

크로스도킹 시스템을 위한 물류센터의 설계

- Design of Distribution Facility for Cross Docking System -

유우연 *

Yu Woo Yeon

신정현 **

Shin Jung Hyun

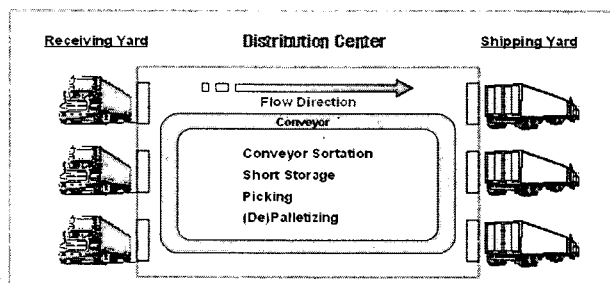
박윤선 *

Park Yun Sun

1. 서론

일반적으로 공급망 관리를 설계함에 있어서 효율적인 물류관리를 위해서 제조업체로부터 최종 소비자까지 직접 배송되기 보다는 물류센터(distribution facility)라는 중간 지점을 거쳐서 배송이 이루어진다. 이러한 물류센터를 운영함에 있어서 가장 커다란 비용을 차지하는 부분이 재고와 관련된 비용인데, 크로스도킹 시스템은 이러한 재고 비용을 절감하기 위하여 최근에 많이 활용되고 있는 물류기법이다.

크로스도킹은 물류센터의 운영 개념으로써 입고트럭에 의해 배달된 물품이 재고로써 보관됨이 없이 즉시 고객의 수요에 따라 재분류되어 출하트럭에 적재되어 고객에게 배달되는 프로세스로 구성된다<그림 1>. 만일 어떠한 물품이 보관된다면 그것은 아주 짧은 기간 동안만 보관되며, 보관 기간은 일반적으로 24시간을 넘지 않는다. 이러한 크로스도킹은 재고 비용 절감, 물류센터 공간의 감소, 그리고 고객의 주문에 대한 대응시간 감소 등의 이점을 지니고 있다.



<그림 1> 전형적인 크로스도킹 물류센터

* 명지대학교 산업공학과 교수

** 명지대학교 산업공학과 석사과정

여러 문헌에서 General Motors[3], UPS[5], Wal Mart[6], 그리고 Toyota[11] 등과 같은 글로벌 기업에서의 성공적인 크로스도킹 운영에 따른 막대한 물류비용의 절감을 보고하고 있으나, 크로스도킹 시스템에 대한 학문적인 연구는 미흡한 실정이다. 특히, 크로스도킹 시스템을 위한 물류센터의 설계 부분은 물류센터의 운영비용 및 효율성에 가장 결정적인 미치는 요인임에도 불구하고 이에 대한 학문적인 연구는 매우 미흡하다.

물류 센터를 설계할 때는 하루에 처리하여야 하는 예상 물동량을 근거로 물류 센터의 규모를 결정하고 이에 따라 입고 창구(receiving dock)와 출하 창구(shipping dock)의 수와 위치가 결정되어야 하며 이러한 요인들과 아울러 물류센터 내의 컨베이어의 설계 또는 물류 장치의 설계가 이루어져야 한다. 이와 같은 요인들에 대한 체계적이고 과학적인 고려 없이 물류센터를 설계한다면 크로스도킹 도입에 따른 기대효과는 반감될 것이며 경우에 따라서 크로스도킹의 도입은 실패로 결론 되어질 것이다. 예를 들어 만일 필요한 수보다 많은 입고 창구 및 출하 창구를 설정하였을 경우에는 물류센터의 공간적인 낭비뿐만 아니라 물류센터 내의 컨베이어의 운영에 따른 비용 증가 및 입고 창구부터 출하 창구까지 길어진 이동 거리에 따른 물류센터 내에서 처리되는 운영시간의 증가 등이 발생할 것이다. 반면에, 만일 필요한 수보다 적은 입고 창구 및 출하 창구를 설정하였을 경우에는 입고 창구와 출하 창구의 병목현상으로 인해 총 운영시간의 증가 등 전반적인 물류센터의 기능이 약화될 것이다.

이에 본 연구에서는 크로스도킹 도입에 따른 물류비용 감소 및 물류 운영의 효율성 증대를 위한 과학적인 크로스도킹 시스템 설계를 수학적 모델과 시뮬레이션 모델을 통하여 제시하고자 한다.

2. 연구 동향

앞에서도 언급된 바와 같이 물류와 관련된 많은 상업적인 잡지 및 신문에서 크로스도킹 시스템의 성공적인 구축을 기사화하여 다루고 있다. 하지만 크로스도킹 시스템에 대한 학문적인 연구는 매우 미흡하며 이러한 이유로 체계적이고 과학적인 크로스도킹 시스템의 적용은 아직까지 이루어지지 못하고 있는 실정이다.

크로스도킹 시스템에 대한 첫 번째 학문적인 연구는 Rohrer[7]에 의해 발표되었다. 그는 크로스도킹 시스템을 모델링할 때의 기법과 발생할 수 있는 이슈에 대해서 논하였으며 크로스도킹의 성공적인 도입을 위해서는 시뮬레이션 기법을 통하여 최적의 하드웨어적인 요소와 소프트웨어적인 요소를 결정해야 한다고 주장하였다. 그는 논문에서 크로스도킹을 위한 시뮬레이션 모델은 가능한 한 실제의 크로스도킹을 표현할 수 있도록 자세하게 설계되어야 하지만 이로 인해서 시뮬레이션의 실행 시간이 너무 길어지지 않도록 주의해야 한다고 언급하였다. 그의 논문은 비록 크로스도킹 시스템의 구축에 있어서 시뮬레이션 기법을 활용할 것을 주장하였지만 실제적인 적용 사례는 발표되지 않았다.

크로스도킹 시스템 하에서의 운영방안에 대한 연구는 Yu[13, 14, 15]에 의해서 발표되었다. 그는 여러 가지 운영 환경 하에서 크로스도킹 시스템의 총 운영 시간을 최소

화하기 위한 입고 트럭과 출하 트럭의 일정계획을 수립하기 위한 수학적 모델 (mathematical model)과 경험적 기법(heuristic method)을 개발하여 다양한 모델에 적용하였다. 그는 논문에서 수학적 모델의 실무 적용은 장시간에 걸친 계산 시간 (computational time)으로 불가능하기 때문에 다양한 경험적 기법들이 개발되어야 한다고 주장하였다. 그의 연구에서는 입고 창구와 출하 창구가 각각 하나인 크로스도킹 시스템을 가정하였기 때문에 그의 연구 결과에 대한 실무적인 적용은 어려운 점이 있지만 논문에서 수행된 크로스도킹 시스템의 운영 원리에 대한 분석은 복수 창구를 지닌 크로스도킹 시스템을 위한 운영 방안의 연구에 도움을 줄 것으로 기대된다.

마지막으로 최근에 Bartholdi[2]는 그의 논문에서 크로스도킹 시스템을 위한 물류센터의 입고 창구와 출하 창구의 지형적인 배치 모양에 대해서 연구하였다. 물류센터를 효율적으로 운영하기 위해서는 물류센터 내부에서의 운반 거리를 줄이는 것이 중요하다고 판단하여 전통적인 직사각형 모양의 물류센터 이외에 I자형 물류센터, L자형 물류센터, 그리고 T자형 물류센터에 대한 실험을 하였다. 이들은 입고 창구 및 출하 창구의 크기에 따라 어떠한 모양의 물류 센터가 최적의 모양인지를 연구하였다.

3. 시스템의 특징 및 가정

본 연구에서 크로스도킹 시스템을 위한 물류 센터의 설계란 다음과 같은 일련의 연구를 수행하는 것을 의미한다.

- 물류센터의 규모(scale) 결정
- 입고 창구(receiving dock)의 수 결정
- 출하 창구(shipping dock)의 수 결정
- 물류센터의 모양(shape)의 결정

이와 같은 물류센터의 설계는 다음과 같은 가정 하에서 이루어진다.

- 1) 단위 기간 동안에 (예를 들면, 1일) 물류센터로 입고되는 모든 물품은 반드시 그 단위 기간 내에 출고된다.
- 2) 각 물품 종류에 대해서 단위 기간 동안에 입고되는 물품의 총 수량과 출하되는 물품의 총 수량은 동일하다.
- 3) 장기간의 재고는 허용되지 않는다. 물류센터 내에서 재고가 허용되는 유일한 경우는 물품이 입고 트럭으로부터 하역되었으나 그 물품을 필요로 하는 출하 트럭이 아직 출하 창구에 들어오지 못했을 경우에만 단기 재고로 허락된다.
- 4) 각 입출고 창구에 도착한 차량은 하역 작업을 마친 경우에만 이동이 가능하다.

위와 같은 가정 하에서 크로스도킹 시스템을 위한 물류센터를 설계하기 위해서는 다음에 나타난 데이터를 수집하여 사전에 알고 있어야 한다.

- 1) 각 입고 트럭에 적재되어 있는 물품의 종류 및 수량.
- 2) 각 출하 트럭에 적재될 물품의 종류 및 수량.
- 3) 입고 트럭의 교체에 소요되는 시간.
- 4) 출하 트럭의 교체에 소요되는 시간.
- 5) 입고 트럭으로부터 단위 물품을 하역하는데 소요되는 시간.
- 6) 출하 트럭으로 단위 물품을 상차하는데 소요되는 시간.
- 7) 각 입고 창구로부터 각 출하 창구까지의 거리.
- 8) 물류 장치의 이동 속도(컨베이어의 속도).
- 9) 입고 창구와 출하 창구의 크기(넓이)

4. 수학적 모델

수학적 모델링 기법은 모든 데이터가 결정적(deterministic data)일 경우에 적용될 수 있으며 장점은 요구되는 물동량을 충족하기 위해서 필요한 최소 입고 창구의 수와 출하 창구의 수를 결정하기 위한 최적해를 구할 수 있다는 것이다. 제품의 상하차 시간과 시스템 안에서의 제품 이동시간이 결정적 변수인 경우에 입출고 창구의 수를 정하는 수학적 모델은 다음과 같다.

$$\frac{\left(\sum_i \sum_j X_{ij} \cdot T_{1j} \right) + \left(\sum_i \sum_j X_{ij} \cdot T_{2j} \right) + C}{H} \times \alpha$$

i = 트럭 종류

j = 제품 종류

X = 연간 제품 수량

T_{1j} = 제품 종류 j 에 따른 제품의 Unloading 시간

T_{2j} = 제품 종류 j 에 따른 제품의 Loading 시간

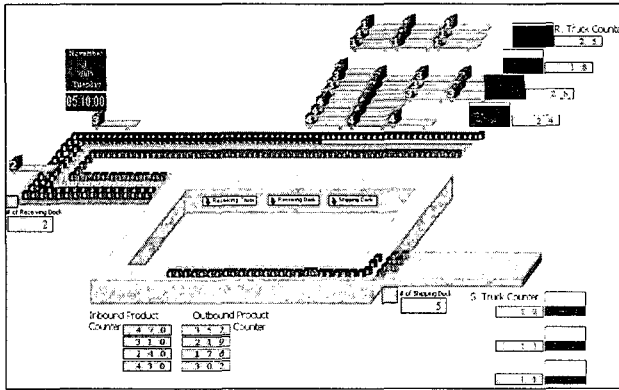
C = 시스템 내부 이동시간

H = 연간 작업시간

α = 안전계수

이러한 수학적 모델은 전통적인 물류센터의 입출고 창구의 수를 정하는 방식이다. 이는 실제 운영상 발생할 수 있는 확률적인 사건들에 대한 처리를 할 수 없으며, 시간에 따라 차등적으로 입고되는 물량을 반영하지 못하여 트럭의 대기시간을 증가시키는 원인이 될 수 있다. 이러한 이유로 일반적으로 현실 세계에서 크로스도킹을 운영하는데 필요한 입고 창구의 수나 출하 창구의 수보다 적은 최적해를 산출할 수 있다는 단점을 지니고 있다.

5. 시뮬레이션 모델 개발

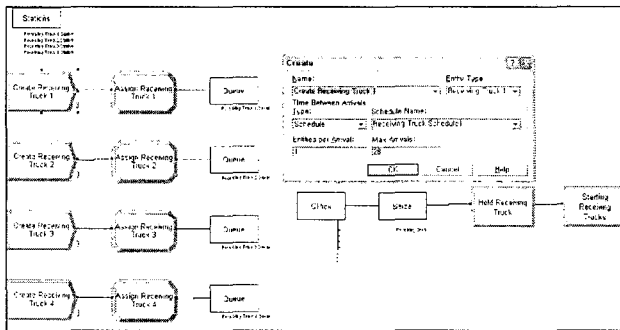


<그림 2> Cross-Docking System Overview

을 고려하여 필요한 입고 창구의 수를 계산하는 것은 수학적 모델로는 불가능하며 시뮬레이션 기법을 이용하여 처리를 하여야 한다. 크로스도킹 시스템을 위한 시뮬레이션 모델은 실제 물류센터의 운영환경과 유사한 환경에서의 물류센터 운영에 대한 분석을 할 수 있도록 다음의 기능을 갖추고 있도록 개발하였다.

입고 트럭이 물류센터에 도착하는 시간대에 대한 분포를 가질 수 있도록 설계 하였다. 이러한 기능을 적용함으로써 피크타임(peak time) 동안의 물류센터 운영 상황을 분석할 수 있는 기회를 갖는다.<그림 3>

입고 트럭이 입고 창구에 진입할 경우와 출하 트럭이 출하 창구에 진입할 경우의 트럭 선정에 대한 우선순위 적용을 위한 다양한 규칙(rule)을 적용할 수 있는 기능을 갖추도록 개발하였다. 선입선출(first-in first out) 또는 후입선출(last-in first-out) 을 비롯한 많은 규칙들을 적용시켜가며 크로스도킹 시스템을 위한 물류창고의 운영에 가장



<그림 3> Receiving Truck Module

문제와 마찬가지로 최적의 물류센터 규모를 도출하는 것이 연구목적중의 하나이므로

실제 환경 하에서의 운영 조건과 유사한 확률적인 데이터를 처리하기 위해서 시뮬레이션 기법이 활용된다. 실제 크로스도킹의 운영 환경의 예를 들면, 모든 입고 트럭이 단위 기간 동안에 균일하게 분포되어 물류 센터에 도착하지는 않으며 어떠한 시간대에 집중적인 확률적 분포를 가지고 도착할 수 있다. 이러한 확률적인 상황

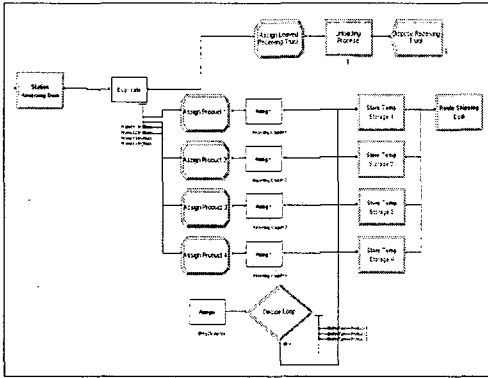
효율적으로 작용하는 규칙에 대한 연구를 수행할 수 있다.

입고 창구와 출하 창구의 수를 변경시킬 수 있는 기능을 갖는다. 연구 목적중의 하나는 최적의 입고 창구 수와 출하 창구수를 설계하는 것이기 때문에 이러한 기능이 포함되도록 시뮬레이션 모델을 구축하였다.

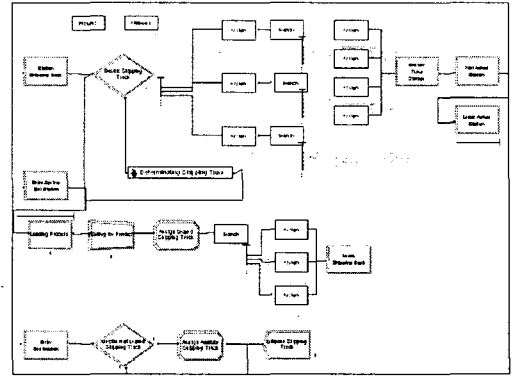
물류센터의 규모를 변경시킬 수 있는 기능을 갖는다. 앞의

이러한 기능이 포함되도록 시뮬레이션을 설계하였다.

이와 같이 확률적 분포를 갖는 다양한 경우에 대해서 여러 차례의 시뮬레이션을 반복 수행함으로써 실제 물류센터의 운영환경과 유사한 환경 하에서의 물류센터의 설계를 이룰 수 있다. 물류센터의 구축에 있어서 설계의 중요성을 감안할 때 물류센터 구축 전 시뮬레이션의 적용은 필수적으로 이루어져야 한다.



<그림 5> Receiving Dock Module



<그림 4> Shipping Dock Module

5.1 세부 모델링

본 크로스도킹 시스템 모델의 특징을 수행 절차에 따라 설명하면 다음과 같다.

- 1) 입출고 트럭의 제품종류에 따른 제품수량을 각각 임의로 조정할 수 있다.
- 2) 입고트럭의 도착 스케줄을 임의로 조정할 수 있다.
- 3) 입고트럭의 대기행렬에서 CYC, FIFO, LIFO, LANDOM 등 원하는 룰을 사용하여 입고도크에 대기시킬 수 있다.
- 4) 입고도크의 대기행렬이 0인 경우에만 입고트럭이 입고도크로 일정분포의 이동속도로 이동한다.
- 5) 입고트럭의 제품이 Unloading Time을 가지고 임시저장소에 내려지며 제품을 다 내린 트럭은 시스템을 빠져나간다.
- 6) 출고트럭이 원하는 제품이 임시저장소에 없는 경우 도착할 때까지 계속 기다려야 하는 오류를 최소화하기 위한 로직을 개발하였다. 이는 현재 임시저장소에 가장 많이 도착한 제품종류를 선택하고 그 제품을 가장 많은 수량으로 싣고 갈 출고트럭을 선택하는 것이다.

```

IF MX(NSTO(Temporary Storage 1), NSTO(Temporary Storage 2), NSTO(Temporary Storage
3), NSTO(Temporary Storage 4)) == NSTO(Temporary Storage 1)
IF MX(NSTO(Temporary Storage 1), NSTO(Temporary Storage 2), NSTO(Temporary Storage
3), NSTO(Temporary Storage 4)) == NSTO(Temporary Storage 2)
IF MX(NSTO(Temporary Storage 1), NSTO(Temporary Storage 2), NSTO(Temporary Storage
3), NSTO(Temporary Storage 4)) == NSTO(Temporary Storage 3)
IF MX(NSTO(Temporary Storage 1), NSTO(Temporary Storage 2), NSTO(Temporary Storage
3), NSTO(Temporary Storage 4)) == NSTO(Temporary Storage 4)

```

```

IF MX(Shipping Truck Capacity(1,1)*Available ST(1), Shipping Truck Capacity(2,1)*Available
ST(2), Shipping Truck Capacity(3,1)*Available ST(3)) == Shipping Truck Capacity(1,1)
IF MX(Shipping Truck Capacity(1,1)*Available ST(1), Shipping Truck Capacity(2,1)*Available
ST(2), Shipping Truck Capacity(3,1)*Available ST(3)) == Shipping Truck Capacity(2,1)
IF MX(Shipping Truck Capacity(1,1)*Available ST(1), Shipping Truck Capacity(2,1)*Available
ST(2), Shipping Truck Capacity(3,1)*Available ST(3)) == Shipping Truck Capacity(3,1)

```

```

IF # of Shipping Product 1 < Shipping Truck Capacity(1,1) && Entity.Type == Product 1
IF # of Shipping Product 2 < Shipping Truck Capacity(1,2) && Entity.Type == Product 2
IF # of Shipping Product 3 < Shipping Truck Capacity(1,3) && Entity.Type == Product 3
IF # of Shipping Product 4 < Shipping Truck Capacity(1,4) && Entity.Type == Product 4
Else Assign Loop

```

- 7) 출고트럭이 선택된 이후, 해당 트럭이 원하는 제품의 수량만큼 컨베이어를 따라 이동하게 되어 일정 Loading Time을 소비한 후 출고트럭에 적하된다. 이때 각각의 출고 트럭이 원하는 수량이 도착 할 때 까지 출고트럭은 대기하며, 그 수량만큼 적재 되었을 때 시스템을 빠져 나간다.
- 8) 시스템을 빠져 나간 출고 트럭의 변수를 가용하지 않은 상태로 만들어 줌으로써 6)에서 출고트럭을 선택할 때 오류가 발생하지 않으며, 이는 시스템에 입고된 수량만큼 출고시키기 위한 필수적 모듈이다.

5.2 실험 결과

엑셀의 난수발생기를 이용하여 입력 데이터를 산출하고 여러 차례 실험을 통하여 모델의 유효성을 검사 하였으며, 실험에 사용한 입력 데이터의 한 예로 12시간의 일일 작업시간동안 112대의 입고트럭이 총 2,520개의 제품을 250일 동안 신고 들어오는 경우 필요한 최소 Dock의 수는 입고창구 5개 출고창구 4개로 산출되었다. 이는 Process Analyzer를 통하여 Dock의 수를 변경하는 20가지의 시나리오를 선정하여 얻은 실험 결과이다. <그림 6>

Scenario Properties		Controls			Responses							
S	Name	Program File	Repts	Receiving Dock	Outbound Dock	RT Counter1	RT Counter2	RT Counter3	RT Counter4	ST Counter1	ST Counter2	ST Counter3
1	Scenario 1	45: P90_T30p	1	1,000	1,000	28,000	28,000	28,000	28,000	15,000	15,000	14,000
2	Scenario 2	45: P90_T30p	1	2,000	2,000	28,000	28,000	28,000	28,000	20,000	20,000	20,000
3	Scenario 3	45: P90_T30p	1	3,000	3,000	28,000	28,000	28,000	28,000	10,000	10,000	10,000
4	Scenario 4	45: P90_T30p	1	4,000	4,000	28,000	28,000	28,000	28,000	11,000	16,000	16,000
5	Scenario 5	45: P90_T30p	1	4,000	5,000	28,000	28,000	28,000	28,000	17,000	16,000	16,000
6	Scenario 6	45: P90_T30p	1	4,000	6,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	17,000	16,000
7	Scenario 7	45: P90_T30p	1	5,000	5,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000
8	Scenario 8	45: P90_T30p	1	5,000	5,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000
9	Scenario 9	45: P90_T30p	1	5,000	5,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000
10	Scenario 10	45: P90_T30p	1	6,000	4,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000
11	Scenario 11	45: P90_T30p	1	6,000	5,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000
12	Scenario 12	45: P90_T30p	1	6,000	6,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000
13	Scenario 13	45: P90_T30p	1	7,000	4,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000
14	Scenario 14	45: P90_T30p	1	7,000	5,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000
15	Scenario 15	45: P90_T30p	1	7,000	6,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000
16	Scenario 16	45: P90_T30p	1	7,000	7,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000
17	Scenario 17	45: P90_T30p	1	8,000	4,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000
18	Scenario 18	45: P90_T30p	1	8,000	5,000	28,000	28,000	28,000	28,000	12,000	12,000	11,000
19	Scenario 19	45: P90_T30p	1	8,000	4,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000	28,000
20	Scenario 20	45: P90_T30p	1	9,000	3,000	28,000	28,000	28,000	28,000	12,000	12,000	11,000

<그림 6> Process Analyzer 분석결과

6. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 Arena7.01 Professional version의 Process Analyzer를 이용하여 일일 입고되는 물량을 처리하기 위한 크로스도킹 물류시스템의 최소 입출고 창구의 수를 선정하는 시뮬레이션을 수행하였다. 앞으로는 입고되는 트럭의 피크타임에 따라서 달라지는 입출고 창구(Dock)의 가동률 분석을 통해서 실제 시스템에서 필요로 하는 Dock의 최적 가동률을 가지는 입출고 창구(Dock)를 선정하도록 하겠다. 이를 위하여 Arena의 최적해 탐색지원 툴인 OPTQuest를 사용하여 연구를 진행할 것이다.

[참고문헌]

- [1] Apte, U.M and Viswanathan S., "Effective Cross Docking for Improving Distribution Efficiencies", International Journal of Logistics, Vol.3 (2000), pp.291-302.
- [2] Bartholdi, John J. and Gue, Kevin R. "The Best Shape for a Crossdock", Transportation Science, 38(2) (2004), pp.235-244.
- [3] Bhaskaran, Sita "Identification of Transshipment Center Locations - General Motors, U.S.A.", European Journal of Operational Research, Vol.63 (1992), pp.141-150.
- [4] Cooke, James Aaron, "Do You Have What It takes to Cross Dock?", Logistics Management, September (1996), pp.47-50.

- [5] Forger, Gary, "UPS starts World's Premiere Cross-Docking Operation", *Modern Materials Handling*, November (1995), pp.30-36.
- [6] Gue, Kevin R., "Cross Docking: Just-In-Time for Distribution", working paper, (2002).
- [7] Rohrer, Matthew, "Simulation and Cross Docking", *Proceedings of the 1995 Winter Simulation Conference*, (1995), pp.846-848.
- [8] Schaffer, Burt, "Cross Docking can Increase Efficiency", *Automatic I.D. News*, 14(8) July (1998), pp.34-37.
- [9] Schwind, Gene F., "Considerations for Cross Docking", *Material Handling Engineering*, 50(12) November (1995), pp.47-51.
- [10] Schwind, Gene F., "A Systems Approach to Docks and Cross Docking", *Material Handling Engineering*, 51(2) February (1996), pp.59-62.
- [11] Witt, Clyde E., "Cross Docking : Concepts Demand Choice", *Material Handling Engineering*, 53(7) July (1998), pp.44-49.
- [12] Wurz, Al, "Cross Docking is Workable Today!", *Automatic I.D. News*, 10(5) May (1994), pp.56-57.
- [13] Yu, Wooyeon, "Operational Strategies for Cross Docking Systems", Iowa State University, Ph.D Dissertation, (2002).
- [14] Yu, Wooyeon, "Scheduling Problem of Receiving and Shipping Trucks for Cross Docking Systems", *안전경영과학회지*, 4(3), (2002), pp.79-93.
- [15] Yu, Wooyeon, "Mathematical Model for Cross Docking Systems without Temporary Storage", *안전경영과학회지*, 5(3), (2003), pp.165-177.