

AS/RS 저장정책의 생산량 변동에 대한 민감도분석

문기주* · 김광필** · 하정진*** · 이병호****

A sensitivity analysis on AS/RS storage policy with production quantity changes

Geeju Moon, Gwang-Pill Kim, Joung-Jin Ha, Byung-Ho Lee

(Abstract)

Most studies on the operation policy for AS/RS concluded that the class-based storage policy has better performance than random storage policy does. However AS/RS performances are examined only with the assumption of fixed production quantity in the studies. It is true that production quantity of each item changes frequently in practice. If an AS/RS keeps the current storage policy regardless of production quantity variation, the performance of present storage policy will be worse. The effect of production quantity variation per product between 10 and 80% with random storage policy and class-based storage policy with reassignment and relocation are studied. The results are compared with both of the randomized and class-based storage policies without reassignment nor relocation cases. A typical AS/RS system is developed using GPSS/PC for operation policy evaluation purposes.

1. 서론

지금까지 AS/RS의 운영정책에 관한 연구는 공통적으로 등급별저장이 임의저장보다 우수한 수행도를 나타낸다고 결론짓고 있다. 그러나 실제 현장에서의 저장정책은 임의저장이나 이와 유사한 근거리 저장(COL)이 사용되고 있어 기존의 연구결과가 현실에 제대로 반영되고 있지 못하는 실정이다.[2,4,9]. 이렇게 연구결과가 현실에서 적용되지 못하는 이유에는 여러 가지가 있겠지만, 본 연구에서는 현실의 저장대상물의 양과 종류가 동적으로 변한다는 데에서 그 원인을

찾고자 한다. 기존 연구는 AS/RS 자체만의 수행도를 고려한 나머지 주변의 생산환경은 무시하고 있다. 다시 말해서 고정된 생산품의 종류와 생산량을 전제로 AS/RS의 수행도 평가를 연구하게 되면 등급별저장이 임의저장보다 여러 가지 수행도 측면에서 우수하다는 것이 지금까지의 연구결과이다. 그러나 실제 현장에서의 생산량은 수시로 변하기 마련이고, 새로운 제품을 생산하는 경우가 빈번하게 발생하게 된다. AS/RS의 운영측면에서 보면 생산량의 변동은 AS/RS에 저장되어야 할 여러 물품들의 단위시간당 입고횟수의 변화를 가져오게 된다. 비록 이러한 변화 이전에 최

* 동아대학교 산업공학과

** 동아대학교 산업공학과

*** 동아대학교 산업공학과

**** 부산전문대학교 공업경영과

적으로 수행되던 저장정책이라 할지라도 생산량변동 이후에는 최적의 수행도를 나타낼 수 없을 수가 있으며 오히려 수행도를 떨어뜨리는 역효과를 가져올 수도 있다. 그러므로 최적의 수행도를 달성하기 위해서는 생산량변동에 맞는 새로운 등급으로의 재할당이 이루어져야 한다.

이러한 문제의 해결을 위해 본 연구에서는 현장에서 발생하는 생산량변동하에서 AS/RS의 입·출고 정책인 임의저장과 등급별저장의 실질적인 수행상태를 평가한 후, 임의저장은 어느 정도의 생산량변동까지 일정한 수행도를 유지하는지, 등급별저장은 생산량변동에 얼마나 민감하게 반응하는지를 알아보려고 한다. 또 생산량의 변동에 민감하도록 이러한 저장정책을 재할당과 재배치를 했을 경우와 기존의 저장정책을 그대로 유지했을 경우에 대해서도 생산량변동의 정도에 따라 시뮬레이션을 통해 여러 수행도를 비교분석하고자 한다. 이 연구를 통하여 생산량변동의 크기에 따른 임의저장, 2등급, 3등급저장의 수행도를 평가하고 생산량변동의 변동폭에 따른 적절한 운영방안을 제시하고자 한다.

2. AS/RS 관련 연구동향

Hausman, Graves 와 Schwarz[3,4,7]등은 입·출고점에서 랙(rack)의 가장 먼 행까지 가는 시간과 랙의 가장 먼 열까지 가는 시간이 같다는 전제하에 스택크레인(stacker crane)의 평균 운행시간을 계산하였다. 단일 명령과 복수 명령을 수행할 때 임의저장, 회전을 의한 저장, 등급별저장에 따른 스택크레인의 평균 운행시간 계산방법을 소개하였다.

그리고 그들은 시뮬레이션을 통해 회전에 의한 저장이 스택크레인의 평균 운행시간을 가장 많이 줄인다고 하였다. Bozer와 White[1]는 Hausman[4]등이 가정한 랙 형태는 비현실적인 면이 있기 때문에 shape factor를 도입하여 행과 열로의 도달시간이 다른 랙일 때 임의저장에 의한 스택크레인의 평균 운행시간을 이론적으로 계산하였다. Chow[2]는 스택크레인이 아닌 on-board storage를 가진 direct access handler (DAH)가 작업을 수행하는 AS/RS를 연구하였다.

Rosenblatt와 Eynan[6]은 등급별 저장에 있어 최적의 등급간의 경계치를 결정하고자 했다. 이들은 등급의 수가 많을수록 이동시간이 줄어드는 경향이 있기는 하지만 회전에 의한 저장이 현실적이지 못한 점이 있기 때문에 적당한 수(10개 이하)의 등급으로 나누었을 때 큰 효과를 본다고 발표하였다. Taboun와 Bhole[8]는 SIMAN을 이용해서 AS/RS의 이산적인 시뮬레이션 모델을 개발했다. 그들은 이 연구에서 서로 다른 팔레트와 영역할당의 조합이 throughput과 S/R기계의 효율에서 어떠한 차이를 보이는가를 두 개의 통로를 가지는 AS/RS를 대상으로 연구하였다. Kim[5]은 종속수요를 가지는 품목의 저장위치를 결정할 때 필요한 공간을 같이 결정하였다. 여기서 이용되는 할당 정책은 같이 요구되는 빈도가 많은 품목을 같은 위치에 저장함으로써 이동시간을 줄였다. 초기의 AS/RS 연구는 정확한 이동시간의 표현이나 저장정책간의 비교에 관한 연구가 먼저 이루어졌으며, 그 이후에는 여러 가지 출고요구를 처리하면서 최대한의 throughput을 달성하기 위한 알고리즘들이 개발되었다.

3. 수행도 평가를 위한 시스템 개요

각 저장정책이 생산량변동하에서 대응해야 할 적절한 변동점을 찾기 위해 본 연구에서는 임의저장과 2등급 및 3등급의 저장정책이 10%에서 80%까지의 생산량변동폭에서 어떠한 결과를 보이는 지를 보고, 세 가지 정책을 생산량변동에 맞도록 재할당해서 시뮬레이션한 결과와 각각 비교해 보았다. 각 변동폭은 총생산량 가운데 생산량변동전과 비교해서 등급이 조정되어야 될 필요가 있는 품목의 생산량 비율을 의미한다. 시뮬레이션 과정에서 생산량변동을 반영하기 위해 재할당과 재배치가 가능하도록 하였다. 여기에서 재할당은 생산량변동으로 인해 등급을 재조정하고, 저장시간이나 입고빈도등을 생산량변동에 맞도록 할당하는 것이다. 반면 재배치의 과정은 생산량변동에 따라서 등급을 재할당받는 경우에만 발생하게 된다. 즉 생산량변동이 발생하기 전에 AS/RS에 입고되었다가 생산량변동이 발생한 이후에도 아직 출고되지 않은 품목을 재할당된 새로운 등급으로 후입선출의 방식으

로 이동시키는 과정이다. 재배치를 하는 목적은 생산량변동 이후에 발생할 수 있는 저장공간의 부족현상을 미리 방지하기 위한 것이다.

생산량이 변동하기 전에는 등급별저장과 똑 같이 시뮬레이션을 수행하지만, 생산량이 일단 변하게 되면 변동된 생산량에 맞는 새로운 등급을 재구성하여 그 등급에 맞도록 입고품목을 해당 등급으로 할당해서 저장하게 된다. 그리고 이전에 입고된 물품들 가

운데 등급이 조정되어야 할 품목은 새로운 등급의 저장장소로 재배치하게 된다.

시뮬레이션 되는 전체 품목 수는 20개로 하고, 2등급저장을 시뮬레이션할 때 1등급은 20개 품목 중에 생산량이 많은 상위 4개 품목으로 하고, 나머지를 2등급으로 했으며, 3등급저장의 시뮬레이션에서는 2등급을 6개, 3등급을 나머지 10개 품목으로 한다. 그리고 단위시간당 입고되는 각 물품의 수는 그 물품이 전

〈표 1〉 재할당 모형에 사용한 생산계획 변동의 예

품목번호	원생산량	10%변동	20%변동	30%변동	40%변동	50%변동	60%변동	70%변동	80%변동
1	230	240	241	254	110 ⁶	212 ⁵	210	140	190 ⁷
2	173	182	120 ⁵	120 ⁵	165	160	120 ⁵	170 ⁵	240 ¹⁰
3	151	145	175	82 ⁷	180	177	187 ⁶	130 ¹⁰	180 ¹⁵
4	90	95 ⁹	112	167	190 ¹⁰	195 ⁷	144 ⁹	175 ¹⁶	110
5	65	68	84 ²	67 ²	38	51 ¹	17 ²	65 ²	10
6	60	30	81	79	56 ¹	37	82 ³	14	20
7	40	45	35	17 ³	28	70 ⁴	37	25	45 ¹
8	37	30	24	31	45	35	28	21	1
9	25	26 ⁴	20	21	14	20	81 ⁴	9	4
10	20	24	20	20	69 ⁴	17	21	50 ¹	50 ²
11	17	18	15	18	8	13	15	10	10
12	15	14	14	17	9	10	21	15	6
13	15	15	14	15	5	12	14	10	5
14	12	10	14	14	7	8	12	14	5
15	10	14	13	10	12	7	10	23	95 ³
16	10	8	11	9	8	5	10	85 ⁴	7
17	9	9	10	6	40	5	8	8	8
18	8	5	9	11	5	14	8	5	5
19	5	7	9	5	5	1	7	5	5
20	5	9	4	4	10	1	5	5	10
재할당량		121	204	286	425	528	631	675	800
Total	997	994	1025	967	1004	1050	1037	979	1006

1. 윗첨자는 변동전의 품목번호

2. 변동 생산량의 %는 재할당 품목생산량/Total의 비율을 의미한다.

체 생산량에서 차지하는 양과 비례해서 발생시켰고, AS/RS에 저장되었다가 출고되기까지의 저장시간 길이는 등급을 구분하기 위한 기준으로 삼았다. 물품의 생산량에 따라서 세 가지의 저장시간을 가지는데, 가장 많은 생산량을 가지는 4개 품목은 15,000단위시간 동안 저장하고, 그 다음 생산량을 가지는 6개 품목은 50,000단위시간, 나머지 10개 품목은 95,000단위시간 동안 저장되는 것으로 했다. 그리고 생산량변동이 발생하더라도 총 생산량의 변동은 거의 없다고 가정하였다. 즉 여기에서의 생산량변동은 각 품목의 생산량 변동을 의미하고 있으며, 총 생산량의 변동은 AS/RS의 설계시에 더 큰 비중을 두고 고려되어야 할 사항이기 때문에 생산량의 변동에서 제외시켰다. 구체적인 생산량의 변동상황은 <표 1>에 나와있다. 예를 들어 <표 1>에서 10% 변동이란 재할당을 필요로 하는 4번과 9번 품목의 생산량이 대략 994개의 총생산량의 10%를 차지한다는 것을 말하고 있다.

본 연구의 시뮬레이션 결과는 안정상태의 자료를 얻기 위하여 GPSS의 RESET명령을 사용하여 시뮬레이션한 것이다. 먼저 AS/RS의 운영에 있어 300,000단위시간동안 시뮬레이션 하였다. 그러나 이 처음 300,000단위시간 동안의 Crane, Rack, Queue 등에 관한 시뮬레이션 결과는 다음 300,000단위시간동안의 통계치를 수집하기 위해 RESET명령을 사용하여 모두 '0'으로 만들었다. 그러나 300,000단위시간에 시뮬레이션 종료시 모형에 있던 모든 것, 즉 랙에 있던 것이나 크레인으로 이동 중이던 것, 대기 중이던 것 등은 모형에서 제거되지 않았으며, 총개수를 나타내는 throughput도 '0'으로 초기화되지 않았다. 이 조건 하에서 추가로 300,000단위시간 동안 시뮬레이션을 하여 즉, 300,000단위시간에서 600,000단위시간까지 시뮬레이션 한 것으로 생산량이 변동이 없는 것을 의미하는 1차 결과를 출력하였다. 그리고 다시 RESET명령으로 Crane, Rack, Queue 등에 관한 시뮬레이션 결과는 모두 '0'으로 만들어 필요한 자료수집의 준비를 했다. 그러나 600,000단위시간 후 시뮬레이션 종료시 모형에 있던 모든 것, 즉 랙에 있던 것이나 크레인으로 이동 중이던 것, 대기 중이던 것 등은 모형에서 제거되지 않았고, 총개수를 나타내는 throughput도 역시

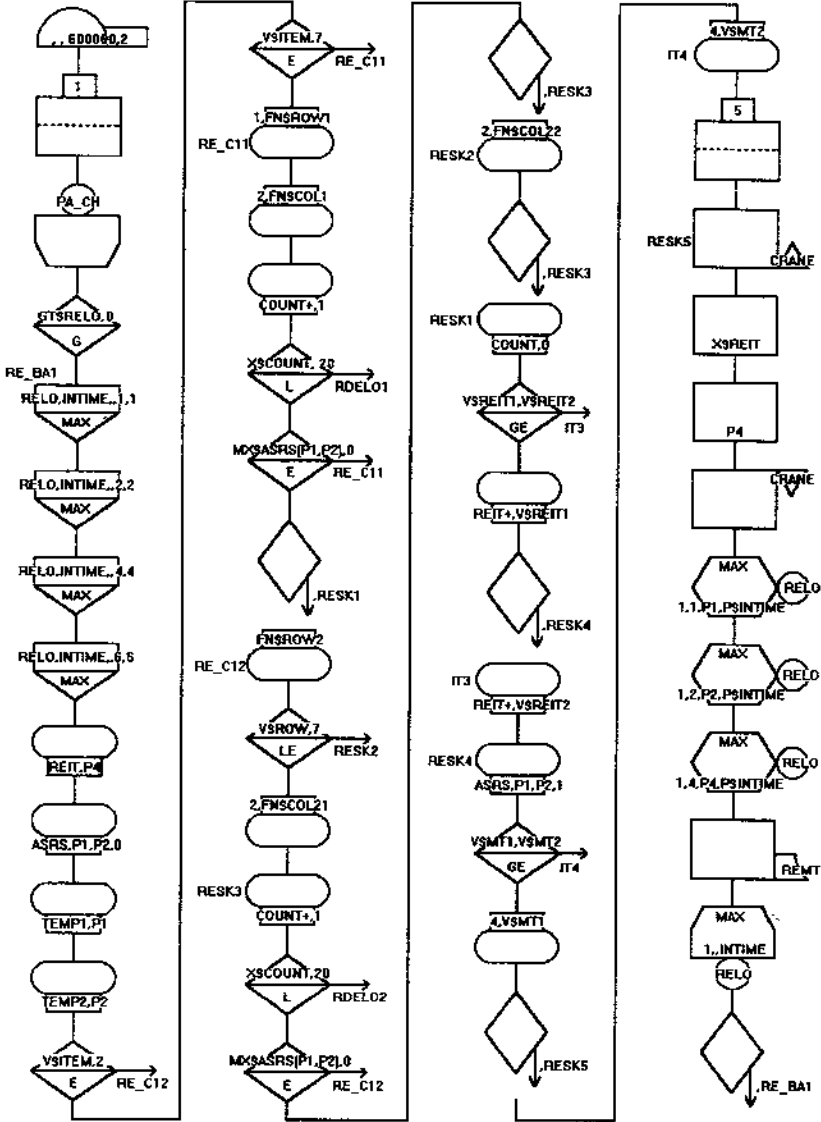
초기화되지 않았다. 이 600,000단위시간의 상황에서 추가로 300,000단위시간씩, 즉 600,000단위시간에서 900,000단위시간까지 10~80%의 생산량변동을 각각 시뮬레이션 하였다. 이 과정은 다시 저장정책별로 생산량변동을 반영하여 재할당하는 경우와 재할당하지 않은 경우로 구분하여 모든 경우를 반복 시뮬레이션 하였다.

4. 모형의 개발 및 시뮬레이션

이 시스템에서 대상으로 하는 AS/RS의 사양은 한 면이 10×27의 저장공간을 가진 하나의 통로 즉, 총 저장공간이 540개이고, 한 대의 스택크레인이 작업을 하고 있는 것으로 가정한다.

한 저장공간의 크기는 가로 2m, 세로 1.5m이며, 한 면의 전체 길이는 가로 54m, 세로 15m이다. 스택크레인의 수평속도는 초당 1.48m의 속도로 움직이며, 수직속도는 초당 1.05m의 속도로 움직인다고 가정한다. 그리고 시간당 AS/RS에 입고를 위해 들어오는 물품은 평균 42개인 포아송분포를 따르며, 하루 24시간동안 작업을 한다고 가정하였고, 저장하는 품목은 부품이 아닌 독립수요를 가지는 완성품으로 한다. 이 AS/RS의 시뮬레이션을 위해서 시뮬레이션 전용언어인 GPSS (General Purpose Simulation System)의 PC version인 GPSS/PC를 사용하였다. GPSS/PC를 사용한 프로그램은 입의저장, 2등급저장, 3등급저장에 대해서 각각 작성하였으며, 각 프로그램의 차이는 입고물품의 저장영역에 따라서 구별되어 질 수 있다.

이 AS/RS의 작동상황을 프로그램을 따라 살펴보면 다음과 같다. 먼저 저장되어야 할 품목이 AS/RS로 도달하게 되는 것처럼 프로그램을 통해 저장될 물품이 발생하면 저장될 위치를 할당하게 되고, 그 위치까지 스택크레인이 이동하는데 걸리는 시간을 계산해서 기억시킨 후 대기열을 떠나서 입고나 출고중 하나만을 수행하는 단일명령 혹은 입고와 출고를 동시에 수행하는 복수명령에 의해 이동을 하고 미리 정해 둔 위치에 물품을 저장한다. 그리고 저장시간이 모두 경과되면 단일 혹은 복수명령에 의해 선입선출로 출고가 이루어진다. 이 프로그램은 여러 부분으로 나누어지



〈그림 1〉 재배치 모형의 GPSS/PC 블록도표

는데, 그 가운데 재배치에 관한 블록도표가 〈그림 1〉에 나와 있다. 재배치는 생산량변동을 반영하여 등급을 제한당받는 등급별 저장의 경우에만 발생한다. 먼저 재배치되어야 할 저장품목은 다른 저장품과 구별되도록 하나의 그룹으로 편성한다. 그리고 직접적으로

재배치를 할 수 없으므로 임의로 두 개의 가상 품목을 발생시켜 현재 저장되어 있는 품목의 위치를 바꾸는 방법을 취한다. 이 때 사용되는 블록은 SCAN과 ALTER 블록으로 변경될 정보와 재배치 후의 정보를 교환하며, 그룹에서 빠져 나오도록 한다.

5. 시뮬레이션 결과분석

5.1 임의저장의 경우

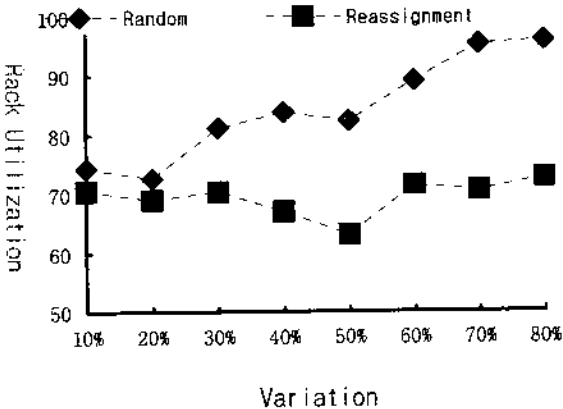
임의저장에 의해 저장되는 경우 저장위치의 제약이 없으므로 위치의 재배치는 발생하지 않고 저장시간의 재할당만이 이루어진다. 먼저 생산량의 변동에 상관 없이 저장을 하는 경우 즉, 변동 전에 가장 많은 생산량을 가지는 4개 품목의 저장시간을 생산량변동이

발생하더라도 똑 같이 가지게 하면서 시뮬레이션해서 여러 가지 수행도가 어떻게 변하는 지 알아보았다. 그 결과는 <표 2>에 나와있는데 Crane과 Rack은 각각 크레인과 랙의 평균이용율을 나타내고, SC는 단일명령(single command)에 의한 이동시간의 시뮬레이션 평균치, DC는 복수명령(dual commands)에 의한 이동시간의 시뮬레이션 평균치이다. 또 Queue는 시뮬레이션이 끝나기까지 입고되지 못하는 품목 수를 나타내고 있다.

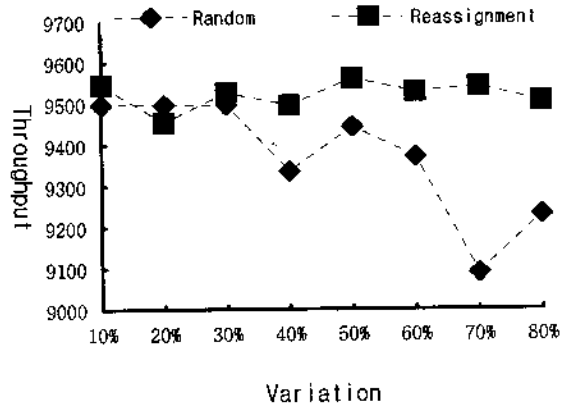
<표 2> 임의저장의 시뮬레이션 결과

변동폭	Crane (%)		Rack (%)		SC(sec.)		DC(sec.)		Queue		Throughput*	
	1차출력	75.0	68.8	37.85	53.07	0	5974					
10%	76.3	77.6	74.4	70.5	37.33	37.10	52.40	52.53	0	0	9498	9545
20%	77.3	75.9	72.7	69.0	37.52	37.14	52.87	52.72	0	0	9497	9455
30%	76.8	75.9	81.2	70.4	37.44	37.25	52.95	53.12	0	0	9497	9426
40%	74.4	76.1	83.8	67.0	37.01	37.10	52.70	52.14	0	0	9337	9496
50%	76.5	77.8	82.4	63.1	37.32	37.13	52.08	52.75	0	0	9444	9561
60%	75.3	77.4	89.2	71.5	37.08	37.35	53.03	53.25	0	0	9372	9529
70%	68.3	76.7	95.4	70.6	36.80	36.02	52.22	52.78	207	0	9090	9542
80%	71.1	76.6	96.1	72.8	37.46	37.63	52.04	53.04	171	0	9232	9506

* Throughput은 1차 결과분에 추가 300,000시간의 throughput이 누적된 결과임



<그림 2> 임의저장의 랙 이용률과 throughput 차이



<그림 3> 임의저장의 throughput 차이

〈표 2〉의 2행은 600,000단위시간까지의 시물레이션 1차 결과로 재할당을 하나 하지 않으나 동일하다. 생산량변동이 발생하면서 각 수행도 항목의 결과가 다르게 나타나는데 앞 열이 재할당을 하지 않는 경우이고, 뒷 열이 재할당을 했을 경우의 시물레이션 결과이다. 〈표 2〉에서 재할당을 하지 않은 경우를 보면 변동폭이 커지면 커질수록 랙의 이용률이 높아지는 경향을 보이고 있다. 70% 이상의 변동이 발생했을 때에는 랙 이용률이 95% 이상이 되면서 입고하지 못하고 대기하는 제품(Queue)이 발생하고 있음을 알 수가 있다. 그리고 70% 이상의 변동에서 크레인의 이용률이 낮은 이유는 대기의 발생때문인 것으로 보인다. 재할당의 경우, 생산량변동의 폭이 커지더라도 여러 가지 수행도가 변동전과 별다른 차이없이 유사한 결과를 보인다. 〈그림 2〉는 랙 이용률이 임의저장의 두 가지 시물레이션에서 어떠한 차이를 보이는 지 나타낸 그림이다. 이상에서 볼 때 임의저장의 경우에는 만약 재할당에 소요되는 비용과 시간이 있을 때 20%의 생산량변동까지는 재할당하지 않는 경우와 비슷한 결과가 나오나, 그 이후에는 재할당하는 경우가 더 나은 결과를 보이는 것을 알 수 있다. 또 입고대기가 70%에서 생기는 것으로 보아 최대한 60%의 변동까지는 AS/RS수행도가 떨어지더라도 재할당을 없어 물품의 입·출고가 가능하지만 70%이상의 변동사항이 발생하면 반드시 재할당을 하는 것이 타당한 것으로 보인다.

5.2 2등급저장의 경우

2등급으로 AS/RS를 운영할 때의 시물레이션 방법은 변동 전에 1등급에 속했던 4개의 부품을 생산량변동이 발생해도 여전히 1등급으로 분류해서 한다. 두 번째 시물레이션 방법은 그 생산량에 맞는 등급을 각 품목에 재할당하면서 수행한다.

각 생산량변동폭에 따른 시물레이션 결과는 〈표 3〉에 나타나 있다. 〈표 3〉에서 재할당을 하지 않은 경우를 보게 되면 임의저장과 마찬가지로 변동폭이 커지면서, 랙 이용률이 높아지는 결과가 나타난다. 그리고 임의저장은 이동시간이 변동폭에 상관없이 일정한

데 반해 2등급으로 구분했을 경우에는 이동시간도 늘어나는 경향을 보이고 있다. 그러나 최악의 경우에도 임의저장보다는 짧은 이동시간을 가지고 있다. Queue의 열에 두개의 숫자가 있는데 앞의 것은 1등급에서의 대기상태이고 다음 숫자는 2등급의 대기상태를 나타낸 것이다. 50% 이상의 변동이 발생했을 때에는 랙의 이용률이 88% 이상이 되면서 2등급의 영역에서 입고하지 못하는 제품이 발생하는 것을 볼 수 있다.

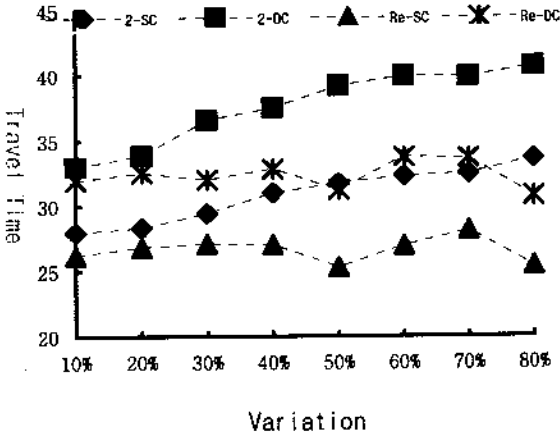
생산량변동에 따라서 재할당을 했을 경우의 시물레이션 결과는 임의저장의 재할당과 마찬가지로 생산량변동의 폭이 AS/RS의 전체 수행도를 떨어뜨리지 않고 거의 일정하게 랙 이용률을 유지하고 있다. 여기에서 RC는 생산량변동 전에 입고되어서 변동 후까지 출고되지 못하고 있는 물품을 재할당된 등급으로 재배치하는데 걸리는 평균시간으로 생산량변동을 반영하는 경우에만 발생한다. 복수명령에 의한 이동시간보다 더 긴 시간이다. 이것은 DC의 경우는 1등급과 1등급사이의 이동이 상대적으로 많은 반면 RC는 모든 경우가 1등급과 2등급사이의 이동이기 때문이다. 그리고 크레인이 유희시 RC를 한 번에 한 물품씩 재배치하도록 했는데 크레인의 유희율이 40% 이상이므로 재배치에 많은 시간은 들지는 않는다. 〈그림 3〉은 2등급저장의 두 시물레이션 결과에서 단일 및 복수명령의 이동시간의 차이를 보여 주고 있다. 〈그림 3〉을 보면 20%의 변동까지는 재할당을 한 경우와 하지 않는 경우의 이동시간이 거의 비슷하지만 30%의 변동이 생길 경우 복수명령 이동시간의 차이가 커지기 시작하고, 변동폭이 커지면서 더 많은 차이를 보이고 있다.

이상에서 볼 때 2등급으로 저장하는 경우 랙의 이용률과 이동시간을 기준으로 재할당을 한 경우와 하지 않은 경우의 시물레이션 결과를 비교하면 20% 내지 30%까지는 어느 정도 비슷한 수행도를 보이지만, 그 이상의 변동이 발생하는 경우는 재할당을 하지 않는 경우가 재할당을 하는 경우보다 불리한 정책이 된다. 또 50% 이상의 변동량을 가지게 되면 2등급에서 등급내의 공간의 부족으로 입고장소를 찾지 못해서 대기하는 물품이 발생하는 것으로 봐서 2등급의 운영 정책하에서 50%이상의 생산량변동이 발생하면 반드시 재할당을 해 주어야 할 것이다.

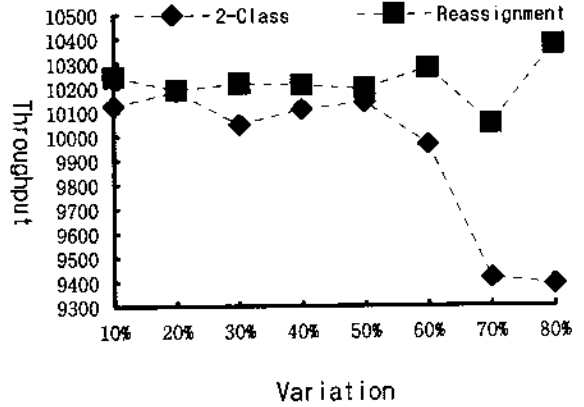
〈표 3〉 2등급의 시뮬레이션 결과

변동폭	Crane (%)		Rack (%)		SC(sec.)		DC(sec.)		RC (sec.)	Queue		Throughput*	
1차결과	57.4		74.8		27.03		32.72			0,0		6419	
10%	59.0	57.2	76.8	73.6	27.98	26.20	32.97	31.95	61.29	0,0	0,0	10125	10245
20%	60.7	58.1	78.4	73.2	28.33	26.84	33.86	32.51	46.57	0,0	0,0	10185	10190
30%	61.3	58.7	81.9	75.6	29.44	27.10	36.59	31.98	46.31	0,0	0,0	10047	10217
40%	63.6	59.1	88.4	72.6	30.96	27.05	37.52	32.82	46.55	0,0	0,0	10110	10210
50%	65.5	55.8	88.0	67.3	31.71	25.30	39.16	31.19	50.00	0,5	0,0	10139	10194
60%	63.3	60.3	88.2	77.4	32.24	26.95	39.89	33.73	47.13	0,203	0,0	9966	10279
70%	55.4	59.0	85.7	75.3	32.45	28.09	39.83	33.62	48.88	0,735	0,0	9416	10050
80%	55.9	57.6	84.9	67.7	33.58	25.38	40.64	30.71	48.40	0,658	0,0	9390	10372

* Throughput은 1차 결과분에 추가 300,000시간의 throughput이 누적된 결과임



〈그림 4〉 2등급의 이동시간 차이



〈그림 5〉 2등급의 throughput차이

5.3 3등급저장의 경우

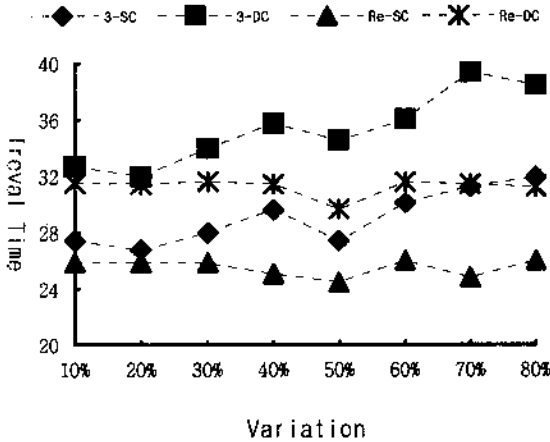
3등급의 시뮬레이션은 기본적으로 2등급의 시뮬레이션과 같으나 다만 등급의 개수에서 차이가 난다. 〈표 4〉는 3등급저장으로 AS/RS를 운영할 때 두 가지 경우의 시뮬레이션 결과를 요약한 것인데, 형태는 앞의 임의저장이나 2등급저장과 유사하다. 먼저 재할당을 하지 않은 경우의 결과는 처음 10%와 20%의 랙 이용률이나 이동시간은 변동전과 비슷한 결과가 나오고,

30% 이상으로 변동폭이 커지면서 차이가 벌어지는 것으로 나타났다. 그리고 공간의 부족으로 인해 발생하는 물품의 대기는 2등급과 3등급에서 발생하는데 이는 40% 정도의 변동이 생기면서 점점 길어지며, 대기열이 길어짐에 따라서 랙 이용률이 높아지고 있다. 재할당을 한 경우의 시뮬레이션 결과는 재할당을 한 것이 2등급저장의 결과와 마찬가지로 변동전의 랙 이용률이나 이동시간과 별다른 차이가 없고, 대기현상도 나타나지 않고 있다.

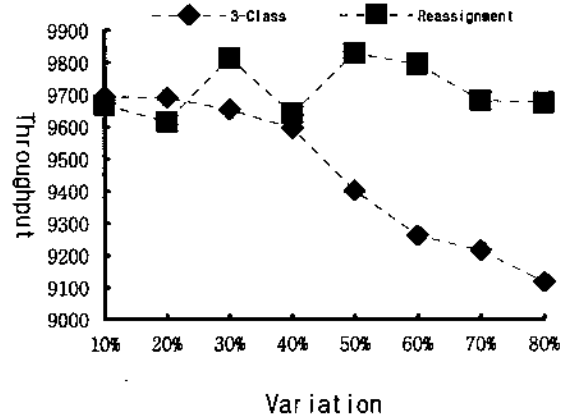
〈표 4〉 3등급의 시뮬레이션 결과

변동폭	Crane (%)		Rack (%)		SC(sec.)		DC(sec.)		RC (sec.)	Queue		Throughput*	
1차결과	54.6		71.6		26.33		32.65			0,0,0		6143	
10%	56.4	53.4	75.7	69.3	27.44	25.88	32.71	31.53	38.72	0,0,0	0,0,0	9694	9668
20%	55.2	52.4	73.8	68.1	26.77	25.87	32.01	31.49	38.72	0,0,0	0,0,0	9689	9615
30%	56.6	55.7	79.8	72.9	28.02	25.86	33.97	31.65	43.70	0,0,0	0,0,0	9652	9813
40%	58.0	54.0	86.7	67.5	29.65	25.08	35.76	31.49	26.88	0,75,14	0,0,0	9594	9639
50%	51.6	52.7	75.4	65.7	27.40	24.50	34.53	29.67	38.92	0,3,342	0,0,0	9400	9827
60%	53.8	56.1	80.1	72.7	30.13	26.01	36.02	31.61	43.03	0,361,0	0,0,0	9261	9793
70%	55.1	54.0	84.9	68.7	31.27	25.79	39.37	31.43	47.13	0,134,285	0,0,0	9214	9681
80%	54.6	54.3	83.9	70.2	31.94	26.04	38.46	31.23	46.66	0,395,119	0,0,0	9117	9673

* Throughput은 1차 결과분에 추가 300,000시간의 throughput이 누적된 결과임



〈그림 6〉 3등급의 이동시간 차이



〈그림 7〉 3등급의 throughput차이

〈그림 4〉는 변동량에 따라 이동시간이 3등급저장의 두 가지 시뮬레이션에서 어느 정도의 차이가 있는지 보여주고 있다. 3등급저장의 경우 랙 이용률과 이동시간의 측면에서 보면 20%의 변동까지는 변동전과 비슷한 결과를 보이고 30% 이상의 변동에서 많은 차이가 생기며, 대기열은 40%에서 생기는 것을 알 수 있다.

지금까지 생산량변동을 반영해서 재할당을 한 경우와 하지 않은 경우의 임의저장, 2등급저장, 3등급저장

에 대한 시뮬레이션의 결과를 비교 분석하였다. 변동폭을 고려함에 있어 특히 3등급 저장의 경우 같은 변동폭이라도 등급간의 변동형태가 여러가지로 나타날 수 있다. 그러나 2등급과 3등급사이의 변동량은 많지 않으므로 같은 변동폭에서도 많은 품목의 변동이 있어야 한다. 이는 현실적인 생산량변동에서는 많이 일어나지 않는 경우이다. 그래서 본 논문에서는 주로 1등급의 변동을 위주로 시뮬레이션을 수행했는데, 유사한 경우의 다른 데이터에서도 적용이 가능하리라

본다. <표 5>는 각 시물레이션결과를 요약한 것으로 세 가지 저장정책이 모두 20%의 변동까지는 재할당을 했을 때와 하지 않았을 때의 수행도가 거의 비슷함을 나타내고 있다. 또 재할당을 하지 않고 AS/RS를

(표 5) 각 저장정책의 비교

	입의	2 등급	3등급
적정 허용 변동	20%	20%	20%
최대 허용 변동	60%	40%	30%
입고대기 발생	70% 이상	50% 이상	40% 이상
변동에 대한 반응	둔감	중간	민감

운영할 수 있는 최대 허용변동은 각각 60%, 40%, 30%로 이 이상의 변동이 발생하면 대기열이 지나치게 길어지거나 저장공간의 부족현상이 발생한다. 종합적으로 볼 때 입의저장이 생산량변동에 가장 둔감하며, 3등급저장이 가장 생산량변동에 민감하게 반응한다. 그리고 자료에 대한 문제점으로 throughput에 있어서 2등급보다 3등급이 모두 약간 낮게 나타난 점을 들 수 있다. 이러한 결과는 실험조건상 나타나는 경우의 수가 너무 많기 때문에 여러 번 실행한 결과의 평균값이 아니고 주어진 특정값의 자료에 대하여 한 번 실행한 결과이기 때문에 일반적인 결과와는 약간의 다른 성향을 보이는 것으로 생각된다. 그러나 본 연구의 주된 목적이 저장 정책별 비교보다는 변동에 대한 저장정책별 민감도 분석에 있으므로 본 결과를 그대로 사용하였다.

6. 결론

본 논문에서는 저장품목들의 생산량변동이 AS/RS의 각 저장정책에 어떤 영향을 미치는지 검증하기 위하여 GPSS/PC로 AS/RS모형을 구축하여 시물레이션해보았다. 세가지 저장정책에 대해 재할당을 통해 생산량변동을 반영하는 경우와 재할당을 하지 않은 경우를 시험·분석하였다. 그 결과 생산량변동을 반영하지 않으면 크레인과 랙 이용률이나 이동시간, 대기 길이 등이 생산량변동폭이 증가함에 따라서 악화되었

다. 반면 생산량변동폭에 따라 재할당을 한 경우에는 변동폭에 상관없이 안정적인 수행도를 가진다는 것이 확인되었다. 그리고 입의저장은 생산량변동에 대해 둔감한 반응을 나타내는데 반해, 3등급저장은 민감해서 적은 변동에도 수행도가 떨어졌다.

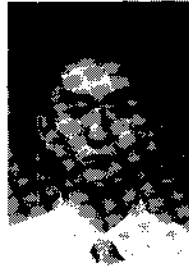
본 논문은 현장에서 사용가능한 저장정책에 발생할 수 있는 생산량변동폭을 적용시켜 시물레이션을 한 것이다. 그러므로 어떤 저장정책에서 어느 정도의 생산량변동이 발생할 때 재할당을 할지, 하지 않을지를 결정하는 지침으로 사용되어 질 수 있을 것이다. 또 동적일 수밖에 없는 생산환경하에서 AS/RS를 운영함에 있어 생산량변동으로 인해 발생하는 이동시간의 증가나 저장공간의 부족 등의 손실요인을 재할당을 통해서 방지할 수 있다. 그리고 재배치를 위해 소요되는 시간이 스택크레인의 이용률에 큰 영향을 미치지 않고 있는 것으로 봐서 짧은 주기의 계속적인 생산량변동에서도 본 연구의 결과가 적용될 수 있을 것이다. 본 연구에서는 생산량변동의 폭을 사전에 알 수 있다는 가정 하에서 AS/RS의 운영정책을 평가한 것이나, 차후 예측하지 못한 생산량변동에서도 AS/RS가 안정적인 수행도를 유지할 수 있는 방안에 대한 연구가 필요하며, 생산량변동 이외의 불안정한 생산환경하에서 AS/RS의 유연성을 높일 수 있는 연구도 수행되어야 할 것이다.

【참고문헌】

- [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 Transactions*, Vol. 20, pp.204-214, 1986.
- [3] Graves, S. C., Hausman, W. H., and Schwarz, L. B., "Storage/Retrieval Interleaving in Automatic Warehouse Systems", *Management Science*, Vol. 23, pp.935-945, 1977.
- [4] Hausman, W. H., Schwarz, L. B., and Graves, S. C., "Optimal Storage Assignment in Automatic

Warehouse Systems", Management Science, Vol. 22, No. 6, pp.629-638, 1976.

- [5] Kim, K. H., "A Joint Determination of Storage Locations and Space Requirements for Correlated Items in a Miniload AS/RS", Int. J. Prod. Res., Vol. 31, No. 11, pp.2649-2659, 1993.
- [6] Rosenblatt, M. J., Eynan, A., "Deriving the Optimal Boundaries for Class-Based Automatic Storage/Retrieval Systems", Management Science, Vol. 35, No. 12, pp.1519-1524, 1989.
- [7] Schwarz, L. B., Graves, S. C. and Hausman, W. H., "Scheduling Policies for Automatic Warehousing Systems : Simulation Results", AIIE Transactions, Vol. 10, pp.260- 270, 1978.
- [8] Taboun, S. M. and Bhole, S. D., "A Simulator for an Automated Warehousing System", Com. & industrial Eng., Vol. 24, No. 2, pp.281-290, 1993.
- [9] Yang, M. H., "Optimization of Layout Design in an AS/RS for Maximization its Throughput Rate", 대한산업공학회지, Vol. 18, No. 2, pp.109-121, 1992.



김광필

동아대학교 산업공학과를 졸업했으며, 동 대학원에서 석사과정을 마쳤고 현재 박사과정에 재학중이다. 주된 관심 분야는 컴퓨터시뮬레이션, 생산시스템 컴퓨터응용, 설비최적배치 연구 등이다.



하정진

현재 동아대학교 산업공학과 교수로 재직중이다. 동아대학교 산업공학과를 졸업했으며 동대학원에서 석사학위를 받았고, 경남대학교 경영학과에서 박사학위를 받았다. 주요관심 분야는 경제성공학, 설비관리, FMS 운영연구 등이다.

이병호

현재 부산전문대학교 공업경영과 조교수로 재직중이다. 동아대학교 산업공학과를 졸업했으며 동대학원 산업공학과에서 석사학위를 받고 박사과정을 수료했다. 주요관심분야는 생산시스템 운영관리, 물류시스템 최적운영, FMS 경제성평가 등이다.



문기주

현재 동아대학교 산업공학과 부교수로 재직중이다. 동아대학교 산업공학과를 졸업했으며, 미국 Iowa State University에서 산업공학 분야 박사학위를 취득하였다. Iowa State University software analyst, 한국전자통신연구소 선임연구원을 역임했다. 주요 관심 분야는 시뮬레이션, 생산시스템운영 및 조합형 최적화 등이다.