http://dx.doi.org/10.7735/ksmte.2014.23.5.505 ISSN 2233-6036

자동창고 시스템의 최적안 도출을 위한 모의실험적 연구

김문기[a*]

A Simulation Study for Optimizing the Functionality of an Automated Storage and Retrieval System

Moon Ki Kim[a*]

[a] School of Mechatronics Engineering, Korea University of Technology and Education, 1600 Chungjeol-ro, Byeongcheon-myeon, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungcheongnam-do, 330-708, Korea

ARTICLE INFO

Article history:
Received 6 April 2014
Revised 18 July 2014
Accepted 6 September 2014

Keywords:
AS/RS
Optimization
Warehouse
IN/OUT data

ABSTRACT

The functional role of warehouses in modern industry is changing from an established concept of storage to a concept of circulation. The target of this study is to improve the stacker crane's efficiency for the internal operations of the Automated Storage and Retrieval System (AS/RS). Eight operating schemes are proposed under the combination of three conditions, namely, the storing method, the layout type, and the sequence of command execution. The moving distance of the stacker crane is calculated using the same gateway data through a simulation based on a C# program. The optimal operating scheme is proposed based on the analyzed simulation results. In conclusion, the combination of conditions of random storage, two-way type warehouse, and dual command execution elicits optimum results in travel efficiency for the stacker crane.

1. 서 론

현대 산업 사회에서 창고의 역할은 단순히 저장하는 기능만이 아니라 종류와 양을 조절하는 정보시스템의 도입을 통하여 구매, 생산, 저장 및 분배활동 등을 원활하게하기 위한 동적 재고관리(dynamic inventory control)의 기능을 수행하고 있다. 즉 과거의 보관창고의 개념에서 유통창고의 개념으로 바뀌어가고 있고, 자동화 기술의 급속한 발전과 함께 창고시스템을 자동화하는 추세이다. 또한, 자동화 수준이 높아지고 물류에 대한 관심이 커지면서 그 필요성과 역할은 점점 증대되고 있다. 자동창고는 인건비의 절감, 자재 흐름 및 재고 관리 개선, 처리량의 증대, 높은 공간 이용율, 안전함 그리고 재고 회전율의 증대 등과 같은 장점을 가지고 있으며, 이러한 것이 가능한 이유는 빠른 재고파악과 자동화된 입출고 작업 등과 관련이 있다. 창고시스템의 개선 및 자동화에 대한 연구는 끊임없이 이루어지고 있는데, 최근에는 RFID 기술의 연구와 도입으로 자동창고 물류정보화의 향상과 효율의 증대를 가져왔고[1], 현대 산업사회의 다품종 소량생산에 맞추어 각 제품군의 특색에 맞는 다양한 종류의 창고형태와 운영방안들이 많은 연구가들에 의해 진행되었다. 또한, 스태커크레인(stacker crane)과 입/출고 반응시간의 연구[2], 랙과 운영방안 등의 설계에 관한 연구의 발전으로[3,4] 자동창고 설치비용과 유지비용의 절감, 공간 활용의 향상 등을 이룰 수 있었다. 앞으로도 자동 창고의 비용절감과 공간 활용을 높이기 위한 개선 가능성은 무궁무진하며 필요한 연구들이 계속 진행 중이다. 하지만 현재까지는 하나의 운영조건만으로 나오는 효과만이 입증

* Corresponding author. Tel.: +82-41-560-1312
Fax: +82-41-560-1360
E-mail address: mkkim@koreatech.ac.kr (Moon Ki Kim).

되어있고 여러 운영방안들의 조합으로 나오게 될 결과 등에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 이러한 운영방안들의 조합을 통해 자동창고 내부적인 운용효율을 높일 수 있는 가능성은 너무나도 크다.

따라서, 본 연구에서는 동일한 입/출고 데이터를 주었을 때 자동창고에 여러 운영방안들의 조합을 도입하여 자동창고 내부에서 활동하는 스태커크레인의 활동량을 줄여 운용비율을 줄일 수 있는 운영방안을 찾는데 그 목적을 둔다. 이 목적을 달성하기 위해 여러 운영방안의 조합에 따른 시스템의 수행도를 C# 프로그래밍으로 제작한 모의실험 프로그램을 통해 분석함으로써 여러 경우의 자동창고에 대한 최적 운영방안을 제시하고자 한다.

2. 자동창고 시스템

창고 시스템의 이해를 돕고자 구성 및 운영방안에 대해 간략히 알아보고자 한다.

2.1 구성

일반적인 자동창고의 구성은 통로를 따라 양면에 설치되어 물품을 팔렛 단위로 보관하는 랙(rack), 물품이 보관되는 랙 내의 적재공간인 셀(cell), 랙 내에서 팔렛의 입출고를 담당하는 스태커크레인, 팔렛이 랙에 저장될 때까지 대기하는 버퍼(buffer), 팔렛의 이동을 담당하는 컨베이어(conveyor), 입고와 출고가 이루어지는 입출고점(I/O station) 등으로 구성되어 있으며, 생산라인으로부터 자동창고로 입고되는 물품들은 팔렛에 실려서 무인 반송장치 등에 의해 버퍼로 이동된다.

2.2 운영방안

일반적으로 저장법, 배치형태 및 명령 수행 절차 등을 어떻게 조합하느냐에 따라 운영방안이 달라질 수 있다.

2.2.1 저장법

자동창고 운영에서 저장법은 저장위치 할당방법을 말한다. 저장위치의 할당이란 저장될 품목이 입출고점에 도착하고 출고요구가 있을 때, 입출고점에 도착한 품목을 자동창고 내의 비어있는 랙에 어떠한 규칙을 적용하여 할당하는가 하는 할당규칙을 의미한다. 임의저장법, 지정저장법, 회전율에 의한 저장법 및 등급저장법 등 여러가지 할당 규칙이 사용되고 있다.

2.2.2 배치형태

자동창고의 배치 형태는 일반적으로 입출고점이 한 방향에 위치한 Two-way type, 입출고점이 각각 양 끝단에 위치한 One-way type 및 입출고점이 랙의 중앙에 위치해 있는 특수형으로 나뉜다. One-way type이 Two-way type과 다른 점은 P/D station이 선반 양 끝에 각각 위치하고 있어 저장/불출 작업이 따로 수행된다는 것이다. 이는 두 개의 컨베이어를 이용해 저장과 불출경로를 제어해 줄 수 있다는 장점이 있지만 선반의 규모나 형태에 따라 스태커크레인 이동 효율을 저하시킬 경우도 있다.

2.2.3 명령수행 절차

자동창고에서 중요한 역할을 담당하는 스태커크레인은 랙과 랙 사이의 통로에 위치하면서 물품을 자동적으로 입출고점까지 이동시켜주는 기계이다. 스태커크레인의 입출고 명령은 일반적으로 단일명령으로 수행하지만 이중 또는 대기 명령을 행함에 따라서도 시스템의 효율이 달라질 수 있다.

3. 모의 실험

본 연구에서는 앞에서 소개한 운영방법 차이에 따른 시스템의 효율성을 분석하기 위해 모의실험을 하였다. 입/출고량은 일정하다는 가정 하에 저장법, 창고 배치형태 및 명령 수행절차의 세 가지 조건들의 조합으로 가능한 8가지 경우의 수에 대한 스태커크레인의 총 이동거리 값을 산출하여 효율성을 비교 및 분석하였고, 이를 위해 C#언어로 프로그래밍 하였다.

3.1 설계

3.1.1 운영방안 조건의 조합

수행도 평가를 위한 8가지 경우의 수는 Fig. 1과 같이 저장법이 임의(RS; Random Storage) 또는 지정(DS; Dedicated Storage)일 경우, 창고 내의 입/출고점의 방향이 같거나(TW; Two Way type) 다른(OW; One Way type) 경우 그리고 명령수행 절차가 단일(SC; Single Command) 또는 이중(DC; Dual Commands)일 경우의 조합에 의해서 만들어 지며, 이에 대해 스태커크레인의 이동거리를 산출하여 자동창고의 내부적인 효율성을 분석하고자 한다.

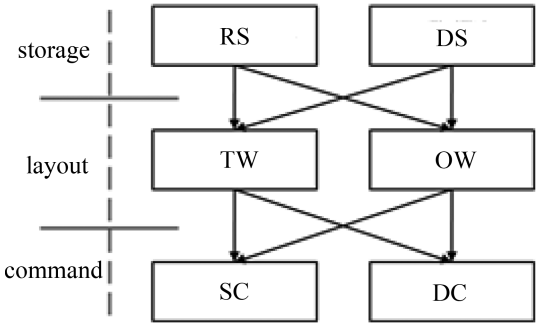


Fig. 1 Possible combinations of operating schemes

3.1.2 모의실험 설계

모의실험에서 사용하게 될 임의의 품목은 A, B, C, D 및 E로 총 5가지이다. 위의 품목들은 모두 동일한 크기의 팔렛(pallet)에 적재되어 있으며 앞으로 사용될 수량의 한 단위는 팔렛 한 단위를 의미한다. 5가지의 품목을 토대로 본 연구에 사용될 입/출고 명령서는 Table 1과 같고, Table 2는 Table 1의 입출고 데이터를 적용하였을 경우 각 작업순번별로 진행되었을 때 창고 내에 남아있게 되는 각 품목별 재고의 흐름을 나타낸 것이다.

위에서 완성된 입출고 데이터를 토대로 하였을 때 A품목은 60개의 재고가 최대로 남게 되고 B의 경우 50개, C의 경우 20개, D의 경우 40개 그리고 E의 경우 10개의 재고가 최대로 남 게 된다. 이에 따라 지정저장을 고려하면 최소 180칸의 공간이 필요하다. 실제로는 더 작은 공간으로 제어가 가능하지만 지정저장 시에 각 품목별로 최대수량을 모두 저장할 수 있는 공간을 확보해야 하며, 더 큰 공간의 랙 규모를 만들어도 상관은 없지만 최소크기인 180칸을 넘어섰을 경우 실질적으로 스태커크레인의 효율이 떨어지기에 최소 규모로 스태커크레인효율을 최대로 높일 수있는 15X12(총 180칸) 크기의 셀을 가진 랙을 설정하였다.

Table 1 Order sheet for IN/OUT

	A	B	C	D	E
order 1	I 40		I 20		
order 2		I 50			
order 3	O 30			I 20	
order 4	I 30	O 15			I 10
order 5	I 20	O 15		I 20	
order 6	O 30		O 20		
order 7				O 30	O 10
order 8	O 20	O 15	I 20		
order 9		I 40		O 10	
order 10	I 20				
order 11	I 20	O 25			I 10
order 12				I 20	
order 13	O 40				
order 14		O 20			
order 15	I 30		O 20	I 20	

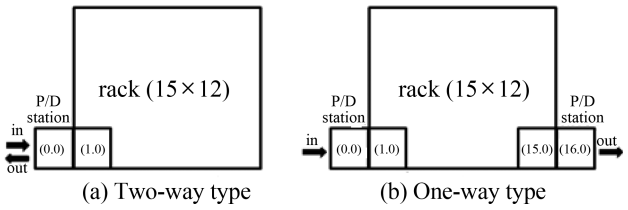
where, I: IN, O: OUT

입고점과 출고점의 위치는 Fig. 2와 같이 자동창고의 배치형태에 따라 다르다. Two-way type의 경우 입/출고점이 한 방향에 위치하게 되기 때문에 Fig. 2(a)와 같이 랙의 왼쪽에 입/출고점이 위치하여 자동창고 랙 최하단의 왼쪽 첫 번째 셀의 좌표가 (1,0)이라고 가정했을 시에 P/D station이 위치한 입/출고점의 좌표는 (0,0)이 되는 것이다. 이와 마찬가지로 입/출고점이 양 끝단에 나뉘어 있는 one-way type의 경우는 Fig. 2(b)와 같이 랙 최하단 좌측 첫번째 셀의 좌표가 (1,0), 마지막 셀의 좌표가 (15,0)이라고 하였을 때 입고점은 (0,0), 출고점은 (16,0)에 위치하게 되는 것이다. 여기서 이동은 직각이동을 하며, 수직 및 수평 이동속도는 동일하다고 가정한다.

저장법에 따른 두 가지 운영방안 중 임의저장법은 입고 시 비어있는 가장 가까운 셀에 입고를 하고, 지정저장법은 전체 셀에 입고를 해야 할 품목들이 정해져 있어서 가장 가까운 셀 영역이 비어있다 하더라고 지정되어 있는 셀에 입고를 하게 된다.

명령 수행 절차에 따른 스태커크레인의 운행방식은 단일명령 수행의 경우 순차적으로 하나씩의 명령만을 수행하기 때문에 하나의 명령 수행 뒤에는 입고점으로 복귀하게 되지만, 이중명령은 한 명령집합에 입/출고명령이 중복되어 있는 경우 입고명령을 수행한 뒤에 바로 출고점으로 이동하여 출고명령을 수행한 후 복귀한다.

실질적인 자동창고의 운영에 있어서 시스템의 효율에 영향을 주는 요소는 본 연구에서 제시한 세 가지 이외에도 품목의 회전율, 입지조건, 품목의 용도 및 수명 등 다양한 다른 조건들도 고려할 수 있으나, 본 연구에서는 가장 기본적이면서도 중요한



(a) Two-way type (b) One-way type

Fig. 2 Location of IN/OUT for two layout types

Table 2 Inventory flow according to IN/OUT data

order / item	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	max.
A	40		10	40	60	30		10		30	50		10		40	60
B	0	50		35	20			5	45		20			0		50
C	20					0		20							0	20
D	0		20		40		10		0			20			40	40
E	0			10			0				10					10

영향을 미치는 3요소의 상관관계를 모의실험을 통하여 알아보았다.

3.1.3 지정저장법에 의한 품목위치 결정

임의저장법과는 달리 지정저장 시에는 자동창고의 배치형태에 따라 다른 형태를 띄게 된다. 입고점과 출고점이 한 방향에있는 Two-way type의 경우 입고점에서 가장 가까운 공간이 출고점과 가장 가깝기 때문에 입고점에서 가장 가까운 지점들이 우선적인 배치순위를 가질 수 있지만, One-way type의 경우는 입고점과 출고점이 랙의 양 끝단에 각각 위치하기 때문에 입고점에서 가깝더라도 출고 시에는 반대편에 있는 출고점으로 이동하므로 총 이동거리는 같은 수평선상에 위치한 구역들은 동일하다.

지정저장의 경우는 정해진 품목의 위치에 따라 효율이 크게 변하므로 입/출고데이터를 토대로 품목의 저장위치를 결정하여야 한다. Table 1의 입/출고 데이터를 기준으로 하였을 때 총 690회의 입/출고 명령을 반복하여 수행하는데, 각 품목의 활동 비율과 작업 순번별로 진행되었을 때 창고 내에 남아있게 되는 각 품목별 최대 재고용량 및 각 품목의 활동/공간 비율은 Table 3과 같다. 그러므로 C-A-B-D-E의 순으로 이동거리가 짧은 공간에 위치를 지정해 준다.

3.2 프로그래밍

프로그램은 크게 입력값 정리단계와 입/출고 수행단계로 실행되고, 프로그램 알고리즘은 Fig. 3과 같다.

3.2.1 입력값 정리

우선 입력된 값을 순위 별로 정렬하여 그룹화한다. 단일명령의 경우는 특별한 순서상의 변경이 있어도 결과 값에는 변동이 없기 때문에 순차적으로 입/출고 명령을 수행하게 되지만 이중명령의 경우는 같은 순위 내에서의 입/출고 순서는 제약이 없다는 가정을 하여 입력 값의 순서로 최소한의 이동거리가 나오도록 정리되고, 이를 토대로 모의실험을 한다.

3.2.2 입/출고 수행단계

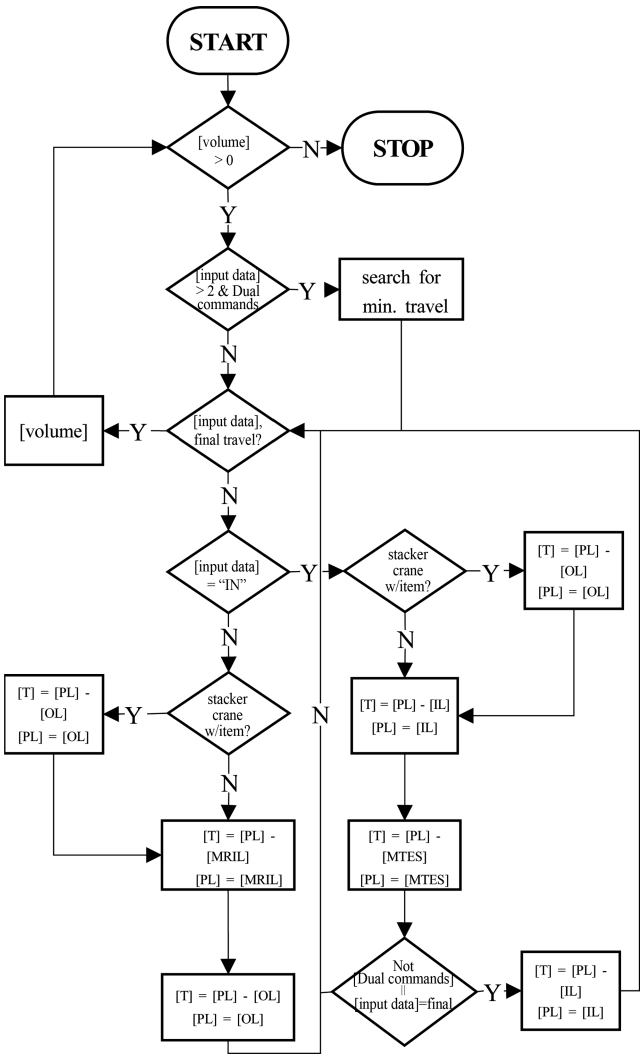
입고 수행 단계에서는 스태커크레인이 현재 위치에서 입고점 위치로 이동한 후, 입고할 품목을 들고 최단거리의 비어 있는 랙을 찾아서 이동한다. 그리고 들고 있는 품목을 랙에 넣은 뒤에 입고점으로 다시 이동을 한다. 만약 이중명령을 수행할 경우에는 입고점 복귀의 단계가 무시된다.

출고 수행 단계에서는 출고명령을 받은 스태커크레인은 선입선출의 조건을 배재하였기 때문에 해당하는 품목까지의 최단거리를 계산한 뒤 가장 가까운 랙으로 이동한다. 그리고는 입고 되어있는 품목을 꺼낸 뒤에 출고점으로 이동하여 출고과정을 끝내게 된다. 만약 다음 명령이 출고명령일 경우 출고점에서 대기하게 되지만 더 이상 수행명령이 없거나 다음 수행동작이 입고명령일 경우에는 입고점으로 복귀하게 된다.

입고나 출고를 시작하기 전에 이미 스태커크레인이 어떠한 품목을 가지고 있는 경우는 출고위치로 복귀하고 물건을 내려놓는 출고

Table 3 Ratio of activity/space for items

item	max. inventory	activity ratio	activity/space ratio	rank
A	60	40%	0.66	2
B	50	25%	0.5	3
C	20	14%	0.7	1
D	40	17%	0.425	4
E	10	4%	0.4	5



Where, **START** w/ [input data] & [volume], **STOP** w/ obtained [T] & [PL], T = travel, PL = present location, IL = IN location, OL = OUT location, MTES = min. travel empty space, MRIL = min. route item location

Fig. 3 Program algorithm

명령을 수행하게 된다. 이 과정은 더 이상 처리할 품목이 없을 때까지 반복된다. 그리고 입/출고 데이터나 지정위치를 잘못 지정하여 잘못된 동작수행을 감지할 경우 오류메시지를 넣어 다시 확인하여 수정할 수 있도록 하였다.

3.2.3 프로그램 실행 및 결과

완성된 프로그램을 실행하면 초기설정 화면으로 시작된다. 이 단계에서는 셀 크기, 입고방식 및 기타 설정의 세 가지를 지정하는데, 입고방식에서는 임의 또는 지정 저장 여부를 묻고 기타 설정에서는 자동창고의 배치형태와 명령수행 절차 방법을 묻는다. 본 연구에서는 15 × 12의 정해진 랙의 규모를 지정해 주었지만 프로그램의 범용성을 위해 셀 크기 설정을 가능하게 해 언제든지 랙의 규모를 조정할 수 있게 하였다.

입/출고 데이터 입력 단계에선, 명령서에 따라 순번, 품목, 입/출고 명령 및 수량을 입력한다. 입력이 완료되면 각 조건별 조합에 따른 8개의 결과 값이 각각 출력된다. 모의실험 시 각 방안들의 결과 값을 정리하면 Table 4와 같고, 이를 그래프로 표시하면 Fig. 4와 같다.

Fig. 4를 보면 두 번째 방안이었던 RS-TW-DC(임의저장- 한 방향 입/출고점-이중명령)가 동일한 조건 내에서 가장 적은 스태커크레인의 활동량을 보였고, 단일명령 보다는 이중명령을 수행 시 더 좋은 효율을 보임을 알 수 있다. 또한 입/출고점이 양 끝에 위치하면 효율이 좋지 않음을 알 수 있다.

Table 4 Simulation results

storage	layout	order	result
RS	TW	SC	14044
		DC	12630
	OW	SC	17300
		DC	15474
DS	TW	SC	16676
		DC	13982
	OW	SC	18584
		DC	16640

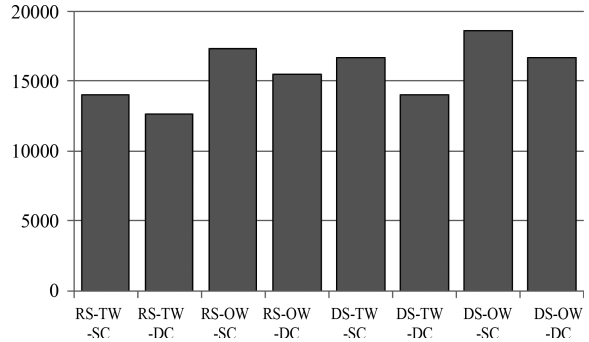


Fig. 4 Simulation results

4. 분석 및 고찰

결과 값을 토대로 각 세부방안 별 스태커크레인의 활동 효율을 알아보았다. 활동 효율이 높다는 것은 동일한 조건 시 이동거리가 작음을 의미한다.

4.1 저장법에 따른 세부 분석

Table 4에 의거하여 각 저장법에 따른 평균값을 비교해보면 임의저장이 지정저장보다 9.76% 향상된 효율을 보인다. 좀 더 상세한 분석을 위하여 저장법을 제외한 다른 조건들을 고정으로 하였을 때 각 구간별 스태커크레인의 이동 거리 량을 비교하면 Fig. 5와 같다.

Fig. 5의 (a)는 입/출고점이 같은 방향에 위치하고, 단일명령 수행 시의 임의 저장과 지정저장의 이동거리 양을 비교한 것이고, (b)는 입/출고점이 다른 방향에 위치하면서 단일명령 수행 시의 임의 저장과 지정저장의 비교, (c)는 입/출고점이 같은 방향에 위치하고, 이중명령 수행 시의 임의 저장과 지정저장의 비교이며, (d)는 입/출고점이 다른 방향에 위치하고, 이중명령 수행 시의 임의 저장과 지정저장의 비교를 나타낸 것이다.

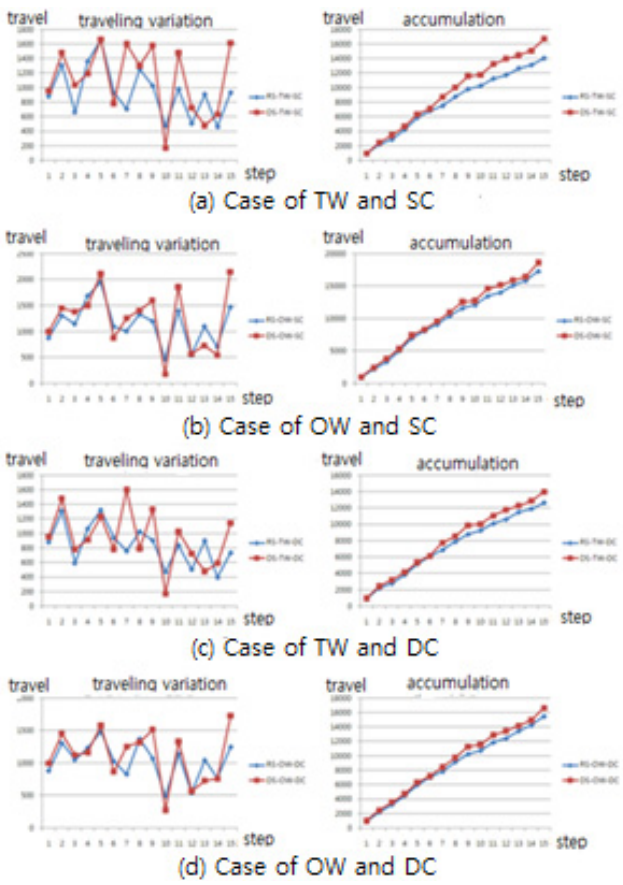


Fig. 5 Results according to storage method

이의 결과에서 보면 가장 큰 영향을 준 구간은 7구간, 11구간 및 15구간이다. 이 세 구간은 모두 지정저장이 임의저장보다 두 배가 넘은 스태커크레인 이동 량을 보였는데, 데이터를 살펴보면 세 구간 모두 품목 D와 E의 입/출고명령이 내려져있다. D와 E는 지정저장법에 따라 순위가 최하이므로 입/출고 점에서 가장 먼 곳으로 배치가 되어있다. 이처럼 이동거리로 인한 AS/RS의 효율로만 본다면 임의저장이 지정저장보다 좋지만 창고의 효율 평가가 이동 량으로만 이루어지는 것이 아닌 만큼 활동량을 줄였다는 것만으로 좋은 AS/RS라는 평가를 하기는 어렵다.

4.2 배치형태에 따른 세부 분석

Table 4에 의거하여 Two way와 One way type에 따른 결과값의 평균을 비교해 보면 입/출고점이 한 방향에 있는 경우가 더 좋은 결과를 얻는다. 그리고 임의저장 시의 배치형태별 평균값의 차이가 3,050인 반면에, 지정저장에서는 평균값의 차이가 1,313으로, 지정저장에서의 배치형태 방안별 결과 값의 격차가 적음을 알 수 있다. 저장법 및 명령수행절차를 같게 하고 배치형태만 달리하였을 때의 비교 그래프는 Fig. 6과 같다.

Fig. 6의 (a)는 임의저장법이면서 단일명령 수행 시 입/출고점이 같을 때와 다를 때의 이동거리 양을 비교한 것이고, (b)는 임의저장법이면서 이중명령 수행 시 입/출고점이 같을 때와 다를 때의 이동거리 양을 비교한 것이다. (c)는 지정저장법이면서 단일명령 수행 시 입/출고점이 같을 때와 다를 때의 비교이며, (d)는 지정저장법이면서 이중명령 수행 시 입/출고점이 같을 때와 다를 때의 비교를 나타낸 것이다.

입/출고점이 양극단에 있을 경우 운영방안의 개발과 채택에 따라 이동거리 량을 줄일 수 있다는 것을 알 수 있지만 현재 입/출고점이 양극단에 나뉘어져 있는 경우 출고방안에 대한 연구는 거의 이루어져 있지 않기 때문에 이에 대한 연구와 개발이 필요하다.

4.3 명령수행 절차에 따른 세부 분석

이중명령을 수행했을 경우 단일명령을 했을 때 보다 더 나은 스태커크레인의 효율을 보였다. 작업구간(순번)별로 비교해 봤을 때 큰 차이를 보이는 곳은 4구간, 5구간, 8구간, 9구간, 11구간 그리고 15구간이었다. 이 구간들은 모두 이중명령이 수행된 구간 들이다. 입/출고 명령이 모두 들어가 있지 않은 순번의 구간들은 단일명령

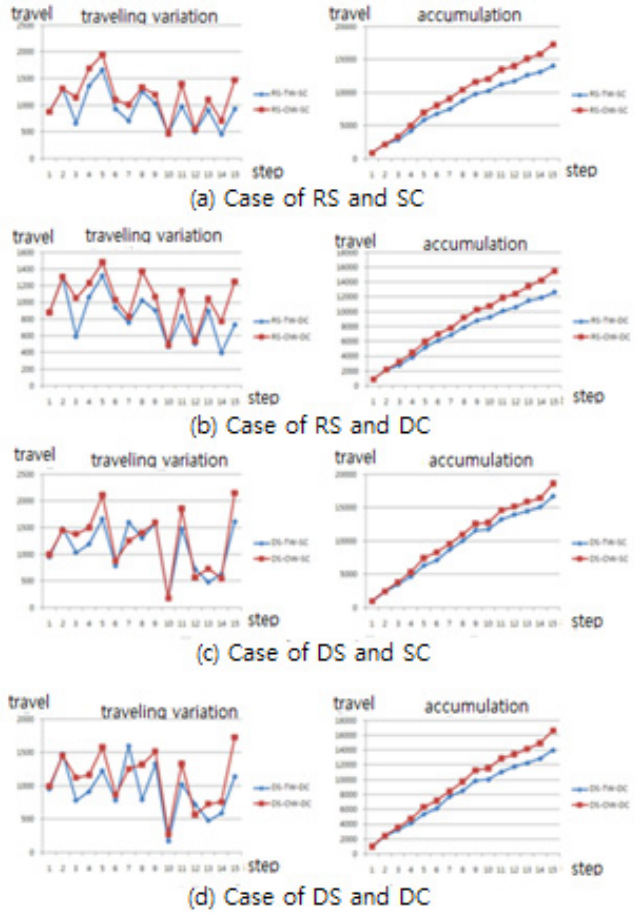


Fig. 6 Results according to layout

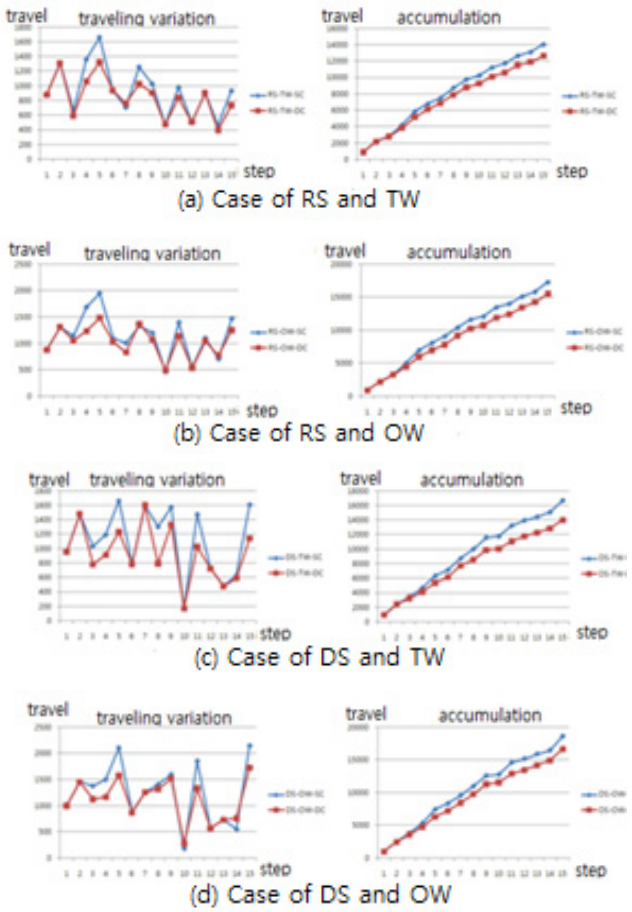


Fig. 7 Results according to order execution step

과 동일한 명령 수행 절차를 따르기 때문에 단일명령과 이중명령의 결과는 똑같이 나오지만 이중명령이 가능한 조건, 즉 한 순번 내에 입고명령과 출고명령이 동시에 있는 경우에는 Fig. 7과 같이 스태커크레인의 이동거리에 차이를 보이게 된다.

Fig. 7의 (a)는 임의 저장이면서 입/출고점이 같은 방향에 위치했을 때 단일명령 수행과 이중명령 수행시의 이동거리 양을 비교한 것이고, (b)는 임의 저장이면서 입/출고점이 다른 방향에 위치했을 때 단일명령 수행과 이중명령 수행시의 비교이며, (c)는 지정 저장이면서 입/출고점이 같은 방향에 위치했을 때의 비교이고 (d)는 지정 저장이면서 입/출고점이 다른 방향에 위치했을 경우의 비교를 나타낸 것이다.

5. 결 론

본 연구에서는 AS/RS 내에서 운행하는 스태커크레인의 이동거리의 감소를 통한 효율향상을 목적으로 저장법, 창고 배치형태 및 명령 수행 절차의 세 가지 조건들을 8가지 방안의 조합으로 구성하여 모의실험을 하였고, 각각의 이동거리 값에 대한 결과를 토대로 효율성을 비교/분석한 결과는 다음과 같다.

(1) RS-TW-DC(임의저장법-Two-way type-이중명령)의 조합 으로 수행한 두 번째 방안이 가장 좋은 결과를 나타내었고, 임의저장법과 Two-way type 및 이중명령을 수행했을 때 다 른 방안보다 더 효율이 좋았다.

(2) 본 연구에서는 단순히 크레인의 이동거리만을 고려하여 효 율성을 검토해 보았지만, 랙 이용율이나 입/출고 대기시간 등 여러 가지 요인들도 고려되어야 하며 다양한 목적에 따라 적절한 운영방안의 선정이 달라질 수 있다.

(3) 실제의 AS/RS 시스템은 품목의 회전률, 입지조건, 품목의 용도 및 수명 등 다양한 조건들이 접목되어지는 복잡한 시 스템을 형성하고 있어 차기 연구에서는 좀 더 다양한 운영 조건들을 적용하여 연구하고자 한다.

References

[1] Hyeong, D. J., Kim, S. K., Lee, J. Y., Cho, H. J., Park, K. H., 2005, 3 Dimension Warehouse Management System Using RFID, Journal of the Korea Information Science Society 32:2 481-483.

[2] Chang, S. H., Egbelu, P. J., 1997, Relative Pre-positioning of Storage/Retrieval Machines in Automated Storage/Retrieval System to Minimize Maximum System Response Time, IIE Transactions 29 303-312.

[3] Moon, G. J., Park, J. Y., 2000, Performance evaluation of AS / RS storage policies with production quantity variation, Journal of the Korean Institute of Plant Engineering 5:2 15-27.

[4] Lee, Y. H., Jun, S. J., 1999, Development of Optimal Design System for AS/RS with Different Sized Cells Using Expert System and Mathematical Models, Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers 12:2 237-246.

[5] Baek, J. K., Ko, H. H., 2013, A Simulation for Warehouse considering Traffic, Journal of the Korea Society for Simulation 22:4 119-128.

[6] Kim, Y. J., Lee, S., Kim, K. T., Kweon, W. J., 2010, Study on Aisle Width for Forklift Truck in Warehouse, Journal of the Korea Logistics Research Association 20:5 175-200.

[7] Chung, B. H., Kim, S. I., 2008, Simulation Model for the Performance Analysis of In-Line Stocker System in TFT-LCD Fabrication Line, Korean Institute of Industrial Engineers Spring Conference 840-849.

[8] Lim, S. Y., Hur, S., Lee, M. H., Lee, Y. H., 2001, M/G/1 Queueing Model for the Performance Estimation of AS/RS, Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers 27:1 111-117.

[9] Hwang, H., Kim, D. B., Song, C. Y., Lee, H. Y., Song, J. Y., Lim, J. M., 1995, Development of a Simulator for Unit Load Automated Storage/Retrieval Systems, Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers 8:4 129-143.

[10] Kang, J. Y., Lee, H. C., Um, I. S., 2006, A Study for Design Optimization of an Automated Distribution Center using the Simulation and Metamodel, Journal of the Korea Society for Simulation 15:3 103-114.