

중소기업용 혼합형 자동창고에 대한 주행시간 모형

이 문 규[†]

계명대학교 산업시스템공학과

Travel Time Models of a Hybrid Automated Storage/Retrieval Module for Small and Medium-Sized Enterprises

Moon-Kyu Lee

Department of Industrial and Systems Engineering, Keimyung University, Daegu, 704-701

During the past decades automated storage/retrieval (AS/R) systems have been dominantly implemented in most industrial fields due to their handling efficiency and high utilization of storage space. Such AS/R systems consist of several modules each of which contains two racks and a S/R machine. This paper proposes a design of the hybrid AS/R module which can be adopted without too much initial expenditure by most of small-and-medium sized companies. The hybrid module consists of an AS/R module on the upper floor and a traditional warehouse module on the lower floor. For the AS/R module, analytical expressions of the expected travel times for the S/R machine and the elevator per operation are derived. The expected travel times represent the performance of the module and thus can be used for its economic design.

Keywords: automated storage/retrieval system, performance evaluation, travel time, warehouse

1. 서 론

항공기 제조업이나 조선업 등은 물론이고 공작기계 제조업, 자동차 부품산업 등의 다양한 업종에 적용되는 대표적인 생산시스템 중의 하나가 다품종 소량생산 시스템이다. 이 시스템의 기본적인 특징은 생산제품에 대한 탄력성이 크다는 것인데, 이로 인하여 생산제품이 주문에 따라 상이하므로 다양한 제품을 생산할 수 있는 범용설비가 필요하고, 물류이동이 많아 여러 종류의 운반설비가 필요하다. 또한, 원자재, 외주가공품, 구매품, 반제품, 완제품 및 기타 공구와 목형 등의 소재와 수량과약이 쉽지 않고, 공정 간의 대기물량이 많은 점 등의 어려움이 지적되고 있다. 이러한 어려움을 극복하기 위해서는 자재관리 시스템의 핵심부분으로서 효과적인 창고 시스템이 필수적으로 요구된다.

최근, 금융권의 우량기업에 집중된 대출관행으로 인하여

극소수 최우량 중소기업들을 제외하고는 대부분의 중소기업이 재정적으로 심한 압박을 받고 있는 것이 현실이다. 이러한 어려움에 처해 있는 중소기업에서 소규모 투자로서 전술한 다품종 소량생산 시스템 하에서 대두되는 여러 가지 어려움을 피할 수 있는 효과적인 창고 시스템을 구축하는 것이 기업의 경쟁력을 높이는 핵심적인 수단 중의 하나일 것이다. 따라서, 본 연구에서는 이를 위하여 다품종 소량생산 시스템을 취하고 있고 공장 부지가 상대적으로 협소한 특성을 지닌 중소기업에 적합한 창고 시스템을 제안하고자 한다. 제안하고자 하는 창고 시스템은 여러 가지 종류의 물자재를 보관할 수 있도록 일반창고(1층)와 자동창고(2층)가 결합된 혼합형 자동창고(hybrid AS/R system)이다.

자동창고 중에서 가장 널리 사용되고 있는 것은 팔릿(pallet) 적재형 자동창고로서 운반 및 저장을 위하여 팔릿에 적재된 단위부하(unit load)를 사용하고 있다(Ashayeri *et al.*, 1985). 이리

[†]연락처 : 이문규 교수, 704-701 대구시 달서구 신당동 1000 계명대학교 산업시스템공학과, Fax : 053-580-5165, E-mail : moonkyu@kmu.ac.kr

한 자동창고의 단위 모듈은 한 쌍의 저장 랙 (double-sided storage rack)이 좌우로 설치된 통로(aisle)를 통하여 저장/불출 기계(S/R machine)가 주행하여 물품의 저장과 불출 작업을 수행하는 구조로 되어 있다. 일반적인 자동창고는 다수의 단위 모듈로 이루어져 있으나, 본 연구에서 제시한 혼합형 자동창고 시스템은 공장 부지의 협소함을 고려하여 하나의 단위 모듈로 한정한다.

이와 같은 혼합형 자동창고 시스템을 설계하기 위해서는 시스템 성능에 대한 분석적인 접근이 필수적이다. 1층의 일반창고에 대한 성능 평가는 분석적으로 하기 어렵기 때문에 대개 모의실험을 이용한다. 반면에, 2층의 자동창고 모듈 부분에 대한 성능 평가는 단위 부하의 특성 때문에 분석적으로 가능하여 이에 대한 많은 연구가 이루어져 왔다 (Bozer and White, 1984; Liu, 1992; Sarker and Babu, 1995; Wen *et al.*, 2001). 그러나 2층의 자동창고 모듈은 승강기가 없고 하나의 저장/불출 기계로만 이루어진 일반적인 자동창고를 위하여 개발된 기존의 분석적인 방법들을 그대로 사용할 수가 없다. 따라서, 본 연구에서는 제시된 자동창고 모듈의 성능평가를 위한 분석적 평가지수로서 기대 주행시간을 산출하는 모형을 제시한다.

2. 중소기업용 자동창고 단위 모듈

최근 수십 년 간은 창고 시스템에 있어서 혁명적 전환기였다고 보인다. 그 이유는 전통적인 수작업에 의한 물품의 이동과 취급으로부터 컴퓨터를 활용하여 고도의 정확성과 물자취급 생산성을 기대할 수 있는 자동창고 시스템이 도입·활용되고 있기 때문이다. 이러한 자동창고 시스템도 취급 대상 물자재의 유형과 특성에 따라 여러 가지 유형으로 개발되어 사용되고 있다 (Tompkins and White, 1984).

특히, 다품종 소량생산 시스템인 경우에는 제품 모델이 다양함에 따라 관리해야 할 물품의 종류가 대단히 많다. 중소기업에서 이를 효과적으로 관리하기 위한 창고 시스템의 정형은 아직까지 이렇다 하게 정립된 것이 없는 것으로 보인다. 따라서, 본 연구에서는 이를 감안하여 원자재, 구매품, 가공품을 산재하여 보관하지 않고 중앙에 집중하여 소형의 물량으로 보관할 수 있는 중소기업용 창고를 설계하였다. 물론, 확장과 축소가 용이한 유연성 있는 구조이기 때문에 여타 중소기업의 실정에 맞게 쉽게 변경할 수 있다. <그림 1>에서는 이러한 창고를 개념적으로 형상화한 설계도가 주어졌다. 창고의 개념을 설명하는 데 중점을 두었기 때문에 물리적으로 완벽한 설계는 아니어서 차후 필요에 따라 보완될 수 있을 것이다.

2.1 창고 시스템의 구조

전체 창고의 형태는 중소기업의 가용 공간이 협소하기 때문

에 다양한 물자재들을 효과적으로 유연성 있게 보관할 수 있도록 <그림 1>에서 보는 바와 같이 1층에는 일반창고로, 그리고 2층에는 자동창고 단위 모듈이 결합된 단일 통로형으로 설계되어 있다. 본 시스템의 구성 요소는 자동창고의 경우, 포크 리프트가 좌우 및 상하로 동시에 이동할 수 있는 1대의 저장/불출 기계와 통로 좌우에 동일한 크기의 단위 부하를 저장할 수 있는 2면 저장 랙으로 구성되어 있다. 1층의 일반창고는 2면 랙과 그 사이의 통로를 통하여 물자재를 운반하는 리프트 트럭 등으로 구성된다. 1층의 일반창고와 2층의 자동창고 사이에 물자재를 운반하기 위하여 창고 전면에 승강기(elevator)가 설치되어 있다.

산업 현장에서 크기와 무게 및 수량이 다양한 물품들을 한 곳에 저장하는 데는 운반체와 운반 용기 및 저장 공간 소요량이 서로 다르기 때문에 많은 어려움이 있다. 이를 극복하기 위하여 우선 무게와 부피가 작은 단위 부하형 물품은 2층의 자동창고에 보관한다. 그 밖에 특정 제품을 조립하기 위한 원자재와 중간 재공품들이 하나의 저장 단위를 이루는 키트(kit)형 자재, 무게와 부피가 큰 물자재, 그리고 작업자가 직접 저장하고 불출하는 것이 보다 생산성이 있는 공구 상자 등과 같은 소형이거나 경량의 물품들은 다양한 운반체를 사용하여 운반이 가능하므로 1층의 일반물품 보관 랙에 보관하도록 되어 있다. 일반창고는 자동창고와는 달리 해당 기업의 공정과 대상 물자재들의 특성을 반영하여 다양한 크기를 가질 수 있도록 가변적으로 설계되었다. 예로서, <그림 1>의 (c)에 도시된 것처럼 조립용 키트 상자, 가공품, 구매품 등의 여러 물자재를 보관할 수 있다.

일반적으로 창고가 생산시설과 격리되어 있는 경우에는 시스템의 입출고점이 시스템 전방의 한 곳에 위치하고 있다. 그러나, 창고 시스템이 공장의 생산시설과 직접 연계되어 있는 경우에는 시스템의 전후방에서 입출고가 가능하도록 그 구조를 쉽게 변경할 수 있다. 즉, 한쪽은 외부와 통하고 다른 한쪽은 가공 작업장과 연결된다거나, 또는 양쪽 모두 작업장 내에 있는 중앙 저장소 개념의 창고 형태로 사용될 수 있기 때문에 사용 면에서 유연성이 큰 구조라고 할 수 있다.

2.2 입출고 방법

1층의 일반창고는 작업자가 직접 물품을 운반하여 저장시키거나 불출하게 되기 때문에 일반적인 입출고방법을 사용하나 2층의 자동창고의 경우에는 단위 부하를 올리고 내리기 위하여 승강기를 사용한다. 즉, 외부에서 입고될 물품이 컨베이어 앞에 도착되면 컨베이어를 타고 승강기 입구에 도착하여 대기하다가 승강기에 의하여 올려진다. 올려진 단위 부하는 컴퓨터의 지시에 따라 저장/불출 기계에 의하여 저장 공간에 입고된다. 단위 부하를 출고할 때는 컴퓨터의 지령에 따라 저장/불출 기계가 대상 위치의 저장 공간으로 이동하여 불출한 후 승강기에 내려놓으면 승강기에 의하여 1층의 입출고 작업장으로 이동되어 반출되거나 일부 반출된 후 재입고된다. 중앙의 자동

창고 통제 컴퓨터는 이를 모두 제어하는 기능을 갖는다.

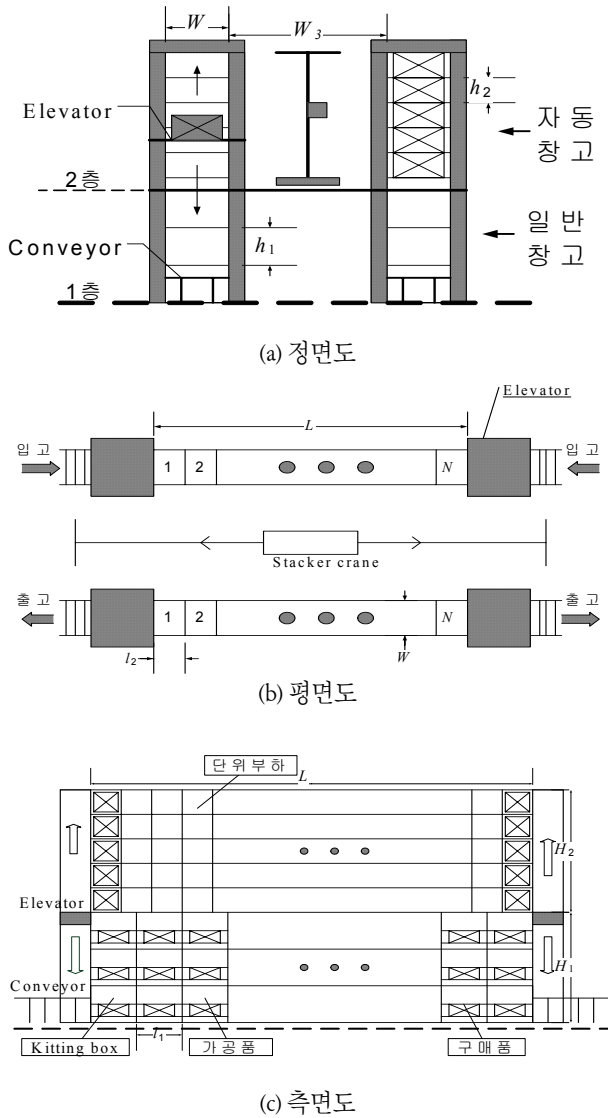


그림 1. 혼합형 자동창고의 구조.

2.3 물품 저장 방법

잘 알려진 바와 같이 2층의 자동창고에 저장될 물품들을 저장하는 방법은 임의저장방식(randomized storage), 입출고 빈도에 따른 고정위치 저장방식(turnover-based dedicated storage), 등급별 지정위치 저장방식(class-based dedicated storage)의 세 가지가 있다. 일반적으로 가장 흔히 사용되는 방식이 임의저장방식인데 여기서는 빈 곳의 공간에 임의로 저장하기 때문에 공간 이용률이 높은 장점이 있다. 반면에 고정위치 저장방식은 입출고 빈도가 높은 것을 입출고점으로부터 근접한 곳에 저장함으로써 저장/불출 기계의 작업 효율이 높아진다(즉, 단위 시간당 작업물량이 많다). 등급별 지정위치 저장방식은 앞의 두 가지 방법의 절충 방식이다. 이 중에서 본 시스템이 사용될 중소

기업과 같이 공간이 협소할 경우에는 공간 이용률이 높은 임의저장방식이 가장 적합할 것으로 생각된다.

한편, 1층의 일반창고에는 대상 물자재의 입출고 요구 특성을 고려하여 배치하는 것이 바람직할 것이다. 가령, 일반창고에는 대상 물자재가 조립용 키트 상자, 가공품, 구매품으로 구성되어 있을 경우에는 <그림 1> (c)의 측면도에서 보는 바와 같이 작업장이 창고 왼쪽에 있는 경우에는 조립용 키트 상자를 작업장 가까운 곳인 왼편에 할당하고, 가공품은 중간에, 그리고 구매품은 입구 쪽으로 배치하는 것이 좋을 것으로 생각된다. 또한, 구매품은 비교적 소형이고 가볍기 때문에 저장 위치에 별 영향을 받지 않으나 가공품의 경우는 대체적으로 중량이고 가공 작업의 입출고 빈도를 고려하여 가능한 한 가까이 배치하는 것이 합리적일 것이다.

2.4 제시된 시스템의 장·단점

이상의 다품종 소량생산 시스템을 취하고 있는 중소기업용 창고 시스템의 장점은 다음과 같다:

- 1) 적은 공간에 다양한 물품을 효과적으로 저장할 수 있다.
- 2) 자동창고와 일반창고의 복합형으로서 사용상에 유연성이 많다.
- 3) 소형의 공간에 집중 보관함으로써 재고 파악, 분실 방지 등을 위한 재고 관리에 용이하다.
- 4) 비교적 적은 투자 비용으로 컴퓨터 통합생산 시스템에서 재고 관리를 위한 하부 구조 역할을 수행할 수 있다.
- 5) 자동화 시스템의 하나의 예시로서 전시적인 효과를 이룰 수 있다.

단점으로는 아주 영세한 중소기업의 경우에는 투자비와 저장 공간 확보 면에서 어려움이 있을 수 있다. 또한, 기존의 공간배치상 긴 통로 형태의 공간을 확보하기 어려운 경우에도 상기의 효과를 기대하기 어려울 수 있다.

3. 저장/불출 기계의 기대 주행시간

전술한 창고 시스템에서 상부에 위치한 자동창고 시스템은 고가일 뿐만 아니라 일단 설치된 이후에는 그의 확장이나 축소가 용이하지 않기 때문에 초기 도입 시 신중하고도 합리적인 설계 절차를 거치는 것이 필수적이다. 시스템이 실제 수요보다 너무 크면, 불요불급한 투자로 인하여 타 부분의 투자 기회를 상실하게 될 것이고, 반대로 규모가 너무 작으면 물품을 저장할 공간이 너무 적어 시스템이 제 구실을 못하게 된다. 그러므로 시스템 설계 시 주어진 대안에 대한 성능을 미리 효과적으로 평가할 수 있는 분석 방법이 필요하다.

이러한 자동창고 시스템의 설계 시 주요 결정 변수는, 저장

랙의 구조(단과 열의 수), 저장/불출 기계의 주행 속도, 입출고점(input/output point)의 위치, 생산 라인이나 외부와의 연계를 위한 컨베이어의 위치와 구조 등을 들 수 있다. 한편, 주어진 설계 대안들을 평가하기 위한 성능평가 기준으로는 “단위시간당 수행 가능한 입출고 물량” 또는 역으로 “단위 입출고 작업에 소요되는 저장/불출 기계의 평균주행시간”으로 나타내어진다. 이와 같이 정의되는 시스템 성능은 위에서 언급한 여러 결정 변수 값에 의해 좌우된다. 본 연구에서 제시된 2층 구조의 자동창고는 창고 바닥으로부터 대상 팔릿을 2층의 자동창고까지 올리고 또한 불출된 물품을 내리기 위한 승강기가 랙의 앞부분에 설치되어 있기 때문에 이를 고려한 주행시간이 산출되어야 한다.

여러 개의 저장 랙으로 구성된 일반적인 자동창고의 주행시간 산출을 위한 기본적인 분석적 모형이 Bozer and White(1985)에 의해 개발된 이래로 다양한 구조에 대한 변형 모형들이 개발돼 응용되어(Sarker and Babu, 1995) 왔으나 본 연구에서 제시된 2층 구조의 자동창고에는 승강기의 주행을 추가로 고려해야 하므로 이들을 바로 적용할 수 없다. 따라서, 저장/불출 기계와 승강기의 독립적인 주행을 함께 고려한 새로운 주행시간 모형이 필요하다. 한편, 창고 시스템의 구조는 입고 및 출고가 이루어지는 위치에 따라 다양한 형태를 띠게 된다. 본 연구에서는 입고 및 출고가 두 개의 통로 입구 중 한 곳에서 이루어지는 전통적인 형태의 시스템 (구조 I; <그림 2(a)>), 입고와 출고 장소가 서로 다른 반대편에 위치한 시스템 (구조 II; <그림 2(b)>), 그리고 입출고점이 통로 양쪽 모두에 존재하는 시스템 (구조 III; <그림 1(c)>)의 세 가지 유형을 고려하여 각 시스템 유형에 대한 기대 주행시간 산출 모형을 제시하고 이를 바탕으로 시스템의 성능을 평가할 수 있는 기대 입출고 작업당 주행시간(expected travel time per operation)을 제시한다.

하나의 팔릿을 입고하거나 출고하기 위한 입출고 작업은 입고 또는 출고 작업을 단독적으로 수행하는 단일 명령주기(single-command cycle)와 입고와 출고를 동시에 한번의 주행으로 처리하는 복수 명령주기(dual-command cycle)에 의해서 처리될 수 있다. 여기서는 각 경우의 기대 주행시간 추정 모형을 제시하고 단일 명령주기가 이루어지는 확률 α 가 주어졌을 때 단위 입출고 작업당 기대 주행시간을 산출한다.

작업장과 직접적으로 연계되어 운영되는 시스템 (Kim et al., 2003)을 제외하면 대부분의 경우 입출고 작업 처리는 실시간이 아닌 묶음(batch) 단위로 이루어진다. 이와 같이 입출고 작업이 묶음 단위로 처리된다고 할 때 묶음의 크기가 아주 작지 않으면 묶음 간의 응답시간(response time)은 무시할 수 있을 정도로 작다. 물론 실시간으로 처리되는 시스템에서는 작업과 작업 사이에 응답시간이 무시할 수 없을 정도로 크기 때문에 이를 줄이기 위하여 작업이 없을 경우 저장/불출 기계의 정지 위치(dwelling position)가 작업 처리의 생산성에 큰 영향을 미칠 수 있다. 이 문제에 대해서는 이미 기존에 충분히 연구되어 있기 때문에 본 연구에서는 묶음 간의 응답시간을 무시할 수 있는

시스템을 대상으로 하여 입출고 작업당 기대 주행시간 산출 모형을 제시하고자 한다.

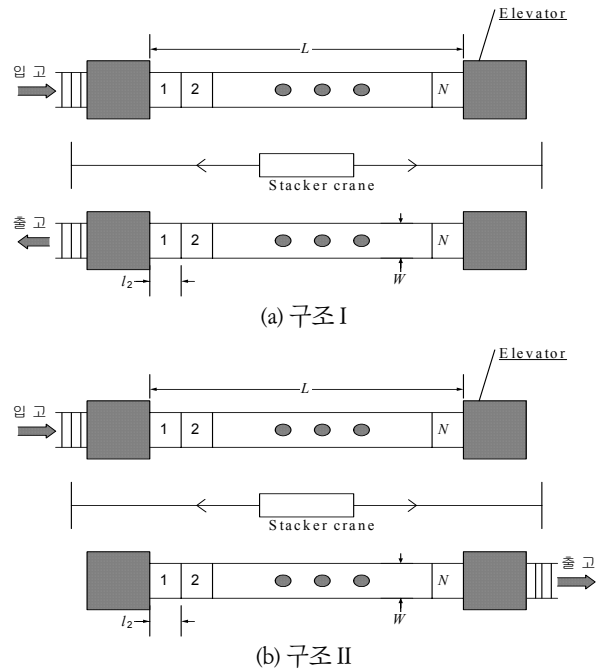


그림 2. 입출고 위치에 따른 시스템 구조.

우선 $E_s^i(SC)$, $E_r^i(SC)$, $E^i(DC)$ 를 각각 구조 I ($i = I, II, III$)인 시스템에서 단일 명령주기에 의한 기대 입고처리시간, 단일 명령주기에 의한 기대 출고처리시간, 복수 명령주기에 의한 기대 입출고 처리시간으로 정의하자. 그러면, 구조 i 인 시스템에 대한 기대 단위작업 주행시간, $E^i(T)$ 는

$$E^i(T) = \alpha E_s^i(SC)/2 + \alpha E_r^i(SC)/2 + (1 - \alpha)E^i(DC)/2 \quad (1)$$

로 표현된다. 이러한 기대 주행시간은 묶음 단위로 개개의 작업들이 연속적으로 처리되므로 저장/불출 기계의 정지 위치 선택 전략과 무관하다. 본 연구에서 추가로 물품은 임의저장방식에 따라 저장되고, 저장/불출 기계의 가감속은 고려하지 않으며 자동창고의 입출고점이 통로의 왼쪽 또는 오른쪽 최하단에 있는 것으로 가정한다.

3.1 구조 I의 기대 입출고 작업당 주행시간

3.1.1 입고 작업의 단일 명령 주행시간

시스템 구조 I은 통로 한쪽에서만 입출고가 이루어지는 형태인데 여기서는 자동창고의 입출고점이 왼쪽 최하단에 있는 것으로 가정한다. 하나의 자동창고 모듈은 통로를 중심으로 실제로는 좌우에 서로 대칭인 랙이 존재하지만 주행시간을 산출하기 위한 모형에서는 이를 하나의 저장 면으로 간주한다. 입출고점으로부터 이 랙의 X축으로 가장 멀리 있는 곳까지 이

동하는 시간을 1로 정규화하고(Y축으로 가장 높이 있는 저장 공간까지 이동하는 시간은 b , 승강기의 바닥으로부터 입출고 점까지의 시간을 b 로 표시하면 다음 <그림 3>과 같이 도식화할 수 있다.

단일 명령은 입고 또는 출고 작업만으로 이루어진 작업 묶음을 연속적으로 처리하는 경우에 발생된다. 이 때에는 동일한 단일명령 작업이 연속적이기 때문에 입고의 경우 묶음 내의 첫 작업을 처리하기 위하여 1층의 입고점에서 팰릿을 2층의 자동창고 입고점까지 이동하는 시간(즉, 반응시간)을 제외하면 <그림 3>과 같이 주행주기가 설정되게 된다.

즉, 이 그림에서는 하나의 팰릿을 입고하기 위하여 승강기와 저장/불출 기계가 주행하는 과정을 순서대로 표시하여 주고 있다. 승강기는 이전 주기에서 가져온 팰릿을 자동창고의 입고점에 내려놓자마자 다음 주기에 저장해야 할 팰릿을 가져오기 위하여 1층의 바닥으로 내려가고($t_{1,1}$) 이와 동시에 저장/불출 기계는 저장해야 할 팰릿을 가지고 주어진 저장 공간으로 이동($t_{1,2}$)한다.

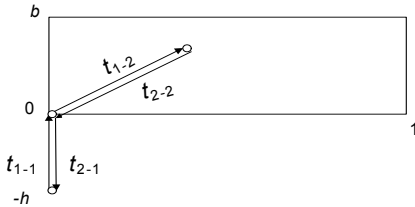


그림 3. 구조 I에서 단일 명령에 의한 작업 처리 과정.

저장/불출 기계가 입고 작업을 완료하고 입출고점으로 되돌아 왔을 때 승강기가 다음 주기에 저장해야 할 팰릿을 아직 가져오지 않았다면 승강기가 올 때까지 대기해야 한다. 반대로 승강기가 자동창고의 입출고점에 이미 도착된 상태라면 저장/불출 기계가 귀환할 때까지 기다려야 한다. 따라서 이러한 입고 작업의 주기시간은 T_p 를 팰릿을 저장 공간에 내려 놓거나(deposit) 들어 올리는(pick up) 시간을 정규화한 것이라 할 때 승강기의 주행시간 및 팰릿 취급시간과 저장/불출 기계의 그것 중 큰 값에다가 T_p 를 더한 시간이 된다. 그러므로, t_s 를 단일 명령으로 해당 저장(또는 불출) 공간에 이동하는 시간이라 하면, 입고 작업의 단일 명령 주기시간 w_i 는

$$w_i = \max(t_{1,1} + t_{2,1} + T_p, t_{1,2} + t_{2,2} + T_p) + T_p = \max(2b + T_p, 2t_s + T_p) + T_p = 2\max(b, t_s) + 2T_p$$

가 된다. t_s 에 대한 확률밀도함수는 Bozer and White(1985)로부터

$$g_s(z) = \begin{cases} 2z/b & \text{for } 0 \leq z \leq b \\ 1 & \text{for } b < z \leq 1 \end{cases}$$

임을 알 수 있다. 여기서, $u = \max(b, t_s)$ 라고 하면 u 와 w_i 의 기대값 및 구조 I에서의 입고 작업 단일 명령 주기시간 $E_s^1(\text{SC})$ 는 다음과 같이 세 가지 경우로 나누어져 구해진다.

i) $b \leq b$

$$E(u) = \int_0^b h(2z/b) dz + \int_b^1 (2z^2/b) dz + \int_b^1 z dz = b^2/6 + 1/2 + b^3/(3b)$$

$$E_s^1(\text{SC}) = E(w_i) = b^2/3 + 1 + 2b^3/(3b) + 2T_p$$

ii) $b < b \leq 1$

$$E(u) = \int_0^b h(2z/b) dz + \int_b^h h dz + \int_h^1 z dz = 1/2 + b^2/2$$

$$E_s^1(\text{SC}) = E(w_i) = 1 + b^2 + 2T_p$$

iii) $1 < b$

$$E(u) = \int_0^b h(2z/b) dz + \int_b^1 h dz = b$$

$$E_s^1(\text{SC}) = E(w_i) = 2b + 2T_p$$

3.1.2 출고 작업의 단일 명령 주행시간

출고 묶음을 처리하기 위한 첫 주기에서의 반응 작업은 입고 묶음 처리와는 달리 승강기가 자동창고의 입출고점으로 출고된 팰릿을 가져오기 위하여 아무 것도 없는 상태로 자동창고의 입출고점으로 주행하는 것이다. 그러나 출고 작업에 대한 일련의 단일 명령 주행시간은 <그림 3>의 주행 주기에서 입고 작업이 출고 작업으로 대체된 것일 뿐, 주행 행태가 입고 작업에 대한 단일 명령 주행주기와 동일하다. 그러므로 출고 작업의 단일명령 기대 주기시간은

$$E_R^1(\text{SC}) = \begin{cases} b^2/3 + 1 + 2b^3/(3b) + 2T_p & \text{if } b \leq b \\ 1 + b^2 + 2T_p & \text{if } b < b \leq 1 \\ 2b + 2T_p & \text{if } 1 < b \end{cases}$$

이다.

3.1.3 이중 명령에 의한 저장 및 입고 작업의 기대 주행시간

입출고 작업 처리는 입고 작업과 출고 작업을 개별적으로 처리하는 것보다는 가능하면 입고 작업과 출고 작업을 하나의 쌍으로 묶어서 이중 명령으로 처리하는 것이 주행시간을 절감할 수 있다. 여기서는 이러한 동수의 입고와 출고 작업으로 이루어진 작업 묶음을 이중 명령으로 처리해야 할 경우에 대하여 기대 주행시간을 산출하고자 한다.

입고 후 출고 작업 순으로 진행되는 이중 명령에 의하면 <그림 4>에서 보는 것처럼 한 쌍의 저장 및 입고 작업이 순서대로 처리되어야 하기 때문에 단일 명령에 의한 입고나 출고 작업 시 고려해야 할 승강기와 저장/불출 기계 사이의 시간상 불일치에 의해서 야기되는 대기시간이 없다. 이중 명령의 한 주기가 끝나면 승강기는 출고 후 1층 입출고점이 위치하고 저장/불출 기계는 출고해야 할 팰릿을 입출고점에 운반하였기 때문에 역시 자동창고의 입출고점에 위치하게 된다. 그러므로 이중 명령에 의한 주행 작업은 승강기가 1층 입출고점에서 입고해야 할 팰릿을 집고 2층의 자동창고 입출고점으로 가서 저장 불

출 기계에 인도하는 작업으로부터 시작된다. 다음으로, 저장/불출 기계는 저장 위치로 가서 저장을 한 후, 출고 팔렛의 위치로 이동하여 요구되는 팔렛을 꺼낸 다음 다시 입출고점으로 와서 이를 승강기에 인도한다. 마지막으로 승강기는 출고된 팔렛을 가지고 1층 일반창고의 입출고점으로 귀환한다. 이러한 일련의 주기에 대한 총 주행시간은 t_{tb} 를 입고 공간과 출고 공간 사이의 이동시간이라 할 때

$$w_d = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + 6T_p = 2b + 2t_s + t_{tb} + 6T_p$$

이다.

t_s 와 t_{tb} 의 기대시간은 Bozer and White (1985)로부터

$$E(t_s) = 1/2 + b^2/6, E(t_{tb}) = 1/3 + b^2/6 - b^3/30$$

이므로 일반 자동창고 모듈에서의 이중 명령 기대 주행시간 $E_0(DC) = 2E(t_s) + E(t_{tb})$ 라 하면 구조 I의 이중 명령 주행시간은

$$E^I(DC) = E(w_d) = E_0(DC) + 2b + 6T_p = 4/3 + b^2/2 - b^3/30 + 2b + 6T_p$$

가 된다.

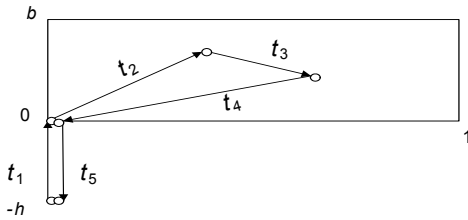


그림 4. 구조 I에서 이중 명령에 의한 작업 처리 과정.

3.2 구조 II의 기대 입출고 작업당 주행 시간

3.2.1 입고 작업의 단일명령 주행시간

시스템 구조 II는 <그림 2>의 (b)에서 보는 것처럼 통로 한쪽에서는 팔렛이 입고되고 나머지 다른 한쪽으로는 출고되는 형태를 취하고 있다. 이 구조의 경우 입고 단일 명령이 왼쪽에서, 출고 단일 명령은 오른쪽에서 분리되어 처리된다는 것을 제외하면 승강기와 저장/불출 기계의 처리 과정은 구조 I과 동일하다. 그러므로 입고 작업의 단일 명령 주행시간 $E_s^{II}(SC)$ 는

$$E_s^{II}(SC) = E_s^I(SC)$$

이다.

3.2.2 출고 작업의 단일 명령 주행시간

시스템 구조 II에서의 출고 작업의 단일 명령 기대 주기시간 역시 구조 I의 결과와 동일하므로 $E_r^{II}(SC) = E_r^I(SC)$ 가 된다.

3.2.3 이중 명령에 의한 저장 및 입고 작업의 기대 주행시간

구조 II에서는 입고점과 출고점이 다르기 때문에 구조 I과는 이중 명령 처리 과정이 약간 다르다. <그림 5>에서 보면 승강기는 구조 I의 단일 명령에 의한 입고 작업을 처리하는 경우와 같이 前주기에서 팔렛을 가지고 자동창고의 입고점으로 이동하여 내려놓은 후, 이번 주기에서는 바로 1층의 입출고점으로 귀환하여 입고 팔렛을 준비해 자동창고의 입고점으로 이동하게 된다. 자동창고의 출고점에 있는 승강기의 처리 과정도 입고점에서와 유사한데 前주기에서 출고된 팔렛을 1층의 출고점으로 이동하고 다시 자동창고의 출고점으로 가서 자동창고에서 출고될 팔렛을 기다리게 된다. 한편 저장/불출 기계는 입고될 팔렛을 승강기로부터 인도받아 저장 위치로 이동하여 입고시킨 후 다음 출고해야 할 팔렛이 있는 위치로 주행하여 팔렛을 꺼낸 후 출고점으로 이동하여 승강기로 넘겨준다. 이후 다음 입고 작업을 위하여 입고점으로 이동한다. 이러한 이중 명령 작업에서 승강기와 저장/불출 기계 사이에 시간상의 불일치로 인하여 대기해야 할 경우가 입고점과 출고점 모두에서 발생할 수 있다. $W(S)$ = 입고점에서의 대기시간, 그리고 $W(R)$ = 출고점에서의 대기시간이라 정의하고, 저장/불출 기계의 입장에서 대기시간을 생각해 보면 이들은

$$W(S) = \max(t_{1-1} + t_{2-1} + T_p - (t_{1-2} + t_{2-2} + t_3 + W(R) + t_4 + 3T_p), 0) \\ = \max(2b + T_p - (t_{1-2} + t_{2-2} + t_3 + W(R) + 1 + 3T_p), 0) \quad (2)$$

$$W(R) = \max(t_{1-1} + t_{2-1} + T_p - (t_{1-2} + t_{2-2} + t_3 + W(S) + t_4 + 3T_p), 0) \\ = \max(2b + T_p - (t_{1-2} + t_{2-2} + t_3 + W(S) + 1 + 3T_p), 0) \quad (3)$$

이 된다. 그런데, 1층의 일반창고 높이가 자동창고의 길이를 초과하는 경우가 현실적으로 거의 없을 것이기 때문에 $b < 1 + T_p$ 으로 가정할 수 있다. 그러므로

$$t_{1-2} + t_{2-2} + t_3 + W(R) + 1 + 3T_p \geq W(R) + 2 + 3T_p \geq 2 + 3T_p \geq 2b + T_p$$

$$t_{1-2} + t_{2-2} + t_3 + W(S) + 1 + 3T_p \geq W(S) + 2 + 3T_p \geq 2 + 3T_p \geq 2b + T_p$$

가 각각 성립한다. 따라서, 식 (2)와 (3)에서 $W(S) = W(R) = 0$ 이 된다. 이 것으로부터 이중 명령에 의한 주행시간은

$$w_d = t_{1-2} + t_{2-2} + t_3 + 1 + 4T_p$$

이 되므로, 구조 II의 이중 명령에 의한 기대 주행시간은

$$E^{II}(DC) = E(w_d) = E(t_{1-2} + t_{2-2} + t_3 + 1 + 4T_p) = E_0(DC) + 1 + 4T_p \\ = 7/3 + b^2/2 - b^3/30 + 4T_p$$

이다.

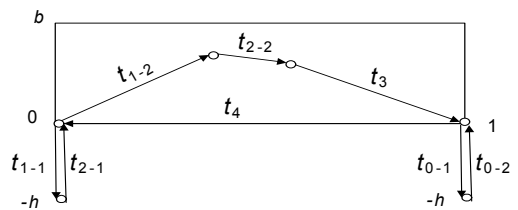


그림 5. 구조 II에서 이중 명령에 의한 작업 처리 과정.

3.3 구조 III의 기대 입출고 작업당 수행시간

3.3.1 입고 작업의 단일 명령 수행시간

시스템 구조 III는 통로 양쪽에서 팰릿이 입출고될 수 있는 유형이다. 이 구조의 경우 입고 단일 명령이 좌우에서 임의로 이루어질 수 있기 때문에 前주기의 입고 위치에 따라 주행 경로가 달라지는 특성이 있다. 이 경우 S₁과 S₂를 각각 왼쪽 및 오른쪽 통로에서의 입고 작업이라 할 때, 前주기-現주기-次주기로 구성된 일련의 입고 작업에 있어서 서로 다른 유형은 모두 S₁-S₂-S₁, S₂-S₁-S₂, S₁-S₂-S₂, S₂-S₁-S₁, S₁-S₁-S₁, S₂-S₂-S₂, S₁-S₁-S₂, S₂-S₂-S₁의 8가지 경우이다. 이 중에서 S₂-S₁-S₂는 S₁-S₂-S₁와 S₂-S₁-S₁는 S₁-S₂-S₂와 그리고 S₂-S₂-S₂, S₁-S₁-S₂, S₂-S₂-S₁는 S₁-S₁-S₁의 경우와 주행 행태가 동일하기 때문에 실제로 서로 다른 유형은 S₁-S₂-S₁, S₁-S₂-S₂, S₁-S₁-S₁의 모두 세 가지뿐이다.

a. 유형 1 - S1-S2-S1의 기대 수행시간

이 유형에서는 前주기에 왼쪽에서 입고(S₁)가 이루어졌고 現주기에서는 오른쪽에서 입고(S₂)되며 다음 주기에서는 다시 왼쪽으로 입고(S₁)되는 경우이다. 이 경우 <그림 6>에서 보면 前주기에서 오른쪽 승강기는 입고해야 할 팰릿을 가지고 자동창고의 입출고점으로 이동하였고(t₀), 現주기에서는 저장/불출 기계가 이를 받아서 저장 위치에 입고(t₁)한 후 왼쪽의 입출고점으로 이동한다(t₂). 이 때 왼쪽과 오른쪽 모두에서 승강기와 저장/불출 기계 사이의 대기시간은 입고가 왼쪽과 오른쪽에 걸쳐 번갈아서 일어나기 때문에 그 시간 간격이 승강기의 1주기 시간(2b+T_p) 보다 현저히 크기 때문에 무시할 수 있다. 즉, S₂-S₁ 작업을 수행하는 기간(2t₁+2t₂+3T_p) 동안 승강기가 입고점에 갔다가 오는 시간을 비교해 보면

$$2t_1 + 2t_2 + 3T_p \geq 2 + 3T_p \geq 2b + T_p$$

가 되므로 대기시간은 발생하지 않는다. 그러므로 입고 작업의 단일 명령 주기시간 w_s는 w_s = t₁+t₂+2T_p가 된다. 여기서 다음 Property 1이 성립하므로 유형 S₁-S₂-S₁ 입고 작업의 단일 명령 기대 수행시간 E_{S₁₂₁}^{III}(SC)는 다음과 같다.

$$E_{S_{121}}^{III}(SC) = E(w_s) = 2E(t_s) + 2T_p = 1 + b^2/3 + 2T_p$$

Property 1. 하나의 입출고점으로부터 자동창고 내 임의의 한점을 거쳐 다른 한쪽의 입출고점으로 이동하는 기대시간은 단일 명령에 의한 기대 입고시간과 같다. 즉, E(t₁+t₂) = 2E(t_s)가 성립한다 (Proof. Lee(2004) 참고).

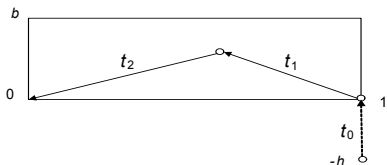


그림 6. 구조 III에서 단일 명령에 의한 입고 작업(S₁-S₂-S₁ 유형)의 처리 과정.

b. 유형 2 - S1-S2-S2의 기대 수행시간

이 유형에서는 前주기에 왼쪽에서 입고(S₁)가 이루어졌고 現주기에서는 오른쪽에 입고(S₂)되며 다음 주기에서는 다시 오른쪽으로 입고(S₂)되는 경우이다. 이 경우도 유형 1과 같은 방법에 의하여

$$E_{S_{122}}^{III}(SC) = 1 + b^2/3 + 2T_p$$

가 됨을 알 수 있다.

c. 유형 3 - S1-S1-S*의 기대 수행시간

이 유형은 구조 I의 단일 명령에 의한 입고 작업 기대 수행시간과 동일하므로

$$E_{S_{11*}}^{III}(SC) = E^I(SC)$$

이다.

이상의 결과를 종합하면 8가지 입고 유형들이 임의적으로 발생한다고 할 때

$$E_s^{III}(SC) = (E_{S_{121}}^{III}(SC) + E_{S_{122}}^{III}(SC))/4 + E_{S_{11*}}^{III}(SC)/2$$

$$= b^2/3 + 1 + b^3/(3b) + 2T_p, \text{ if } b \leq b$$

$$b^2/6 + 1/2 + (1 + b^2)/2 + 2T_p, \text{ if } b < b \leq 1$$

$$b^2/6 + 1/2 + b + 2T_p, \text{ if } 1 < b$$

가 된다.

3.3.2 출고 작업의 단일 명령 수행시간

시스템 구조 III에서의 출고 작업의 단일 명령 기대 주기시간은 입고 작업의 경우와 유사하게 유도될 수 있고, 그 결과는 입고 작업인 경우의 결과와 동일하므로 E_R^{III}(SC) = E_S^{III}(SC)이다.

3.3.3 이중 명령에 의한 저장 및 입고 작업의 기대 수행시간

구조 III에서는 입출고점이 통로 양쪽에 있으므로 입출고 작업이 다양하게 이루어진다. 이중 명령이 연속으로 이루어지기 때문에 前주기의 출고 위치에 따라 주행 경로가 달라진다. R₁과 R₂를 각각 왼쪽 및 오른쪽 통로에서의 출고 작업이라 할 때, 일련의 이중 명령 작업 “S_i-R_j”에 있어서 바로 앞과 뒤의 작업 유형을 고려하면 서로 다른 유형은 모두 R₁-S₁-R₁-S₁, R₁-S₁-R₁-S₂, R₁-S₁-R₂-S₁, R₁-S₁-R₂-S₂, R₁-S₂-R₁-S₁, R₁-S₂-R₁-S₂, R₁-S₂-R₂-S₁, R₁-S₂-R₂-S₂의 8가지 경우이다. R₂-S₂-R₂-S₂ 유형들은 R₁-S₂-R₂-S₂ 유형과 비교하면 위치가 반대일 뿐, 주행 행태가 동일하기 때문에 이상의 8가지 유형만 고려하면 된다.

a. 유형 1 - R1-S1-R1-S1의 기대 수행시간

이 유형에서는 S₁-R₁ 주기가 반복되는 것이기 때문에 이 유형의 이중 명령 기대 수행시간 E₁^{III}(DC) = E^I(DC)이다.

b. 유형 2 - R1-S1-R1-S2의 기대 수행시간

이 유형에서는 유형 1과 같으나, 불출해야 할 팰릿을 가지고

입출고점으로 와서 승강기에 그 팔릿을 인도한 후 다음 주기의 시작을 위하여 오른쪽 입출고점으로 이동(<그림 7>에서 t_6)해야 하므로 <그림 7>의 t_5 에 해당하는 시간은 주행시간에 포함되지 않는다는 점이 다르다. 그러므로 유형 2의 기대 주행시간은

$$E_2^{III}(DC) = E(t_1+t_2+t_3+t_4) + 5T_p = E_0(DC) + b + 5T_p = 4/3 + b^2/2 - b^3/30 + b + 5T_p$$

이다.

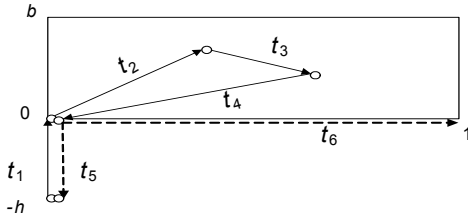


그림 7. 구조 III에서 유형 2의 이중 명령에 의한 작업 처리 과정.

c. 유형 3 - R1-S1-R2-S1의 기대 주행시간

이 유형에서는 前주기에서 왼쪽 입출고점으로 출고 작업이 이루어졌으므로 승강기가 1층에서 입고 대상의 팔릿을 집고 올라올 때까지 기다렸다가 저장/불출 기계가 이를 인도받아서 해당 장소에 입고 처리하고 불출해야 할 팔릿을 가지고 오른쪽 입출고점으로 이동하는 주기로 이루어졌다. 다음 주기에서는 다시 왼쪽 입출고점으로 이동해야 하기 때문에 이러한 이동시간이 불출 팔릿을 1층으로 운반하는 승강기의 작업시간 (t_5)보다 훨씬 크므로 t_5 는 주기시간에 포함되지 않는다. 그러므로 유형 3의 기대 주행시간은

$$E_3^{III}(DC) = E_0(DC) + b + 5T_p = 4/3 + b^2/2 - b^3/30 + b + 5T_p$$

이 된다. 이러한 방법으로 나머지 유형들에 대한 기대 주행시간을 구하면 아래와 같다:

d. 유형 4 - R1-S1-R2-S2의 기대 주행시간

$$E_4^{III}(DC) = E_0(DC) + 2b + 6T_p = 4/3 + b^2/2 - b^3/30 + 2b + 6T_p$$

e. 유형 5 - R1-S2-R1-S1의 기대 주행시간

$$E_5^{III}(DC) = E_0(DC) + 1 + b + 5T_p = 7/3 + b^2/2 - b^3/30 + b + 5T_p$$

f. 유형 6 - R1-S2-R1-S2의 기대 주행시간

$$E_6^{III}(DC) = E_0(DC) + 1 + 4T_p = 7/3 + b^2/2 - b^3/30 + 4T_p$$

g. 유형 7 - R1-S2-R2-S1의 기대 주행시간

$$E_7^{III}(DC) = E_0(DC) + 1 + 4T_p = 7/3 + b^2/2 - b^3/30 + 4T_p$$

h. 유형 8 - R1-S2-R2-S2의 기대 주행시간

$$E_8^{III}(DC) = E_0(DC) + 1 + b + 5T_p = 7/3 + b^2/2 - b^3/30 + b + 5T_p$$

이상의 분석 결과를 종합하면 8가지 입고 유형들이 임의로 발생한다고 할 때

$$E^{III}(DC) = \sum_{k=1}^8 E_k^{III}(DC)/8 = 11/6 + b^2/2 - b^3/30 + b + 5T_p$$

가 된다.

4. 시스템 성능 평가를 위한 단위 작업당 기대 주행시간

창고 시스템의 입출고 처리 성능은 단위 작업당 처리시간인 기대 주행시간의 역수로 표현되므로 여기서는 이를 산출하는 모형을 제시하고 관련 매개변수들에 대한 민감도 분석을 수행한다.

4.1 단위 작업당 기대 주행시간

단위 작업당 기대 주행시간은 입고 주문 작업이나 출고 주문작업을 처리하는 데 소요되는 기대시간을 의미하는데, 이러한 작업들은 상황에 따라서 단일 명령이나 또는 이중 명령으로 처리된다.

주어진 기간 내에 처리되는 입고 주문 작업과 출고 주문 작업의 수가 동일하다고 간주하고 이중 명령에 대한 단일 명령의 비율을 고려하여 단위 작업당 기대 주행시간을 산출한다. 따라서, 구조 i 에서의 단위 작업당 기대 주행시간은 식 (1)로부터 각각 다음과 같이 구해진다:

$$\begin{aligned} E^I(T) &= \alpha E_S^I(SC)/2 + \alpha E_R^I(SC)/2 + (1-\alpha)E^I(DC)/2 \\ &= \alpha E_S^I(SC) + (1-\alpha)E^I(DC)/2 \\ &= (1+\alpha)E(t_s) + (1-\alpha)E(t_{tb})/2 + 2b^3\alpha/(3b) + (1-\alpha)b \\ &\quad + (3-\alpha)T_p, \text{ if } b \leq b \\ &= (1+\alpha)E(t_s) + (1-\alpha)E(t_{tb})/2 + (1-\alpha)b + \alpha(1+b^2) \\ &\quad + (3-\alpha)T_p, \text{ if } b < b \leq 1 \\ &= (1+\alpha)E(t_s) + (1-\alpha)E(t_{tb})/2 + (1+\alpha)b + (3-\alpha)T_p, \text{ if } 1 < b. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E^{II}(T) &= \alpha E_S^{II}(SC) + (1-\alpha)E^{II}(DC)/2 \\ &= (1+\alpha)E(t_s) + (1-\alpha)E(t_{tb})/2 + (1-\alpha)(1+4T_p)/2 \\ &\quad + \alpha(2b^3/(3b)+2T_p), \text{ if } b \leq b \\ &= (1+\alpha)E(t_s) + (1-\alpha)E(t_{tb})/2 + \alpha(1+b^2) + (1-\alpha)/2 \\ &\quad + 2T_p, \text{ if } b < b \leq 1 \\ &= (1+\alpha)E(t_s) + (1-\alpha)E(t_{tb})/2 + (1-\alpha)/2 + 2\alpha b + 2T_p, \\ &\quad \text{if } 1 < b. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E^{III}(T) &= \alpha E_S^{III}(SC) + (1-\alpha)E^{III}(DC)/2 \\ &= (1+\alpha)E(t_s) + (1-\alpha)E(t_{tb})/2 + (5-\alpha)T_p/2 + (b+0.5) \\ &\quad (1-\alpha)/2 + b^3\alpha/(3b), \text{ if } b \leq b \\ &= (1+\alpha)E(t_s) + (1-\alpha)E(t_{tb})/2 + (5-\alpha)T_p/2 + \alpha(1+b^2)/2 \\ &\quad + (b+0.5)(1-\alpha)/2, \text{ if } b < b \leq 1 \\ &= (1+\alpha)E(t_s) + (1-\alpha)E(t_{tb})/2 + (5-\alpha)T_p/2 + \alpha b + (b+0.5)(1-\alpha)/2, \\ &\quad \text{if } 1 < b. \end{aligned}$$

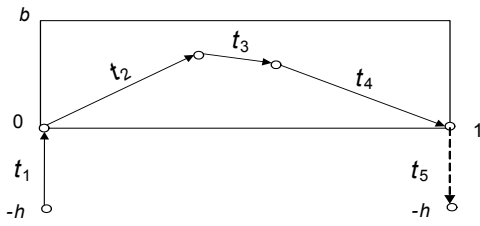


그림 8. 구조 III에서 유형 3의 이중 명령에 의한 작업 처리과정.

4.2 민감도 분석

4.1절에 제시된 단위 작업당 기대 주행시간은 관련된 매개변수인 α, b, T_p 의 값에 따라 달라진다. 여기서는 이 중에서 $\alpha = 0.5, T_p = 0.1$ 일 때 b 와 b 값의 변화에 따른 단위 작업당 기대 주행시간의 변화를 알아보았다. <그림 9>는 $b = 0.1, 1.0$ 일 때 b 값의 변화에 따른 추이를, <그림 10>은 $b = 0.1, 1.0$ 일 때 b 값의 변화에 따른 추이를 각각 보여주고 있다.

<그림 9a>로부터 단위 작업당 기대 주행시간은 b 값에 상당히 민감한데 그 값이 증가함에 따라 “ $E^I(T) < E^{III}(T) < E^{II}(T)$ ”의 관계에서 “ $E^{III}(T) < E^I(T) < E^{II}(T)$ ”를 거쳐서 “ $E^{III}(T) < E^{II}(T) < E^I(T)$ ”의 관계로 변화해 감을 알 수 있다. 이러한 경향은 b 가 커지면 <그림 9b>에서 보는 것처럼 두 번째 관계인 “ $E^{III}(T) < E^I(T) < E^{II}(T)$ ” 이후 “ $E^{III}(T) < E^{II}(T) < E^I(T)$ ” “ $E^{II}(T) < E^{III}(T) < E^I(T)$ ”가 추가되고 마

지막 관계는 동일한 것으로 나타난다. 이것은 구조 II가 우월한 영역이 상당 부분 존재함을 보이고 있는 바, 결국 각 구조 간의 우월성은 매개변수 b 와 b 에 직접적으로 영향을 받기 때문에 초기 설계 시 시스템 성능에 대한 정밀한 분석이 요구된다는 것을 알 수 있다. 그러나 전체적으로 볼 때는 b 가 비교적 작을 경우, 일반적인 단일 입출고점을 갖는 구조 I이 우월하고, 반면에 상당히 클 경우에는 양쪽에 입출고점이 설치된 구조 III가 상대적으로 유리하다는 것을 보여준다.

한편, b 가 일정한 값으로 주어진 경우에는 <그림 10>에서 보는 바와 같이 b 값에 무관하게 구조간에 일정한 우월 관계를 유지한다는 것을 알 수 있다. 즉, $b = 0.1$ 로 주어진 경우 b 값에 상관없이 “ $E^I(T) < E^{III}(T) < E^{II}(T)$ ”의 관계에 있고, $b = 1$ 인 경우에는 “ $E^{III}(T) < E^{II}(T) < E^I(T)$ ”의 관계를 나타내고 있는데, 이는 <그림 9>에서 도출된 결과와 일치한다.

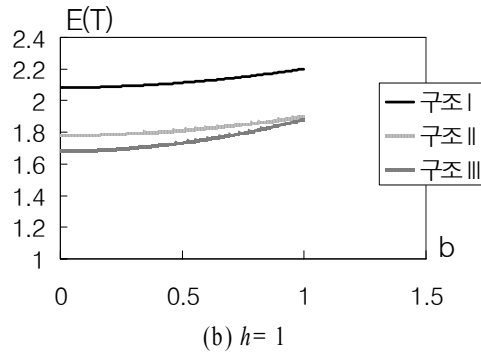
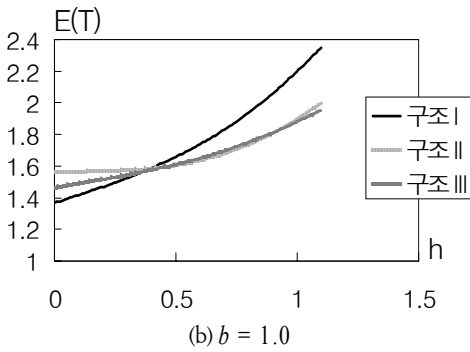
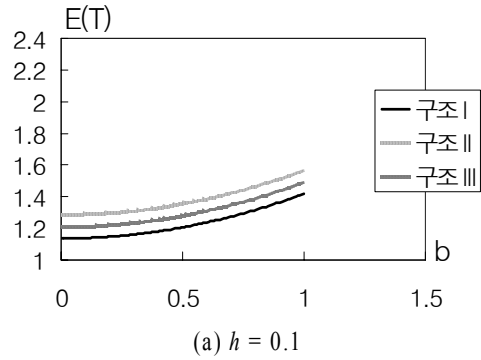
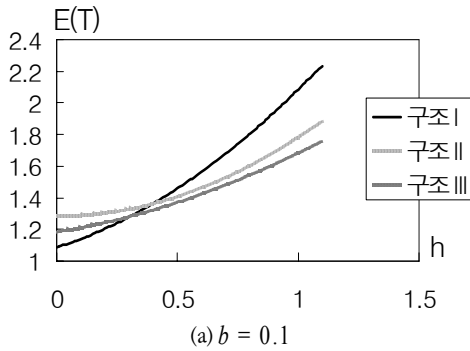


그림 9. b값에 대한 구조별 단위 작업당 기대 주행시간의 추이.

그림 10. b값에 대한 구조별 단위 작업당 기대 주행시간의 추이.

5. 결론

본 연구에서는 다품종 소량생산 시스템을 취하고 있고 공장 부지가 상대적으로 협소한 특성을 지닌 중소기업에 적합한 창고 시스템을 제안하였다.

제안된 창고 시스템은 여러 가지 종류의 물자재를 보관할 수 있도록 상하 2층으로 이루어져 있는데 하층의 일반창고와

상층의 단위 부하 자동창고 모듈이 결합된 혼합형 자동창고이다.

이러한 시스템 중 자동창고 부분은 한번 설치가 되면 이를 확장하거나 변경하기 어려우므로 초기 설치 시 입출고 작업 처리 능력에 대한 성능 평가가 정확하게 이루어져야 하므로 본 연구에서는 승강기와 저장/불출 기계의 이동 상황을 동시에 고려한 단위 작업당 기대 주행시간을 산출하는 모형을 제시하였다.

자동창고 시스템의 구조 설계 시, 본 연구 결과가 주요한 참고로 활용될 수 있을 것으로 생각되는데 한 예로서, 1층과 2층 사이의 승강기 이동시간인 h 가 비교적 작을 경우에는 b 값에 상관없이 단일 입출고점을 갖는 구조 I을, 반면에 클 경우에는 구조 III를 취하도록 설계하는 것이 바람직할 것이다.

이러한 분석 방법은 부지 확보의 어려움에 직면해 있는 많은 중소기업은 물론 대기업에서도 유연성 있는 혼합형 자동창고의 설계 및 도입에 중요한 지침이 될 수 있을 것이다.

참고문헌

- Ashayeri, J., Gelders, L. F., and VanWassenhove, L. (1985). A micro computer-based optimization model for the design of automated warehouses. *International Journal of Production Research*, 23(4), 825-839.
- Bozer, Y. A. and White, J. A. (1984). Travel time models for automated storage/retrieval systems. *IIE Transactions*, 16(4), 329-338.
- Kim, B.-I., Heragu, S. S., Graves, R., and Onge, A. ST. (2003). Clustering-based order-picking sequence algorithm for an automated warehouse. *International Journal of Production Research*, 41(15), 3445-3460.
- Lee, M.-K. (2004). Lecture note on material handling, Keimyung university.
- Liu, F. F. (1992). Travel time models for partitioning block- and L-shaped storage zones for AS/RS. *Proceedings of the International Material Handling Research Colloquium*, Milwaukee, Wisconsin, 283-302.
- Sarker, B. R. and Babu, P. S. (1995). Travel time models in automated storage/retrieval systems: A critical review. *Int. J. Production Economics*, 40, 173-184.
- Tompkins, J. A. and White, J. A. (1984). *Facilities Planning*, John Wiley & Sons, USA.
- Wen, U. P., Chang, D. T., and Chen, S. P. (2001). The impact of acceleration/deceleration on travel-time models in class-based automated S/R systems. *IIE Transactions*, 33, 599-608.



이 문 규

서울대학교 산업공학과 학사

KAIST 산업공학과 석사

KAIST 산업공학과 박사

현재: 계명대학교 산업시스템공학과 교수

관심분야: 물류시스템, 인공지능 응용, 생산 자동화