

⊗ 응용논문

두 가지 크기의 단위를 가진 자동창고의 효율적인 운영방안
-Effective Operation Policies of AS/RS with Two Different Sized Units-

최 효돈*
Choi, Hyo Don*
문 기주**
Moon, Gee Ju**

Abstract

Most studies related to AS/RS are about operation policies or system designs. However, the studies on operation policy could not deal with various products using the single unit load system. In this paper, two different sized units are introduced and six different AS/RS operation policies are developed to process the different sized items. Computer simulation is used to evaluate AS/RS performances on various operation policies and to find the most effective operation policy for each case. The simulation model is developed using GPSS/PC and operation policies include COL-FIFO-SP, SIL-FIFO-SP, COL-RN-SP, COL-FIFO-LP, SIL-FIFO-LP and COL-RN-LP. The policies are evaluated based on the criteria of crane utilization, rack utilization, crane moving time, throughput and waiting time.

1. 서 론

자동창고에 대한 대부분의 연구는 운영방안이나 설계의 최적화 문제에 대해 다루어져 왔으며, 그 중 운영방안에 관한 많은 연구들이 단일적재 시스템(single unit load system)하에서 이루어지고 있어서 다양한 제품을 다루는 생산현장의 현실을 제대로 반영하지 못하는 경우가 발생했다. 이들은 단일적재를 나타내기 위해서 팔렛(pallet)의 할당방안을 고려하지 않았기 때문에 창고의 운영방안을 최적화시키는데 있어서 좋지 않은 결과를 가져오게 되었다. 다품종 소량생산의 현장에서는 창고에 입출고되는 단위의 감소 혹은 로트의 크기 감소로 취급단위가 줄어들거나 다양화하게 되는데, 창고 시스템의 수행도를 연구하는데 있어서 팔렛과 랙 면적의 최대 활용방안을 고려해야 할 필요성이 생겼다.

기존의 연구들에서 적용한 단일적재 시스템은 입출고되는 화물의 크기가 모두 동일한 크기의 랙에 저장된다고 가정한 것으로서, 다품종 소량생산의 체계에서는 효과적으로 적용되지 않는다. 또한, 화물의 입출고시 크레인의 빈번한 이동으로 인한 시간손실과 운행비용 증가가 발생하고 공간활용도의 감소와 랙 수의 증가로 인한 창고 비용 증가와 생산제품의 변경에 의한 신제품의 설계시 팔렛이나 랙의 크기를 고려해야 하는 비현실성 등 여러 가지 문제가 발생하게 된다. 따라서, 본 연구에서는 지금까지의 연구들에서 모형화와 대안제시, 그리고 이론적 편리성 등의 이유에 의한 단일적재와 확일적 가정이 아니라 다품종 소량생산체제에서 다양한 형태와 크기로 입출고되는 물품을 처리할 때 현실성 있는 효율적인 자동창고의 운용방안을 개발하고자 한다. 이 목적을 달성하기 위해 여

* : 안동공업전문대 공업경영과

** : 동아대학교 산업공학과

러 가지의 다른 운영방안에 따른 시스템의 수행도를 컴퓨터 시뮬레이션에 의해 분석함으로써 여러 경우의 자동창고에 대한 최적 운영방안을 제시하고자 한다. 본 연구에서는 단일 적재에 의해 물품을 취급하는 경우가 아니라 생산형태 및 저장형태의 다양화에 대응하기 위한 복수적재라는 개념을 도입하여 다양한 크기의 단위가 섞여서 입출고 되는 경우의 자동창고가 어떤 수행도를 보이는지를 분석하고, 제시된 6가지의 운영방안들 중에 어떤 운영방안이 입출고 단위의 크기가 다양한 상황에서 잘 대응하는지를 알아보려고 한다.

2. 기존 연구에 대한 고찰

Randhawa, MaDowell and Wang[9]은 입출고점의 수가 복수명령을 수행하는 세 가지 형태의 자동창고에서 각각 어떻게 수행하는지 비교·분석하였다. Jarvis and Madowell[5]은 자동창고안에서 제품의 최적위치를 결정한 후 특정 요소들이 주문처리 효율에 미치는 영향에 대해서 대칭창고에서의 제품배치의 필요충분한 최적조건과 비대칭창고에서의 제품배치의 발견적 해법을 제시하였다. Bozer and White[1]는 입출고점이 랙의 반대쪽에 위치하는 경우와 통로의 반대쪽 끝에 위치하는 경우, 그리고 통로의 중간에 위치하는 경우 등의 입출고점의 위치를 근거로 해서 이동시간을 위한 수리적 표시법을 개발했다. Hwang and Lim[4]은 유희중 자동창고의 효율성을 증대시키기 위한 Egbel[3]의 동적인 dwell point 모델을 효과적으로 수행할 수 있는 알고리즘을 제시하였다. Rosenblatt and Roll[6,8]은 창고의 용량과 저장방안의 두 가지 결정변수를 가지고 전체 비용을 결정하기 위한 알고리즘을 개발하였으며, 통로당 한 대의 크레인이 있다는 가정을 완화하여 단일명령 수행 하에서 수리적 기법을 사용한 최적화 기법과 시뮬레이션 기법을 병행한 해법을 제시하고 있다. Chow[2]는 스택 크레인이 아닌 온 보드 스토리지(on-board storage)를 가진 DAH(direct access handle)가 작업을 수행하는 경우의 자동창고를 연구하였다. Muralidhran, Linn and Ramdit[7]는 저장위치의 할당을 위해서 임의저장과 등급별 저장의 장점을 결합하는 발견적 기법을 제시하였다.

Taboun and Bohle[10]이 발표한 논문에서는 지금까지의 연구들과는 달리 단일적재 시스템이 아닌 여러 개의 품목을 갖고 있는 두 가지 종류의 팔렛 크기로써 한 대의 크레인이 다중통로를 운행하는 이산사건 시뮬레이션 모형(discrete event simulation model)을 개발했고, 여러 개의 품목을 갖고 있는 혼합된 팔렛 크기에 의한 시스템은 시스템 처리량과 활용도에 있어서 단일적재 시스템보다 수행도가 더 높다는 것을 확인함으로써 이러한 현실적인 문제를 해결하려 했다. 그러나 이 연구에서처럼 팔렛 크기를 두 가지로 했을 경우, 단일적재 시스템 하에서의 자동창고 운영보다는 좀더 현실적이며 처리량과 수행도를 다소 높일 수는 있지만, 팔렛의 크기별로 저장되는 품목이 달라서 입출고 단위가 다양한 경우에는 적용이 불가능하다.

단일적재 시스템 대신에 한 팔렛이나 랙에서 복수 단위를 입출고할 수 있는 복수적재 시스템(double unit load system)을 본 연구에서는 다루게 된다. 복수적재 시스템은 입고가 한 개의 품목이나 한 개의 로트가 아니라, 복수 개의 품목이나 복수 개의 로트로 발생할 수 있다. 이 때 입고의 발생 크기는 한 개의 랙을 모두 채울 수도 있지만 일부분만 채울 수 있는 크기일 수도 있다. 마찬가지로 출고 요구가 발생했을 때에도 랙의 일부분에 대한 출고만을 요구할 수도 있고, 한 개의 랙 전체에 대한 출고를 요구할 수도 있다. 본 논문에서는 이와같은 상황을 반영하기 위해서 두 가지 크기의 팔렛에 대해서 복수적재 시스템을 반영하게 된다. 그림 1은 단일적재와 복수적재의 서로 다른 저장형태를 보여주고 있다. 기존 연구의 근거가 되는 (a)의 단일적재 경우에는 한 랙에 저장된 품목은 같이 이동하기 때문에 랙은 비어있거나 채워지는 경우만이 존재하지만, (b)나 (c)의 복수적재는 따로 입출고가 이루어지기 때문에 같은 랙에 다른 형태의 품목이 같이 존재할 수도 있고, 반만 채워지는 경우도 발생한다. 복수적재는 다품종 소량생산체계에서 작업단위가 작아지고 가변적인 경우에 적용가능하게 된다. 이렇게 복수적재 시스템을 이용해서 자동창고를 연구하게 되면 기존의 단일적재 시스템에 비해서 공간 활용율과 현실적인 운영등 여러 가지 장점을 가지게 된다.

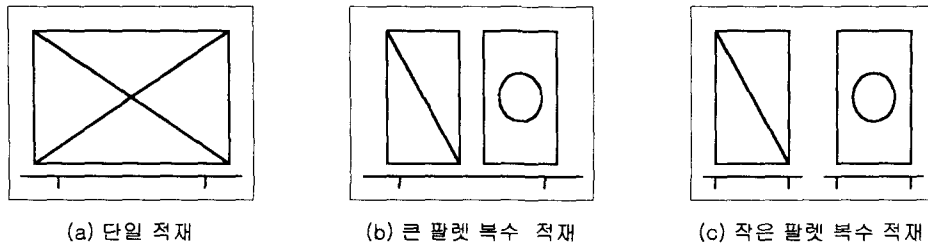


그림 1. 단일적재와 복수적재의 비교

3. 시뮬레이션 모형

본 연구에서는 복수적재 시스템에 의해서 운영되는 자동창고에 관한 연구를 수행하기 위해서 몇 가지 모형을 사용한다. 이들 모형들은 하드웨어적 모형과 소프트웨어적 모형으로 나눌 수가 있는데, 하드웨어적 모형은 몇 가지 입고와 출고 크기에 대응하기 위해 팔렛의 크기에 따라서 분류하는 것이다. 팔렛과 입출고의 크기는 두 가지로 나누어지고, 입고와 출고의 크기를 다 수용할 수 있는 큰 팔렛과 입고와 출고 크기의 일부분만을 수용할 수 있는 작은 팔렛으로 구분한다.

표 1. 작은 팔렛과 큰 팔렛의 단일명령 이동시간 차이

I/O 형태 \ 랙		큰 팔렛		작은 팔렛	
		빈 랙	여유 랙	빈 랙	여유 랙
한 단위	입고	E(SC)	2 E(SC)	E(SC)	E(SC)
	출고	E(SC)	2 E(SC)	E(SC)	E(SC)
두 단위	입고	E(SC)	×	2 E(SC)	×
	출고	E(SC)	×	2 E(SC)	×

E(SC) : 단일 명령의 운행시간

복수적재에서 큰 팔렛으로 운영될 경우나 작은 팔렛으로 운영되는 경우에 한번에 입고 혹은 출고를 하는 단일명령을 수행하는 크레인 이동상황의 특징을 살펴보면 표 1에서 처럼 요약될 수 있다. 입고에서의 빈 랙은 비어 있는 랙으로의 입고를 의미하고, 출고의 빈 랙은 출고됨으로써 랙이 비워진다는 의미이다. 여유 랙이라고 하는 것은 입고시 랙이 다 채워지지 않고 출고시 랙의 일부분만이 출고되고 나머지는 그대로 저장되는 경우를 의미한다. 팔렛의 크기와는 상관없이 빈이 채워져서 여유공간이 있는 랙에서는 두 단위의 입고나 두 단위의 출고가 발생하지 않는다. 표 1은 단일명령의 경우 큰 팔렛과 작은 팔렛의 크레인 이동횟수의 차이를 보여주고 있다.

복수명령을 수행하게 되면 먼저 입고가 수행되고, 다음 크레인이 출고점으로 가서 출고를 수행하게 된다. 큰 팔렛의 경우, 입출고의 조합과 랙의 상황에 따라서 크레인의 이동형태가 약간 달라지게 된다. 빈 랙으로의 입고와 랙을 완전히 비우는 출고의 조합에 의한 복수명령은 일반적인 단일적재 시스템에서의 복수명령과 동일하다. 그러나 비어 있는 랙에 저장하고 난 다음 랙의 일부분만을 출고하는 경우에는 출고후 다시 출고하지 못한 나머지 부분을 저장해야 하므로 추가적인 크레인의 이동이 필요하다. 큰 팔렛에 의한 복수명령을 수행하는 크레인의 이동상황을 요약하면 표 2와 같다.

표 2. 큰 팔렛의 복수명령 이동시간

출고		한 단위		두 단위
		빈 랙	여유 랙	
한 단위	빈 랙	E(DC)	E(DC) + E(SC)	E(DC)
	여유 랙	E(DC) + E(SC)	E(DC) + 2 E(SC)	E(DC) + E(SC)
두 단위		E(DC)	E(DC) + E(SC)	E(DC)

E(DC) : 복수 명령의 운행시간.

작은 팔렛에 의해서 수행되는 복수명령은 큰 팔렛과는 달리, 한 단위의 입고와 한 단위의 출고가 복수명령을 하는 경우는 랙의 상태와 관계없이 단일적재 시스템에서의 복수명령과 같은 방식으로 크레인의 이동경로가 정해진다. 그러나 두 단위의 입고가 있는 경우, 팔렛이 분리되어 있기 때문에 복수명령으로 한 단위를 처리하고 나머지 한 단위의 입고는 단일명령으로 처리하게 된다. 두 단위의 출고가 있는 경우도 마찬가지로의 방식으로 출고가 이루어진다. 만약 두 단위의 입고와 두 단위의 출고가 같이 있는 경우에는 각각 한 단위씩 묶어서 처리를 하게 됨으로 두번의 복수명령을 처리하는 것처럼 명령을 수행하게 된다. 작은 팔렛에 의한 복수명령을 수행하는 크레인의 이동상황을 요약하면 표 3과 같다.

표 3. 작은 팔렛의 복수명령 이동시간

출고		한 단위		두 단위
		빈 랙	여유 랙	
한 단위	빈 랙	E(DC)	E(DC)	E(DC) + E(SC)
	여유 랙	E(DC)	E(DC)	E(DC) + E(SC)
두 단위		E(DC) + E(SC)	E(DC) + E(SC)	2 E(DC)

본 연구에서 고려하는 모형은 복수적재 시스템으로 가변적인 입고와 출고 크기를 가지는 경우에, 한 랙을 채우지 못하는 작은 팔렛과 한 랙을 다 채우는 큰 팔렛으로 자동창고를 운영할 때를 나누어서 비교하는데 각 팔렛별로 세 가지씩의 모형을 고려해서 GPSS/PC에 의해서 모형화했다. 이 모형들은 입고형태와 출고형태 그리고 팔렛 크기의 조합에 의해서 이루어진다.

- ① COL-FIFO-SP(Closest Open Location-First In First Out-Small Pallet)방안
- ② SIL-FIFO-SP(Same Item Location-First In First Out-Small Pallet)방안
- ③ COL-RN-SP(Closest Open Location-Retrieval Number-Small Pallet)방안
- ④ COL-FIFO-LP(Closest Open Location-First In First Out-Large Pallet)방안
- ⑤ SIL-FIFO-LP(Same Item Location-First In First Out-Large Pallet)방안
- ⑥ COL-RN-LP(Closest Open Location-Retrieval Number-Large Pallet)방안

입고방안으로는 근거리 저장을 하는 COL과 같은 품목이 저장되어 있는 곳에 저장시키는 SIL방안이 사용된다. 그리고 출고방안으로는 선입선출인 FIFO와 요구되는 개수만큼이 저장되어 있는 랙을 검색해서 출고하는 RN방안이 사용된다. 예를 들어 SIL-FIFO-SP는 작은 팔렛이 사용되면서 저장시 같은 품목이 저장되어 있는 랙에 저장되고 출고는 선입선출에 의해서 이루어지는 방안이다. COL-RN-LP는 큰 팔렛이 사용되면서 저장은 근거리저장을 출고는 같은 개수가 있는 랙에서 출고

를 하는 방안이다. 부록 1과 2는 같은 품목이 있는 랙에 저장하기 위한 SIL입고방안과 출고요구개수가 있는 랙이 있는 RN에 의한 출고방안의 GPSS/PC 블럭도표이다.

현실적으로 나타날 수 있는 다양한 형태의 입출고 상태를 나타내기 위해서 한 단위와 두 단위의 입출고 비율을 달리하면서 시뮬레이션을 수행했는데 사용된 한 단위의 입출고와 두 단위의 입출고 비율(I/O rate)은 표 4와 같으며, 본 연구의 시뮬레이션은 다음과 같은 가정을 두고 나머지 가정은 일반적인 자동창고의 가정을 따른다.

표 4. 입출고 형태에 따른 입출고 비율

입출고형태	한 단위	두 단위
형태 1	3	1
형태 2	2	1
형태 3	1	1
형태 4	1	2
형태 5	1	3
형태 6	1	4

- ① 시뮬레이션은 10×27의 랙을 가진 자동창고이며 총 10개의 품목을 대상으로 한다.
- ② 복수적재 시스템에서 사용되는 팔렛의 크기는 작은 것 혹은 큰 것의 두 가지로 한다.
- ③ 지수분포를 따르는 입출고의 요구횟수 비율은 같으며 시간당 42회의 요구횟수를 가진다.
- ④ 작은 팔렛은 한 단위를 저장할 수 있고, 큰 팔렛은 두 단위를 동시에 저장할 수 있는 크기이다.
- ⑤ 크레인의 속도는 한 단위나 두 단위를 운반할 때 동일한 속도로 움직이게 된다.
- ⑥ 한 랙에는 입고시간이 서로 다른 품목의 저장이 가능하며 이동시간은 한 랙의 두 팔렛이 같다.
- ⑦ 크레인은 수직이동과 수평이동을 동시에 하며 시뮬레이션 수행시간은 900,000단위시간이다.

4. 입출고 형태에 따른 시뮬레이션 결과

입출고 형태 1은 한 단위의 입출고량이 두 단위 입출고량의 3배일 경우의 시뮬레이션이다. 즉 한 단위의 입출고가 6번 발생해서 6개의 물품을 크레인이 처리할 때 두 단위의 입출고는 1번 발생해서 2개의 물품을 창고에 입고나 출고시키는 경우이다. 시뮬레이션 결과는 표 5에 요약되어있다. 표에서 크레인(crane)과 랙(rack)은 전체 시뮬레이션 시간중 크레인의 평균 이용률과 랙의 평균 이용률을 나타내는 것이고, 복수명령(dual)과 단일명령(single)은 크레인이 각 명령을 수행할 때 경과되는 평균시간이다. 이 시간치들을 계산할 때, 입출고의 조합이 복수명령과 단일명령을 같이 포함하는 경우에는 한번의 복수명령과 한번의 단일명령으로 분리해서 계산하도록 했다. 입고대기(in-Q)와 출고대기(out-Q)는 각각 물품이 창고로 입고와 출고를 위해서 기다리는 평균 대기시간을 의미한다. 처리량(throughput)은 수행시간 동안에 입고된 개수와 출고된 개수를 합한 수치이다.

표 5에서 입출고 대기시간이나 복수명령과 단일명령을 수행하는 크레인의 이동시간 등의 수행도면에서 COL-RN-SP 방안에 의한 운영방안이 가장 좋은 것으로 나타나고 있다. 크레인 이용률과 랙 이용률 면에서 보면 가장 낮은 크레인 이용률을 가지고 가장 많은 랙에 물품을 저장하거나 출고시키고 있는 방안이 COL-RN-SP 방안에 의한 운영방안이다. 또 COL-RN-SP 방안의 입고대기는 COL-FIFO-SP 방안의 입고대기의 56%, COL-FIFO-LP 방안 입고대기의 10% 수준밖에 되지 않기 때문에 많은 개수의 입출고량을 처리하고 있는 것으로 나타났다.

입출고 형태 2의 결과는 표 6에 나와있다. 이것은 한 단위 입출고량과 두 단위 입출고량의 비율이 2:1인 경우로 시뮬레이션 결과에서 볼 때 COL-RN-SP 방안이 다른 방안에 비해서 가장 낮은 크레인 이용률을 보임에도 불구하고 높은 랙 이용률을 보이고 있는데, 이는 크레인의 적은 가동으로도 많은 랙에 대해 입출고를 할 수 있다는 것이 됨으로 자동창고의 운영비 절감이라는 이점이 있다. 반면에 COL-FIFO-LP 방안은 높은 크레인의 이용률에도 불구하고 오히려 COL-RN-SP 방안보다 낮은 랙 이용률을 보이고 있어서 바람직하지 않은 방안임을 보여주고 있다. 작은 팔렛과 큰 팔렛간의 시뮬레이션 결과 비교는 작은 팔렛을 사용하는 것이 타당한 것으로 나타났다. 형태3은 표 7은 한 단위에 의한 입출고량과 두 단위에 의한 입출고량이 같을 때 각 운영방안의 시뮬레이션 결과를 요약한 것이다.

크레인 이용률 면에서 가장 높은 이용률을 보이는 방안은 COL-FIFO-LP 방안이고, 가장 낮은 이용률을 보이는 것은 COL-RN-SP 방안이다. 크레인 이용률이 높다는 것은 두 가지 경우로 볼 수 있는데, 하나는 크레인의 이동시간이 길다는 것이고, 다른 하나는 처리량이 다른 방안에 비해서 많다는 것을 의미한다. 입출고 형태 3에서의 COL-FIFO-LP 방안은 전자에 해당한다. COL-RN-LP 방안의 출고대기시간이 아주 짧게 나타나고 있는데, 이는 두 단위의 출고가 늘어남에 따라서 RN 출고방식이 자동창고의 효율을 증대시키기 때문인 것으로 해석된다.

입출고 형태 4는 한 단위에 의한 입출고 개수가 2개일 때, 두 단위에 의한 입출고 개수는 4개가 되어 그 비율이 1:2가 된다. 이 때의 시뮬레이션 결과는 표 8에 요약되어 있는데 대부분의 결과가 앞의 경우와 비슷한 결과를 보이고 있다. 다만 COL-RN-LP 방안과의 차이가 다른 입출고 형태에 비해서 크게 나타나지는 않고 있다. 이 두 가지 방안을 비교하면 크레인과 랙의 이용률에서는 비슷한 수준이나, 크레인의 평균 이동시간은 작은 팔렛을 사용하는 방안이 훨씬 적다. 비록 COL-RN-LP 방안이 크레인의 이동시간측면에서는 수행도가 떨어지나 한번에 두 단위의 입출고를 처리할 수 있기 때문에 비슷한 크레인 이용률을 가지게 된다.

입출고 형태 5는 두 단위에 의한 입출고가 세번 발생할 때, 한 단위에 의한 입출고가 두번 발생하는 경우의 시뮬레이션 모형으로 시뮬레이션 결과를 요약한 것을 표 9에서 보여주고 있다. 입출고 형태 5에서의 시뮬레이션 결과는 전술한 입출고 형태에서와 약간의 차이가 있다. 그것은 크레인과 랙의 이용률과의 관계에서 나타나는데, 지금까지의 입출고 형태에서는 COL-RN-SP 방안이 적은 크레인의 이용률에도 많은 랙에 대해 작업을 할 수가 있었다. 그러나 두 단위에 의한 입출고 개수가 한 단위의 입출고 개수보다 3배 이상 많을 경우에는 COL-RN-LP 방안이 가장 적은 크레인의 이용률을 가지면서 COL-RN-SP 방안과 비슷한 랙 이용률을 가지는 것으로 시뮬레이션 결과가 나타났다.

입출고 형태 6은 한 단위에 의한 입출고와 두 단위에 의한 입출고의 비율이 1:4가 되는 경우의 시뮬레이션의 결과가 표 10에 나타나있다. 먼저 크레인의 이용률면에서 보면 가장 낮은 이용률을 보이는 운영방안은 COL-RN-LP 방안이며, 그 다음으로 COL-RN-SP 방안이고, 나머지 운영방안은 비슷한 이용률을 보이고 있다. 랙 이용률측면에서 가장 높은 이용률을 보이는 운영방안이 COL-RN-LP 방안인 것으로 보아서 입출고 형태 6에서 적은 크레인 이동으로 많은 랙에 대해서 입출고를 수행하는 운영방안은 COL-RN-LP 방안임을 알 수 있다. 특히 COL-RN-LP 방안은 복수명령과 단일명령의 이동시간이 작은 팔렛을 사용하는 세 가지 운영방안보다 많음에도 불구하고 이와 같은 결과를 보이고 있는 것으로 볼 때, 입출고 형태 6에서 효율적인 크레인의 운영상태가 유지됨을 알 수 있다.

표 5. 입출력 형태 1의 시뮬레이션 결과

operation	crane util.	rack util.	dual (sec.)	single (sec.)	in-Q (sec.)	out-Q (sec.)	throughput
COL-FIFO-SP	45.2%	55.3%	24.52	17.61	12.70	12.40	10788
SIL-FIFO-SP	44.7%	52.6%	24.56	17.47	10.29	12.83	10764
COL-RN-SP	28.8%	65.7%	15.53	10.47	6.82	5.60	11421
COL-FIFO-LP	75.1%	61.9%	54.38	31.65	65.81	72.45	10802
SIL-FIFO-LP	63.7%	57.3%	44.79	27.31	44.74	41.64	10752
COL-RN-LP	57.2%	62.4%	43.21	24.23	49.18	19.51	11300

표 6. 입출력 형태 2의 시뮬레이션 결과

operation	crane util.	rack util.	dual (sec.)	single (sec.)	in-Q (sec.)	out-Q (sec.)	throughput
COL-FIFO-SP	53.6%	64.6%	27.99	20.26	19.96	20.73	11341
SIL-FIFO-SP	51.7%	60.4%	27.51	19.48	15.13	19.41	11313
COL-RN-SP	31.1%	66.6%	16.04	10.72	8.69	7.18	11979
COL-FIFO-LP	72.6%	61.7%	50.80	30.03	54.52	66.53	11345
SIL-FIFO-LP	64.1%	57.7%	43.99	26.81	44.89	49.72	11393
COL-RN-LP	57.1%	67.7%	43.15	24.12	52.06	19.50	11729

표 7. 입출력 형태 3의 시뮬레이션 결과

operation	crane util.	rack util.	dual (sec.)	single (sec.)	in-Q (sec.)	out-Q (sec.)	throughput
COL-FIFO-SP	58.9%	65.3%	28.43	20.54	26.36	28.17	12570
SIL-FIFO-SP	58.2%	63.2%	28.38	19.84	21.49	27.92	12611
COL-RN-SP	41.4%	74.7%	19.42	12.95	18.24	13.29	13177
COL-FIFO-LP	72.9%	66.4%	47.99	29.52	48.79	65.71	12589
SIL-FIFO-LP	65.9%	59.9%	43.14	26.29	42.82	47.19	12646
COL-RN-LP	51.6%	63.0%	35.99	21.05	36.27	12.72	12924

표 8. 입출력 형태 4의 시뮬레이션 결과

operation	crane util.	rack util.	dual (sec.)	single (sec.)	in-Q (sec.)	out-Q (sec.)	throughput
COL-FIFO-SP	66.6%	67.6%	27.50	20.84	36.35	44.45	14242
SIL-FIFO-SP	70.8%	73.9%	32.87	22.74	41.75	58.00	14152
COL-RN-SP	52.3%	75.6%	22.01	14.84	31.36	21.06	14605
COL-FIFO-LP	71.3%	68.2%	44.22	28.13	42.83	64.83	14115
SIL-FIFO-LP	72.9%	68.8%	45.94	29.22	49.54	73.36	14205
COL-RN-LP	54.4%	76.7%	42.26	23.03	43.38	16.35	14440

표 9. 입출력 형태 5의 시뮬레이션 결과

operation	crane util.	rack util.	dual (sec.)	single (sec.)	in-Q (sec.)	out-Q (sec.)	throughput
COL-FIFO-SP	73.5%	72.9%	31.75	22.29	52.47	61.02	15130
SIL-FIFO-SP	73.2%	72.7%	32.39	22.26	46.84	65.40	15125
COL-RN-SP	52.7%	65.8%	21.30	14.53	31.52	20.54	15413
COL-FIFO-LP	69.5%	67.2%	41.56	26.78	39.53	60.01	15181
SIL-FIFO-LP	75.1%	71.9%	46.02	29.76	51.19	84.27	15198
COL-RN-LP	48.1%	65.7%	32.69	20.31	33.44	11.34	15314

표 10. 입출력 형태 6의 시뮬레이션 결과

operation	crane util.	rack util.	dual (sec.)	single (sec.)	in-Q (sec.)	out-Q (sec.)	throughput
COL-FIFO-SP	70.5%	66.2%	29.15	20.43	43.68	50.94	15669
SIL-FIFO-SP	68.9%	63.6%	28.58	19.81	36.08	51.02	15775
COL-RN-SP	57.6%	66.6%	21.99	15.10	40.40	24.01	15973
COL-FIFO-LP	69.0%	67.7%	41.10	26.42	38.77	61.62	15737
SIL-FIFO-LP	70.4%	65.7%	41.68	26.88	41.66	64.29	15859
COL-RN-LP	50.7%	69.6%	33.61	21.39	36.51	12.80	16014

이상과 같은 수행도가 어떤 요인에 의해서 더 많은 영향을 받는지 알아보기 위해 Minitab으로 분산분석을 실시하였다. 여러 수행도 중 처리량에 대한 분산분석을 실시하여, 그 수행도가 운영방안과 입출고 형태 중 어떤 요인에 의해 더 많은 영향을 받는지에 대한 분석 결과를 표 11에 나타내었다. 유의수준 $\alpha=0.05$ 에서의 분석결과는 표 11의 F값에서 알 수 있듯이 입출고 형태와 운영방안 그리고 두 인자의 교호작용이 매우 유의적임을 보여주고 있다.

표 11. 처리량의 ANOVA 분석

Source	f	S	V	F ₀
I/O 형태	5	1.201E+09	240,286,240	13,869.34**
운영 방안	5	12,333,060	2,464,412	142.25**
I/O 형태 × 운영방안	25	1,081,202	720,484	4.16**
Error	324	5,613,247	173,255	
Total	359	1221E+09		

5. 결 론

다품종 소량생산에서는 로트의 크기가 작아져서 공정중이나 창고에서 다루는 단위하물의 크기가 작아지게 된다. 이때 작아지는 단위하물의 크기에 맞추어 자동창고를 도입하게 되면 랙의 수가 지나치게 많아지게 되어 효율적이지 못하다. 본 연구에서는 작업단위 혹은 처리단위가 가변적인 상황에서 자동창고의 수행도를 향상시키는 팔렛의 크기 및 입출고 운영방안을 연구하였다.

한 단위와 두 단위의 입출고량이 동등한 입출고 형태 3에서는 크레인과 랙의 활용율, 단일명령과

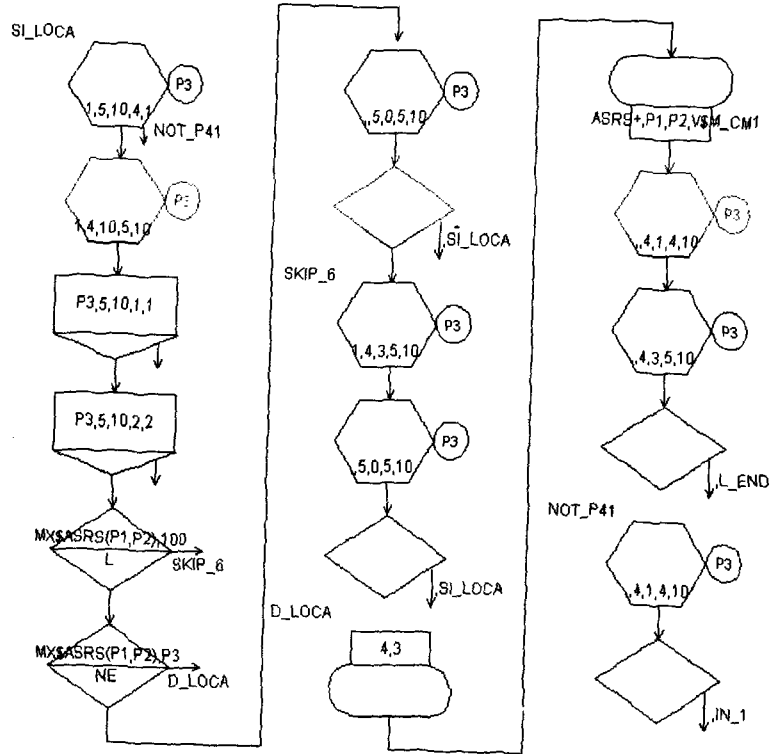
복수명령하에서의 크레인 이동시간, 입출고시의 대기시간, 단위처리량 등의 모든 평가기준에서 COL-RN-SP 방안이 가장 수행도가 높은 것으로 나타났다. 또한 입출고 형태 1과 입출고 형태 2, 입출고 형태 4에서도 대부분의 평가기준에서 COL-RN-SP 방안이 가장 적합한 운영방안인 것으로 나타났다. 그러나 형태 3과 4에서는 출고 대기시간은 COL-RN-LP 방안이 가장 짧은 것으로 나타났다.

한 단위와 두 단위의 입출고가 1:3으로 이루어지는 입출고 형태 5에서는 크레인과 랙 이용률 등의 전반적인 수행도에서는 COL-RN-LP 방안이 우수하였다. 1:4의 형태 6에서는 모든 수행도에서 COL-RN-LP 방안이 좋은 수행상태를 보여주는 최적의 운영방안으로 나타났다. 실험의 결과치들을 분석한 결과, 입출고 형태와 운영방안이 자동창고의 수행도에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 특히, 큰 팔레트를 이용했을 경우와 작은 팔레트를 이용했을 경우의 수행도를 비교하였을 때 작은 팔레트가 한 단위와 두 단위의 입출고량이 변동하는 경우에 대해서 더 유연하게 대응하는 것으로 나타났다. 그것은 작은 팔레트를 사용하는 COL-RN-SP 방안이 두 단위의 처리량이 많은 형태 4와 5의 몇 가지 수행도에서 좋은 결과치를 보여주고 있다는 점에서도 이를 확인할 수 있다. 앞으로 입출고의 크기가 다양한 경우로의 시뮬레이션을 통해서 다양한 입고와 출고형태에서의 자동창고에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] Bozer, Y. A. and White, J. A., "Travel-Time Models for Automated Storage /Retrieval System," *IIE Transactions*, Vol. 16, No. 4, pp.329-338, 1984.
- [2] Chow, W. M., "An Analysis of AS/RS in Manufacturing Assembly Lines", *IIE Transaction*, Vol. 20, pp. 204-214, 1986.
- [3] Egbelu, P. J., "Framework for dynamic positioning of storage/retrieval machine in an automated storage/retrieval system", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 29, No. 1, pp. 17-37, 1991.
- [4] Hwang, H. and Lim, J. M., "Deriving an optimal dwell point of the storage/retrieval machine in an automated storage/retrieval system", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 31, No. 11, pp. 2591-2602, 1993.
- [5] Jarvis, J. M. and McDowell, E. D., "Optimal Product Layout in an Order Picking Warehouse", *IIE Transactions*, Vol. 23, No. 1, pp.93-102, 1991.
- [6] Rosenblatt, M. J. and Roll, Y., "Warehouse Design with Storage Policy Considerations", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 22, No. 5, pp. 809-821, 1984.
- [7] Muralidharan, B., Linn, J. R. and Randit R., "Shuffling Heuristics for the Storage Location Assignment in an AS/RS", *Int. J. Prod. Res.*, Vol. 33, No. 6, pp. 1661-1672, 1995.
- [8] Rosenblatt, M. J., Roll, Y. and Zyser, V., "A Combined Optimization and Simulation Approach for Designing AS/RS", *IIE Transaction*, Vol. 25, No. 1, pp. 40-50. 1993.
- [9] Randhawa, S. U., McDowell, E. D. and Wang, Wen-Tsao, "Evaluation of Scheduling Rules for Single and Dual-Dock Automated Storage/Retrieval System", *Computers & Ind. Eng.*, Vol. 20, NO. 4. pp. 401-410, 1991.
- [10] Taboun, S. M. and Bohle, S. D., "A Simulator for an Automated Warehousing System", *Computers & Ind. Eng.*, Vol. 24, No. 2, pp.281-290, 1993.

부록 1. SIL에 의한 입고 블럭도표



부록 2. RN에 의한 출고 블럭도표

