

수요변동시 자동창고의 공동영역 저장정책 수행도 평가

문기주* · 김광필*

Performance evaluation of AS/RS common zone storage policy
with demand variation

Gee-Ju Moon* · Gwang-Pill Kim*

■ Abstract ■

Performances of common zone with various sizes are examined for possible demand rate variations for an AS/RS. Common zone is a middle area located between the 1st class and the 2nd class to be used by the 1st class items if the assigned racks are not enough. This area is designed to resolve the rack shortage problem associated with a particular class. In the previous researches, effect of demand rate variation is ignored since fixed demand rate is assumed. It is found that rack shortage rate is decreased up to 60% of common zone size. However, no difference is found at above 70%. Waiting time tends to be longer with increased common zone while travel time and throughput are not affected at all with the common zone size.

Keyword : AS/RS, 공동영역, 수요변동, 시뮬레이션, 재배치

1. 서 론

생산환경을 구성하는 모든 요소들은 시간에 대하여 고정되어 있는 것이 아니라, 조금씩 변화하게 마련이다. 작업장의 상태, 온도, 습도, 부품의 품질,

기계고장의 발생 등의 변화 또는 변동이 이러한 요소에 포함되는 것으로 때로는 전체적인 생산시스템에 아주 큰 영향을 미치게 되지만 변화 또는 변동 발생의 불확실성 때문에 생산시스템의 연구에 있어서 연구결과의 정확성을 떨어뜨리는 요소가

논문접수일 : 2001년 10월 5일 논문게재확정일 : 2001년 12월 21일

* 동아대학교 산업시스템공학과

되기도 한다.

아무리 안정적인 생산 환경이 구축된 기업이라 하더라도 자재의 수급상황, 소비자들의 수요 변화, 신제품의 생산 등과 같은 요인들로 인해 기존의 생산 품목들에 대한 수요 변동은 주기적 혹은 일시적으로 발생하게 되어 있다. 수요 변동 하에서의 생산은 일시적 혹은 장기적으로 불안정한 생산환경을 만들어 전체 시스템을 악화시킬 수 있다. 생산 시스템이 유연성을 가지려면 이러한 수요 변동이 발생했을 때 빠른 시간 내에 새로운 변동에 대응할 수 있어야 한다.

생산환경의 한 부분인 자동창고에서도 마찬가지로 자동창고 시스템의 성능에 영향을 미치는 많은 변화 또는 변동 요인이 존재하지만 지금까지 이러한 요인에 대한 연구가 부진했다. 이러한 변동 요인들 중 수요의 변화는 자동창고의 성능에만 영향을 미치는 것이 아니라 생산시스템 전체에 영향을 미치는 변동 요인이지만 지금까지 이루어진 연구의 공통적인 가정은 일정한 수요율이 그대로 유지된다는 것이다. 즉, 한 번 결정된 단위시간 당 수요는 지속적으로 유지된다고 가정하고 연구들이 진행되었다. 하지만 이러한 가정은 비현실적일 뿐만 아니라 연구 결과가 제대로 반영되지 못 하도록 하는 역효과를 가져왔다.

이에 본 연구에서는 자동창고에서 발생하는 수요의 변동이 자동창고 시스템에 미치는 영향과 자동창고 시스템이 이러한 수요 변동에 유연성을 가지기 위한 운영방안으로서 공동영역의 수행도를 시뮬레이션을 통해서 분석·평가하고자 한다.

2. 문헌연구

자동창고에 대한 연구는 주로 입고와 출고의 운영정책을 중심으로 이루어지고 있으며, 효율적인 창고작업 수행을 위한 설계대안 그리고 크레인의 이동거리를 최소화함으로써 작업요구를 빠른 시간

에 마칠 수 있는 크레인의 유희점이나 경로의 구성 등에 대한 문제를 많이 다루고 있다. 이 중에서 특히 입고와 출고의 운영정책을 다루는 문제가 가장 빈번하게 연구되고 있는데 다른 측면에서의 문제 접근 방식을 택하더라도 결국은 운영정책에 대한 연구의 확장이라고 볼 수 있다.

Hausman 등[3] 그리고 Graves 등[4]은 입·출고 점에서 랙(rack)의 가장 먼 행까지 가는 시간과 랙의 가장 먼 열까지 가는 시간이 같다는 전제하에 S/R 기계의 평균 운행시간을 계산하였다. 그리고 시뮬레이션을 통해 평가한 결과 회전율에 의한 저장 S/R 기계의 평균 운행시간을 가장 많이 줄인다고 결론지었다.

Rosenblatt와 Eynan[6]은 등급별 저장에 있어 최적의 등급간의 경계치를 결정하고자 했다. 이들은 등급의 수가 많을수록 이동시간이 줄어드는 경향이 있기는 하지만 회전율에 의한 저장이 현실적이지 못한 점이 있기 때문에 적당한 수 - 10개 이하 - 의 등급으로 나누었을 때 큰 효과가 있다고 발표하였다.

Bozer와 White[1]는 Hausman 등[3]이 가정한 랙 형태를 변환시켜 shape factor라는 모수를 도입하여 행과 열로의 도달시간이 다른 랙의 형태일 때 입의저장에 의한 S/R 기계의 평균 운행시간을 이론적으로 계산하였다.

Randhawa 등[7, 8]은 입고점과 출고점이 각각 2개씩 존재하는 창고에서 어떤 형태의 배치안이 최적의 수행도를 보이는지를 입고와 출고정책의 조합으로 된 4가지 운영방안에 대해 시뮬레이션을 수행하였다. Chow[2]는 단위적재의 형태를 가진 S/R 기계가 아닌 몇 개의 물품을 싣을 수 있는 on-board storage를 가진 DAH가 작업을 수행하는 AS/RS를 연구하였다. Muralidharan 등[5]은 S/R 기계의 유희시간을 이용해서 앞으로의 작업을 빠른 시간에 마칠 수 있도록 작업이 빈번한 물품을 S/R 기계의 이동시간이 짧은 앞쪽으로 이동시키고, 빈번하지 않은 물품은 상대적으로 긴 시간이 걸리는

뒤쪽으로 이동시키는 경로를 선택하기 위한 두 가지 알고리즘을 제시하였다. Chang과 Egbelu[9]는 입출고 작업이 이루어지지 않는 시간에 S/R 기계가 있어야 할 유틸리티를 결정하는 문제를 다루고 있다.

그러나 지금까지의 등급별 저장형태가 임의 저장형태에 비해 우수하다고 결론지은 많은 연구들에도 불구하고 현장에서의 자동창고 운영방안으로서의 도입이 활발하지 못한 실정인어서 현실적으로는 임의저장의 형태가 일반적으로 적용되고 있는 것이 사실이다. 이와 같이 연구에서의 결과가 현장에서 도입되지 않은 것은 연구의 결과와 현장 도입시 나타나는 결과가 많은 차이가 나기 때문일 것이다. 가령 현실적으로 자주 나타나는 현장에서의 상황변화나 생산환경을 연구에서 미처 반영하지 못했거나 앞의 수요율의 고정과 같이 하나의 가정으로 둔 조건들이 현실적으로는 받아들이기 어렵게 있기 때문일 것이다.

이 같은 문제점을 인식해서 Muralidharan[5]의 연구에서는 이 두 저장정책의 장점을 도입하기 위한 시도로 입고는 임의저장형태로 어떠한 영역의 구분없이 일단 입고하고 난 뒤 출고시 등급별 저장의 장점을 가지도록 저장 중인 품목의 위치를 재조정하는 방안을 제시하고 있다. 하지만 이 논문에서 제시한 방안은 겉으로 나타나는 결과에서는 두 저장정책의 장점을 도입한 것처럼 보이나 여기에는 S/R 기계의 추가적인 가동과 재배치 후의 입고처리시간의 증대라는 요인이 발생할 수 있게 된다. 자동창고는 설비 도입시 투자되는 비용이 클뿐 아니라 운영하는데 있어서 필요한 비용도 많이 투입되는 설비이다. 그런데 추가적인 S/R 기계 이동을 통해서 등급별 정책의 이점을 얻기 위해 자동창고의 운영비를 과다하게 지출한다는 것 또한 현실적으로 도입되기 힘든 대안이 될 수 있다.

문기주[10]는 등급별 저장의 1등급 영역에서 발생하는 저장공간 부족과 임의저장에서 발생하는 이동시간 증가라는 단점을 해소할 수 있는 방안으

로 1등급과 2등급의 영역사이에 두 가지 등급의 물품이 동시에 저장될 수 있는 공동영역을 도입하였다. 또 그는 시뮬레이션을 통해서 최적의 공동영역 크기를 결정하였다.

3. 공동영역정책과 기존 운영방안의 비교

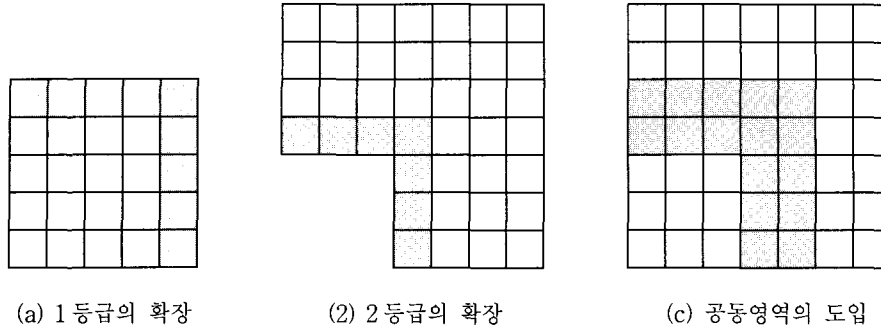
3.1 공동영역정책에 의한 자동창고의 운영

본 연구는 문기주[10]가 최적 공동영역으로 제시한 30%의 공동영역정책과 기존의 다른 운영방안을 비교하고자한다.

본 연구에서는 수요변동이 발생하는 상황에서 자동창고시스템의 유연성을 극대화시키기 위한 방안으로 공동영역정책을 자동창고의 운영방안으로 사용하게 된다. 공동영역정책은 등급별 저장형태의 약점이라고 할 수 있는 1등급 영역의 공간부족으로 인한 입고 지연을 막을 수 있는 방안이다. 특히 수요의 변동은 적은 영역에서만 작업이 이루어지는 1등급의 수행도에 많은 영향을 미치게 될 것이다.

공동영역정책은 <그림 1>에서 보는 것처럼 먼저 1등급은 해당 영역에서 발생할 수 있는 랙의 부족현상을 없애기 위해 I/O 점에서 먼 쪽으로 공간을 넓히고, 2등급은 평균 이동거리를 줄이기 위해 1등급 영역으로 공간을 확장하는 방식을 택하는 것이다. 이렇게 해서 두 부분을 합치게 되면 1등급과 2등급의 영역 사이에 두 등급의 품목이 동시에 저장할 수 있는 공간이 생기게 된다.

기존의 임의저장은 모든 저장공간이 공동영역인 경우에 해당하고, 등급별저장은 저장공간에 공동영역이 하나도 없는 경우로 분류할 수 있다. 공동영역의 공간이 전체 공간에 비해 적으면 등급별 저장이 가지는 장점을 최대화하는 것이 되어 S/R 기계의 이동시간과 대기시간이 줄어들게 된다. 반면 공동영역이 많은 공간을 차지하게 되면 1등급의 공간부족해소와 2등급의 빠른 입출고라는 이점을 자동창고에 도입하게 되는 것이다.



〈그림 1〉공 동 영 역

본 연구에서는 수요변동이 발생할 때의 자동창고 수행도를 알아보기 전에 공동영역정책에 의한 자동창고의 운영방안이 기존의 운영방안에 비해 수행도에 어느 정도의 영향을 미치는지 먼저 알아본다. 이를 위해 임의저장, 등급별저장, 재배치에 의한 운영방안 그리고 문기주[10]의 연구에서 최적의 크기로 제시된 30%의 공동영역을 가지는 경우의 운영방안을 비교하고자 한다.

시뮬레이션은 작업 부하와 1등급의 수요율을 달리하면서 행하게 되는데, 작업 부하는 단위시간당 처리해야 할 작업명령 혹은 물품의 양으로 했으며, 작업명령 또는 처리해야할 품목이 많은 경우와 적은 경우의 두 가지 수준을 가지도록 했다. 작업부하가 많은 경우와 적은 경우의 평균작업수는 각각 시간당 90회와 50회이다. 반면 1등급의 수요율은 60%, 70%, 80%, 90%의 네 가지 수준을 가지게 된다. 이외의 시뮬레이션에서 적용된 가정들은 다음과 같다.

- ① 한 면이 10×20인 양면으로 통로를 사이에 둔 자동창고를 500,000시간동안 시뮬레이션 하였다.
- ② 한 대의 S/R 기계는 상하, 좌우방향으로 동시에 이동가능하며 가장 먼 행과 가장 먼 열까지의 이동시간은 같다. 또한 S/R 기계의 작업경로는 복수명령(dual command)형태이다.
- ③ S/R 기계의 가감속속도 및 Loading/Unload-

ing 시간은 무시하였다.

- ④ 각 등급에서의 저장은 임의저장형태이며 공동영역에서 2등급이 차지하는 비율은 최대 50%로 제한하였다.
- ⑤ 1등급의 공간부족현상이 발생하면 입고를 발생시키지 않음으로서 대기열이 지나치게 길어지는 것을 방지했다.

3.2 기존 운영방안과의 비교

작업 부하가 많은 경우에는 작업량이 많아지게 되어 전체적인 S/R 기계의 이용률이 아주 높은 수준을 유지하게 된다. 이 때의 각 운영방안의 시뮬레이션 비교 결과들이 <표 1>에 요약되어 있다. <표 1>에서 full은 등급부족현상의 발생회수이며, crane은 S/R기계의 평균 가동율이다. in_q와 out_q는 평균입고대기와 평균출고대기시간을 나타내고, r_util은 랙의 평균 점유율을 의미한다. s'mt는 자동창고의 S/R 기계가 단일명령을 수행했을 경우의 이동시간을 나타낸 것이고, d'mt는 S/R 기계가 복수명령을 수행했을 때의 이동시간을 의미하며, sf'mt 열은 재배치의 이동경로를 따라서 작업했을 경우의 이동시간으로 재배치를 행하는 경우에만 나타난다. 또, thro는 전체 실험시간동안 처리된 양을 나타낸 것이다.

먼저 <표 1>에서 1등급의 수요율이 60%인 경우의 네 가지 운영방안들의 결과들을 보면, 공간부

<표 1> 작업부하가 많은 경우의 운영방안 비교

demand rate	operation policy	full (times)	crane (%)	in_q (sec.)	out_q (sec.)	r_util (%)	s'mt (sec.)	d'mt (sec.)	sf'mt (sec.)	thro (item)
60%	Class	157.8	67.45	18.47	19.72	65.53	19.38	29.11		15487.1
	30%-CZ	66.6	77.89	29.10	30.33	75.84	23.22	32.64		15784.7
	SFL	0.0	87.60	51.06	55.95	80.60	27.09	37.42	29.77	15793.0
	Random	0.0	87.36	51.47	55.71	79.98	27.57	33.96		15803.4
70%	Class	180.3	61.78	14.14	15.46	61.86	17.47	26.75		15424.9
	30%-CZ	96.4	74.71	23.92	26.67	75.18	21.93	31.03		15754.6
	SFL	0.0	86.74	49.67	55.16	82.47	26.36	37.23	30.67	15818.3
	Random	0.0	87.63	49.17	54.29	83.39	27.59	37.73		15818.3
80%	Class	216.8	55.58	10.31	11.25	57.59	15.65	23.73		15287.0
	30%-CZ	109.5	70.66	19.48	21.48	76.15	20.36	28.93		15771.3
	SFL	0.0	88.28	48.98	53.26	85.09	26.52	37.06	29.55	15855.1
	Random	0.0	86.93	51.66	54.99	85.58	27.58	37.77		15841.1
90%	Class	227.1	49.48	7.03	7.55	55.09	13.89	20.47		15208.6
	30%-CZ	132.3	67.64	15.98	17.84	75.36	19.42	27.25		15753.2
	SFL	0.0	87.66	49.72	53.89	86.34	26.92	37.45	29.69	15835.2
	Random	0.0	87.54	51.00	54.89	87.06	27.52	37.71		15853.9

족회수가 등급별 저장이 157.8회, 30%의 공동영역이 66.6회, 재배치에 의한 혼합정책과 임의저장이 0회이며, S/R 기계의 이용률은 등급별 저장이가 67.45%로 낮고, 다음이 30%의 공동영역으로 77.89%, 그리고 혼합정책과 임의저장이 87.60%와 87.36%로 나타났다. 각 운영방안에서 입고 대기시간은 18.47초, 29.10초, 51.06초, 51.47초이며, 출고 대기시간은 19.72초, 30.33초, 55.95초, 55.71초 정도의 시간을 기록하고 있으며 입고 대기보다 출고 대기가 좀 더 길다. 랙 이용률은 네 가지 운영방안에서 각각 65.53%, 75.84%, 80.60%, 79.98%이며, S/R 기계가 한 번 작업하면서 하나의 물품을 입고하거나 출고하는 단일명령 이동시간은 19.38초, 23.22초, 27.09초, 27.57초의 작업시간을 필요로 하며, 한번 작업하면서 하나의 물품을 입고하고 하나의 물품을 출고하는 복수명령 이동시간은 29.11초, 32.64초, 37.42초, 33.96초로 나타났다. 그리고 재배치에 의한 혼합정책에서 나타나는 재배치 이동시간은

29.77초 정도가 필요한 것으로 나타났다. 마지막으로, 시뮬레이션 시간동안의 처리량은 등급별 저장이가 15487.1개, 30%의 공동영역이 15784.7개, 혼합정책이 15793.0개, 임의저장이 15803.4개로 나타났다.

작업 부하가 적은 경우의 운영방안을 비교한 시뮬레이션 결과는 <표 2>에 나타나 있으며 실험결과는 작업부하가 많은 경우와 비슷하게 나타난다. 이상의 두 가지 수준의 작업 부하와 네 가지 수준의 1 등급 수요율별로 살펴본 운영방안들의 시뮬레이션 결과를 살펴보면 다음과 같다.

- ① 등급별 저장과 30%의 공동영역에서 공간부족 현상의 발생은 1 등급 수요율이 증가하고 작업 부하가 증가할수록 많이 발생하지만, 나머지 두 운영방안에서는 전혀 발생하지 않는다. 등급별 저장에서의 공간부족은 랙 이용률과 처리량의 감소라는 결과로 나타나지만, 30%의 공동영역에서 랙 이용률은 다른 두 운영방안보다 약간

〈표 2〉 작업부하가 적은 경우의 운영방안 비교

demand rate	operation policy	full (times)	crane (%)	in_q (sec.)	out_q (sec.)	r_util (%)	s'mt (sec.)	d'mt (sec.)	sf'mt (sec.)	thro (item)
60%	Class	106.1	44.30	8.38	9.33	54.36	19.52	29.85		9549.6
	30%-CZ	25.2	53.27	12.14	13.31	73.47	23.30	33.26		9836.0
	SFL	0.0	63.34	18.17	20.32	74.97	27.20	37.86	27.06	9863.3
	Random	0.0	61.47	17.68	19.24	74.79	27.82	38.20		9850.9
70%	Class	127.7	40.23	6.60	7.38	55.08	17.65	27.24		9451.0
	30%-CZ	19.8	50.18	10.07	11.12	71.95	21.87	31.49		9847.7
	SFL	0.0	62.56	17.35	19.54	74.51	26.62	37.33	28.36	9925.3
	Random	0.0	61.98	17.58	19.63	75.16	27.85	37.96		9960.3
80%	Class	138.7	36.06	5.17	5.54	53.74	15.73	24.43		9509.1
	30%-CZ	31.4	46.83	8.51	9.34	70.93	20.33	29.17		9823.5
	SFL	0.0	61.83	17.31	19.45	75.65	26.94	37.63	26.01	9902.1
	Random	0.0	61.69	17.46	19.40	73.37	27.78	38.13		9895.1
90%	Class	161.5	31.79	3.79	3.83	54.50	13.96	20.83		9428.0
	30%-CZ	29.2	44.62	7.31	7.97	69.72	19.19	27.04		9897.5
	SFL	0.0	61.25	16.79	19.54	73.10	27.04	37.67	24.81	9909.5
	Random	0.0	61.80	17.24	19.24	74.34	27.82	38.05		9905.7

떨어지지만 처리량은 차이를 보이지 않는다.

- ② 등급별 저장과 30%의 공동영역에서 S/R 기계 이용률과 입출고 대기시간은 1등급 수요율이 증가할수록, 작업 부하가 낮아질수록 감소하지만, 나머지 두 운영방안은 1등급 수요율과는 관계없이 작업 부하가 낮아짐에 따라서 감소하는 것으로 나타났다.
- ③ 랙 이용률은 처리량이 적은 등급별 저장에서는 낮은 이용률을 보이고, 나머지 운영방안에서는 비슷한 값을 보이는데, 이 중에서도 30%의 공동영역이 약간 더 낮은 이용률을 보이고 있다. 다만 작업 부하가 많은 경우에 혼합정책과 임의저장의 랙 이용률은 1등급의 수요율이 증가할수록 약간 상승하는 경향을 보이고 있는데 이것은 대기시간과 1등급 품목의 저장시간이 길기 때문이다.
- ④ 이동시간은 1등급의 수요율이 증가함에 따라 등급별 저장과 30%의 공동영역에서 감소하지

만, 나머지 두 운영방안에서는 차이가 없었다. 그리고 작업 부하에 따른 차이를 이동시간의 차이는 보이지 않았다.

자동창고에서 운영방안의 비교에 사용되는 여러 수행도로 처리시간, 대기시간, 처리량이 자주 사용된다. 여기에 본 논문에서 제시한 공간부족현상의 발생회수라는 수행도를 토대로 볼 때, 대기시간이나 처리시간은 등급별 저장이 좋으나, 공간부족현상의 발생으로 처리량의 급격한 저하를 가져온다. 또 혼합정책과 임의저장은 높은 처리량에 비해 다른 수행도가 좋지 못하다. 반면, 30%의 공동영역을 가지는 운영방안에서는 약간의 작업 지연을 발생시키는 공간부족이 발생하고, 처리시간과 대기시간이 등급별 저장보다 길지만, 처리량은 높은 수준을 유지하므로 30%의 공동영역이 다른 운영방안에 비해 상대적으로 좋은 운영방안이라고 할 수 있다.

4. 수요변동하에서의 공동영역정책

- ② 등급별 수요율 변동, 생산 품목 고정
- ③ 등급별 수요율 변동, 생산 품목 변화

4.1 수요변동의 형태

수요의 변동에는 크게 두 가지 형태가 있을 수 있다. 하나는 수요율의 변동으로 기존에 생산하던 품목의 시간당 생산량을 소비자 주문의 감소나 자재의 감소로 인해 생산량을 줄이거나, 수요의 증가로 소비자의 주문이 증가 등의 이유로 인해 이전에는 많은 생산량을 가지지 않던 품목의 생산량이 많아지는 것이다.

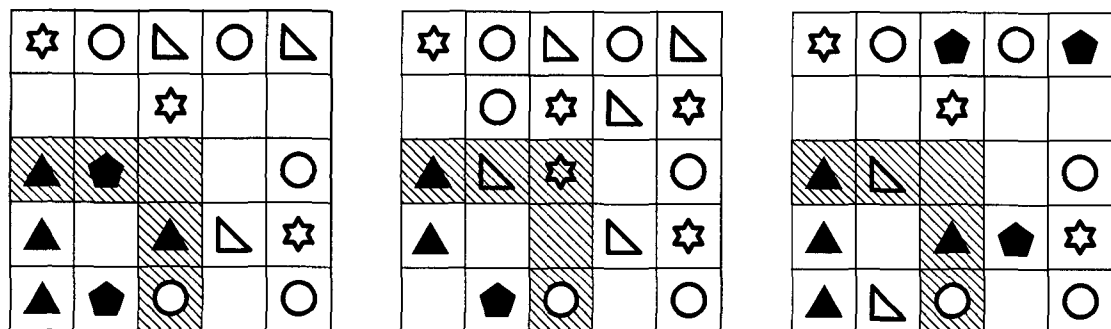
다음으로 생산 품목의 변화가 있다. 제조 현장에서 생산되는 제품은 모두 수명주기를 가지고 있어서 새로운 제품이 시장에 나오거나 기존의 제품이 단종되기도 한다. 특히, 신제품의 생산은 그와 관련된 부품의 전면적인 교체를 의미한다.

수요율과 생산 품목의 변동은 하루에 몇 번씩 발생할 수도 있고, 몇 달 동안 발생하지 않을 수도 있다. 하지만 시스템이 수요 변동에 대해 유연성을 가지지 못한다면 수요 변동 후 많은 문제점들을 야기할 수 있다. 이와 같은 수요율과 생산 품목의 변화를 반영했을 때 자동창고에서 발생할 수 있는 수요 변동의 종류를 구분하면 다음의 세 가지 경우로 구분할 수 있다.

- ① 등급별 수요율 일정, 생산 품목 변화

여기에서의 수요율은 개별 품목에 대한 수요율이 아니라 임의의 한 등급이 차지하는 수요율을 의미하며, 생산 품목의 변화라고 하는 것은 등급에 포함된 개별 품목의 변화를 의미하는 것이다. 가령 수요율의 변동이라고 하는 것은 기존의 1등급이 전체 생산량의 50%를 차지하다가, 생산 변동 후에는 60% 혹은 40%를 차지하면서 생기는 변동이다. 또, 생산 품목의 변화가 있다는 것은 기존의 1등급이 A와 B 품목으로 구성되다가, 생산 변동으로 인해 A와 C 품목으로 1등급이 구성된다는 것이다.

<그림 2>의 (b)는 1등급의 수요가 감소했을 경우에 저장 형태가 어떻게 바뀌는지를 보여주고 있는데 <그림 1>에서 진하게 표현된 품목은 1등급을 의미하고, 태두리만으로 표현된 품목은 2등급이며, 빗금친 영역은 공동영역이다. 변동 전에는 1등급 영역과 공동영역에 1등급 품목이 많이 차지하고 있는 반면, 변동 후에는 2등급 품목이 공동영역에서 많아지게 된다. 이렇게 수요율의 변동이 발생하게 되면, 단위시간당 처리해야 할 1등급의 품목 수나 2등급의 품목 수에 있어서 변화가 생기게 되므로 이동시간이나 대기시간과 같은 수행도가 영향을 받게 되어 전체 자동창고의 운영에 영향을 미치게 된다.



(a) 기존의 저장상태

(2) 1등급의 수요감소

(c) 1등급의 품목변화

<그림 2> 수요변동의 형태

반면, <그림 2(c)>는 1 등급에 포함되는 품목에 변화가 생겼을 경우의 저장 형태로 기존의 1 등급 품목이 2 등급 영역으로 저장되고, 2 등급에 저장되던 품목이 1 등급 영역에 저장되는 형태를 띠게 된다. 이 때에는 개별 품목의 처리량이나 이동시간에는 변화가 생길 수 있으나, 임의의 등급에서의 처리량이나 이동시간에는 별 영향을 미치지 않게 된다. 다만 변동이 발생한 직후 기존의 1 등급 품목이 1 등급 영역에서 모두 출고될 때까지는 일시적인 현상으로 기존의 1 등급 품목과 새로운 1 등급 품목이 같이 1 등급 영역에 있을 수 있다. 하지만 기존의 1 등급 품목이 모두 출고가 되면 바로 안정적인 상태에서 작업을 처리하게 되므로, 1 등급에 포함되는 품목의 변화 때문에 자동창고의 수행상태가 급격히 변하지는 않을 것이다. 그러므로 자동창고의 운영에 있어서 수요 변동을 반영할 때에는 품목의 변화보다는 수요율의 변동을 고려하여야 한다.

4.2 공동영역의 크기에 따른 수요변동의 영향

여기에서는 본 연구에서 제시하는 공동영역정책이 수요 변동하에서 어떤 수행상태를 보이는지 시뮬레이션 하게 된다. 생산 현장에서의 수요 변동은 아주 빈번한 상황임에도 불구하고 변동 형태와 시기 등의 불확실성으로 인해 지금까지 연구에서는 고려되지 않고 일정한 수요율이라는 가정을 연구에 반영하고 있다.

시뮬레이션을 하게 될 자동창고의 구성이나 형태는 앞의 실험과 같으나, 수요 변동의 발생 시점과 결과 수집에 변화가 있다. 모두 500,000단위시간 동안의 시뮬레이션 시간 중 처음 100,000단위시간은 안정상태에 도달하는 시간으로 통계 자료를 수집하지 않는다. 100,000~300,000단위시간은 수요 변동이 발생하기 전의 수요율에 의해 실험을 하고, 300,000~500,000단위시간은 수요 변동이 발생하고 난 후의 수요율에 의해 실험을 하게 된다. 실험 결과는 수요 변동이 발생한 시점에서부터 얻어지는 자료에 의해 비교하기로 한다. 300,000~500,000단위시간에

서 수요율을 그대로 유지할 때와 감소할 때, 증가할 때의 경우를 서로 비교하여 특정 경우의 수요 변동에서 공동영역정책에 의해 자동창고를 운영했을 때 어떠한 특성을 가지는지 파악하게 된다.

실험은 1 등급의 수요 변동 사항을 중심으로 이루어지며, 처음에는 1 등급의 수요 비중을 70%로 유지하면서 실험을 하다가, 수요 변동 시점에 도달하면 1 등급 수요가 60%로 줄거나 80%로 증가되었을 경우 전체 시스템에 어떤 영향을 미치는지 알아보는 것으로 한다.

1 등급의 수요 변동에 대한 공동영역의 유연성을 알아보기 위한 시뮬레이션 결과가 <표 3>에 나타나 있고, 수행도별 비교는 <그림 3>에서 <그림 8>까지 도시되어 있다.

공동영역이 0%인 경우, 기존의 1 등급 수요율인 70%를 그대로 유지했을 때의 공간부족회수는 83.2회 나타났고, S/R 기계의 이용률은 57.24%, 입고 대기시간이 17.08초, 출고 대기시간이 17.16초, 랙 이용률이 58.53%, 하나의 1 등급을 처리하는데 걸리는 시간이 평균 12.17초, 하나의 2 등급을 처리하는데 걸리는 시간이 31.19초, 처리량은 6351.6개로 나타났다. 공동영역이 0%인 경우, 수요율이 70%에서 80%로 증가했을 때의 시뮬레이션 결과는 각 수행도가 88.5회, 50.71%, 11.44초, 11.78초 57.41%, 12.12초, 31.12초, 6346.7개로 나왔고, 수요율이 60%로 감소했을 경우의 각 수행도는 76.5회, 63.65%, 23.44초 23.72초 61.81%, 12.15초, 31.81초, 6389.5개로 나타났다.

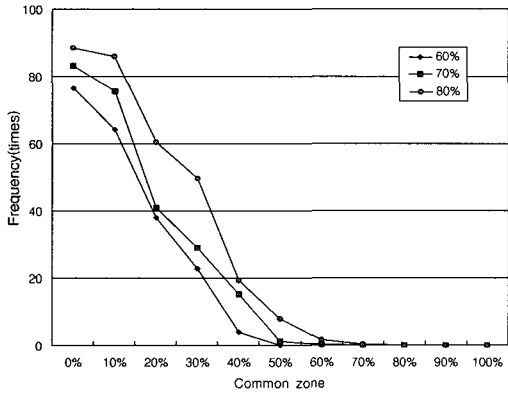
수요 변동이 발생했을 때, 공동영역 크기별 공간부족회수에 대한 비교는 <그림 3>에 나타나 있으며, 가운데의 추세선은 수요 변동이 발생하지 않았을 때이며, 위와 아래의 추세선은 각각 수요가 증가했을 때와 수요가 감소했을 경우의 공간부족회수이다. 반면 <그림 4>의 S/R 기계 이용률과 <그림 5>의 입고 대기시간은 수요가 감소했을 때의 공동영역별 결과의 추세가 위에 나타나있고, 수요가 증가했을 때의 추세는 아래에 나타나있다. 그러나

〈표 3〉 수요변동에 대한 운영방안들의 시뮬레이션 결과

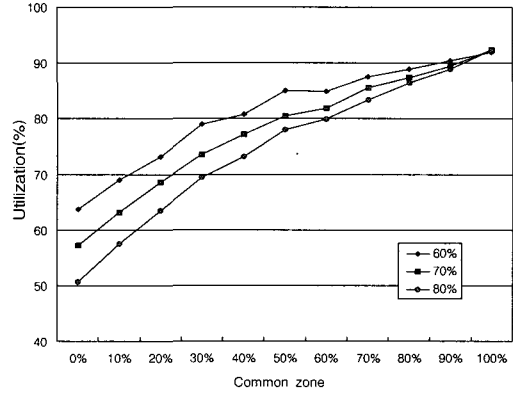
common zone	variation	full (times)	crane (%)	in_q (sec.)	out_q (sec.)	r_util (%)	1st_m (sec.)	2nd_m (sec.)	thro (item)
0%	60%	76.5	63.65	23.44	23.72	61.81	12.15	31.81	6389.5
	70%	83.2	57.24	17.08	17.16	58.53	12.17	31.19	6351.6
	80%	88.5	50.71	11.44	11.78	57.41	12.12	31.12	6346.7
10%	60%	64.1	68.94	31.03	30.78	64.66	14.43	31.98	6405.5
	70%	75.7	63.11	23.20	23.27	64.18	14.45	31.97	6392.3
	80%	86.0	57.41	15.74	15.90	63.78	14.45	31.82	6383.7
20%	60%	38.0	73.18	37.56	38.37	73.76	15.99	32.13	6527.0
	70%	41.0	68.57	28.98	28.52	74.20	16.21	32.29	6497.0
	80%	60.4	63.42	21.91	21.87	73.09	16.33	32.60	6474.2
30%	60%	22.8	79.00	56.03	55.96	76.74	17.99	32.95	6581.0
	70%	29.0	73.56	37.26	37.69	73.55	18.01	32.48	6601.3
	80%	49.6	69.43	30.59	30.88	75.65	18.12	33.01	6581.9
40%	60%	3.9	80.79	61.77	61.74	75.04	19.33	32.27	6599.3
	70%	15.1	77.20	46.76	47.35	75.04	19.50	32.77	6599.0
	80%	19.4	73.18	35.89	36.26	74.56	19.57	32.57	6609.0
50%	60%	0	85.04	82.65	84.00	76.05	21.13	33.18	6586.8
	70%	1.25	80.50	59.18	58.76	75.41	21.07	32.65	6578.7
	80%	7.88	77.96	48.95	53.26	76.09	21.28	33.09	6598.5
60%	60%	0.0	84.94	90.63	91.45	76.33	22.05	31.42	6590.5
	70%	0.2	81.81	68.59	71.65	75.61	22.18	31.13	6619.1
	80%	1.6	79.87	57.18	58.50	76.57	22.27	31.55	6651.8
70%	60%	0.0	87.46	112.35	114.31	76.19	23.81	30.52	6610.1
	70%	0.0	85.60	95.71	93.51	76.93	23.93	30.76	6598.5
	80%	0.1	83.31	77.10	76.87	74.24	23.87	30.64	6610.2
80%	60%	0.0	88.94	125.18	126.80	75.76	25.16	30.04	6576.4
	70%	0.0	87.44	102.81	103.88	77.64	24.96	30.14	6605.8
	80%	0.0	86.38	92.11	91.07	76.63	25.23	30.16	6596.3
90%	60%	0.0	90.46	144.53	144.11	73.49	26.60	29.05	6567.0
	70%	0.0	89.46	150.53	147.08	76.73	26.43	29.12	6579.6
	80%	0.0	88.91	143.47	143.12	75.49	26.72	29.19	6585.2
100%	60%	0.0	91.99	197.36	198.73	77.67	27.84	28.22	6577.4
	70%	0.0	92.42	202.15	203.31	77.88	28.16	28.20	6565.4
	80%	0.0	92.34	218.54	218.11	77.24	28.10	28.23	6574.7

공동영역이 많아짐에 따라서 세 가지 추세선의 구분이 나타나지 않고 있다. <그림 6>과 <그림

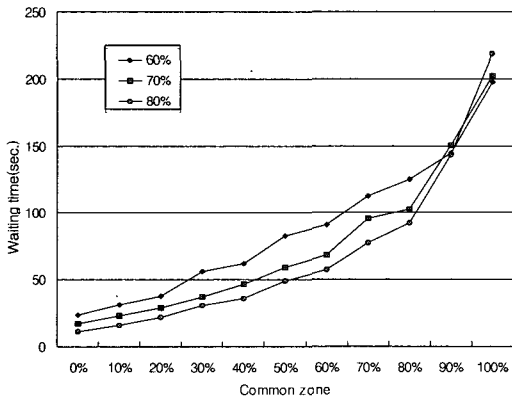
7>, <그림 8>의 나머지 수행도에서는 수요 변화에 따른 값의 차이를 보이지 않고 있다.



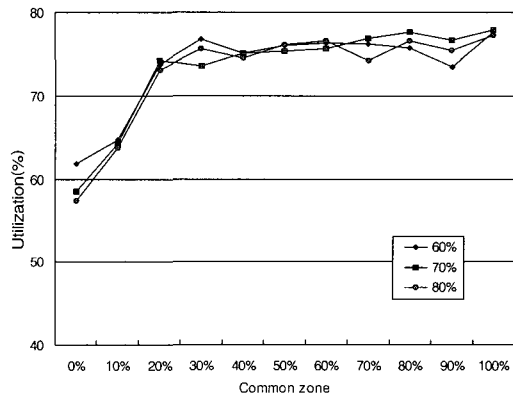
<그림 3> 수요변동시 공간부족회수



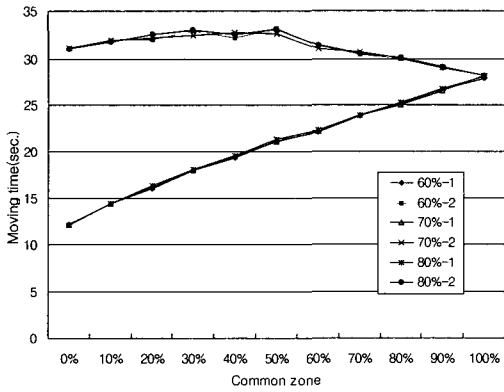
<그림 4> 수요변동시 S/R 기계 이용률



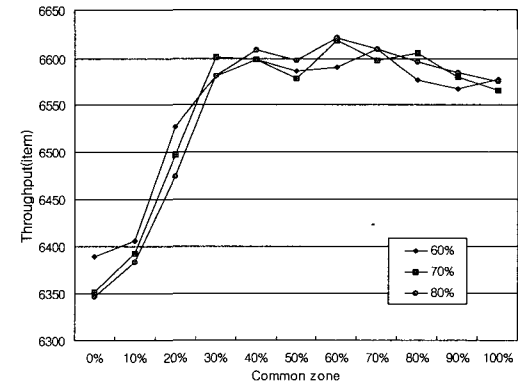
<그림 5> 수요변동시 입고대기시간



<그림 6> 수요변동시 랙 이용률



<그림 7> 수요변동시 이동시간의 차이



<그림 8> 수요변동시 처리량의 차이

5. 결 론

본 연구에서는 기존의 일반적인 자동창고의 운영방안과 공동영역정책을 도입한 운영방안이 수행도상에서 어떤 차이가 있는지 또 공동영역정책이 얼마나 우수한 운영방안인지를 확인하였다.

다음으로 수요가 증가하거나 감소할 때 공동영역정책을 도입한 자동창고의 수행상태를 살펴보았다. 먼저 수요가 70%에서 60%로 감소했을 때의 결과를 살펴보면, 0~60%의 공동영역에서는 1등급의 공간부족현상이 줄어들고 있음을 알 수 있다. 하지만 70% 이상의 공동영역에서는 1등급 공간부족현상이 발생하지 않는다. S/R 기계 이용률, 입고 대기과 출고 대기는 수요가 감소함에 따라 0~80%의 공동영역에서는 증가하고 있으나, 이후의 공동영역에서는 차이를 발견할 수 없다. 랙 이용률은 0%의 공동영역을 가지고 있는 경우에만 약간 증가하고 있고, 나머지 공동영역에서는 거의 비슷한 값을 보이고 있어서 수요 변동이 랙 이용률에는 큰 영향을 미치지 못함을 알 수 있다. 1등급의 평균 이동시간과 2등급의 평균 이동시간은 모든 공동영역의 크기에서 큰 영향을 미치지 못하고 있다. 처리량의 경우도 평균 이동시간과 마찬가지로 수요 변화가 많은 영향을 미치지 않는다.

다음으로 수요가 70%에서 80%로 증가해서 같은 크기의 공동영역에 많은 작업이 할당되는 경우의 결과를 살펴보면, 1등급의 공간부족현상은 0~70%까지는 증가하는 것으로 나타나서 작업 부하가 가중됨을 알 수 있다. S/R 기계 이용률은 공동영역의 크기가 확장되면 될수록 증가하고는 있으나, 그 감소 폭은 줄어들고 있다. 대기시간도 S/R 기계 이용률과 비슷하게 공동영역의 크기가 확장됨에 따라 증가하는 경향을 보이고 있다. 랙 이용률은 0~40%까지의 공동영역에서는 1등급의 수요가 늘어남으로 인해 소폭 떨어지지만 큰 차이를 보이지는 않으며, 그 이후에는 1등급 수요 증가로 인한 효과가 거의 나타나지 않는다. 평균 이동시간과 처리량은 수요 감소의 결과와 마찬가지로 수요 변

동에 거의 영향을 받지 않아서 비슷한 결과를 나타낸다.

참 고 문 헌

- [1] Bozer, Y.A. and J.A., White, "Travel-Time Models for Automated Storage/Retrieval System," *IIE Transactions*, Vol.16, No.4 (1984.), pp.329-338.
- [2] Chow, W.M., "An Analysis of AS/RS in Manufacturing Assembly Lines," *IIE Transactions*, Vol.20, 1986, pp.204-214.
- [3] Hausman, W.H., L.B., Schwarz, and S.C., Graves, "Optimal Storage Assignment in Automatic Warehouse Systems," *Management Science*, Vol.22, No.6(1976), pp.629-638.
- [4] Graves, S.C., W.H., Hausman, and L.B., Schwarz, "Storage/Retrieval Interleaving in Automatic Warehouse Systems," *Management Science*, Vol.23, 1977, pp.935-945.
- [5] Muralidharan, B., Linn, R.J. and Pandit, R., "Shuffling heuristics for the storage location assignment in an AS/RS," *Int. J. Prod. Res.*, Vol.33, No.6(1995), pp.1661-1672.
- [6] Rosenblatt, M.J., Eynan, A., "Deriving the Optimal Boundaries for Class-Based Automatic Storage/Retrieval Systems," *Management Science*, Vol.35, No.12(1989), pp. 1519-1524.
- [7] Randhawa, S.U., Mcdowell, E.D. and Wang, W.T., "Evaluation of Scheduling rules for single and dual-dock automated storage/retrieval systems," *Com & I.E.*, Vol.20, No.4(1995), pp.401-410.
- [8] Randhawa, S.U. and Shroff, R. "Simulation-based design evaluation of unit load automated storage/retrieval systems," *Com & I.*

- E.*, Vol.28, No.1(1995), pp.71-79.
- [9] Suk-hwa Chang and Pius J. Egbelu., "Relative pre-positioning of storage/retrieval machines in automated storage/retrieval system to minimize maximum system response time," *IIE Transactions*, Vol.29, 1997, pp.303-312.
- [10] 문기주, 김광필, "공동영역의 설정에 의한 AS/RS의 등급별 저장정책 개선방안연구", *경영과학회지*, 제24권 제3호(1999), pp.39-47.