

자동창고 시스템의 저장위치 선정에 관한 시뮬레이션 연구

손 권 익 · 김 창 덕* · 조 용 환*

A Simulation Study on the Determination of Storage Location in Automated Warehousing Systems

Kwon-Ik Sohn · Chang-Deog Kim* · Yong-Hwan Cho*

ABSTRACT

This study deals with the automated storage/retrieval systems (AS/RS) where the rack is discrete and the random storage assignment rule is adopted. New storage policies named FNCS (first no-cost zone, second closest-open location) and FNCSH (first no-cost zone, second a half side closest-open location) are proposed. Simulation results indicate that performance of FNCSH is slightly lower than that of the SCL but it does not need much time to perform. The "stay" strategy of S/R machine is examined as a means of increasing the frequency of dual command.

1. 서 론

자동창고 시스템 (AS/RS)은 근래에 도입된 고도의 공장자동화 시스템인 CIM (Computer Integrated Manufacturing)의 일환으로 이를 현장에 구축함으로써 원재료와 재공품 완제품등의 입고 및 출고를 자동화하여 그 소요시간을 단축시킬 수 있으며 공장 저장품의 종류와 수량이 증가함에 따라

발생하는 재고관리의 복잡성도 원활히 해결할 뿐만 아니라 재래식 창고에 비하여 노무비 절감, 공간활용 증대, 저렴한 운영비, 그 외 도난방지등의 잇점이 있다. 이에 자동창고 시스템에 대한 욕구는 점차 증대되고 있다.

자동창고 시스템에 대한 많은 연구는 운용정책 (저장위치 할당규칙, 크레인 (crane)의 단일명령 (single command)이나 이중명령 (dual command)수행 등)과 설계 (크레인의 수, 크레인의 수평/수직 속도, 저장랙 (rack)의 길이와 높이의 결정 등)등에 관한

강원대학교 공과대학 산업공학과 교수

* 강원대학교 대학원 산업공학과 석사과정

것으로 구분할 수 있다. 먼저 운용정책에 관한 연구에는 저장위치 할당에 관한 것과 주문 순서화에 관한 것이 있다.

Graves, Hausman과 Schwarz(GHS) [4]는 3가지의 할당규칙(random, full turn-over based, class-based storage assignment)을 고려하여 이에 대한 크레인의 평균운행시간을 계산하였다. 여기서 저장랙은 연속적으로 나타내어 입/출고점으로 부터 수직 또는 수평방향으로의 최대운행시간이 동일하다(square in time)는 것과 단일 명령을 가정하였다. 뒤의 논문[2]에 이중명령을 추가하여 물품의 회전율에 대하여 EOQ모형을 사용하여 연속적인 함수로 나타내어 회전율에 따라 2개 또는 3개의 등급을 나누는 할당규칙과 이중명령에 따라 운행할 경우 크레인의 운행시간에 많은 감소를 가져올 수 있는 것을 보여 주었다. 또 GHS는 이런 해석적 방법으로 얻은 결과들을 시뮬레이션을 이용하여 확인하였다. [5] 여기서는 특히 최근접빈위치(closest-open-location : COL)규칙과 임의할당(random storage assignment : RAN)규칙을 비교, 평가하여 실제로 많이 쓰이는 COL과 RAN은 같은 효과를 가져온다는 것으로 평가되었다.

Bozer와 White[1]는 GHS의 가정을 현실적으로 바꾸어 통계적 기법을 사용하여, 연속적으로 근사시킨 저장위치의 형태가 정사각형(시간적으로)이 아닌 실제로 많이 쓰이는 직사각형일 때에도 적용이 가능한 운행시간모형을 개발하였다. 또한 각 저장위치를 확률변수로 취급하여 입/출고점으로 부터 저장위치까지의 운행시간을 확률분포결정법을 사용하여 구하였고 두 저장위치 사이의 운행시간을 순서통계량기법을 사용하여 구하였다. 또한 입/출고점 위치에 대한 여러가지 대안과 크레인의 머무는 위치 등에 대하여 연구하였다. 다만 여기에서 사용된 할당규칙은 임의할당(RAN)에만 국한되었다.

Han, McGinnis, Shieh와 White[3]는 크레인이 Chebychev 형태로 운행한다는 가정

하에 이중명령 운행시간을 최소화하고자 입고와 출고 명령의 순서화를 요구하였다. 특히 이들은 “No-Cost Zone”이라는 구역을 정의하였는데, 이 구역안에 입고 저장위치를 선정하는 경우 그 위치에 저장을 하고 다시 출고 저장위치로 옮기는데 걸리는 시간이 입/출고점(I/O point)에서 직접 출고저장위치로 가는 시간과 같아진다. 따라서 출고하는데 걸리는 시간이면 입고, 출고의 이중명령을 모두 수행할 수 있는 구역을 말한다.

김남하등[6]은 유닛로드형 자동창고시스템에서 랙이용율과 랙세밀도가 시스템의 단위시간당 처리능력에 어떠한 영향을 미치는가를 시뮬레이션을 이용하여 연구하였으며, 물품저장규칙중 Shortest Cycle Location(SCL), Closest-Open Location in No-Cost Zone(COLN)을 제안하여 COL규칙보다 크레인 평균운행시간이 감소함을 보였으며 Han et al.의 “No-Cost Zone”에 비교하여 “Extra-Cost Zone”을 정의하였다.

자동창고 시스템의 설계에 대한 연구는 최적화기법과 시뮬레이션으로 나누어 진다. 시뮬레이션 모델은 시스템 구성품의 움직임과 상호작용을 계산하여 자동창고 시스템의 역동성(dynamics)을 이해하는데 효율적일 뿐만 아니라 다양한 환경에서 크레인의 이용율, 평균운행시간, 대기행렬의 길이, 시간등을 측정하는데 적절하다.

자동창고시스템은 여러가지 기준으로 평가된다. 흔히 사용하는 기준들은 일일 처리주문건수나 처리물품수에 의해 측정되는 단위시간당 총생산량, 크레인의 평균운행시간, 주문평균대기시간 등이다. 그중에서 자동창고 시스템의 최적설계와 운용정책을 평가하는데 있어 기준역할을 하는 것으로서 크레인의 평균운행시간을 들 수 있는데 이는 시스템 설계단계에 있어 보관능력과 단위시간당 생산량사이의 균형을 이루도록 설계한다는지, 입/출고 요구에 필요한 크레인의 성능을 결정하는데 사용될 수 있기 때문이다.

본 연구에서는 저장위치 선정방법중 COL, COLN, SCL에 대하여 시뮬레이션을 이용하여 COLN이 COL보다 효율적이고, SCL이 COL, COLN보다 효율적이라는 기존 연구(6)의 타당성을 비교, 평가하여 이의 결과를 토대로 새로운 선정방법을 제시하고, 현실적으로 100% 이중명령 수행이라는 사실이 부적합한 가정이기 때문에 10%-100%까지 확률을 10%씩 증분시켜 부분적인 이중명령을 수행하도록 하고, 랙이용율을 고려한 크레인의 평균운행시간을 비교하고자 한다.

2. 자동창고시스템의 시뮬레이션

자동창고 시스템의 기본적 개념

자동창고 시스템의 주요 구성요소는 저장 랙, 크레인, 그리고 입/출고점이다. 입/출고점에서 저장랙까지의 물품이동을 크레인이 담당하는 것이다.

저장랙은 물품을 보관하는 장소이며 크레인은 물품의 입/출고를 담당하는 기계이다. 자동창고 시스템의 흐름은 다음과 같다. 입고를 하기 위한 물품이 입/출고점에 도착하면 팔레트(pallet)에 물품을 실은 후 자동창고의 운영과 관련된 제반 명령의 지시를 담당하는 주 컴퓨터(host computer)로 팔레트에 실린 물품에 관한 정보를 보낸다. 그러면 주 컴퓨터에서는 해당 물품에 대한 적절한 저장위치를 선정하여 크레인으로 하여금 물품을 입/출고점에서 선정된 저장위치로 입고시킨 후 입고일자, 품명, 규격, 수량, 저장위치번호 등의 재고 정보를 기억한다. 반면 물품에 대한 출고 요구가 도착하면 주 컴퓨터에서는 해당물품이 있는 저장위치를 찾아 크레인으로 하여금 저장위치에서 입/출고점으로 물품을 출고시킨 후 재고 정보를 정리한다.

크레인의 운행규칙으로 입/출고점을 출발한 크레인이 되돌아 올 때까지 오직 하나의

저장위치만 방문하는 단일명령과 입고명령을 실행하기 위해 입/출고점을 출발한 크레인이 입고를 마친 후 빈 상태로 입/출고점을 돌아오지 않고, 출고명령을 실행하여 해당 팔레트를 싣고 입/출고점으로 돌아오는 이중명령이 있다. 이 경우 한 번의 운행으로 입고와 출고명령이 모두 실행되는 것이다.

가 정

- 1) 각 팔레트는 오직 하나의 물품만을 적재한다.
- 2) 모든 저장위치들은 동일한 크기를 갖는다.
- 3) 크레인은 한 대이며, 하나의 단면의 랙을 담당한다.
- 4) 크레인은 Chebychev 형태로 운행한다. 즉 수평방향과 수직방향을 동시에 움직인다.
- 5) 입/출고점은 랙의 좌측 하단 모서리에 위치한다.
- 6) 랙의 높이와 길이, 크레인의 속도는 미리 안다고 가정한다.
- 7) 적재와 하역에 관련된 시간은 무시한다.
- 8) 도착하는 물품은 도착하는 순서대로 저장된다.

(First-Come First-Service :
FCFS)

시뮬레이션 모델

시뮬레이션은 FORTRAN 언어로 작성되었으며 유연성있는 모델이 되도록 간단히 입력변수 값만 변화시켜 주어도 여러가지 환경하에서의 평균운행시간을 산출할 수 있도록 하였으며 또한 시뮬레이션 수행중의 저장위치의 상태도 즉시 알 수 있도록 하였다.

시뮬레이션의 대상범위는 입/출고점으로부터 저장랙까지의 구간으로 정하였다. 또한 시뮬레이션에서 사용되는 설비는 크레인 과 저장랙 그리고 입/출고점으로 되어 있다.

시물레이션에서 가정하는 저장랙은 수평방향 및 수직방향의 칸수가 각각 40개씩인 선반으로 총 1,600개의 저장위치가 있으며 시물레이션의 초기 단계에서 저장랙의 이용율만큼의 물품수($1,600 \times U_r$, U_r : 랙이용율)를 저장랙의 전체에 대하여 랜덤(random)하게 분포시킨다. 크레인 운행규칙에 대한 명령은 기존 연구의 100% 이중명령이라는 가정을 완화시켜 다음과 같은 난수에 의하여 발생한다.

운행 규칙	난수의 범위
입고명령	$0 \leq x < (1-p)/2$
출고명령	$(1-p)/2 \leq x < (1-p)$
이중명령	$(1-p) \leq x < 1$

($x: U(0, 1)$ 을 따르는 난수, p : 이중명령 수행율)

시물레이션을 통하여 얻은 크레인의 평균 운행시간은 입/출고점에서 가장 먼 수평·수직 방향의 저장위치까지의 운행시간을 1로 하여 정규화시켰다.

시물레이션에 이용하는 저장위치 선정방법인 COL, COLN, SCL의 내용을 살펴보면 다음과 같다. [6]

1) 최근접빈위치선정방법 (COL)

최근접빈위치선정방법은 입고를 하기 위한 물품이 입/출고점에 도착하였을 때 출고대상물품의 저장위치와는 무관하게 입/출고점으로부터 가장 가까운 빈 저장위치에 입고대상을 저장하는 방식이며 만일 입/출고점으로부터 동일한 거리에 위치한 저장위치가 여러개 존재할 경우에는 그 중에서 임의로 하나의 저장위치를 선택하여 저장한다. 따라서 이 방법을 적용하면 시간이 흐름에 따라 창고내의 물품들은 입/출고점 근처로 모이게 되고 반면에 빈 저장위치는 입/출고점으로부터 멀리 위치하게 된다. 만일 저장랙 이용율이 일정하다면 저장랙은 입/출고점으로부터 가까운 일정 면적만이 계속해서 사용될 것이다.

2) 무비용구역에서의 최근접빈위치선정방법 (Closest-Open-Location in No-Cost Zone : COLN)

이 선정방법에 있어 기본적인 것은 최근접빈위치선정방법과 같으나 입/출고점으로부터 거리가 같은 빈 저장위치가 여러개 존재할 경우 No-Cost Zone에 포함되는 빈 저장위치에 우선적으로 저장하는 방식이다.

3) 최단주기위치선정방법 (Shortest Cycle Location : SCL)

이 선정방법은 이중명령을 수행할 경우 주어진 출고대상물품 저장위치에 대하여 이중명령을 수행하는 이동시간을 최소화하는 빈 저장위치에 저장한다. 따라서 입/출고점으로부터 거리가 멀더라도 No-Cost Zone에 포함되는 위치라면 이 선정방법하에서는 저장점으로 선정된다. 즉 출고대상물품 저장위치가 지정되면 먼저 No-Cost Zone의 내부를 입/출고점에서 가까운 저장위치부터 순차적으로 찾아 나가다가 가장 먼저 발견되는 빈 저장위치에 저장하는 방법이다. 만일 No-Cost Zone에 빈 저장위치가 없으면 저장랙 전체에 대하여 빈 저장위치를 중에서 출고물품 저장위치를 고려한 이중명령의 운행시간이 가장 짧은 점에 저장한다.

3. 시물레이션 수행 및 결과

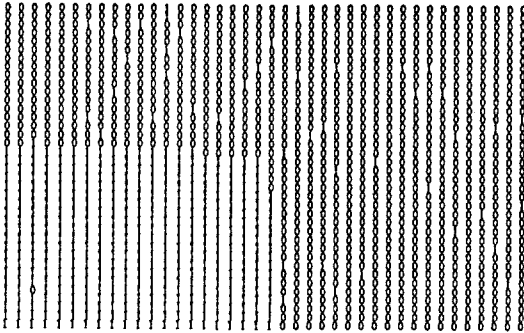
시물레이션은 모두 4차례에 걸쳐 수행되었으며 각각의 수행환경은 다음과 같이 하였다. 제1차 시물레이션에서는 랙이용율의 변화에 따라 서로 다른 저장위치 선정방법 즉 COL, COLN, SCL에 따른 물품의 저장위치 분포가 어떻게 변화하는가를 확인하고, 제2차 시물레이션에서는 크레인의 이중명령수행율이 변화함에 따라 세가지 선정방법에서의 크레인의 평균이동시간을 산출하여 비교 검토하였으며, 제3차 시물레이션에서는 1·2차의 시물레이션 결과에 따라 기존의 선정방법과 비교하여 크레인 평균운행시간을 줄일 수 있는 대안을 제시한다. 제4차 시물레이션에서는 이중명령 수행율을 높이기 위해 "Stay"라는 크레인 운용기법을 도입하여

그에 따른 향상성을 보여준다.

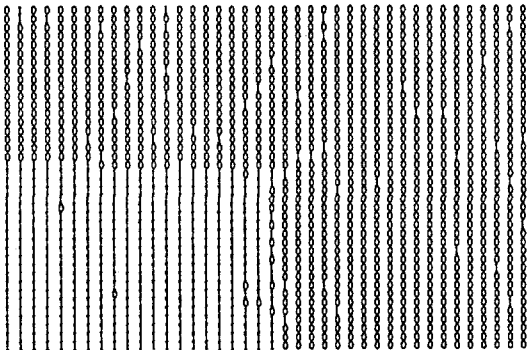
(1) 제1차 시뮬레이션

제1차 시뮬레이션에서는 100% 이중명령을 수행한다는 가정하에서 저장랙의 이용율을 10%에서 100%(하나의 저장위치는 비어있음. 이하 같음.)까지 10%씩 변화시켜 시뮬레이션 초기에 랜덤하게 분포되었던 물품의 저장위치가 시뮬레이션을 1,000회, 5,000회 수행후에 어떻게 변화되었는가를 보여준다. (그림 1)과 같이 이중명령을 여러번 수행할수록 물품의 저장위치는 초기의 분포와 관계없이 점차적으로 입/출고점으로 모이게 되고 결국 사각형을 이루는 "안정상태"에 도달한다. 따라서 시뮬레이션 초기 분포에 의한 편차를 없애기 위하여 추후의 시뮬레이션 결과는 5,000회 이상 수행 후의 데이터를 취하였다.

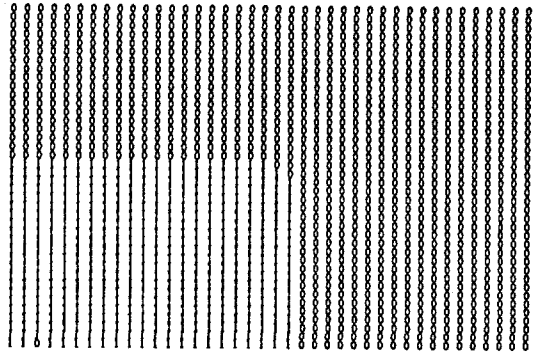
i) COL, COLN(1,000번 수행)



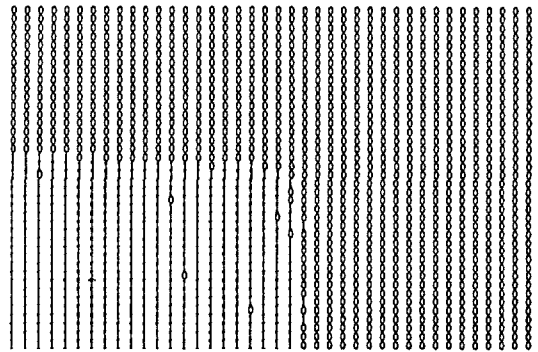
ii) SCL (1,000번 수행)



iii) COL, COLN(5,000번 수행)



iv) SCL (5,000번 수행)



(I : OCCUPIED, O : EMPTY)

그림 1. 세가지 저장정책의 1,000, 5,000회 수행후의 모습 (랙이용율 : 30%)

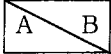
세가지의 선정방법을 비교하면 COL과 COLN은 차이점이 없으나 SCL은 앞의 것과는 다른 분포를 보여준다. 즉 COL과 COLN에서는 안정상태의 사각형안에 단하나의 빈 저장위치만이 존재하나, SCL에서는 여러개의 빈 저장위치가 존재하는 것이다. 이 차이에 대한 의미는 제2차 시뮬레이션에서 확실히 알 수 있다.

(2) 제2차 시뮬레이션

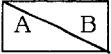
제2차 시뮬레이션에서는 저장위치 선정방법에 따른 크레인의 평균운행시간을 비교하

표 1. COL, COLN, SCL의 평균이동시간 (5,000번 수행후, 다음 5,000번에 대한 평균)

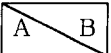
i) COL

	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10	1.100	1.259	1.463	1.636	1.986	2.110	2.211	2.426	2.468	2.553
20	1.034	1.205	1.506	1.675	1.877	2.139	2.342	2.318	2.512	2.544
30	1.009	1.291	1.513	1.629	1.793	2.028	2.192	2.304	2.402	2.405
40	1.000	1.241	1.491	1.585	1.805	1.950	2.058	2.258	2.291	2.295
50	1.104	1.297	1.429	1.541	1.744	1.779	1.900	2.037	2.185	2.256
60	1.067	1.211	1.355	1.474	1.579	1.678	1.823	2.007	2.113	2.179
70	.843	.924	1.185	1.357	1.514	1.637	1.794	1.897	2.017	2.072
80	.781	.924	1.158	1.298	1.524	1.539	1.746	1.819	1.885	2.013
90	.512	.908	1.073	1.219	1.404	1.492	1.628	1.728	1.818	1.905
100	.588	.824	1.005	1.160	1.298	1.417	1.528	1.622	1.742	1.819

ii) COLN

	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10	1.078	1.298	1.458	1.765	1.865	2.233	2.282	2.378	2.457	2.623
20	1.031	1.180	1.460	1.634	1.790	2.038	2.273	2.417	2.504	2.508
30	1.033	1.302	1.502	1.646	1.859	2.020	2.185	2.344	2.383	2.415
40	.975	1.227	1.452	1.583	1.780	1.861	1.945	2.180	2.286	2.296
50	1.023	1.336	1.444	1.586	1.672	1.801	1.937	2.046	2.224	2.273
60	1.032	1.185	1.332	1.425	1.602	1.656	1.854	2.000	2.082	2.158
70	.827	1.041	1.220	1.368	1.533	1.665	1.729	1.897	2.003	2.105
80	.803	.922	1.127	1.307	1.445	1.622	1.700	1.786	1.937	1.956
90	.532	.874	1.083	1.208	1.377	1.496	1.607	1.695	1.823	1.900
100	.589	.824	1.005	1.156	1.306	1.433	1.530	1.634	1.727	1.821

iii) SCL

	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10	1.068	1.238	1.516	1.630	1.897	2.107	2.205	2.389	2.440	2.609
20	1.019	1.292	1.498	1.688	1.859	2.062	2.246	2.248	2.486	2.438
30	.977	1.376	1.482	1.614	1.740	2.004	2.144	2.270	2.346	2.352
40	.952	1.168	1.469	1.489	1.784	1.846	1.920	2.150	2.221	2.189
50	1.005	1.213	1.338	1.455	1.670	1.675	1.832	1.950	2.043	2.146
60	.971	1.194	1.267	1.398	1.527	1.621	1.805	1.879	1.960	2.054
70	.799	.959	1.098	1.256	1.479	1.554	1.640	1.747	1.854	1.975
80	.764	.868	1.076	1.236	1.435	1.477	1.595	1.658	1.788	1.844
90	.502	.820	.993	1.135	1.289	1.372	1.484	1.562	1.677	1.798
100	.549	.762	.923	1.061	1.185	1.292	1.389	1.488	1.577	1.823

(A : Prob. of interleave(%), B : Prob. of utilization(%))

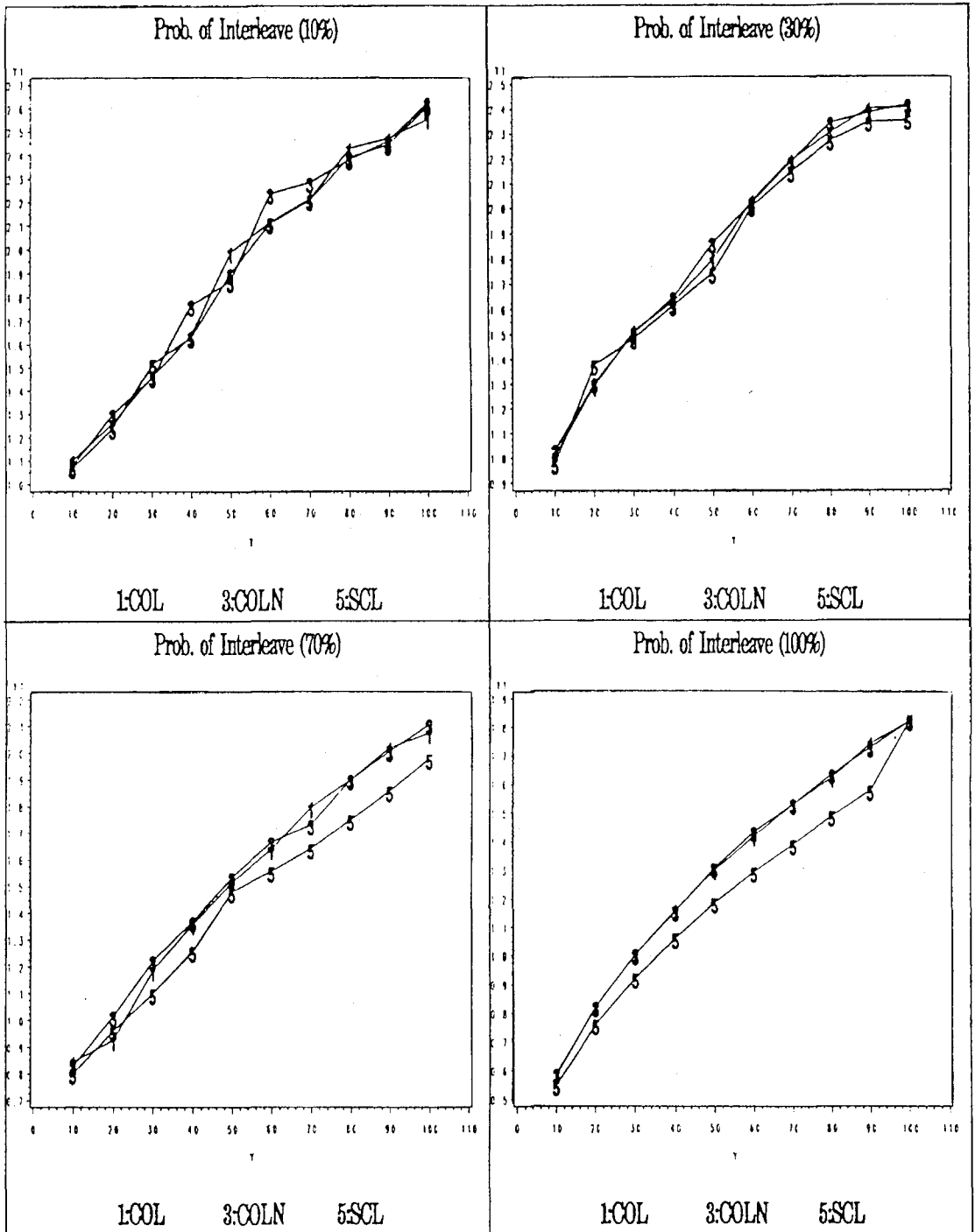


그림 2. COL, COLN, SCL의 평균이동시간 비교

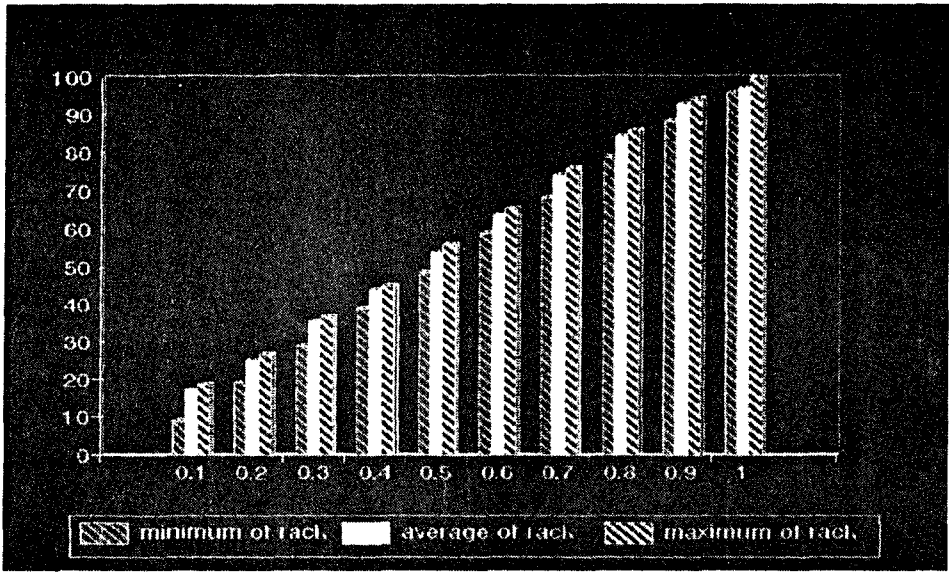


그림 3. 랙이용율의 변화

였다. (표 1)과 (그림 2)는 이중명령 수행율은 10%~100%, 랙이용율은 10%~100%로 각 율을 10%씩 증분시켜 시뮬레이션을 수행하여 산출된 크레인의 평균운행시간을 보여주고 있다. 랙이용율이란 주어진 저장랙의 저장위치중 물품이 채워져 있는 저장위치의 평균비율을 말한다. 또한 랙이용율은 입고율과 출고율이 동일한 경우에는 시간이 지나도 거의 일정하게 유지된다. 그러나 랙이용율이 일정하게 유지된다 하더라도 물품저장율은 (그림 3)과 같이 많은 변화가 있음을 알 수 있다. 또한 COLN이 COL에서보다 평균운행시간이 많이 감소된다(6)고 하였으나 실제 시뮬레이션의 결과는 그렇지 아니함을 보여준다.

이상의 시뮬레이션 결과, 3가지 선정방법과 관련하여 이용되는 저장위치가 입/출고점에 모여있다가(랙이용율이 10%에 가까울수록) 랙이용율이 증가하면서 크레인은 저장위치 전체를 이용하게 됨에 따라(랙이용율이 100%에 가까울수록) 크레인의 평균운행시간은 당연히 증가하며(140%~160%), 랙이용율이 동일한 경우 이중명령 수행율이

높을수록 평균운행시간은 감소한다(42%~45%). 또한 랙이용율이 100%일 경우 3가지 선정방법의 평균운행시간이 동일한 값으로 나타나는데 이는 항상 빈 저장위치가 하나만이 있기 때문에 저장위치 선정방법에 관계없이 동일한 저장위치를 이용하기 때문이다.

그리고 이중명령 수행율이 낮을 경우에는 저장위치 선정방법에 따른 평균운행시간 차이가 거의 나타나지 않으나 수행율이 높아지면 COL, COLN보다 SCL에서의 평균운행시간이 많이 감소되는 것을 알 수 있으며, 3가지 선정방법 사이의 평균운행시간의 차이는 랙이용율이 증가할수록 커지나 100%(하나의 저장위치는 비어있음.) 근처에서 감소하다가 빈 저장위치가 하나일 경우 동일해진다. 그리고 SCL의 평균운행시간이 COL, COLN보다 적은 이유는 (그림 1)에서 보는 바와 같이 물품이 저장되어 있는 밀집된 저장위치에 입고 가능한 빈 저장위치가 여러개 존재하는데서 그 이유를 찾을 수 있을 것이다. 다음으로 각 알고리즘을 수행할 때 랙이용율의 변화는(그림 3)에 나타나 있다.

(3) 제3차 시뮬레이션

제2차 시뮬레이션의 결과로써 크레인의 이중명령 수행율을 높일수록 크레인의 평균 운행시간이 감소되는 것을 알 수 있었다. 그러나 모든 빈 저장위치에 대하여 최소 이중명령 수행 시간을 갖는 입고 저장위치를 찾는 경우 주 컴퓨터에서 많은 시간을 소요하며, 이에 따라 입/출고 명령의 대기 길이가 길어짐으로 인하여 자동창고시스템의 효율이 저하된다. 따라서 시스템의 단위시간당 생산량을 늘릴 수 있도록 짧은 시간동안에 차선의 저장위치를 찾는 새로운 방법을 제시하고 그에 따른 시뮬레이션 모델을 개발하여 앞서의 3가지 방법과 비교하고자 한다.

1) FNSC (First No-cost zone, Second Closest-open location)

FNSC 선정방법은 입고를 하기 위한 물품이 입/출고점에 도착하였을 때 출고대상물품의 저장위치를 기준으로 한 No-Cost Zone에 포함되는 빈 저장위치에 우선적으로 저장하고 빈 저장위치가 없는 경우 최근접빈 위치선정방법을 적용하는 것이다.

2) FNSH (First No-cost zone, Second a Half side closest-open location)

FNSH 선정방법은 입고를 하기 위한 물품이 입/출고점에 도착하였을 때 출고대상물품의 저장위치를 기준으로 한 No-Cost Zone에 포함되는 빈 저장위치에 우선적으로 저장하고 빈 저장위치가 없는 경우 입출고점으로부터 수평축 45도를 이루는 선을 기준으로 저장력을 반으로 나누고 출고대상물품의 저장위치가 있는 반쪽으로 부터 최근접빈 위치선정방법을 적용하는 것이다.

제2차 시뮬레이션의 수행환경과 같이택 이용율, 이중명령수행율을 각각 변화시켜 크레인의 평균운행시간을 얻은 결과는 (표 2)와 (그림 4)이다.

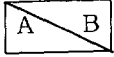
제2차 시뮬레이션과 비교하면 COLN과 FNSC가 거의 비슷한 결과가 나온 반면에 FNSH의 크레인 평균운행시간은 COL, COLN의 평균운행시간보다 감소하였으나 SCL의 평균운행시간보다는 증가하였다. (그림 2)와 (그림 4)를 비교해 보면, (그림 2)에서의 COL, COLN과 SCL곡선의 사이에 (그림 4)의 FNSH곡선이 위치한다. 즉 FNSH에 의한 크레인의 평균운행시간은 SCL보다 증가되었으나 SCL(No-Cost Zone에 저장점이 없으면 최적해를 찾는데 많은 시간이 걸림)에 비하여 최적 저장위치를 찾는데 걸리는 시간을 단축하였다.

표 2. FNSC, FNSH의 평균운행시간

1) FNSC

A \ B	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10	1.076	1.220	1.550	1.630	1.984	2.190	2.260	2.322	2.469	2.626
20	1.033	1.187	1.426	1.665	1.900	2.143	2.278	2.299	2.530	2.462
30	.937	1.265	1.519	1.639	1.765	2.071	2.215	2.324	2.364	2.421
40	1.018	1.240	1.443	1.578	1.803	1.872	1.932	2.236	2.312	2.269
50	1.017	1.318	1.390	1.542	1.755	1.761	1.979	2.046	2.159	2.226
60	1.008	1.183	1.339	1.462	1.633	1.638	1.886	1.990	2.103	2.153
70	.836	.947	1.170	1.336	1.563	1.664	1.754	1.869	1.978	2.090
80	.794	.910	1.160	1.323	1.522	1.607	1.678	1.798	1.906	1.969
90	.529	.875	1.073	1.215	1.389	1.500	1.602	1.709	1.826	1.899
100	.588	.822	1.005	1.162	1.303	1.428	1.530	1.631	1.728	1.821

ii) FNSH

	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
10	1.070	1.315	1.456	1.622	1.809	1.993	2.245	2.439	2.508	2.449
20	1.008	1.218	1.450	1.571	1.857	2.019	2.171	2.292	2.373	2.499
30	.993	1.257	1.427	1.534	1.780	1.890	2.110	2.158	2.324	2.355
40	.987	1.172	1.411	1.533	1.707	1.910	2.014	2.136	2.242	2.274
50	1.028	1.208	1.351	1.500	1.574	1.762	1.869	2.023	2.074	2.108
60	1.002	1.159	1.294	1.354	1.517	1.650	1.711	1.859	1.972	2.102
70	.783	.912	1.173	1.313	1.448	1.567	1.677	1.776	1.900	1.960
80	.736	.926	1.089	1.212	1.406	1.463	1.637	1.704	1.775	1.892
90	.509	.823	1.015	1.151	1.302	1.400	1.558	1.615	1.728	1.796
100	.562	.783	.954	1.093	1.217	1.334	1.452	1.541	1.641	1.816

(A : Prob. of interleave(%), B : Prob. of utilization(%))

(4) 제4차 시뮬레이션

제4차 시뮬레이션에서는 크레인의 평균운행시간을 줄이는 방법으로 이중명령 수행율을 높이기 위하여 “stay”라는 크레인 운용기법을 도입하였다.

“stay”라는 것은 입고단일명령을 수행한 크레인을 해당 입고위치에서 다음 명령이 떨어질 때까지 기다리는 것이다. 다음 명령이 출고명령일 경우 크레인은 출고대상 저장위치로 이동하여 해당 팔레트를 입/출고점으로 이동함으로써 직전의 입고단일명령과 더불어 출고단일명령을 수행함으로써 이중명령을 수행한 것이 되는 것이다. 물론 입고명령일 경우 크레인은 입/출고점으로 이동하여 입고단일명령을 수행한다.

“stay” 전략을 적용하였을 때와 적용하지 않았을 경우를 비교하여 시뮬레이션을 실행한 결과는 (그림 5) (COL의 경우 : 나머지 전략도 같은 결과임)와 같다.

“stay” 전략은 이중운행 수행율을 높이고 크레인의 이용율을 낮추며 평균운행시간이 감소하는 효과가 있는 반면에 직전의 입고단일명령에 이어 입고단일명령을 또 수행할 경우 직전의 입고저장위치에서 입/출고점까지의 이동시간만큼의 시스템 수행시간을 지연시킬 수도 있다.

(그림 5)에 나타난 것처럼 이중명령수행율이 10%-70%까지는 “stay” 전략이 우수하다는 것을 알 수 있으며 80%이상일 경우에는 별다른 차이가 나타나지 않는데 이는 “stay” 전략을 적용시키는 것이 입고단일명령일 경우에 한정하기 때문이다. 또한 “stay”로 인한 이중명령 수행확률이 얼마만큼 높아지는지는 (그림 6)에 나타나 있다.

4. 결 론

자동창고 시스템의 수행능력에 관한 대부분의 기존 연구는 랙에 있어서 연속평면을 가정하였으며 크레인의 이중명령수행율을 실제적으로 불가능하다고 생각되는 100%로 가정하였다. 이러한 가정하에서 추정된 출력값은 실제상황과 상당한 오차를 나타낼 수 있다. 본 연구에서는 자동창고 시스템에서 크레인의 평균운행시간을 현실적으로 추정하기 위하여 이산형 랙을 가정하여 랙이용율과 이중명령수행율을 함께 변화시키면서 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 크레인의 이중명령수행율을 높이기 위하여 저장위치 선정방법으로 연구된 기존의 COL, COLN, SCL외에 FNSC와 FNSH를 도입하여 비교, 평가하여 FNSH의 효용성을 나타

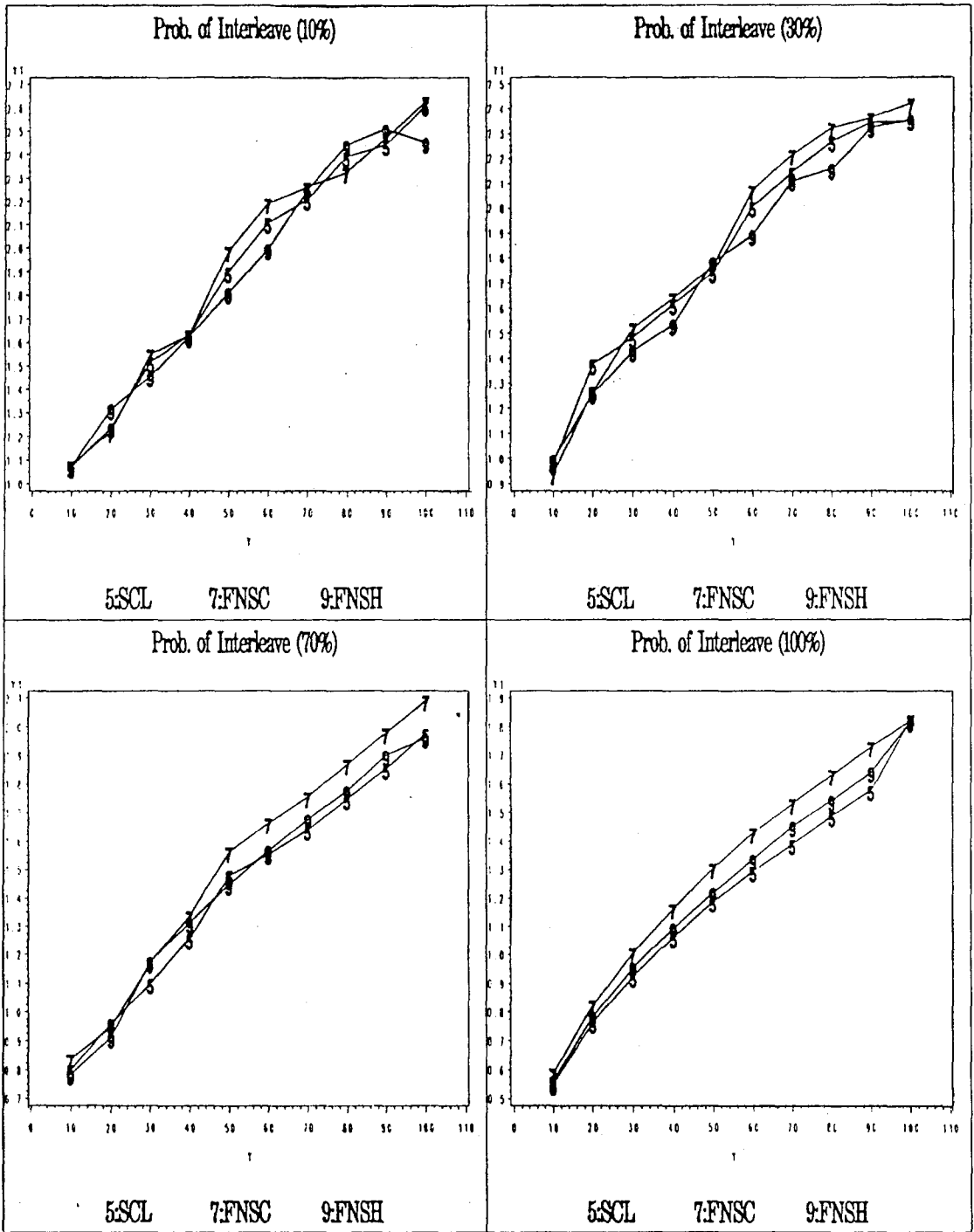


그림 4. 표 2의 SCL과의 비교

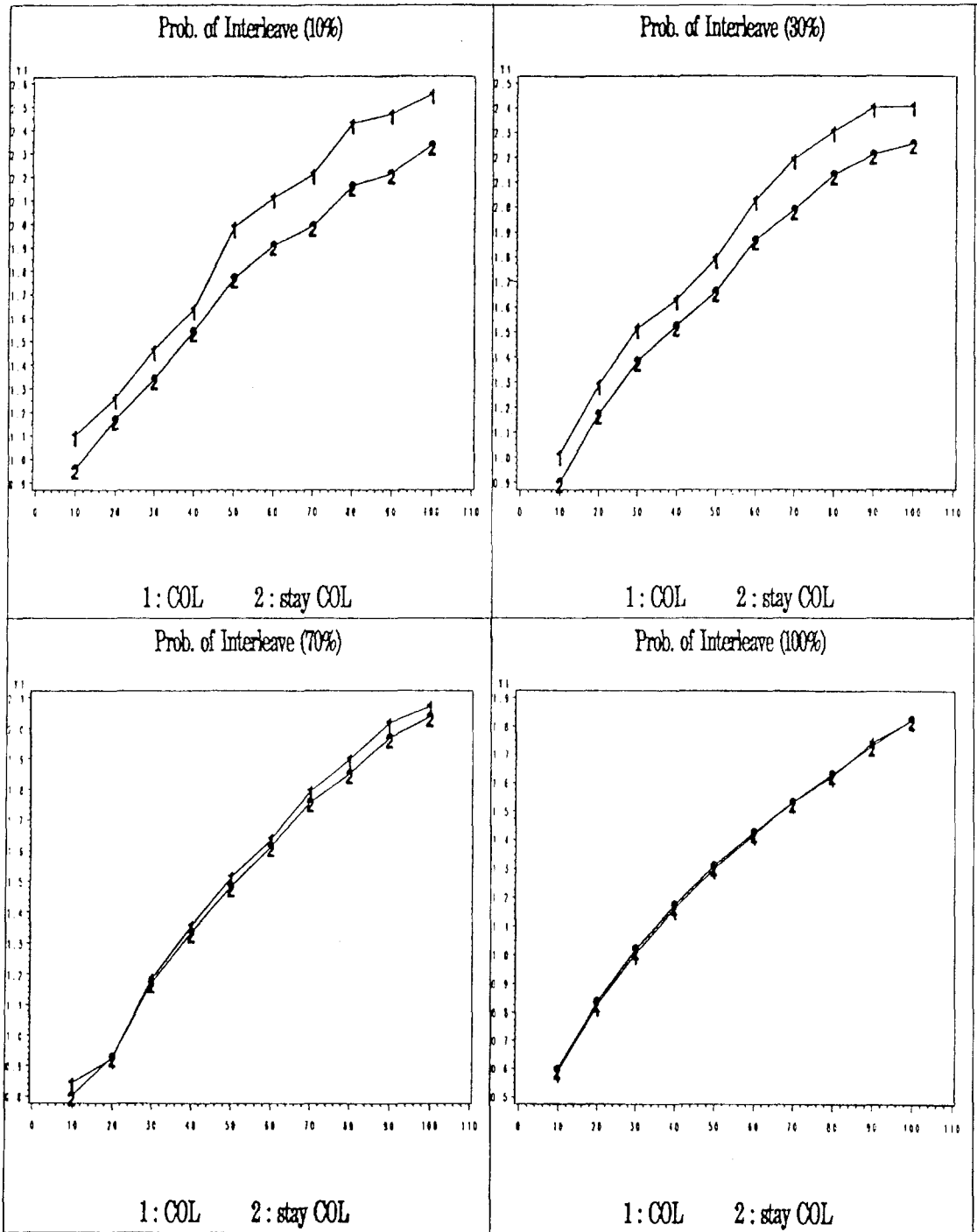


그림 5. 기존방법과 “stay” 방법의 비교

냈다. 입고단일명령과 관련, “Stay” 전략을 적용한 결과 시스템의 단위시간당 생산량이 향상됨을 보였다. 앞으로 좀더 현실적인 면

에서 등급기준할당규칙 적용하에 여러가지 크레인 운용기법에 의한 크레인 평균운행시간에 대한 연구가 필요하리라 본다.

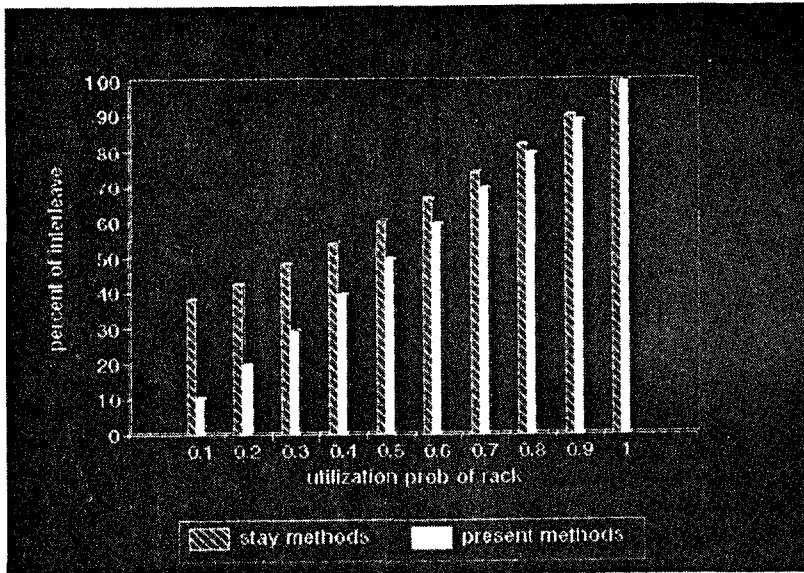


그림 6. “Stay”와 기존 기법의 Interleave 확률 비교

참 고 문 헌

1. Bozer, Y. A. and White, J. A., “Travel-Time Models for Automated Storage/Retrieval Systems,” *IIE Transactions*, Vol. 16, No. 4, pp. 329-338, 1984.
2. Graves, S. C., Hausman, W. H. and Schwarz, L. B., “Storage-Retrieval Interleaving in Automatic Warehousing Systems,” *Management Science*, Vol. 23, No. 9, pp. 935-945, 1977.
3. Han M.-H., McGinnis, L. F., Shieh, J. S. and White, J. A., “On Sequencing Retrieval in an Automated Storage/Retrieval System,” *IIE Transactions*, Vol. 19, No. 1, pp. 56-66, 1987.
4. Hausman, W. H., Schwarz, L. B., and Graves, S. C., “Optimal Storage Assignment in Automatic Warehousing Systems,” *Management Science*, Vol. 22, No. 6, pp. 629-638, 1976.
5. Schwarz, L. B., Graves, S. C. and Hausman, W. H., “Scheduling Policies for Automatic Warehousing Systems: Simulation Results,” *AIIE Transactions*, Vol. 10, No. 3, pp. 260-270, 1978.
6. 김남하, 임석철, 홍석교, 이수훈, 홍만표, “유닛로드형 자동창고의 수행도 분석,” *Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers*, Vol. 20, No. 2, pp. 39-50, 1994.