

전문가시스템과 수리모델을 이용한 이형랙을 가진 자동창고 최적 설계 시스템 개발[†]

이영해¹ · 전성진²

¹한양대학교 산업공학과 / ²한국국방연구원

Development of Optimal Design System for AS/RS with Different Sized Cells Using Expert Systems and Mathematical Models

Young-hae Lee¹ · Seong-jin Jun²

The Automated Storage/Retrieval System (AS/RS) is very expensive to be built. But there are few tools available which can be used to design the storage systems optimally considering overall system building costs and constraints. In this paper, we propose a design support system for optimal design of AS/RS which includes different sized cells using expert systems and mathematical models considering customer's demands. The optimization models are to be used to minimize the total cost including building, equipment and operation costs. Expert system technique is utilized for using the experiences of skilled designers. By using the proposed system, AS/RS can be designed accurately, economically and efficiently.

1. 서론

최근 기업들 사이에 경제 성장으로 인한 생산 물량의 증대와 토지 가격의 상승 및 임금 인상 등으로 인하여 자동창고에 대한 관심이 높아지고 있다. 또한 시장환경의 특징이 다품종소량생산으로 변화하였으며, 시장 다변화에 따른 생산계획의 빈번한 변화, 수명 주기의 단축, 단납기화, 품질의 고신뢰성 등의 추세를 따르고 있으며, 최근 노동력 부족현상이 심각해지는 가운데 컴퓨터와 각종 기계, 전자 기기의 발달로 물품을 효율적으로 저장하고 관리를 용이하게 하는 자동창고시스템(Automated Storage and Retrieval System; AS/RS)에 대한 설계 및 제작이 많이 진행되고 있다(과학기술처, 1991; Tompkins *et al.*, 1996).

자동창고의 도입은 초기에는 일반 기계, 전기/전자, 자동차, 화학, 식품 등의 분야에서 시작되었으나, 최근에는 공장자동화의 일환으로 생산공정상의 기계가공, 조립부문으로 다양화되고 있으며, 그 밖의 종합 물류시스템 구축의 일환으로서 서비스 및 유통업분야 등으로도 확산되고 있다. 즉 대형 보관 기능 중심의 창고에서 종합 물류시스템상의 중간 창고로서의 기능이 더욱 중요시되고 있다(Tompkins *et al.*, 1996).

국내 기업체의 매출액 대비 물류 비용은 약 17.3%로서 경쟁국(미국: 7.0%, 일본: 11.3%) 보다 매우 높은 편으로 이를 해결

하기 위하여 물류자동화가 이루어져야 하며 자동창고는 물류자동화를 위한 핵심기로서 유연생산시스템(FMS), 컴퓨터통합생산(CIM), 공장자동화(FA) 등과 연계되어 생산자동화의 구축을 위한 필수 설비이다(과학기술처, 1991).

그러나 자동창고의 도입에 있어서 고려해야 할 사항으로는 초기 투자비가 크다는 것과 고도의 관리능력이 요구되며, 또한 소프트웨어에 이상 발생시 전체 시스템에 장애가 발생한다는 점 등이 있다. 따라서 기업에서 자동창고를 도입하고자 하는 경우에는 자동창고의 도입이 기업의 물류처리 특성, 즉 입출하시 물동량 및 차량의 종류와 시간 등과 관련하여 적합한지의 여부를 신중히 고려하여 결정하여야 한다.

지금까지의 자동창고시스템은 단위하물(unit load)을 저장할 수 있도록 동일한 크기의 셀을 가진 랙(rack)으로 설계 및 설치되어 초기 투자비가 크고 건설 후 시스템의 변경이 용이하지 못하였다. 따라서, 앞으로는 다품종 소량생산과 급변하는 기업 환경에 신속하게 대응하기 위하여 물품을 보관하는 셀들이 단일 크기가 아닌 이형 랙을 가지는 자동창고들이 설치되어 기존의 자동창고의 유연성을 향상시키고, 높은 효율의 저장공간을 유지할 것으로 생각된다(이영해 등, 1988; 전성진 등, 1997).

자동창고 설계시 필수적인 사항은 자동창고의 필요한 기능을 정확히 파악하고, 수요자가 제공하는 데이터를 정확히 파악하여 최적의 효율적인 운영안을 결정하고, 자동창고의 핵심

[†] 이 논문은 1997년 한국학술진흥재단의 자유공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

부분인 랙부에 대한 성능과 가격, 그리고 안전 측면에서 최적 설계가 가능하게 여러 가지 대안을 제시하여 주는 것이 필요하다.

본 논문에서는 단위 셀의 크기가 같은 동형 랙과 크기가 다른 이형 랙 모두를 포함하는 자동창고의 최적 설계를 위해, 전문가시스템을 이용한 자동창고시스템 소요 면적의 설계, 자동창고의 수행도 평가를 위한 스택커 크레인의 기대 주행시간을 위한 수리모델, 최적 설계를 위한 최적화 모델과 알고리즘 등을 이용하여 개발된 자동창고의 최적 설계를 위한 통합 지원 시스템을 중심으로 기술한다.

2. 자동창고 시스템의 설계 및 운영

자동창고시스템의 구성요소로는 물품을 보관하는 단위 셀(cell), 셀들로 구성된 저장 랙(storage rack), S/R(storage/retrieval) 기계인 스택커 크레인(stacker crane; S/C), 입출고지점(I/O point) 등으로 구성되며, 그 외의 설비로는 컨베이어, 지게차, 무인운반차 등 입출하 장비와 기타 제어장치 등으로 구성되어 있다. 현실적으로 자동창고 운영방식은 처리하는 물품의 특성과 요구되는 물동량에 따라 다양할 수 있다(Tompkins *et al.*, 1996).

자동창고시스템의 운영방법은 각각의 열(aisle)에 각각 한 개씩의 스택커 크레인을 가지고 있으므로 1개의 열에 대한 스택커 크레인의 운영방법을 각 스택커 크레인에 적용하면 된다. 따라서 1개의 열의 양면에 있는 랙을 고려할 경우, 1건의 입고 주문과 1건의 출고 주문을 처리할 경우 스택커 크레인의 움직임은 2차원 평면에 표시할 수 있다. 창고의 총 저장공간은(단(level)수×행(bay)수×열수×2)로 계산된다.

자동창고시스템의 효율적인 운영을 위하여 저장공간의 활용률을 극대화하고 입출고의 효율을 증대시키는 저장방법으로는 임의 저장법(randomized storage), 할당 저장법(turnover or full class based storage), 그리고 등급별 저장법(class based storage) 등으로 구분된다. 스택커 크레인의 주문 처리 명령 방법은 단일 명령(single command)과 이중명령(dual command)으로 구분되며, 자동창고시스템의 수행능력의 평가기준으로는 스택커 크레인의 운행시간(travel time), 시스템의 처리량(system throughput), 랙과 스택커 크레인의 이용률, 입출고 명령의 대기시간 등으로 된다(Bozer and White, 1984; Eynan and Rosenblatt, 1994; Han *et al.*, 1987; Hausman *et al.*, 1976; Hwang and Ko, 1988; Hwang and Lim, 1993; Hwang and Lee, 1990; Lee, 1997; Pan and Wang, 1996).

자동창고의 최적설계에 관한 문제에 대한 해결방안으로서 수리계획방법과 시뮬레이션 방법이 있다. 수리계획방법은 Karasawa *et al.*(1980), Ashayeri *et al.*(1985), Knapp and Wang (1992) 등이 연구하였는데, 그들은 목적함수를 저장공간의 설치비용, 스택커 크레인의 비용, 건설비 등의 초기투자비용과 유지비용 등의 운영비용을 최소화하는 것으로 결정하고 이에 대한 제약

조건으로는 사용부지의 제약, 스택커 크레인의 물품처리능력, 저장 방법 등을 포함시켰다.

시뮬레이션에 의한 연구로는 Bafna and Reed (1972), Emerso and Schmatz (1981), Rosenblatt *et al.*(1993), 황학 등 (1995)이 개발한 모형이 있으며, Shunmugam *et al.*(1985)은 비용을 거리단위로 환산하여 이동거리를 최소화함으로써 전체 비용을 최소화할 수 있는 모델을 개발하였다.

자동창고시스템을 설계할 때에는 다양한 랙 규모와 설비의 대안이 상존하고 있다. 창고의 규모를 결정하고, 적절한 설비의 사양을 선택하고, 우수한 운영, 보관정책을 선택하는 것이 창고설계의 주된 관심사가 된다. 그러나, 이러한 일은 다양한 창고 규모로 인하여 어려운 작업이 된다.

이형 랙을 가진 자동창고란 단위 랙의 길이와 너비는 같고 높이만 다른 경우 또는 단위 랙의 높이와 너비는 같고 길이만 다른 경우를 하나의 자동창고시스템에 구성하는 것이다. 단위 랙의 너비가 다른 경우 또는 길이와 높이가 동시에 다른 경우에는 하나의 시스템에 적용하는 것이 불가능하다. 이형 랙을 이용하여 자동창고를 구성할 경우 크게 두 가지 방법이 있다. 한 가지 방법은 이형 랙에 따라 열(aisle)을 분리하여 구성하는 경우이고, 다른 한 가지는 동일한 열에 이형 랙을 구성하여 일체화시키는 경우로 나누어진다. 이형 랙을 동일한 열에 구성하여 구역(zone)별로 구분하여 시스템을 구성할 때, 단위 랙의 길이와 너비는 같고 높이만 다른 경우와 단위 랙의 높이와 너비는 같고 길이만 다른 경우가 존재한다(이영해 등, 1998; 전성진 등, 1997).

3. 자동창고의 최적 설계를 위한 통합지원시스템

3.1 시스템의 구성

자동창고시스템 설계는 <그림 1>과 같은 흐름도로 나타낼 수 있고, 최적 설계를 위한 통합지원시스템의 구성은 <그림 2>와 같이 기초 데이터 분석 모듈, 소요면적 결정 모듈, 입출하장 설비선정 전문가시스템 모듈, 랙부 최적설계 모듈, 랙부 물량 산출 모듈, 자동 도면 생성 모듈, 수행도 평가지원 모듈 등으로 구성된다. <그림 3>은 개발된 시스템의 초기 화면이다.

3.2 기초 데이터 분석 모듈

창고설계를 위하여 필요한 가장 중요한 모듈로서 PQ(Product Quantity) 분석 및 거래선 분석을 통하여 얻을 수 있다. 이러한 기초 데이터 분석은 창고설계시 적합한 창고형태 및 창고의 운영방법을 결정하는 가장 중요한 정보를 제공한다. 데이터 분석 모듈은 사업주로부터 제공받은 여러 가지의 자료를 분석하는 도구로써, 주어진 데이터는 테이블 형태로 변환

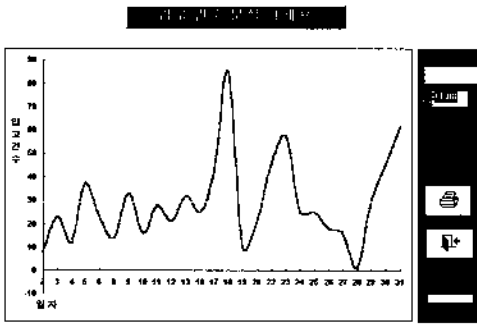


그림 6. 입고건수 분석 그래프 화면.

출하장뿐만 아니라 검품장, 분류장, 포장장, 반송장, 그 외의 면적으로는 사무실, 화장실, 회의실, 탈의실, 샤워실, 비상계단, 엘리베이터, 차량의 회전반경을 고려한 차량의 동선과 대기공간 등으로 구분할 수 있다. 이러한 자동창고의 각 단계별 소요면적은 기초 데이터 분석에 의해서 결정된다.

초기의 입력 데이터는 물류 시스템의 데이터 분석으로 종류별 재고량과 출하량을 출하량이 많은 제품의 종류순으로 나열하기도 하고 주문량이 많은 거래선순으로 나열해 검토하는 ABC분석방법이 있다. 효율적인 물류 시스템의 검토에는 주문내용의 IQ(Item Quantity)분석과 EQ(Enquire Quantity)분석만으로는 충분하지 못하며, 따라서 각 주문별로 어떤 종류(I)의 제품을 어느 정도의 수량을 주문했는지, 주문(E)과 그 주문(E)내용의 I와 Q의 관계분석, 다시 말해서 EIQ 분석이 필요하다.

이와 같이 초기의 데이터를 분석하여 자동창고의 규모와 창고의 형태를 개념적으로 파악하고 사업주의 방침을 고려하여 물품이 직접 입고되는 랙부와 각 단계별 소요면적을 설계할 수 있다. 자동창고의 고유의 기능인 물품을 저장하고, 관리하는 것과 동시에 거래선별이나 차량별로 또는 batch 단위별로 물품을 출하하는 기능은 창고의 생명과도 같은 기능이다. 이러한 자동창고의 본연의 설계 목적을 충족시키기 위해서 저장공간 못지 않게 단계별 소요면적은 매우 중요한 역할을 한다.

그러므로, 기초 데이터의 분석으로 일평균 물동량과 이송용기의 크기와 허용하중 등이 나오면 소요면적이 결정된다. 그리고 입하장과 출하장에는 차량의 대기공간이 함께 고려되어 설계가 되어야 한다.

위에서 이미 언급한 바와 같이 자동창고의 소요면적은 물동량과 반송설비 그리고 작업자가 원활하게 이동할 수 있도록 여유율을 가지고 설계되어야 한다. 입하장에서는 외부의 차량 대기공간이 있어야 하고, 간이 제품적재공간이 있어야 한다. 그리고 출하장도 마찬가지로 차량의 대기공간과 제품의 간이 적재공간이 있어서 원활한 물류의 흐름이 있어야 한다. 소요면적에 있어서 자동창고 내에서 가장 중요한 기능을 하는 것은 바로 출하장이다.

출하장의 제품대기공간은 일평균 출하량과 중량 그리고 출

하방법에 따라서 그 소요면적이 달라진다. 예를 들어, 운영방법으로는 차량별로 출하가 있을 경우 제품의 대기공간은 그다지 많이 필요하지 않다. 검품장은 따로 두지 않는 경우가 많은데, 그 이유는 입하장에서 제품이 차량별로 입하가 되면 작업자는 팔렛 단위로 들어오는 제품의 수량과 품질을 전수검사나 샘플링 검사를 하게 된다. 그러므로 보통의 관례를 따르면 검품장은 별도로 두지 않고 입하장에서 동시에 작업을 한다.

제품이 거래선별로 출하가 되는 경우 분류장을 설계해야 하는데, 이때에는 컨베이어를 이용하여 각각의 거래선별로 Sorter를 이용하여 분류작업을 할 수 있도록 설계를 한다. 작업자는 동시에 제품의 분류와 동시에 포장을 하거나 반품될 제품을 다시 재입고하게 된다.

이와 같이 자동창고의 소요면적은 제품 저장공간인 랙부와 상충관계를 가지고 있다. 자동창고가 원활하게 제 기능을 발휘할 수 있도록 충분한 여유를 가진 소요면적이 레이아웃으로 결정되어야 한다. 이외에도 자동창고 설계시 기타면적을 고려하여 사무실이나 작업자의 업무의 효율을 위해서 샤워실, 탈의실 등을 설계할 수 있다.

따라서 이러한 모든 결정사항이 설계자 각자에 따라 달라지며, 또한 사업주의 경영방침과 주변상황에 따라 다르게 결정되기 때문에 상용 전문가시스템 개발 툴(Smart Element, 1994)을 이용하여 표준화된 룰(rule)을 만들고, 필요에 따라서 룰을 추

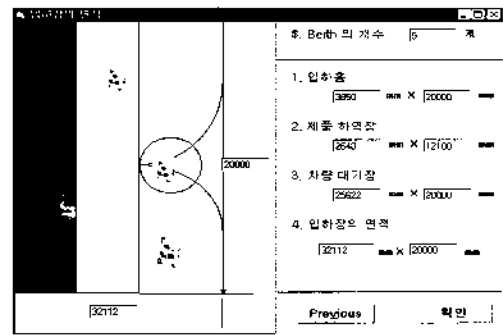


그림 7. 입하장 면적 산출결과 화면.

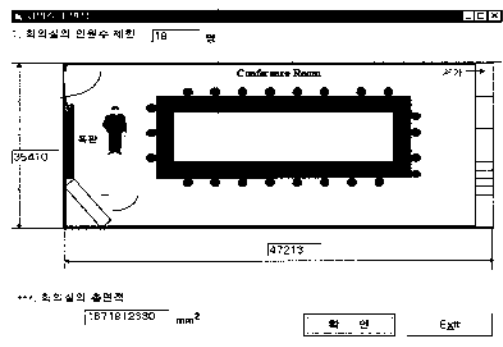


그림 8. 회의실 면적 산출계산결과 화면.

가할 수 있도록 하였다.

소요면적 결정에 대한 사항으로는 입하장, 출하장, 검품장, 반송장, 분류장 및 기타 사무실, 회의실 등으로 구분되며, 입출하량, 부지조건과 화물의 조건 및 작업자수에 따라 각각의 면적산정이 달라지게 된다. <그림 7>은 입하장 면적 산출결과 화면이고, <그림 8>은 식당의 면적 산출결과 화면이다.

3.4 입출하장 설비선정 전문가시스템 모듈

자동참고의 입출하장 설비선정을 위하여 설계자, 즉 전문가의 경험이 중요시되므로 자동참고 수요자의 요구조건을 전문가시스템을 이용하여 반송설비 선정에 영향을 주는 요소와 정보로부터 지식과 수리식을 이용하여 전문가시스템을 구축하였다(<그림 9> 참조). 기존 연구에서 전문가 시스템에서 효과적인 추론을 위하여 확신도(certainty factor)와 퍼지값을 이용하는 방법이 제안되어 있다. 그러나 확신도 계산에서 실제의 값과 반대의 경우가 발생하고, 규칙의 전제조건이 많은 경우와 규칙들 간의 전체적인 관계를 검토할 경우에는 복잡한 계산과정을 거치게 되어 효율이 떨어지는 경우가 발생한다.

본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 규칙을 하나의 시스템으로 파악하고, 신뢰성 이론을 이용한 새로운 추론방법을 제안하고, 제안된 기법을 자동참고 설비 선정 전문가시스템 개발에 적용하였다(이영해 등, 1998).

3.4.1 확신도 계산의 문제점

전문가시스템에서 확신도는 불확실한 증거에 대하여 믿음에 대한 측도를 나타내고 그 범위는 [-1, 1]의 값을 갖는데, 믿음의 정도가 크면 1에 가까운 값을 나타내고 믿음에 대한 정도가 작으면 -1이 된다.

따라서, 확신도는 E(증거, evidence)가 H(가설)에 미치는 믿음에 대한 정도를 나타내는 주관적인 값으로 이것은 확률과 비슷하지만 동일하지는 않은데, 이를 식 (3.1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$CF(H, E) = MB(H, E) - MD(H, E), \quad -1 \leq CF \leq 1 \quad (3.1)$$

여기에서 MB는 믿음의 정도(measure of belief), MD는 불신의 정도(measure of disbelief)를 나타내며 [0, 1] 범위의 값을 부여한다. CF는 확신도로 [-1, 1]의 값을 가지게 되나, 확신도는 확률과 비슷한 개념이므로 MD = 0으로 할 경우 그 범위는 [0, 1]이 된다(Dorkin, 1994).

MB(H, E)와 MD(H, E)는 다음의 식 (3.2), (3.3)에 의해 구해진다.

$$MB(H, E) = \begin{cases} \max\{P(H/E), P(H)\} - P(H) & \text{if } P(H) < 1 \\ 1 & \text{if } P(H) = 1 \end{cases} \quad (3.2)$$

$$MD(H, E) = \begin{cases} \min\{P(H/E), P(H)\} - P(H) & \text{if } 0 < P(H) \\ 1 & \text{if } P(H) = 0 \end{cases} \quad (3.3)$$

확신도의 계산방법은 조건부에 증거가 하나인 경우와 여러 개인 경우로 나누어지는데, 증거가 여러 개인 경우는 다시 AND관계로 연결되어 있거나 OR관계로 연결될 수 있다(Dorkin, 1994).

가설에 대한 확률과 조건부 확률, MD값이 다음과 같이 주어져 있다고 가정하자.

$$\begin{aligned} P(H_1) &= 0.7 & P(H_2) &= 0.2 \\ P(H_1/E) &= 0.9 & P(H_2/E) &= 0.8 \\ MD(H_1/E) &= 0, & MD(H_2/E) &= 0 \end{aligned}$$

식 (3.1)과 (3.2)를 사용하여 MB(H₁/E), MB(H₂/E), CF(H₁/E), CF(H₂/E)를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} MB(H_1/E) &= 0.666 = CF(H_1/E) \\ MB(H_2/E) &= 0.750 = CF(H_2/E) \end{aligned}$$

위에서 P(H₁) > P(H₂)이고 P(H₁/E) > P(H₂/E)에 의해 H₁보다는 H₂의 확률이 높는데 반해, 계산된 MB(H₁/E) = 0.666 = CF(H₁/E)와 MB(H₂/E) = 0.750 = CF(H₂/E)에 의해 증거 E가 일어난 경우 H₁보다는 H₂의 믿음에 대한 정도가 더 높게 나타난다. 이것은 명백한 모순이다(Dorkin, 1994).

확신도를 이용하여 규칙에 대한 믿음 정도를 계산할 때 문제점은 우선 확신도가 확률과 유사하지만 동일하지 않아서 설계자의 주관적인 값이 많고, 계산 결과 실제의 값과 반대 값이 생기는 경우가 발생한다. 그리고 확신도는 임계값의 설정으로 추론시 규칙의 채택, 수정, 제거에 이중작업이 필요하며, 규칙 전체에 대한 확신도 계산은 그 과정이 복잡하고 시간이 많이 소모되므로 결과에 대한 신뢰성이 떨어진다.

3.4.2 신뢰도에 의한 추론

확신도에 의한 규칙의 표현에는 조건부 확신도에서 실제값과 반대의 경우가 생기고, 규칙의 전제조건이 많은 경우와 규칙들 간의 전체적인 관계를 검토할 경우에는 복잡한 계산과정을 거치게 되어 효율이 떨어질 수 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 보강하기 위해 규칙을 하나의 서브 시스템으로 파악하고, 하나의 규칙 내의 조건부들의 관계와 규칙과 규칙에 대한 관계를 신뢰도의 관계로 표현하여 이를 이용한 새로운 추론방법을 제안한다.

신뢰도는 “어떤 시스템이 의도된 용도에 대하여 주어진 기간 동안 가동될 확률”로 정의된다. 그리고 확률이란 어떤 특정한 사상이 발생할 가능성을 의미한다. 따라서, 전문가시스템

의 규칙에서의 조건부의 증거, 가설, 규칙 전체에 대하여 믿음 정도를 계량적인 척도인 주관적인 확률로 가정할 수 있다는 이유로 인하여 신뢰도의 개념을 도입할 수 있다고 생각된다.

하나의 규칙을 보면 조건부의 증거들은 병렬, 직렬 및 혼합 형태로 연결되어 있는 것으로 생각해 볼 수 있다. 병렬구조로 된 규칙의 신뢰도는 식(3.4)와 같이 계산될 수 있다.

$$R = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \tag{3.4}$$

여기에서 R_i 는 규칙내 조건부 i 의 신뢰도이며, n 은 포함된 조건부의 개수이다.

직렬로 된 경우의 신뢰도 계산을 위한 공식은 식(3.5)와 같다.

$$R = \prod_{i=1}^n R_i \tag{3.5}$$

혼합형 규칙의 신뢰도 계산을 위한 공식은 식(3.6)과 같다.

$$R = \left\{ 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \right\} \left\{ \prod_{j=1}^m R_j \right\} \tag{3.6}$$

실제 규칙 기반 시스템의 전체적인 구조를 네트워크로 보면, 직렬과 병렬구조가 혼합되어 있는 혼합형 형태인 경우가 대부분인 것을 알 수 있다.

<표 1>에 자동창고 설비 선정 전문가 시스템에서 사용된 규칙들의 예의 일부가 나타나 있으며, <그림 9>의 구조를 이용한 전문가시스템의 입력과 출력을 위한 화면은 <그림 10>, <그림 11>과 같다.

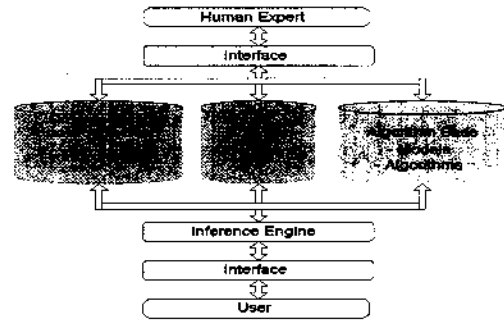


그림 9. 입출하장 설비 선정 전문가시스템 구조.

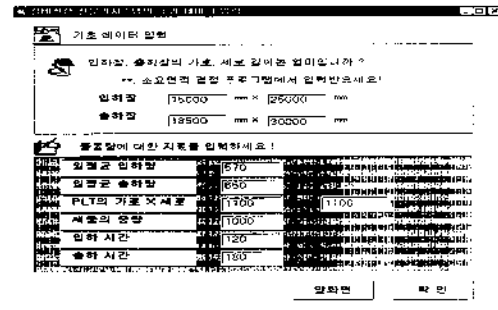


그림 10. 전문가시스템의 초기 데이터 입력 화면.

표 1. 자동창고 설비 선정 전문가시스템에서 사용된 규칙들의 예

Rule1	IF	보관할 제품이 증량물이고, 일일평균 물동량이 X_PLT 이상이거나 또는 땅값이 투자할 설비보다 싸다.
	THEN	C/V나 STV를 사용
Rule2	IF	Rule1이 참이고, 작업자의 수가 X명 이상이다.
	THEN	STV가 유리하다.
Rule3	IF	Rule1이 참이고, 작업자의 수가 X명 이하이거나, 출하방법이 거래선별이다.
	THEN	C/V가 적합
Rule4	IF	Rule3가 참이고, 출하시간이 적거나 물동량이 많다.
	THEN	Data Retrieve "c:\data\conveyor.dbf"
Rule5	IF	Rule2가 참이고, 출하시간의 제약이 없다
	THEN	Data Retrieve "C:\data\stv.dbf"
Rule6	IF	Rule4가 참이고, PLT의 폭이 Y_mm 이상이고 C/V의 허용하중이 W_kg 이상
	THEN	C/O <conveyor> First_satisfied_C/V
Rule7	IF	Rule4가 참이고, PLT의 폭이 Y_mm 이상이고 C/V의 허용하중이 W_kg <= 1000이거나, 예상하는 설계비용이 Z_\$ 이하
	THEN	C/O <conveyor> Chain형 C/V로 설계

check	NO	Weight	Form	Material	width	Speed	Unit Cost	Fix Cost
0	199	811	ROLLER	STEEL	2000	10	811	543
0	200	811	ROLLER	STEEL	2000	12	811	581
0	201	811	ROLLER	STEEL	2000	15	811	591
0	202	811	ROLLER	STEEL	2500	10	1054	570
0	203	811	ROLLER	STEEL	2500	12	1054	621
0	204	811	ROLLER	STEEL	2500	15	1054	621
0	205	1100	ROLLER	STEEL	1200	10	480	536
0	206	1100	ROLLER	STEEL	1200	12	480	536
0	207	1100	ROLLER	STEEL	1200	15	480	600
0	208	1100	ROLLER	STEEL	1500	10	624	583
0	209	1100	ROLLER	STEEL	1500	12	624	583
0	210	1100	ROLLER	STEEL	1500	15	624	630
0	211	1100	ROLLER	STEEL	2000	10	811	581
0	212	1100	ROLLER	STEEL	2000	12	811	581

위의 결과는 수동시 규격의 선택도 검증된 거친 후 다른 최종 화면입니다.

알짜면 확인 ExR

그림 11. 전문가시스템을 수행한 후 결과 화면.

3.5 랙부 최적설계 모듈

주어진 총 부지에서 필요한 면적을 제외하고 나머지 면적에 대하여 필요 저장공간과 단위시간당 입출하 빈도를 고려한 랙부의 최적설계가 이루어져야 한다. 본 연구에서 사용한 수리 모델은 Rosenblatt *et al.*(1993)의 모델을 수정하여, 본 연구에서 대상으로 하는 이형 랙에 대하여 적절하게 수정하고, 또한 구조적인 문제를 해결하기 위한 실제 자동창고시스템의 설계에 적합한 결정변수와 매개변수를 고려하였다(전성진 등, 1997).

자동창고의 최적 설계를 위한 수리적 모델의 간략식은 식 (3.7~3.12) 와 같다 [자세한 운행시간 모델 추정식은 (전성진 등, 1997) 참조].

$$\text{Min. } TD = C_{eq} + C_{co} + C_{op} \quad (3.7)$$

s. t.

$$n_{zi} = N_i \quad \text{for all } i \quad (3.8)$$

$$W_a \leq a \quad (3.9)$$

$$W_b \leq b \quad (3.10)$$

$$W_h \leq c \quad (3.11)$$

$$N_r \leq N_s \quad (3.12)$$

where

$$N_i = n_i / f_w$$

$$W_a, W_b, W_h > 0$$

$$N_{ri}, N_s, N_b > 0 \quad \text{and integer}$$

목적함수 식 (3.7)은 설비비용과 건축비용 그리고 운영비용

의 합을 최소화하는 것이다. 설비비용은 스택어 크레인의 설치비용, 컨베이어 설치비용, 랙 구조물 설치비용의 합이며, 건축비용은 기초공사 및 지붕공사비용, 벽공사비용, 토지구입비용의 합이며, 운영비용은 설비운영비와 설비 감가상각비를 더한 금액으로 나타난다.

식 (3.8)은 구역별 총 저장공간(n_{zi})의 제약조건이며, N_i 는 zone- i 에 필요한 저장공간에 창고의 여유율을 나눈 값이 된다. 식 (3.9)~ (3.11)은 주어진 부지에 대하여 길이방향, 너비방향, 높이방향에 대한 제약조건을 각각 나타낸다. 식 (3.12)는 S/C의 수는 요구되는 수행도를 만족하는 S/C의 대수(N_r) 보다 커야 한다는 제약조건이다.

앞에서 제시한 최적화 모델은 비선형 혼합정수계획 모델로서 일반적인 이형 랙을 가진 자동창고시스템에 적용할 수 있다. 그러나 최적화 모델의 정확한 적용과 계산이 어렵고, 실제로 현장에서 사용하기에 어려운 점이 있기 때문에 현장에 적합한 효율적 알고리즘을 개발하는 것이 매우 실용적이다. 또한 최적화 모델에서 제시한 제약식 등에는 실제 현장에서 적용 또는 제작이 가능한 조건을 제시하기 어려우며, 비록 모든 경우를 탐색해야 하는 개선의 여지는 있지만 현실을 반영한 휴리스틱 알고리즘을 개발하는 것이 필요하다.

개발된 휴리스틱 알고리즘의 기본적인 접근방법은 먼저 1) 알고리즘에 필요한 랙 구조의 가능해 집합을 도출하고, 2)그 집합을 이용하여 스택어 크레인의 최대/최소 주행/승강속도를 적용하여 평균운행시간의 가능해를 계산한 후에 3)가능해 중에 최소의 비용을 선택하는 것이다. 본 연구에서 사용한 휴리스틱 해법의 절차는 <그림 12>와 같다(이영해 등, 1998). 이러한 해법에 따라 구성된 프로그램이 <그림 13>, <그림 14>에 나타나 있다.

3.6 랙부 물량 산출 모듈

랙 최적화 모듈에서 계산된 자동창고의 행수, 열수, 단수를 이용하여 철골구조의 물량을 산출하는 모듈로서 철골구조의

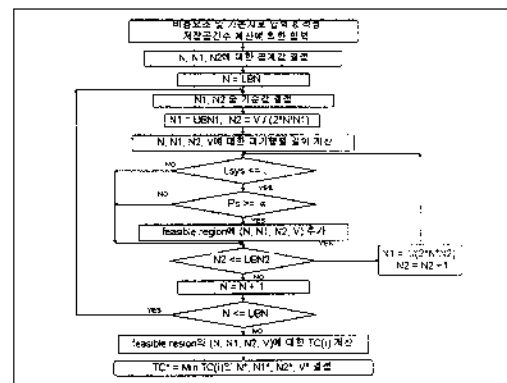


그림 12. 랙 최적화를 위한 휴리스틱 해법 순서도.

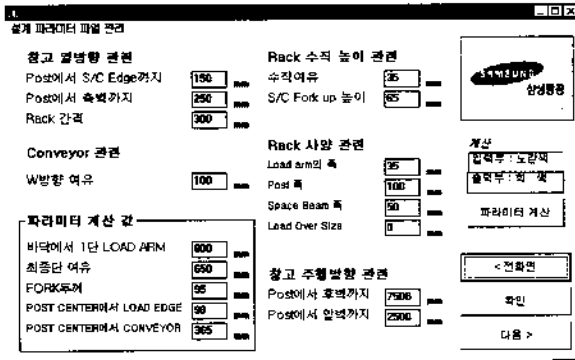


그림 13. 랙 최적화를 위한 입력자료 및 매개변수.

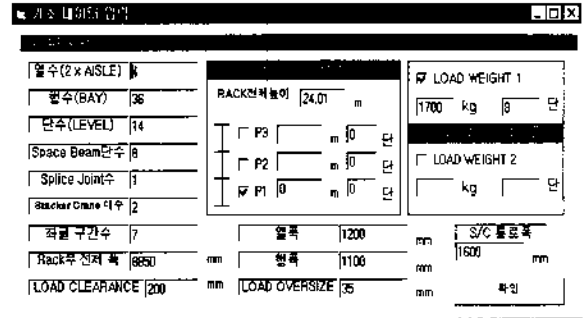


그림 16. 물량산출을 위한 데이터 입력 화면.

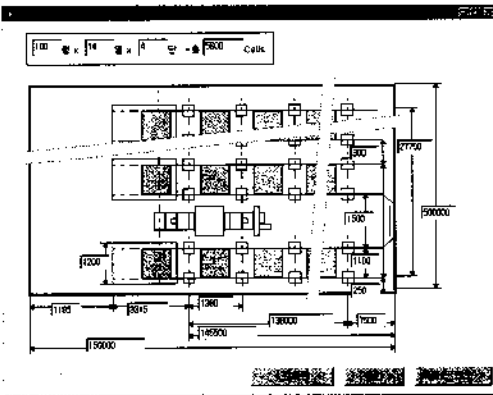


그림 14. 랙 최적화 상부설계 단면도 화면.

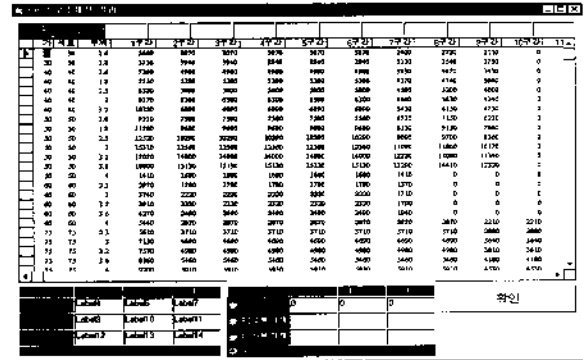


그림 17. 구간별 자재계산 결과 화면.

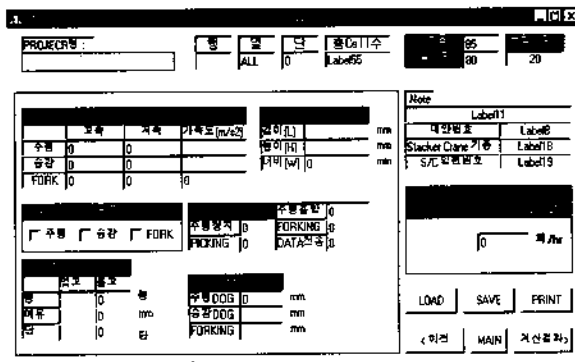


그림 15. S/R 기계의 평균주행시간 계산 화면.

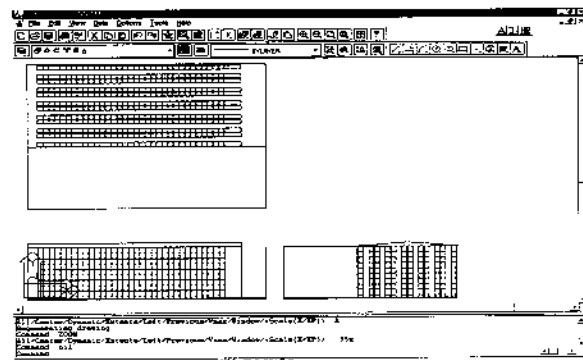


그림 18. 자동도면 생성 화면.

3.7 자동도면 생성 모듈

자동창고 최적 설계용 프로그램에서 계산된 수치들을 이용하여 자동으로 도면을 생성하게 되면 설계자로 하여금 훨씬 능률적이고 효율적인 설계를 할 수 있도록 도와준다. 일반적으로 가장 많이 사용하는 CAD 소프트웨어인 AUTOCAD의

비용이 자동창고시스템의 총 비용 중 비중이 매우 높으며, 또한 자재 선정시 안전성과 내구성을 고려해야 하므로 매우 중요한 모듈이다. <그림 16>은 랙부 물량산출을 위한 데이터 입력 화면이며, <그림 17>은 창고 기둥의 구간별 단중을 고려한 자재계산 결과이다.


```

SYSTYPE ASRS
UNITS Feet Seconds
SYSDEF limit Infinite timeout 60 seconds confname Config1
report standard
FLAGS
System Cyan
Vehicles NoColor
SystemOrigin Black
Aisles NoColor
Tier White
Bay White
Grid Cyan
ASRSDEF UserId 5 pdname OutPd zonname zone aisles 3 width 4.0 Feet
nextaisle 0.0 Feet
begx 0 begy 0 endx 0 endy 0
bays 10 baywidth 4.0 Feet baydpth 4.0 Feet
bottom 2.0 Feet
tier 4.0 Feet
tier 4.0 Feet
    
```

그림 19. 자동 생성된 AUTOMOD 소스코드 일부.

AUTOLISP 언어를 이용하여 설계 결과를 자동으로 도면을 생성하도록 하였다. <그림 18>은 해당 프로그램 화면의 예이다.

3.8 수행도 평가 지원 모듈

설계될 창고의 단위 랙의 수행도 평가를 위하여 이형 랙과 동형 랙을 위한 S/C의 평균 운행시간 산출을 위한 수리식(이영해 등, 1998; 전성진 등, 1997)을 개발하여 사용하였다. <그림 15>는 해당하는 화면을 나타낸다. 또한 설계된 사양으로 실제 자동창고를 만들었을 때 목표로 하는 조건을 만족하는지 알아보기 위해서는 시뮬레이션을 수행하는 것이 가장 효과적이다. <그림 19>는 시뮬레이션 수행을 위해 물류 전용 시뮬레이션 소프트웨어인 AUTOMOD의 사용을 위해 자동으로 생성된 소스코드의 일부분을 나타낸다.

4. 결론

본 연구에서는 자동창고 설계과정의 분석을 기초로 설계자의 경험치를 로직화 또는 룰화하고, 기구 및 기타 설비의 사양을 결정하는 데 용이한 지식 베이스를 구축하여 상세 설계를 위한 용이한 환경을 제공하는 모듈, 스택커 크레인 능력 및 입출하 물동량을 고려한 자동창고의 최적 설계와 자동창고의 핵심이라고 할 수 있는 랙 사양의 재질 및 물량 분석 모듈, 수리식 및 시뮬레이션을 이용한 수행도 평가 모듈 등을 개발하여, 통합된 자동창고 최적 설계용 소프트웨어를 개발하였다.

또한, 동형 랙뿐만 아니라 이형 랙을 가진 자동창고의 최적 설계를 가능하게 함으로써 선진 물류산업에 이바지 할 수 있

는 물류 관련 기술 확보의 측면에서 본 연구의 가치가 매우 크다고 사료된다.

본 시스템의 개발로 자동창고 시스템 설계업무에 대하여 표준화, 지식베이스화를 통하여 자동창고 시스템 설계업무의 생산성과 기술의 질을 향상시킬 뿐만 아니라 최적설계를 통하여 설계안의 질을 높이고, 원가를 최소화함으로써 국내뿐만 아니라 국제적으로도 자동창고산업의 경쟁력을 강화시킬 수 있을 것이다.

참고문헌

과학기술처 (1991), 자동창고운영시스템 개발, 과학기술처.
 이영해, 전성진 (1998), Cycle time models for AS/RS with unequal sized cells under dual commands, 98 춘계공동학술대회 논문집, 대한산업공학회/한국경영과학회, 부산.
 이영해, 전성진 (1998), 이형 랙을 가진 자동창고 시스템의 최적 설계를 위한 수리 모델 및 알고리즘 개발, 한국경영과학회지(심사중).
 이영해, 정창식 (1998), 신뢰성 이론을 이용한 자동창고 설비 선정 전문가 시스템 개발에 관한 연구, 경영정보학연구 8(3), 135-145.
 조면식(1998), 자동창고에서 발생하는 저장/불출 명령의 대기시간에 관한 추계론적 분석, 98 춘계공동학술대회 논문집, 대한산업공학회/한국경영과학회.
 전성진, 이영해 (1997), 이형 랙을 가진 자동창고시스템의 운행시간 모형, 대한산업공학회지, 23(2), 421-432.
 황학, 김대범, 송창용, 이현용, 송준엽, 임준목(1995), 자동창고시스템을 위한 시뮬레이터 개발, 산업공학, 8(4), 129-144.
 Ashayeri, J., Gelders, L. F. and Wassenhove, L. V. (1985), A microcomputer-based optimization model for the design of automated warehouses, International Journal of Production Research, 23(4), 825-839.
 Bafna, K. M. and Reed, R. Jr. (1972), An analytical approach to design of high rise,

- Journal of Industrial Engineering*, 8, 8-14.
- Bozer, Y. A. and White, J. A. (1984), Travel-time models for automated storage/retrieval systems, *IIE Transactions*, 16(4), 329-338.
- Dorkin, J. (1994), *Expert System Design and Development*, Prentice Hall.
- Emerson, C. R. and Schmatz, D. S. (1981), Results of modeling automated warehouse system, *Journal of Industrial Engineering*, Aug., 28-90.
- Eynan, A. and Rosenblatt, M. J. (1994), Establishing zones in single-command class-based rectangular AS/RS, *IIE Transactions*, 26(1), 38-46.
- Han, M. H., McGinnis, I. F., Shieh, J. S. and White, J. A. (1987), On sequencing retrievals in an automated storage/retrieval system, *IIE Transactions*, 19(1), 56-66.
- Hausman, W. H., Schwarz, L. B. and Graves, S. C. (1976), Optimal storage assignment in automatic warehousing systems, *Management Science*, 22(6), 629-638.
- Hwang, H. and Ko, C. S. (1988), A study of multi-aisle system served by a single storage/retrieval machine, *International Journal of Production Research*, 26(11), 1727-1737.
- Hwang, H. and Lim, J. M. (1993), Deriving an optimal dwell point of the storage/retrieval machine in an automated storage/retrieval system, *International Journal of Production Research*, 31(11), 2591-2602.
- Hwang, H. and Lee, S. B. (1990), Travel-time models considering the operating characteristics of the storage and retrieval machine, *International Journal of Production Research*, 28(10), 1779-1789.
- Karasawa, Y., Nakayama, H. and Dohi, S. (1980), Trade-off analysis for optimal design of automated warehouses, *International Journal of Systems Science*, 11(5), 567-576.
- Knapp, G. M. and Wang, H. P. (1992), Modeling of automated storage/retrieval systems using petri nets, *Journal of Manufacturing Systems*, 11(1), 20-28.
- Lee, H. F. (1997), Performance analysis for automated storage and retrieval systems, *IIE Transactions*, 29(1), 15-28.
- Pan, C. H. and Wang, C. H. (1996), A framework for the dual demand cycle travel time model in automated warehousing systems, *International Journal of Production Research*, 34(8), 2099-2117.
- Rosenblatt, M. J., Roll, Y. and Zyser, V. (1993), A combined optimization and simulation approach for designing automated storage/retrieval systems, *IIE Transactions*, 25(1), 40-50.
- Shunmugam, M., Krishnamachar, S. A. and Passad, P. S. (1985), Computerized warehouse layout, *Material Flow*, 2, 151-156.
- Smart Elements* (1994), NEURON DATA.
- Tompkins, J. A., White, J. A., Bozer, Y. A., Frazelle, E. H., Tanchoco, J. M. A. and Trevino, J. (1996), *Facilities Planning*, 2nd edn, John Wiley and Sons.



이영해

1977년 고려대학교 산업공학과 학사
 1983년 Univ. of Illinois 산업시스템 공학 석사
 1986년 Univ. of Illinois 산업공학 및 경영과학 박사
 현재: 한양대학교 산업공학과 교수
 관심 분야: 물류, 생산시스템, 시뮬레이션



전성진

1990년 한양대학교 산업공학과 학사
 1992년 한양대학교 산업공학과 석사
 1997년 한양대학교 산업공학과 박사
 현재: 한국국방연구원 선임연구원
 관심 분야: 물류시스템, TQM, 조직진단 및 성과측정