

항공화물 보세창고의 화물 저장법과 이송 장비 운영의 효율성 개선

송권섭 · 이후언 · 채준재[†]

한국항공대학교 항공교통물류학부

A Study for Efficiency of Storing Method and Vehicle Operation in Bonded Warehouse at Airport

Kwonseop Song · Huun Lee · Junjae Chae[†]

Air Transport, Transportation, and Logistics, Korea Aerospace University

A bonded warehouse is the warehouse located in bonded area. It functions not only as a general warehouse but also as a place for managing the work related to import and export bonded goods. As a general warehouse, it uses the rack system to store the goods and the fork lift truck to move the unitized goods. The operation of the storing system closely related to the efficiency of space uses in a warehouse and vehicle working. Thus, vehicle performance measured in distance units in the warehouse could be used as one of the key performance measure in warehouse system. This paper focuses on the operation efficiency of the bonded warehouse which uses rack system for the storing and the fork lift truck for moving goods. The method of load allocation for balancing the rack uses and vehicle operation for maximizing efficiency are the specific concerns in this paper. The simulation study is conducted to find a policy for efficient vehicle operation based on balanced rack utilization, and the favorable result for the system operation would lead the usable proposal in vehicle operation.

Keywords : Load Allocation, Assign Number of Bays, Vehicle Operation, Simulation

1. 서 론

보세창고란 외국물건 또는 일정한 내국물건에 대하여 관세법에 의하여 관세의 부과가 유보되는 지역(관세법 183조)으로서, 위치별로 크게 두 가지로 구분된다. 첫 번째는 입항지에 위치해 있는 보세창고로서, 이는 Airside/ Seaside 부분과 Landside 부분으로 나뉘어져 있어, 입출고점이 2개 이상이다. 두 번째는 내륙에 위치하는 형태로서, 화주의 통관상의 편의에 따라 위치를 선택할 수 있다.

현재, 우리나라의 수출입은 선박과 항공기를 통해서 이루어진다. 해운 분야에서의 수출입 프로세스는 주로

컨테이너 단위를 기본으로 하여 주로 야적장에서 이루어지며, 항공 분야에서는 팔레트 단위를 기본으로 항공 화물창고에서 이루어진다.

본 연구에서는 공항에 위치한 항공화물 보세창고를 주요 모델로 선정하였다.

대부분의 항공화물 보세창고는 크게 두 가지의 역할을 담당한다. 첫 번째는 화물 보관 역할, 두 번째는 보세 화물의 수출입 절차를 위한 관리 역할이다. 전자의 경우, 비교적 오랜 기간(10일 이상), 특정 화주의 화물이 대부분이며, 후자의 경우에는 비교적 짧은 기간(보통 3일 이하), 여러 화주의 화물이 대부분이라는 특징을 가지고 있다.

논문접수일 : 2008년 08월 21일 논문수정일 : 2008년 09월 26일 게재확정일 : 2009년 01월 09일

[†] 교신저자 jchae@kau.ac.kr

※ 이 논문은 2007년도 한국항공대학교 교비지원 연구비에 의하여 지원된 연구의 결과임.

그러므로 항공화물 수출입 프로세스에서는 보세 처리를 주목적으로 하는 화물들과 저장 관리의 화물들로 구분하여, 랙(rack) 저장 및 임시 저장을 동시에 고려해야 한다.

위와 같은 사실은 화물의 크기와 목적, 화주에 따라 구분/관리되어야 한다는 것을 의미한다. 하지만 화물의 다양성은 창고 운영 관리의 복잡성에 영향을 주게 되어 비용 증가를 야기한다.

본 연구는 보세창고의 운영 개선을 위한 방안 도출을 목적으로 한다. 연구의 범위는 수출입 화물을 담당하는 보세창고의 화물의 적하에서 출하까지이며, 시물레이션(AutoMod 12.1)을 이용하여 창고 이용율에 따른 화물 종류별 베이 할당법과 동선 거리를 고려한 이송 장비 운용법을 알아보고자 한다.

본 연구의 구성은 제 2장에서 이에 관련된 이론에 대해 고찰하고, 제 3장에서 본 연구의 주요 문제에 대해 정의한다. 제 4장에서는 화물 종류별 면적 및 베이 위치 할당법을 소개하고, 제 5장에서 이송 장비의 개선 운용법을 분석하여, 제 6장에서 결론을 제시하고자 한다.

2. 관련 연구

저장 방법에 관한 연구로, Kosfeld, M.(1998)은 인텔사의 새로운 물류 창고를 설계할 당시, 마이크로 프로세서의 발전 속도와 그 크기에 대처하기 위해, 시물레이션을 통해 구현해보고 최적화 조건을 찾고자 하였다. 황홍석 등(2002)은 물류센터의 최적운영을 고려한 저장설비의 능력산정을 위하여 피킹 지역(Forward Area)과 저장지역(Reserve Area)을 동시에 고려한 저장설비의 능력산정모델을 제시하였다.

이송 장비에 관한 연구로, 전동훈 등(1999)은 무인운반 시스템을 최적화시키는 것을 목적으로 동적 라우팅과 스케줄링에 대해 연구하였으며, Kim 등(2007)은 OHT(Overhead Hoist Transfer) 사용에 관한 이송 장비 스케줄의 재할당 계획에 대하여 논하였다. 또한 황학 등(2003)은 군집 분석을 바탕으로한 Order-batching 알고리즘을 이용하여 창고 하역 시스템의 효율성을 높이고자 하였다.

위와 같은 기존의 연구들은 주로 항만/제조 분야에 걸쳐 이루어져 왔다. 하지만 현재 우리나라의 급격한 항공화물량의 증가에도 불구하고 항공화물창고의 특성에 따른 창고 운영 시스템(Warehouse Management System) 효율성 연구는 상대적으로 미비했다.

보세창고는 다른 분야의 창고에 비해 규모가 작아 랙 시스템을 이용하고 있는 경우, 저층인 경우가 많고, 각종 시설물들로 인한 동선 제약이 심하다. 따라서 본 연구는 이용율과 거리를 동시에 고려한 창고 운영 방안을

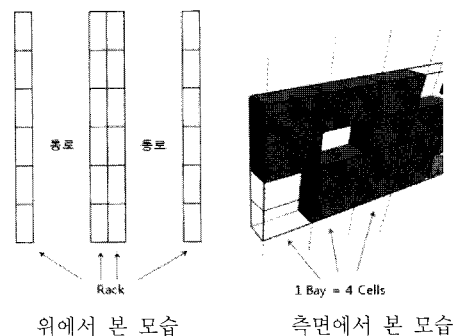
도출해 보고자 하며, 이에 따른 이송 장비의 효율적 운용 방식을 알아보고자 한다.

3. 문제 정의

항공화물 보세창고(이하 보세창고)는 Airside와 Landside로 나뉘어져 있다. Airside는 수입 통관을 위해 대기하고 있는 보세화물을 취급하는 곳으로서, 인가자 외에는 출입할 수 없는 공간이다. 반면, Landside는 주로 수출 화물을 취급하며, 필요한 경우, 재포장이나 재팔레타이징 등의 업무를 수행하는 곳이다. 그러므로 보세창고의 입출고점(Input/Output Point)은 2개 이상이며, 하나는 Airside에, 다른 하나는 Landside에 위치한다.

일반적인 보세창고는 저장 랙 시스템을 활용하고 있다. 이러한 창고에서는 저장 방법에 따라 창고의 운영 효율이 달라지게 된다.

저장법에는 크게 임의 저장 방식(randomized storage)과 지정 저장 방식(dedicated storage), 구역 분할 방식이 있다[7]. 임의 저장 방식은 화물의 보관 위치를 임의로 정하는 방식으로서, 수학적으로 각 베이에 선택될 확률은 모두 같다. 하지만 임의 저장 방식은 화물의 특성(발생율, 저장 기간 등)이 반영되지 않아 이송 장비의 불필요한 운용이 많아진다는 단점이 있기 때문에 일반적으로 이용도가 낮다. 지정 저장 방식은 각 저장 단위마다 저장위치가 고정되어 있는 경우로서, 저장소요량은 각 저장단위의 합과 같다. 하지만 저장 공간 활용의 유연성 감소, 즉 지정 공간이 비어있을 경우, 다른 화물이 그 공간을 점유하지 못함으로써 발생하는 기회비용의 발생할 수 있다는 단점이 있다. 구역 분할 방식은 화물의 종류에 따라 저장구역을 나누어 보관하는 방식으로, 할당된 구역 안에서의 위치 선정은 무작위이다. <그림 1>은 랙(rack), 베이(bay), 셀(cell)에 대한 개념도이다. 연구의 모델에서 1개의 베이는 4개의 셀(4단 적재가능)을 가지고 있다는 것을 설명하고 있다.



<그림 1> 랙, 베이, 셀의 개념도

본 연구는 임의 저장 방식과 지정 저장 방식의 혼합형인 구역 분할 방식을 활용한다. 이에 관련한 면적 할당 및 위치 할당의 측정 변수는 거리와 베이의 이용율(utilization)을 이용한다. 거리 변수는 이송 장비의 운용율과 연관된 변수로서, 보세창고의 운영 비용에 직접적으로 영향을 미친다.

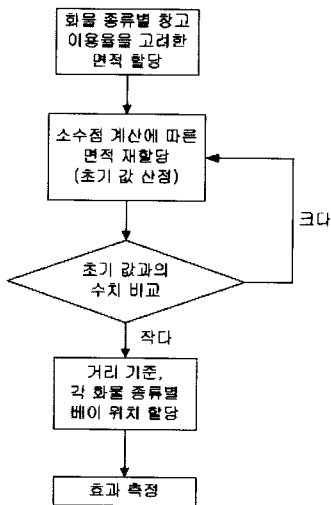
두 번째 변수인 베이 이용율의 경우, 발생빈도가 높은 화물일수록, 입출고점에 가깝게 할당해야 한다. 또한 되도록 베이의 개수를 적게 할당해야 이송 장비의 이동 거리가 베이 할당이 많을 경우보다 상대적으로 적다. 하지만 베이의 개수 할당이 너무 적을 경우, 해당 화물을 적재하지 못하는 경우가 발생할 수 있다.

그러므로 이러한 항공화물보세창고의 특징을 반영하여 운영 효율성 개선을 위한 방법을 찾아보고자 하며, 아울러 이를 활용할 수 있는 운영 정책법을 도출하고자 한다.

4. 면적 할당 및 베이 위치 할당

4.1 수리 모델

<그림 2>는 면적 할당 및 베이 위치 할당을 위해 쓰인 순서도로서, 수리 모델을 소개하고, 수치 비교를 통해서 화물 종류에 따른 베이할당 개수와 위치 할당을 하게 되는 과정을 보여주고 있다.



<그림 2> 면적 할당 및 베이 위치 할당 순서도

4.1.1 창고 이용율을 고려한 베이 할당

보세창고 랙의 특징은 각 베이마다의 단수가 일정하며, 항만의 컨테이너 단수에 비해 그 수가 매우 적다.

그러므로 창고 이용율은 운용의 효율 개선을 위한 주요 요소이다. 창고 이용율 관리를 위해서, 화물 종류별 발생량과 저장기간에 따라 할당된 전체 면적이 중요하다. 예를 들어 입출고 횟수가 매우 빈번하며, 저장 기간이 짧은 화물의 경우, 이송 장비의 동선이 길어질 수 있으므로 되도록 가까운 랙에, 적은 면적을 할당해야 한다. 하지만 이는 랙 이용율이 급격히 높아져 저장하지 못하는 화물이 발생하며, 다른 화물 종류의 화물랙의 경우는 유휴 공간이 남게 되는 경우를 초래할 수 있다. 그러므로 할당 면적은 화물 종류별 랙 이용율의 차이가 최소화된 경우이어야 한다. 즉 u_i 를 화물 종류 i 의 랙 이용율이라 할 때, 식 (1)과 같아야 한다.

$$u_1 \approx u_2 \approx \dots \approx u_n \tag{1}$$

랙 이용율은 화물 발생율(P_i)과 저장 기간(T_i)에 비례한다. 또한 베이를 하나의 단위로 놓았다는 전제하에 할당 베이의 개수는 화물 종류에 할당된 저장 능력(capacity)를 늘리게 되어 랙 이용율을 떨어뜨린다. A_i 가 화물 종류에 대한 베이 할당 개수라고 할 때, 이용율은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$u_i \propto \frac{P_i \cdot T_i}{A_i} \tag{2}$$

위의 식 (1)에 의하여 다음과 같은 식을 유도할 수 있다.

$$\frac{P_1 \cdot T_1}{A_1} \approx \frac{P_2 \cdot T_2}{A_2} \approx \dots \approx \frac{P_n \cdot T_n}{A_n} \tag{3}$$

그러므로 랙 이용율이 일정하다는 가정하에 화물 종류에 따른 할당 베이 개수는 식 (4)와 같다.

$$A_i \propto P_i \cdot T_i \tag{4}$$

또한, R 을 전체 랙의 베이 개수라 할 때, 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다

$$A_i = \left[R \times \frac{P_i \cdot T_i}{\sum_{i=1}^n P_i \cdot T_i} \right] \tag{5}$$

또는 $\left[R \times \frac{P_i \cdot T_i}{\sum_{i=1}^n P_i \cdot T_i} \right] + 1,$

4.1.2 화물의 베이 위치 할당

이송 장비의 동선 연구는 보세창고의 유지 비용 관리 측면에서 중요하게 언급되고 있다. 이송 장비의 이동 거리 개선 정도는 창고의 면적과 구조적 측정 거리에 의해 좌우된다. 이를 위해서는 화물 종류별 발생량과 각 I/O point부터 각 베이까지의 거리를 동시에 고려해야 한다. 식 (6)은 화물의 입고와 출고 과정을 나누어 거리 산정하는 것을 나타낸 식이다.

$$D_k = \sum_{w=1}^2 G_w \left(\sum_{u=1}^m S_u \cdot d^{enter} \cdot y_w + \sum_{v=1}^n T_v \cdot d^{enter} \cdot (1-y_w) + \sum_{v=1}^n P_v \cdot d^{exit} \cdot y_w + \sum_{u=1}^m Q_u \cdot d^{exit} \cdot (1-y_w) \right) \quad (6)$$

- k : 전체 가용 랙의 베이 번호
- w : w 가 1일 경우, G_1 는 수입 비율, w 가 2일 경우, G_2 는 수출 비율
- u : Airside의 I/O 포인트 번호
- v : Landside의 I/O 포인트 번호
- S_u : 수입 화물 I/O 포인트 번호의 입고비율
- T_v : 수출 화물 I/O 포인트 번호의 입고비율
- P_v : 수입 화물 I/O 포인트 번호의 출고비율
- Q_u : 수출 화물 I/O 포인트 번호의 출고비율
- d^{enter} : 입고 화물 이송 명령에 대한 거리 (retrieval + delivery + parking 거리)
- d^{exit} : 출고 화물 이송 명령에 대한 거리
- y_w : 수입일 때 1, 수출일 때 0

구해진 각 베이마다의 기대 거리는 화물 발생율(이송 장비의 이동 빈도)과의 곱으로 이송 장비의 동선을 측정한다. 이를 선형식으로 표현하면, 다음과 같다. 식 (7)은 발생량에 따른 거리를 최소화하는 것을 나타낸 목적 함수이다. 또한 식 (8)은 특정 화물의 종류가 베이에 할당되었는지의 여부를 나타내며, 식 (9)는 할당된 베이의 개수를 의미한다.

$$\min \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n r_i \cdot D_k \cdot x_{ij} \quad (7)$$

$$\text{subject to. } \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1 \quad (8)$$

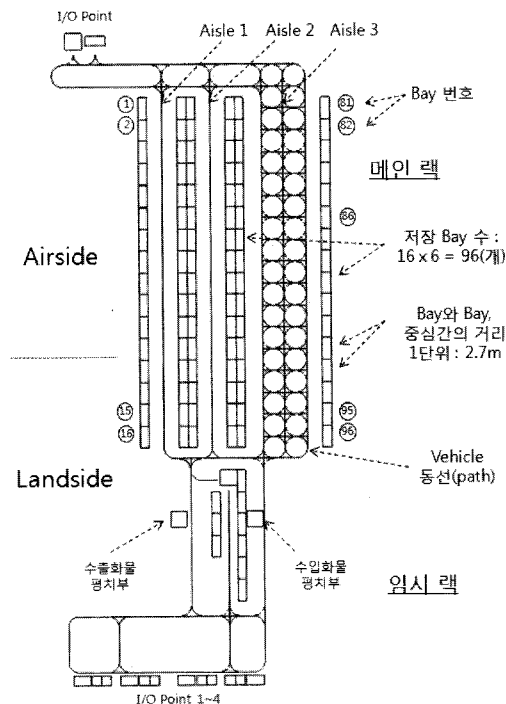
$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = F \quad (9)$$

$$x_{ij} = 0 \text{ or } 1, \quad \forall i, j \quad (10)$$

- r_i : 화물 종류에 따른 발생 빈번도
- i : 화물 종류에 따른 번호
- j : 베이 번호
- p : 전체 베이의 개수
- q : 전체 화물 종류의 개수
- x_{ij} : 화물 종류가 해당 베이에의 할당 여부, 0 또는 1
- F : 해당 화물 종류에 할당된 베이의 개수

4.2 모델 적용

본 연구에서 보세창고를 크게 메인랙과 임시랙 공간으로 나누었다. 메인랙 부분은 비교적 오랜 기간(10일 이상)머무르는 화물을 저장하는 곳으로서 셀의 개수는 384개(랙 6개×베이 16열×셀 4단)이다. 임시랙은 창고의 성수기 시, 대량 화물에 대한 완충 역할을 담당하며, 주로 발생율이 높고 소요 기간이 짧은 화물을 보관한다. 셀의 개수는 27개(베이 9열×셀 3단)이다. 임시랙 부분은 평치(Floor Stack)와 함께 이용되는데, 평치 저장은 주로 메인랙 부분과 임시랙 부분에서의 이송 장비의 분업을 위한 임시 저장 수단을 말한다. <그림 3>은 본 연구 모델의 레이아웃이다.



<그림 3> 항공화물 보세창고의 레이아웃

시뮬레이션 적용 환경은 다음과 같다.

- 이송 장비의 수 : 2대(메인랙 부분 1대, 임시랙 및

- 평치 부분 1대, 평치를 기준으로 위와 아래)
- 이송 장비의 하역 시간 : 15초로 일정하다고 가정
- 이송 장비의 체원
 - 전/후진 속도 : 2m/s, 전/후진 가속도 : 0.3m/s²
- 이송 장비의 이송 능력 : 셀 1단위
- 모두 단일 명령 주기
- 화물 발생 간격 : 지수분포 4.7분
- 입고와 출고 입출고점 개수 : 수입 1개, 수출 2개
- 수입과 수출 화물량 비율 = 6 : 4
- 저장 기간은 모두 지수분포

<표 1> 화물 종류별 발생을 및 저장기간

	가	나	다	라
발생 비율(P_i)	$P_1 = 63$	$P_2 = 18$	$P_3 = 45$	$P_4 = 32$
저장 기간(T_i)	$T_1 = 3$	$T_2 = 40$	$T_3 = 12$	$T_4 = 14$

4.2.1. Utilization을 고려한 면적 할당

<표 1>에서의 P_i , T_i 값들을 식 (5)에 대입하여 계산하면 <표 2>와 같다.

<표 2> 화물 종류별 면적 할당

	가	나	다	라
발생 비율(P_i)	$P_1 = 63$	$P_2 = 18$	$P_3 = 45$	$P_4 = 32$
저장 기간(T_i)	$T_1 = 3$	$T_2 = 40$	$T_3 = 12$	$T_4 = 14$
$P_i \cdot T_i$	189	720	540	448
$R \times \frac{P_i \cdot T_i}{\sum_{i=1}^n P_i \cdot T_i}$	9.56	36.44	27.33	22.67
$\left\lceil R \times \frac{P_i \cdot T_i}{\sum_{i=1}^n P_i \cdot T_i} \right\rceil$	9	36	27	22

<표 2>의 5번째 열에서 베이의 개수를 산정하는데 있어 대부분 소수점을 가진 유리수가 나온다. 하지만 베이의 개수를 정수로 계산하기 위해 내림을 실시하면 6번째 열의 수치들이 나오게 된다. 그러므로 A_i 총합은 $94 (= 9+36+27+22)$ 이다. 하지만 시뮬레이션 실험을 위한 베이의 개수는 총 96개이므로 2개의 베이를 화물 종류에 보상해주어야 한다. 즉, 이에 따른 여러 가지 경우가 생기는데, 이는 <표 3>과 같다.

본 실험에서는 warm-up time을 15일, sample-time은 100일, replication은 50으로 설정하여 측정하였다. 측정 후 각 화물 종류별 평균 이용율을 계산했으며, 평가값은 가장 높은 이용율과 가장 낮은 랙 이용율의 차이로 설

정하였고, 그 결과는 <표 4>와 같다.

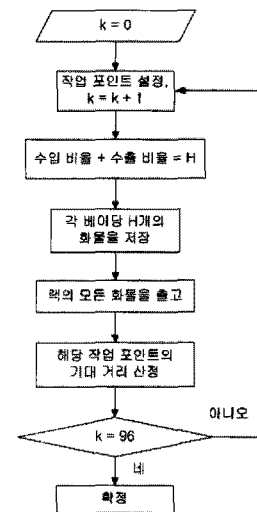
<표 3> 화물 종류별 베이 할당의 경우

	경우 1	경우 2	경우 3	경우 4	경우 5	경우 6
가	10	10	10	9	9	9
나	37	36	36	37	37	36
다	27	28	27	28	27	28
라	22	22	23	22	23	23
합	96					

<표 4> 경우에 따른 창고 이용율의 차

	경우 1	경우 2	경우 3	경우 4	경우 5	경우 6
가	.402	.402	.403	.448	.446	.446
나	.426	.440	.440	.426	.424	.438
다	.438	.422	.438	.423	.441	.423
라	.447	.446	.426	.446	.427	.428
max	.447	.446	.440	.448	.446	.446
min	.402	.402	.403	.423	.424	.423
차	.045	.044	.037	.025	.022	.023

경우 1의 실험 측정치의 평가값을 최소값을 설정하고 나머지 경우들의 평가값들과 비교해 본 결과, 경우 5에서 이용율의 차이가 가장 낮게 측정되었다. 이는 '경우 5'가, 화물들의 특성(발생량, 저장 기간)을 가장 잘 반영하고 있으며, 갑자기 늘어날 수 있는 화물량에 가장 효과적으로 대응할 수 있다는 의미를 가지고 있다.



<그림 4> 작업 지점의 기대 거리(D_k) 산정 순서도

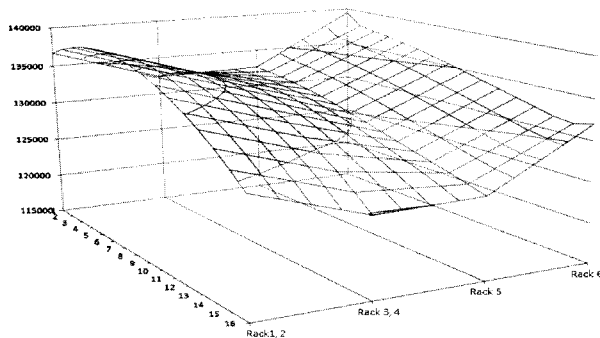
4.2.2 화물의 베이 위치 할당

위치 할당 시의 중요한 요인이 거리이다. 이는 창고의 레이아웃 구조에 따른 결정적(deterministic) 모델을 이용하여 산정된다. 고정된 작업 포인트에서 I/O point, 그리고 베이까지의 거리는 <그림 3>의 각 베이 번호에 따라 나뉘어 진다. 즉, 식 (6)을 각 작업 지점에 따라 계산하기 위해서는 수입과 수출의 비율에 따른 모든 입고/출고 거리를 계산해야 하며, 이를 96번을 거쳐야 하는 복잡도가 발생하게 된다. 이를 과정을 표현한 순서도는 <그림 4>와 같다.

위의 순서도를 바탕으로 베이들에 대한 거리 기대거리(D_k) 산정 결과는 <표 5>와 같다. <그림 5>는 기대거리를 3차원 꺾은 선형 그래프로 나타낸 것이다.

<표 5> 각 작업 지점의 기대거리(D_k)

$D_1 \sim D_{16}$	$D_{17} \sim D_{32}$	$D_{33} \sim D_{48}$	$D_{49} \sim D_{64}$	$D_{65} \sim D_{80}$	$D_{81} \sim D_{96}$
136662	136662	132414	132414	132602	139441
137598	137598	133344	133344	132422	137906
138293	138293	134039	134039	132176	137498
138773	138773	134520	134520	131865	137164
139038	139038	134784	134784	131487	136775
139087	139087	134833	134833	131045	136333
138919	138919	134666	134666	130548	135844
138536	138536	134282	134282	129997	135307
137936	137936	133683	133683	129398	134732
137170	137170	132916	132916	128798	134146
136241	136241	131987	131987	128199	133564
135150	135150	130896	130896	127599	132964
133897	133897	129644	129644	127000	132365
132482	132482	128229	128229	126405	131766
130883	130883	126629	126629	125779	131482
129099	129099	124845	124845	125133	132026



<그림 5> 각 작업 지점의 기대 거리 등고선

<표 5>의 행렬을 식 (7)에 대입한 다음, Lingo 8.0, 선형 문제 해결 프로그램으로 해를 찾아 본 결과, <표 6>을 얻을 수 있었으며, 이를 적용해 본 결과는 <표 7>과 같다.

<표 6> 화물 종류별 최종 베이 할당

	베이 할당 번호
가	47, 48, 63, 64, 76, 77, 78, 79, 80
나	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 37, 38, 53, 54, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89
다	15, 16, 31, 32, 33, 43, 44, 45, 46, 49, 59, 60, 61, 62, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 93, 94, 95, 96
라	13, 14, 29, 30, 34, 35, 36, 39, 40, 41, 42, 50, 51, 52, 55, 56, 57, 58, 65, 66, 90, 91, 92

<표 7> 구역할당식 저장법의 효과

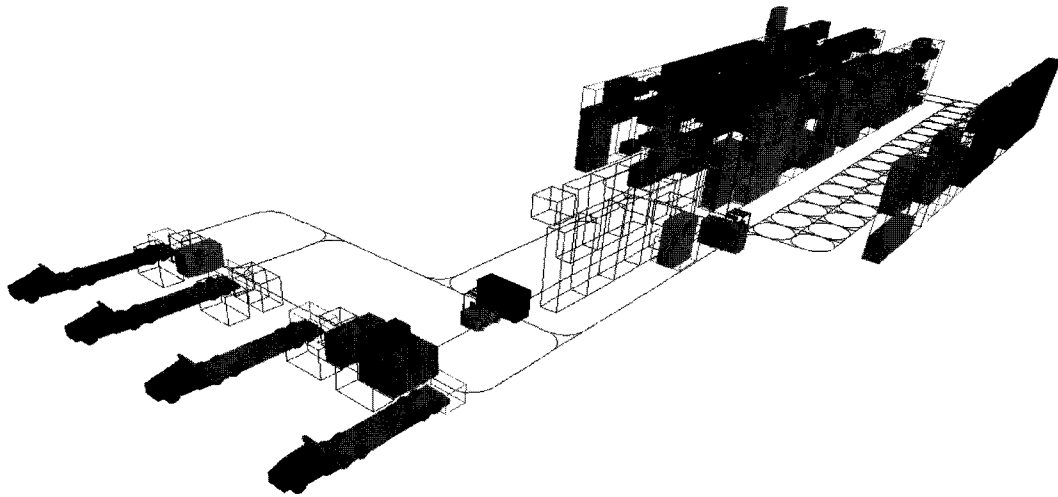
		임의저장	구역할당 저장
입고	Average	25143	25141
	Std. Dev.	164.87	163.18
	# of Runs	50	50
출고	Average	24964	24964
	Std. Dev.	160.77	161.14
	# of Runs	50	50
평균 이용율	Average	0.431	0.432
	Std. Dev.	0.005	0.005
	# of Runs	50	50
메인랙에서의 이동거리	Average	3276735	3208667
	Std. Dev.	23888.0	23313.4
	# of Runs	50	50

실험 결과, 임의 저장과 구역할당식 저장 평균이 입고/출고 화물량, 평균 이용율 모두 유의확률 내에서 같다고 할 수 있었다. 하지만 이동 거리에서 임의 저장 3276735m, 구역할당식 저장 3208667m로서 약 2.08%의 개선 효과를 보였다.

5. 이송 장비의 운영 정책

5.1 랙 시스템의 특징

저장랙 시스템을 운영하고 있는 창고에서는 반드시 랙과 랙 사이의 통로를 가지게 된다. 이러한 통로 길이

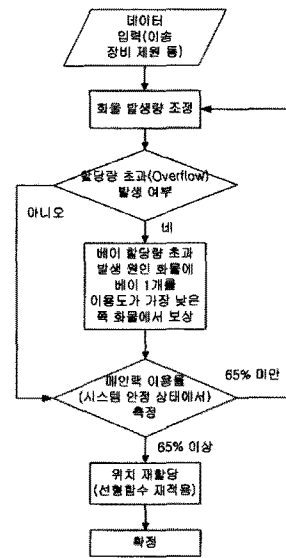


<그림 6> 시뮬레이션의 3D 그래픽 모델

는 구간 간을 이동해야 하는 이송 장비의 이동 거리 증가를 야기한다. 일반적으로 보세창고 이송 장비, 즉 이송 장비는 단일 명령 주기로 운행한다. 그러므로 운영 정책, 작업의 순서에 따라 이송 장비 운용 효율이 달라진다.

<그림 3>의 레이아웃 상의 이송 장비가 90번 작업 포인트에서 대기하고 있는 상태에서 1번 베이에서의 작업 명령이 발생했을 경우, 최단거리 우선검색(Shortest Path Search) 원칙에 의해서 위쪽 방향으로 이동하게 된다. 통로(aisle) 3을 통과하기 전, 81번 베이에서도 작업 명령이 발생했을 때, 경우의 수가 발생하게 된다. 첫째는 작업 명령의 시간 기준 우선 순위를 둘 경우, 1번 베이의 화물을 먼저 처리한 다음, 81번 베이에서 작업을 하는 것이며, 둘째는 작업 명령의 거리 기준 우선 순위를 둘 경우에는 81번 베이에서 작업을 처리한 후에 1번 베이에서의 작업을 하는 것이다.

본 연구에서는 최단거리화물 우선선택방법과 최장대기시간화물 우선선택방법, 혼합식 방법의 효과를 측정하고자 한다. 최단거리화물 우선선택방법은 이송 장비의 현재 위치 기준으로 가장 가까운 곳에서 발생한 이송 명령을 먼저 수행하는 방식이다. 최장대기시간 화물 우선선택방법은 이송 장비의 현재 위치에 상관없이 가장 오랜 대기 시간을 가진 화물부터 처리하는 선입선출(FIFO; First in first out) 방식이다. 혼합식 방법은 같은 통로 안의 유의한 거리 범위 내에서 최단거리화물을 우선 선택하며, 그 외에는 최장대기시간 화물을 우선하여 선택하는 방식이다. <그림 6>은 본 연구에 사용된 실험 모델의 실행 그림이다. 최장대기시간 기준 및 최단거리 화물 우선선택 방법 등의 실험은 위쪽에 보이는 메인 랙 운영 부분에서 이루어졌다.



<그림 7> 랙 시스템의 이용률 조정 순서도

5.2 모델 적용

이송 정책의 방법을 선택하는데 있어서 중요한 요소 중의 하나가 창고 이용율이다. 본 실험에서의 메인 랙의 이용율은 약 0.7정도를 유지하였다. 제 4장의 말미에서 선택된 '경우 5'를 초기 모델로 선정하였다. <그림 7>은 랙 시스템의 목표 이용율을 맞추기 위해 쓰인 순서도로서, 화물 입고 빈도를 조정하였으며, 화물의 완충 역할을 하는 임시 랙을 최대한 활용하였다.

실험은 warm-up time 15일, sample-time 100일, 50회씩 수행하였다. 화물간 시간 간격은 지수 분포 4.1분으로 설정하였으며, 모델의 화주별 베이 할당 개수는 '가' 화물 : 7개, '나' 화물 : 37개, '다' 화물 : 28개, '라' 화물 :

24개로 확정하였다. 랙 시스템에서의 이송 장비 운영 스케줄에 대한 효과를 알아보기 위해 모델 적용을 해본 바, <표 8>와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

<표 8> 이송 장비 운용정책별 결과

		최장대기 우선	최단거리 우선	혼합식
입고	Average	39674	39671	39663
	Std. Dev.	171.82	177.42	176.36
	# of Runs	50	50	50
출고	Average	39397	39394	39383
	Std. Dev.	172.67	177.94	176.93
	# of Runs	50	50	50
평균이용율	Average	0.680	0.679	0.682
	Std. Dev.	0.006	0.006	0.007
	# of Runs	50	50	50
메인랙에서의 이동거리	Average	5136368	4818132	4628082
	Std. Dev.	26443.63	20460.14	23201.83
	# of Runs	50	50	50
메인랙에서의 이동거리 /출고	Average	130.37	122.31	117.51
	Std. Dev.	153.15	114.98	131.14
	# of Runs	50	50	50

실험 결과, 이송 장비의 이용율은 약 0.68이었으며, 평균 39669.3개의 화물이 입고되었다. 그 결과, 같은 시간 동안의 출고 화물은 최대와 최소의 차가 0.035%의 근소한 차이를 보였으며, 메인랙의 이용율은 모두 0.68에 근사했다. 하지만 처리 화물당 이송 장비의 이동 거리는 최장대기시간 화물우선방법 130.37m와 최단거리 화물우선방법 122.31m로서 약 6.18%, 혼합식은 117.51m로, 최장대기시간 화물우선방법보다 약 9.87%의 개선 효과를 보였다. 이와 같은 결과는 랙의 통로 길이와 대기 시간을 동시에 고려하여 이송 장비의 이동 명령 순서를 정하는 것이 창고 운영 측면에서 보다 효율적이라는 것을 의미한다.

6. 결 론

본 연구는 입항지에 위치한 항공화물 보세창고의 특

성을 반영하여, 효율적 운영을 위한 정책도출을 목적으로 수행하였다. 저장랙 시스템을 가진 항공화물 보세창고에서 이용율과 이송 장비의 이동 동선을 동시에 고려하여 화물 종류별 베이 할당 및 위치 할당에 대해 연구하였는데, 이는 현장에서 통계적 결과에 따른 관리가 어려운 상황을 감안할 때, 비교적 간단한 방법으로 위치 할당을 할 수 있다는데 의의가 있다. 이송 장비의 운영 정책 또한 기존의 명령 순서만을 따라 화물 작업을 하는 것보다는 작업 명령 리스트를 파악하고 스케줄을 운영하는 것이 보다 효과적이라는 결론을 얻게 되었다. 추후에는 랙 시스템의 저장 능력에 관하여 좀 더 유연성을 가지고 운영할 수 있는 방법에 대하여 연구하고자 한다.

참고문헌

- [1] 전동훈, 이상훈, 이철기; “다중 무인운반차량 시스템에서의 동적 라우팅과 스케줄링”, 한국시물레이션학회 논문지, 8(3) : 67-76, 1999.
- [2] 황학, 김동권; “An Application of Cluster Analysis to Midpoint Routing Policy in Order Batching Process”, 대한산업공학회/한국경영과학회 2003춘계공동학술대회 발표논문집, 한동대학교, 포항, 716-720, 1997.
- [3] 황홍석, 조규성; “시물레이션방법을 이용한 물류센터의 피킹 및 재보충설비의 능력산정”, 대한산업공학회/한국경영과학회 2002춘계공동학술대회 발표논문집, 한국과학기술원(KAIST), 대전, 968-973, 2002.
- [4] AutoSimulations; AutoMod User’s Manual, Sault Lake City, USA, 2000.
- [5] Kim, B., Oh, S., Shin, J., Jung, M., Chae, J., and Lee, S.; “Effectiveness of vehicle reassignment in a large scale overhead hoist transport system,” *International journal of production research*, 45(4) : 789-802, 2007.
- [6] Kosfeld, M.; “Warehouse Design Through Dynamic Simulation,” Proceeding of the 1998 Winter Simulation Conference.
- [7] Tomkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., Tanchoco, J. M. A., and Trevino, J.; *Facilities Planning*, Third Edition, John Wiley and Sons, INC. 2003.