

자동창고 시스템의 컴퓨터 시뮬레이션 연구

김광수* · 최영환*

A Computer Simulation Study of an Automated Storage and Retrieval System

Kwang-Soo Kim* and Young-Hwan Choi*

Abstract

One of the most important and powerful tools available for design and/or study of the operation of complex systems and processes is simulation. Since automated material handling systems like AS/RS are often quite complex, a network-based simulation model is developed to analyze an automobile part supplier's automated storage and retrieval system(AS/RS). The network simulation model is implemented in the SLAM II on a VAX 8800 computer. Performance of the AS/RS was tested for 3 dispatching rules, 3 work load levels, 2 storage policies, 3 levels of stacker crane break-down, and 2 conveyor system layouts. Results indicate that the AS/RS performance is primarily affected by the dispatching rule and work load level.

1. 서 론

1-1. 연구배경

우리나라의 기업들은 극심한 국제경쟁 속에서 생존하기 위하여 기술혁신과 생산성 향상을 통해 원가를 절감하려고 노력하고 있으며, 이 과정에서 자연스럽게 자동화에 대한 요구가 발생하게 되었다. 생산시스템의 주된 목표는 효과적인 작업방법, 관리방법을 사용하여 설계, 가공, 조립, 저장, 운반 등의 제반 공정들에 사람, 기계, 자재들을 적절히

투입함으로써 산출되는 부가가치를 극대화하는 것이라 할 수 있다. 이들 중에서 가장 먼저 자동화된 부문은 조립과 공작기계 부문이었으며 이러한 단위 자동화가 어느 정도의 수준에 오름에 따라 각 공정간의 원자재와 재공품, 완제품 등의 유통을 효과적으로 관리하는 것이 공장자동화의 필수적인 요건이 되었는데 이같은 물류의 자동화를 이루기 위한 기본 요소로서 창고의 자동화라는 개념이 나타나게 되었다.

자동창고(AS/RS: Automated Storage and Retrieval System)을 이용한 물류합리화는 FA(Factory

* 포항공과대학 산업공학과

Automation)의 일환이며, 생산시스템의 개선을 통해 국제경쟁력 우위를 확보하려는 기업들의 필연적인 행위로 해석되고 있다. 자동창고 시스템을 구축함으로써 원자재, 재공품 등의 입고 및 출고를 자동화하여 그 소요시간을 단축시킬 수 있으며 재고관리 대상의 종류와 수량이 증가함에 따라 발생하는 재고관리의 복잡성도 원활히 해결하고 표준화된 작업시간을 정확히 예측하여 전체의 공정관리를 용이케 할 수 있다.

여러가지 요소가 유기적으로 관계하는 자동창고 시스템이 실제 설치후에 어떻게 가동될지를 설계 단계에서 예측하는 것은 종래의 전통적인 방법으로는 불가능하며 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션이 효과적이다[1-2]. 시뮬레이션을 통해 예상되는 여러가지 공정 패턴들을 분석하여 봄으로써 각 설비들의 유용도(utilization)를 파악할 수 있고, 병목현상(bottleneck)의 발생여부를 판단할 수 있으며,

적정 시설용량과 효과적인 운영방침들을 설정할 수 있다[3-4].

1-2. 연구목적

자동차부품 생산업체인 M 기계의 자동창고 시스템은 과거의 경험이나 기술축적이 부족한 상태에서 설치되었기 때문에 정상 운영시 또는 물량이 증가할시에 발생할 수 있는 문제점들에 대한 예상 및 분석과 그 대처방안에 관한 연구가 필요한 상황이다. 본 연구에서는 여러 상황에서 자동창고 시스템을 시뮬레이션 해 봄으로써 M 기계의 자동창고 시스템을 분석하여 효율적인 자동창고 시스템의 운영방안을 제시하였다.

2. 문제상황

2-1. 자동창고 시스템의 구성

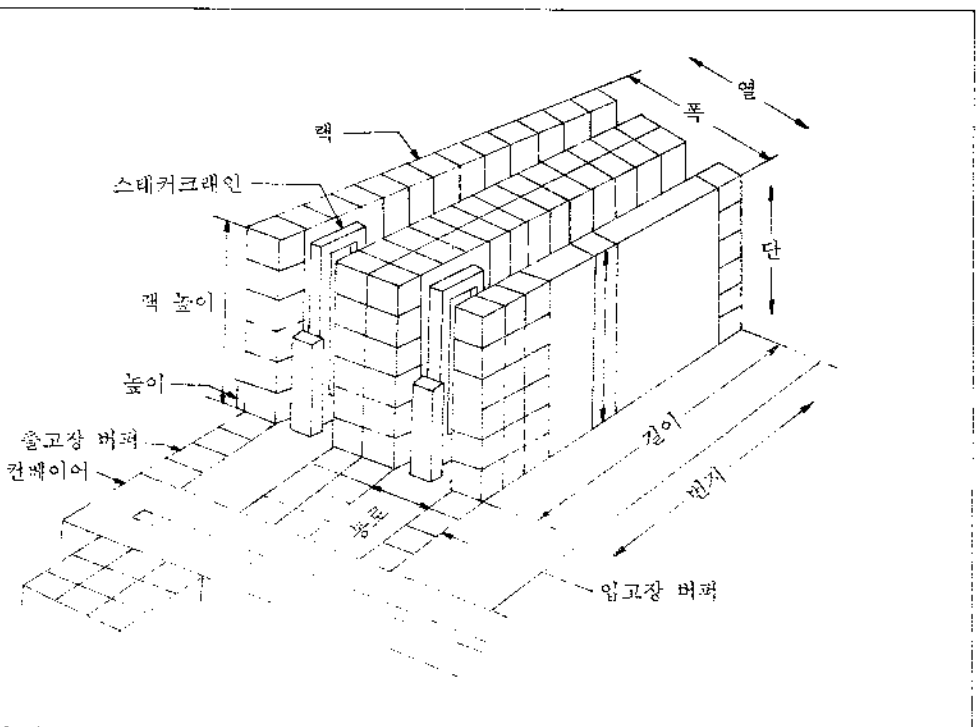


그림 1. 입체창고계의 자동창고

입체창고계 자동창고 시스템의 주요 구성요소는 랙(rack)과 물자의 이동을 담당하는 자재 운반장비(material handling system)이다. 랙 내부의 물자 이동은 스테커크레인으로 이루어지며, 랙의 입고/출고 버퍼와 자동창고의 입고/출고장소 사이의 물자이동은 컨베이어, AGV(Automated Guided Vehicle), 크레인(crane), 지게차(fork-lift) 등으로 이루어진다. 또한 자동창고의 운영과 관련된 제반 명령의 지시를 담당하는 주 컴퓨터(host computer)와 각 버퍼에서의 팔레타이저(palletizer)와 디팔레타이저(depalletizer)도 자동창고를 이루는 구성요소가 된다. 입체창고계의 자동창고는 그림 1과 같은 형태를 취하고 있다[5].

M 기계의 자동창고 시스템은 전형적인 입체창고계의 형태를 취하고 있다. 랙은 팔레트(pallet)용이 6개, 버켓(bucket)용이 4개이며, 2개의 랙이 하나의 스테커크레인을 공유하고 있다. 팔레트용의

랙은 총 1620(6×27×10)개의 팔레트를 저장할 수 있으며 버켓용의 랙은 총 6144(4×64×24)개의 버켓을 저장할 수 있다. 자동창고의 입/출고장소로부터 랙의 입/출고 버퍼까지의 물자이동은 지게차와 컨베이어에 의하여 이루어지고, 랙 내부를 스테커크레인이 이동하며 입/출고 버퍼와 슬롯(slot)을 연결시키고 있다.

팔레트용 컨베이어는 7개의 조작단위로 나뉘어지고 버켓용 컨베이어는 3개의 조작단위로 나뉘어지는데 각 조작단위는 독립적으로 작동하며 광센서를 이용하여 컨베이어 상에서의 팔레트나 버켓의 위치를 판별한다. 컨베이어의 조작단위는 팔레트용이 그림 2에, 버켓용이 그림 3에 나타나 있다.

2-2. 공정흐름

M 기계의 자동창고 시스템의 전반적인 공정흐

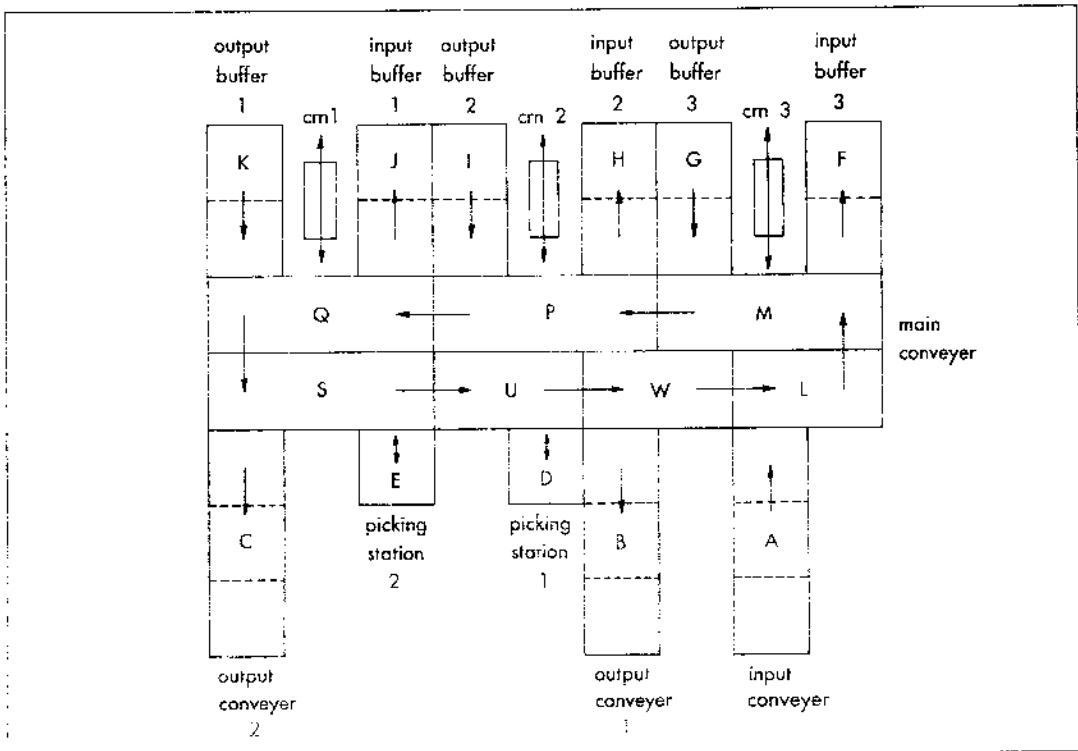


그림 2. 컨베이어의 조작단위(팔레트용)

품은 다음과 같다. 부품업체들로부터 입하된 부품들은 우선 점수공정에서 검사를 받게 되는데 만약 부품의 결함이 발견되면 공급업체로 반납되며 검사에 합격된 부품만이 자동창고에 입고된다. 그러나 부품이 급히 필요한 경우에는 부품들은 입고과정을 거치지 않고 직접 생산라인에 투입되기도 한다. 검사에 합격된 부품들은 팔레트(또는 버킷)에 실린후에 지게차에 의해 입고 컨베이어로 이동하여 입고명령을 기다린다.

입고 컨베이어에 실린 팔레트(버킷)는 컨베이어를 타고 배정된 랙의 입고버퍼로 이동하고 입고를 위해 스택크레인을 기다린다. 입고 버퍼에 여유가 없으면 컨베이어를 한번 더 순회한 후에 다시 배정된 입고 버퍼로의 진입을 시도한다.

스택크레인은 입고 버퍼에서 대기하고 있는 팔레트(버킷)를 싣고 배정된 슬롯(slot)으로 이동하여 팔레트(버킷)를 입고시킨 후에 출고명령이 있으면 그곳에서 해당 슬롯으로 이동하여 출고될

팔레트(버킷)를 싣고온다. 이때 출고명령이 없었던다면 바로 입/출고버퍼의 위치로 돌아온다. 출고명령이 발생하면 가용한 스택크레인이 해당 슬롯으로 이동하여 그곳에 저장되어 있던 팔레트(버킷)를 꺼내어 출고버퍼로 옮기고 그곳에서 팔레트(버킷)는 주컨베이어(main conveyor)로 이동한 후 컨베이어를 타고 출고 컨베이어로 이동하여 자동창고 시스템을 빠져나가게 된다. 팔레트의 피킹은 두 군데의 피킹스테이션(picking station)에서 이루어지며, 버킷의 피킹은 차단기(stopper)를 이용하여 주컨베이어상의 고정된 위치(그림 3의 T)에서 버킷을 정지시킨 후 이루어진다. 피킹이 완료된 팔레트(버킷)는 주컨베이어상에 재투입된 후 랙에 재입고된다.

2-3. 운영정책

자동창고 시스템 운영의 전반적인 관리는 CCR (Computer Control Room)의 주컴퓨터에서 담당하지만 팔레트(버킷)의 피킹 후 재입고와 같은 일부의 운영은 컨베이어 스테이션에서도 관리한다. 자동창고 시스템의 운영과 관련된 정책들은 다음과 같다.

1) 입고정책: 입고되는 팔레트(버킷)는 각 랙이 사용하는 입고버퍼의 순서대로 입고버퍼를 배정받고 주컨베이어를 이용하여 배정받은 입고 버퍼까지 이동한 후에 가장 가까운 베이부터 채워나가는 방식을 사용한다.

2) 출고정책: 입고된 모든 팔레트(버킷)의 부품들은 주컴퓨터에 의해 입고시각과 부품의 종류 및 수량이 연속적으로 갱신되며 입고된 순서대로 출고된다. 출고 명령은 완전 출고명령과 피킹명령으로 양분되며 부품에 대한 요구량과 주컴퓨터에 저장되어 있는 자료로부터 완전출고 또는 피킹 여부가 결정되고 출고 컨베이어가 배정된다.

3) 명령 수행방식: 입고명령과 출고명령이 동시에 주어졌을 때는 출고명령을 우선 처리하는 등

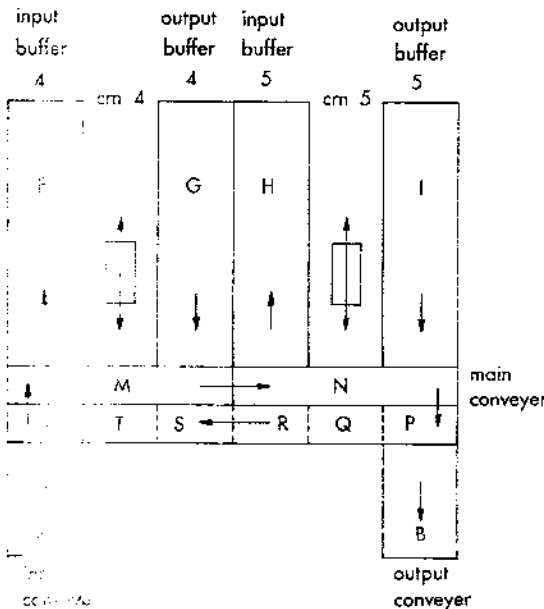


그림 3. 컨베이어의 조작단위(버킷용)

고명령 우선정책과 복수명령 정책을 공유하고 있다. 출고명령은 CCR에서 일괄 지시하며 입고명령은 입고 컨베이어 스테이션에서 지시하고 직접 수행한다.

4) 컨베이어의 작동방식: 컨베이어는 광 센서로부터 팔레트의 도착신호를 받아 조작단위별로 작동되며, 각 조작단위는 동시에 2개 이상의 팔레트(버켓)를 처리할 수 없다. 두개의 컨베이어가 합류되는 지점에서는 선행 조작단위의 끝에 먼저 도착한 팔레트(버켓)가 이동의 우선권을 갖는다. 합류지점으로 2개 이상의 팔레트(버켓)가 동시에 진입하려 할 때는 우선권을 가진 팔레트(버켓)가 먼저 이동한다. 만약 입고 버퍼상에 여유가 없으면 해당 팔레트(버켓)는 분기되지 못하고 컨베이어를 순회하게 된다. 컨베이어의 작동방식에 대한 설명은 그림 2와 그림 3에 나타난 컨베이어의 조작단위를 참조하기 바란다.

3. 자동창고의 시뮬레이션

자동창고 시스템의 시뮬레이션은 시뮬레이션 전용 언어인 SLAM II를 사용하여 VAX-8800 컴퓨터에서 수행되었다[6-8]. 시뮬레이션 모델은 SLAM network program, FORTRAN main program, 그리고 FORTRAN subroutine program들로 구성되어 있으며, 이 모델은 유연성있게 모델화되어서 간단히 입력변수 값만 변경시켜 줌으로써 여러가지 대안들에 대한 시뮬레이션을 수행할 수가 있다.

3-1. 자동창고의 시뮬레이션 모델

자동창고에서 입고 컨베이어 이전의 부품 저장 공간은 충분하고 출고 컨베이어를 빠져나간 팔레트의 부품들은 직접 생산라인에 투입되므로 입고

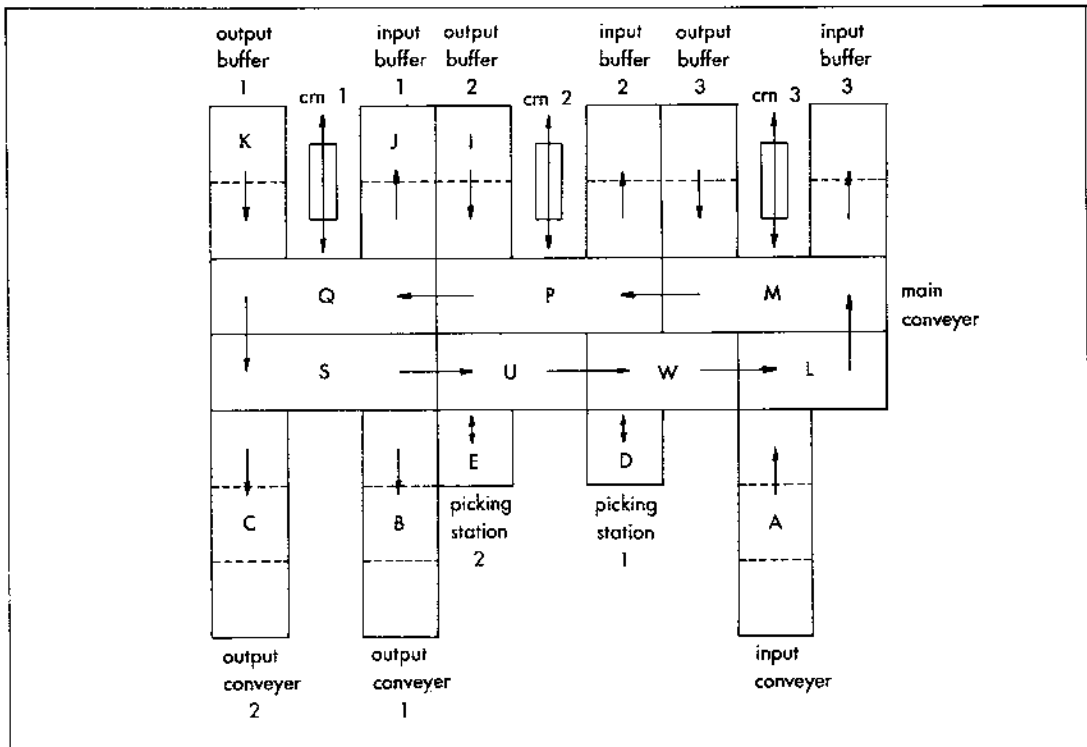


그림 4. 컨베이어 배치를 변경시킨 설비배치도

컨베이어로부터 출고 컨베이어까지의 구간만이 관심의 대상이 된다. 따라서 이 구간을 시스템 범위(system boundary)로 설정하였다. 시물레이션 모델에서 사용된 설비는 컨베이어(입출고 컨베이어, 주컨베이어, 입출고 버퍼)와 스택크레이인이며 컨베이어의 경우는 각 조작단위별로 구분되어 정의되었다.

팔레트용 자동창고의 시물레이션은 모두 5차에 걸쳐 수행되었으며, 버켓용은 모두 4차에 걸쳐 수행되었다. 제1차 시물레이션에서는 컨베이어 시스템의 효과적인 운영을 위하여 주컨베이어 진입을 위한 우선권 배정규칙을 비교, 검토하였으며, 제2차 시물레이션에서는 피킹물의 변경에 따라 자동창고 시스템이 작동할 수 있는 입출고 명령의 적정 시간간격을 산출하였다. 제3차 시물레이션에서는 부품의 저장정책을 비교하였으며, 제4차 시물레이션에서는 시스템의 구성요소 중 스택크레이인 고장났을 경우의 시스템 성능을 파악하였고, 팔레트용의 제5차 시물레이션에서는 컨베이어 시스템에서 출고 컨베이어와 피킹스테이션의 배치를 변경하여 시스템의 성능을 평가하였다.

본 시물레이션의 주된 연구목표중 하나가 현행 자동창고 운용상태에서 자동창고 시스템이 감당해 낼 수 있는 최대의 물량과 병목현상이 발생한 곳을 파악하는 것이므로 시물레이션 모델은 입출고량을 임의로 변경할 수 있고 피킹물의 증감에 따른 변

동을 반영할 수 있도록 설계되었다. 또한 자동창고 운용정책상의 개선을 위하여 새로운 운용방안을 제시하고 현행 운용정책과 비교하였다.

운용방안에 대한 비교에서는 팔레트(버켓)가 주컨베이어로 이동할 때에 우선권을 배정하는 규칙(priority rule)과 저장정책(storage scheme)에 따른 자동창고 시스템의 성능을 중점적으로 비교하였다. 주컨베이어상에서 이동되고 있는 팔레트(버켓)의 수가 많을 경우에 팔레트(버켓)에 대한 잘못된 우선권 배정은 전체 시스템의 지연 또는 정지를 발생시킬 수가 있으므로 우선권 배정규칙을 각 대안에 대한 시물레이션 중에서 가장 먼저 시작하여 최적의 우선권 배정규칙을 설정하고 이를 적용하여 다른 대안들을 비교 및 평가해 볼 수 있도록 하였다.

3-2. 팔레트용 자동창고의 시물레이션

3-2-1. 제1차 시물레이션

팔레트용 자동창고의 제1차 시물레이션에서는 주컨베이어상에서 선행 컨베이어로 진행하려는 팔레트와 주컨베이어로 진입하기 위하여 출고 버퍼나 피킹스테이션에서 대기하고 있는 팔레트의 우선권 배정규칙을 비교하였다(표 1 참조). 입고시에는 우선권 배정문제가 발생하지 않으므로 출고시만 고려하였으며 160개의 팔레트가 출고 완료될 때까지

표 1. 팔레트의 우선권 배정규칙 설정을 위한 시물레이션 결과

대안	출고버퍼 /주컨베이어	피킹스테이션 /주컨베이어	평균 소요시간	표준 편차	시간당 평균 처리갯수
대안 PPR1	주컨베이어상의 팔레트 우선	피킹스테이션상의 팔레트 우선	64.9초	3.33	55.4
대안 PPR2	출고버퍼상의 팔레트 우선	피킹스테이션상의 팔레트 우선	*	*	*
대안 PPR3	주컨베이어상의 팔레트 우선	주컨베이어상의 팔레트 우선	*	*	*

지 시뮬레이션을 행하였다. 이때 피킹률은 50%로 출고명령간 시간간격은 60초로 하였다.

대안 PPR1을 제외한 나머지 대안들에서는 시뮬레이션 종료시간인 86400초(24시간)가 소요되었지만 배정된 물량을 완전히 처리하지 못하는 경우가 발생하였다. 이는 60초 간격으로 출고명령이 내려질 때 주컨베이어가 혼잡으로 인하여 정지상태에 도달했음을 나타내며 정지상태를 피하기 위해 출고명령 간격을 늘여서 대안 PPR2에 대하여 추가 시뮬레이션을 행한 결과, 평균 출고 소요시간은 출고명령간 시간간격이 75초일때 77.3초로서 가장 작았다. 그러나 이는 대안 PPR1에서의 평균 출고 소요시간 보다 12.3초나 더 길다. 따라서 팔레트의 이동시 우선권 배정규칙은 (1) 출고 버퍼와 주컨베이어가 합쳐지는 지점에서는 주컨베이어상의 팔레트에게 우선권이 주어져야 하며, (2) 피킹스테이션과 주컨베이어가 만나는 지점에서는 피킹스테이션상의 팔레트에게 우선권이 주어져야 한다.

3-2-2. 제2차 시뮬레이션

입출고 명령을 일시에 내리는 경우에는 시스템이

정지하는 현상이 발생하므로 입출고 명령을 일정 시간간격으로 내림으로써 시스템의 혼잡으로 인한 정지현상을 피할 수 있으며, 이때 적정 시간간격의 결정이 필수적이다. 또한 피킹률이 증가함에 따라 주컨베이어로 진입하는 팔레트의 수가 증가하게 되고 주컨베이어의 부하가 증가하여 전체 시스템의 성능이 저하된다. 따라서 제2차 시뮬레이션에서는 피킹률과 입출고 명령의 시간간격에 의한 시스템의 성능을 시뮬레이션 할 수 있도록 대안을 설정하였다 (표 2 참조).

시뮬레이션 결과 병목현상이 발생하는 설비는 주컨베이어로 나타났다. 피킹률이 30%일 때는 세 가지 대안중 출고명령간의 간격이 45초 일때 시간당 팔레트 처리갯수가 가장 많았으며, 피킹률이 50%일 때는 출고명령간의 간격이 60초 일때 시간당 팔레트 처리갯수가 가장 많았고 팔레트당 출고 소요시간이 64.9초였다. 피킹률이 70%일 때는 출고명령간의 간격이 80초 일때만 시스템 정지상태가 발생하지 않았으며 팔레트당 출고 소요시간이 82.4초였다. 그리고 입고시에는 입고명령간의 시간간격에 따른 처리능력에 차이가 없었으며 시간당 입

표 2. 팔레트의 피킹률 변경에 따른 입출고 명령의 적정 시간간격 산출을 위한 시뮬레이션 결과

대 안	구분	피킹률	명령간격	평 균 소요시간	표준 편차	시간당 평균 처리갯수
대안 PI31	출고	30%	0초	52.9초	2.48	68.0
대안 PI32	출고	30%	40초	50.6초	2.24	71.2
대안 PI33	출고	30%	45초	49.7초	1.64	72.4
대안 PI51	출고	50%	0초	*	*	*
대안 PI52	출고	50%	55초	65.1초	4.60	55.3
대안 PI53	출고	50%	60초	64.9초	3.33	55.4
대안 PI71	출고	70%	0초	*	*	*
대안 PI72	출고	70%	75초	*	*	*
대안 PI73	출고	70%	80초	82.4초	0.91	43.7
대안 PIS1	입고	-	0초	43.1초	0.48	83.6
대안 PIS2	입고	-	35초	43.1초	0.48	83.6

고갯수는 평균 83.6개였고, 팔레트당 입고 소요시간은 평균 43.1초였다.

3-2-3. 제3차 시뮬레이션

팔레트용 자동창고의 제3차 시뮬레이션에서는 자동창고 시스템의 저장정책에 따른 시스템의 성능을 비교하였다. 락에 팔레트를 입고하는 방안은 현재는 가장 가까운 위치에 있는 베이부터 채워나가는 방안(CBF: Closest Bay First)을 채택하고 있다. 그러나 가까운 베이부터 채우는 것보다는 크레인의 이동시간을 최소화하는 것이 보다 효과적인 저장방안으로 예상되어 제3차 시뮬레이션에

서는 현재의 저장방법(CBF)과 입고 버퍼로부터 슬롯까지의 이동시간을 최소로 하는 방안(STTF: Shortest Travel Time First)을 두가지 대안으로 설정하고 시뮬레이션을 수행하였다(표 3 참조). 입고시에는 40개의 팔레트가 입고 완료될 때까지 시뮬레이션을 하였으며, 출고시에는 160개의 팔레트가 출고 또는 피킹 후 재입고가 완료될 때까지 시뮬레이션을 하였다.

시뮬레이션 결과 STTF 방법이 CBF 방법보다 시간당 팔레트 처리개수가 많으나 그 차이는 아주 작았다. 이는 STTF 방법이 CBF 방법보다 좋은 저장정책이지만 주로 부하가 크게 걸리는 부분은 주컨베이어이고, 스택크레인에는 상대적으로 부

표 3. 팔레트 저장정책의 비교를 위한 시뮬레이션 결과

대안	저장정책	구분	피킹률	평균 소요시간	표준 편차	시간당 평균 처리갯수
대안 PST1	CBF	입고	-	43.1초	0.48	83.6
대안 PST2	STTF	입고	-	42.9초	0.48	83.9
대안 PST3	CBF	출고	30%	49.7초	1.64	72.4
대안 PST4	STTF	출고	30%	49.4초	1.46	72.8
대안 PST5	CBF	출고	50%	64.9초	3.33	55.4
대안 PST6	STTF	출고	50%	64.2초	1.93	56.1
대안 PST7	CBF	출고	70%	82.4초	0.91	43.7
대안 PST8	STTF	출고	70%	83.0초	0.86	43.4

표 4. 팔레트용 스택크레인의 고장상태 비교를 위한 시뮬레이션 결과

대안	구분	크레인1	크레인2	크레인3	평균 소요시간	표준 편차	시간당 평균 처리갯수
대안 PB01	출고	작동	작동	작동	64.9초	3.33	55.4
대안 PB02	〃	작동	작동	고장	65.7초	4.54	54.8
대안 PB03	〃	작동	고장	고장	104.4초	1.78	34.5
대안 PBI1	입고	작동	작동	작동	43.1초	0.48	83.6
대안 PBI2	〃	작동	작동	고장	45.5초	1.50	79.1
대안 PBI3	〃	작동	고장	고장	79.0초	2.38	45.5

하가 작게 걸리기 때문에 전체 시스템의 성능향상에는 기여하지 못하는 것으로 생각된다. 따라서 M 기계 자동창고 시스템에서는 STTF나 CBF중 하나를 저장정책으로 택하여도 전체 자동창고 시스템의 성능에는 크게 차이가 나지 않음을 알 수 있다.

3-2-4. 제4차 시뮬레이션

스태커크레인온 시스템의 성능과 밀접한 관련이 있으며 다른 설비들 보다 고장이 발생할 가능성이 매우 높으므로 팔레트용 자동창고의 제4차 시뮬레이션에서는 스태커크레인에서 고장이 발생한 경우를 고려하였다. 대안으로는 스태커크레인 1대가 고장나는 경우와 스태커크레인 2대가 고장나는 경우를 가정하였으며 입고시와 출고시(피킹률 50%)에 자동창고 시스템의 물류처리 능력이 어느 정도 인지를 알아보기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다(표 4 참조).

시뮬레이션의 결과로부터 스태커크레인의 고장에 의한 시스템의 성능은 고장난 스태커크레인의 위치와는 관계가 없으며 고장난 댓수에만 영향을 받음을 알 수 있었다. 시뮬레이션 결과는 대안 중에서 일부만 선택하여 표 4에 나타내었다.

표 4의 결과에서 스태커크레인의 고장댓수가 1인 경우에 자동창고 시스템의 팔레트 처리능력은 크게 차이가 나지 않았다. 앞의 시뮬레이션에서 스태커크레인 3대가 모두 가동중일 경우에는 가동율이 50% 정도로 상당한 여유능력이 있으므로 그 중 한대가 고장이 나더라도 남은 두대로서 충분히 입출고 업무를 수행할 수 있음을 보여준다. 그러나 스태

커크레인의 고장대수가 2대로 증가하면 시스템의 처리능력이 급격히 떨어지는데, 이는 스태커크레인 한대로는 입출고량을 충분히 소화할 수 없으며, 스태커크레인이 병목설비가 됨을 나타낸다.

3-2-5. 제5차 시뮬레이션

팔레트용 자동창고의 제5차 시뮬레이션에서는 병목설비인 주컨베이어의 처리능력을 향상시키기 위하여 출고 컨베이어와 피킹스테이션의 위치를 재배치한 후 시스템 성능을 알아보았다(그림 4 참조). 출고 컨베이어에 도착한 팔레트는 시간의 지체없이 시스템을 빠져나가므로 출고 컨베이어를 피킹 스테이션 앞에 배치한다면 주컨베이어 상에서의 팔레트 수를 감소시키고 주컨베이어에 걸리는 부하를 감소시킬 수 있을 것으로 예상된다. 따라서 제5차 시뮬레이션에서는 배치가 변경된 컨베이어 시스템에 대하여 시뮬레이션을 행하였다(표 5 참조).

이 결과를 제2차 시뮬레이션 결과와 비교해 볼때 컨베이어 시스템의 재배치로 인하여 시스템의 능력에 향상이 있으나 처리시간 감소가 2초 미만이었다.

3-3. 버켓용 자동창고의 시뮬레이션

3-3-1. 제1차 시뮬레이션

버켓용 자동창고의 제1차 시뮬레이션에서는 버켓의 우선권 배정규칙을 비교하기 위하여 아래의

표 5. 팔레트용 설비의 재배치에 대한 시뮬레이션 결과

피킹률	출고시간 간격	평균 소요시간	표준편차	시간당 처리갯수
30%	45초	48.30	1.44	74.5
50%	60초	63.40	1.48	56.8
70%	80초	82.25	0.22	43.8

표 6과 같이 2가지 대안에 대하여 시뮬레이션 하였다. 250개의 버켓이 출고 완료될 때까지 시뮬레이션을 행하였고, 이때 출고시간 간격은 0초로 하였다.

시뮬레이션 결과를 비교해 보면 피킹률에 관계없이 출고 버퍼상의 버켓보다 주컨베이어상에 있는 버켓에게 진입의 우선권을 부여하는 경우에 시스템의 버켓 처리갯수가 시간당 3개 정도 많음을 알 수 있다. 처리갯수의 차가 팔레트용 창고시스템에 비하여 크게 차이가 나지 않는 이유는 버켓용 창고시스템에서는 주컨베이어가 병목설비가 아니기 때문이다. 그러나 버켓의 이동시 출고버퍼와 주컨베이어가 합쳐지는 지점에서는 주컨베이어상의 버켓에게 우선권이 주어져야 한다.

3-3-2. 제2차 시뮬레이션

제2차 시뮬레이션에서는 피킹률과 입출고 명령의 시간간격에 의한 시스템의 능력을 시뮬레이션 할 수 있도록 대안을 설정하였다. 시뮬레이션 결과 병목현상이 발생하는 설비는 스택커크레인으로 나타났다. 피킹률과 출고명령간의 시간간격에 대한 시뮬레이션 결과는 표 7과 같다.

시뮬레이션 결과로부터 버켓용 자동창고 시스템에서는 출고명령간 시간간격이 시스템의 성능에 큰 영향을 끼치지 못함을 알 수 있다. 이는 주컨베이

어가 병목설비가 아니기 때문에 주컨베이어상에 정체현상이 나타나지 않기 때문이다. 입출고 명령의 시간간격이 0인 경우에 피킹률 30%일때는 하나의 버켓을 출고하는데 소요되는 평균시간은 41.1초이고, 시간당 버켓 처리갯수는 87.6개이다. 피킹률이 50%에서는 각각 45.8초, 78.5개이고, 피킹률 70%에서는 각각 49.7초, 72.4개이다. 입고시에는 평균 소요시간이 30.1초이고 시간당 처리갯수가 119.8개였다.

3-3-3. 제3차 시뮬레이션

제3차 시뮬레이션에서는 현재의 저장방법(CBF)과 입고 버퍼로부터 슬롯까지의 이동시간을 최소화하는 방안(STTF)을 두가지 대안으로 설정하고 시뮬레이션을 수행하였다. 입고시에는 200개의 버켓이 입고 완료되는 때까지 시뮬레이션을 하였으며, 출고시에는 250개 버켓이 출고 또는 피킹후 재입고가 완료될 때까지 시뮬레이션을 하였다. 각 대안의 시뮬레이션 결과는 표 8에 나타나 있다.

시뮬레이션 결과를 비교하면 스택커크레인이 병목설비인데도 불구하고 STTF 방법에서의 처리갯수와 CBF 방법에서의 처리갯수와의 차이가 예상과는 달리 아주 작다. 이는 버켓용 자동창고 시스템에서는 STTF나 CBF 방법중 하나를 저장정책으로 택하여도 전체 자동창고 시스템의 능력에는 크게

표 5. 버켓의 우선권 배정규칙 설정을 위한 시뮬레이션 결과

대안	피킹률	우선권	평균 소요시간	표준 편차	시간당 처리갯수
대안 BRP1	30%	주컨베이어	41.1초	1.45	87.6
대안 BRP2	30%	출고버퍼	42.6초	1.33	84.6
대안 BRP3	50%	주컨베이어	45.8초	1.22	78.5
대안 BRP4	50%	출고버퍼	48.1초	1.74	74.8
대안 BRP5	70%	주컨베이어	49.7초	1.06	72.4
대안 BRP6	70%	출고버퍼	52.1초	1.54	69.1

표 7. 버켓의 피킹율 변경에 따른 입출고 명령의 적정 시간간격 산출을 위한 시뮬레이션 결과

대안	구분	피킹율	명령간격	평균 소요시간	표준 편차	시간당 처리갯수
대안 BI31	출고	30%	0초	41.1	1.45	87.6
대안 BI32	출고	30%	35초	41.3	0.96	87.1
대안 BI33	출고	30%	40초	41.3	0.41	86.4
대안 BI51	출고	50%	0초	45.8	1.22	78.5
대안 BI52	출고	50%	35초	45.4	0.66	79.3
대안 BI53	출고	50%	40초	45.5	0.74	79.1
대안 BI71	출고	70%	0초	49.7	1.06	72.4
대안 BI72	출고	70%	40초	50.8	1.56	70.9
대안 BI73	출고	70%	45초	50.3	0.96	71.6
대안 BIS1	입고	-	0초	30.1	0.43	119.8
대안 BIS2	입고	-	25초	30.4	0.41	118.5

표 8. 버켓 저장정책의 비교를 위한 시뮬레이션 결과

대안	저장 정책	구분	피킹율	평균 소요시간	표준 편차	시간당 처리갯수
대안 BST1	CBF	입고	-	30.1초	0.43	119.8
대안 BST2	STTF	입고	-	30.3초	0.35	118.9
대안 BST3	CBF	출고	30%	41.1초	1.45	87.6
대안 BST4	STTF	출고	30%	39.9초	0.85	90.2
대안 BST5	CBF	출고	50%	45.8초	1.22	78.5
대안 BST6	STTF	출고	50%	44.7초	1.39	80.5
대안 BST7	CBF	출고	70%	49.7초	1.06	72.4
대안 BST8	STTF	출고	70%	50.1초	1.12	71.9

표 9. 버켓용 스택크레인의 고장상태 비교를 위한 시뮬레이션 결과

대안	구분	크레인1	크레인2	평균 소요시간	표준 편차	시간당 처리갯수
대안 BBO1	출고	작동	작동	45.8초	1.22	78.5
대안 BBO2	〃	작동	고장	89.2초	0.75	40.4
대안 BBI1	입고	작동	작동	30.1초	0.43	119.8
대안 BBI2	〃	작동	고장	63.6초	0.80	56.6

차이가 없음을 의미한다.

3-3-4. 제4차 시뮬레이션

버켓용 자동창고의 제4차 시뮬레이션에서는 시스템의 가동시간이 경과함에 따라 고장(break-down)이 발생하는 경우의 시스템 성능을 정상적인 작동상태와 비교하였다. 스택크레인은 병목설비이고 다른 설비들보다 고장발생 가능성이 매우 높으므로 버켓용 제4차 시뮬레이션에서는 스택크레인에서 고장이 발생한 경우를 고려하였다(표 9 참조). 입고시와 출고시(피킹률 50%)에 자동창고 시스템의 물류처리 능력을 알아보기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다.

표 9의 결과로부터 스택크레인의 고장대수가 1인 경우에 자동창고 시스템의 버켓 처리능력이 반감하는 것을 알 수 있다. 이는 스택크레인이 병목설비로서 100% 사용되고 있기 때문에 그중 하나가 고장이 나면 시스템의 물류 처리능력이 절반으로 줄어들기 때문이다. 이 경우에 시간당 평균 처리갯수는 입고시에 56.6개이고, 출고시에는 40.4개이다.

4. 결 론

본 연구에서는 M 기계에 신설된 자동창고 시스템의 물류분석을 위하여 자동창고 시스템 내에서 발생 가능한 여러 상황을 설정하고 이에 대한 시뮬레이션 모델을 작성하여 시뮬레이션 해 봄으로써 자동창고 시스템 내부에서의 물류의 문제점과 설비 운용상의 제한사항을 분석하고 효과적인 자동창고 시스템의 운영지침을 제시하였다.

본 연구의 대상은 팔레트용 자동창고와 버켓용 자동창고로 양분되며 팔레트용 자동창고의 시뮬레이션에서는 컨베이어 시스템의 효과적인 운영을 위한 우선권 배정방법, 피킹률의 변경에 따른 입출고 명령의 적정 시간간격 산출, 팔레트의 저장 정책, 일부 설비의 고장이나 위치변경으로 인하여

변동되는 시스템 성능의 평가를 주요 연구내용으로 하였고, 버켓용 자동창고의 시뮬레이션에서는 설비의 위치변경을 제외하고 팔레트용 자동창고와 같은 내용이 시뮬레이션 되었다.

본 연구의 수행과정에서 팔레트 및 버켓용 자동창고 시스템의 운영에는 자재 운반장비들의 이동시에 우선권을 배정하는 규칙이 매우 중요하며, 시스템의 성능을 높이기 위해서는 현재의 피킹률을 고려하여 입출고 명령의 시간간격을 적절히 조절함으로써 시스템내에 유통되는 물량을 제한해야 한다. 또한 어떤 설비의 유용도가 다른 설비의 유용도에 비해 매우 낮은 상태라면 해당 설비의 고장발생이나 운용방식의 변화는 전체 시스템의 성능에 거의 영향을 끼치지 못한다. 설정된 대안의 시뮬레이션 결과로부터 M 기계의 자동창고 시스템은 팔레트용은 주컨베이어에서, 버켓용은 스택크레인에서 입출고 물량이 증가할때 병목현상의 발생이 예상된다. 시스템 성능의 향상을 위해서는 단위포장 등의 공정개선을 통하여 피킹률을 현재보다 줄여서 병목현상이 발생하는 장비의 부하를 감소시키는 것이 바람직하다.

참고문헌

- [1] Law, A.M. and McComos, M.G., "How Simulation Pays Off," *Manufacturing Engineering*, Feb. 1988.
- [2] Hurrion, R.D., *Simulation Application in Manufacturing*, Springer Verlag, 1986.
- [3] 김광수, "스테인레스 스틸 생산공정의 시뮬레이션 연구," RIST Technical Report, 1989.
- [4] 김광수, "시뮬레이션과 시스템 최적화," *공장관리*, 제7권 10호, 1989.
- [5] Jung, M., et al., "A Study of Computer Simulation for an AS/RS," FASIM Report # 89-03, *Industrial Engineering*, POSTECH, 1989.
- [6] SLAMSYSTEM User's Manual, Pritsker &

Associates, Inc., 1988.

[7] Strandridge, C. R., and Pritsker, A. A. B.,
TESS—The Extended Simulation Support System,

Halsted Press, 1987.

[8] Pritsker, A. A. B., Introduction to Simulation and SLAM II, Wiley, 1986.
