 고마움을 같이 전하고 싶습니다. 아울러 그 동안 잘 따라와준 사랑하는 실험실 동생들 이종호(JH), 김세연(seyoun), 이정우(woo)에게도 고마움을 전합니다.

실험실 생활을 같이 하지는 않았지만 GV활동을 통해 꿈을 심어주신 김태원 선배와 옥영훈 선배, 맛있는 거 많이 사주신 김광덕 선배, 실험실 일에 항상 관심을 가져주신 이환욱 선배, 여러 프로젝트 통해서 좋은 경험을 할 수 있게 해주신 이청우 선배님, 물류정보실험실의 큰 기둥이시면서 여러모로 저희에게 힘이 되어주신 박두호 선배님, 이광인 선배님께도 감사의 마음 전합니다. 그 밖에 대외적으로 많은 도움을 주신 오인환 선배님과 안영복 선배님께도 감사 드립니다.

## Special Thanks

석사학위를 받기까지 저의 가장 큰 힘이 되어 주었고 어려울 때 저를 지탱해 준 분들은 우리 가족들입니다. 저를 뒷바라지 하시느라 고생하신 어머니, 묵묵히 지켜봐 주신 아버지, 우리 가족을 위해서 내 뒤통까지 힘써줬던 동생, 저를 위해 항상 기도하시는 할머니께 고마움을 전합니다.

## Special Forth

논문의 산고를 함께했던 추봉성(고갈산장) 선배와 학문하는 즐거움을 일깨워주셨던 이홍걸(무림본색) 선배께 감사 드립니다. 선배들의 가르침을 가슴에 새겨 앞으로 더 강한 Forth를 위하여 \_\_\_\_\_(을)를 꾸준히 연마하겠습니다.