

진화전략과 DEA를 이용한 통합 물류 시스템 분석 방법*

엄인섭**, 이홍철**, 강정윤**

The Analysis Method of Integrated Logistic System using Evolution Strategies and Data Envelopment Analysis

In-Sup Um , Hong-Chul Lee , Jeong-Yun Kang

Abstract

The focus of this study is to represent a methodology of analysis for integrated logistic system by means of the Evolution Strategies and Data Envelopment Analysis(DEA). The integrated logistic system is composed of AS/RS (Automated Storages and Retrieval System), AGVs(Automated Guided Vehicle System) and Conveyor System. We design the simulation alternatives with choosing the qualitative critical factors for the each subsystem. Evolution Strategies is used to optimize the quantitative critical factors and responses of each alternative. DEA is applied to measure the efficiency of the alternatives in order to select the optimal operation efficiency scheme. The method of analysis which combines Evolution Strategies with DEA can be used to analyze the qualitative and quantitative critical factors in the integrated logistic systems.

Key Words : Evolution Strategy, Data Envelopment Analysis, AS/RS, AGVs

* 본 연구는 고려대학교 특별연구비에 의하여 수행되었음.

** 고려대학교 산업시스템정보공학과

1. 서론

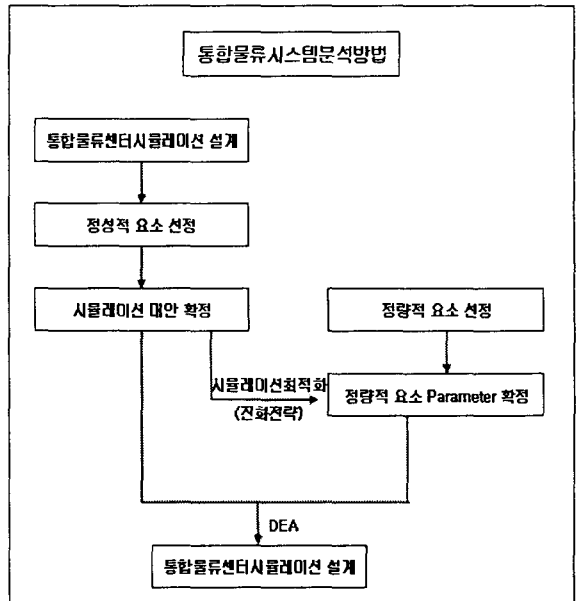
물류센터의 기본적 역할 중의 하나는 원자재에서부터 부품, 완제품 등에 대한 저장 기능의 수행이며 저장 아이템의 종류와 수량을 지속적으로 추적하는 정보시스템을 통하여 주문, 생산, 재고, 판매와 관련된 동적재고 관리의 역할도 함께 수행하고 있다[1]. 물류센터의 저장 및 관리 기능을 극대화하기 위하여 최근의 선진화된 물류 센터에서는 자동창고(AS/RS), AGVs, Conveyor 시스템과 같은 자동 물류 시스템들이 연계 설치되어 사용되고 있는데 이와 같은 복합 시스템은 시스템적 특성이 매우 복잡하여 수리적인 분석에 많은 어려움이 있다. 그러므로 지금까지의 연구에서는 위에 언급된 하위 시스템의 각 부분을 부분적으로 분석하여 설계에 반영하는 방안이 많이 제시되어 왔다. Takakuwa는 AGV와 자동창고를 통합한 모델을 시물레이션을 이용하여 분석하는 기법을 제시하였고[1], Lee는 동일하지 않은 셀을 가지는 자동창고를 측정하는 수리적 모델을 제시하여 자동창고의 성과를 측정하였다[2]. Ottejes는 시물레이션 소프트웨어를 이용하여 multi-AGV 시스템의 통합 설계 및 제어를 나타내었고[5], Lee는 시물레이션을 이용한 AGV 최적대수 결정 방안을 제시하기도 하였다[10].

그러나 전체 시스템의 통합적인 모델링과 이를 기반으로 하는 종합적 대안 분석 방법에 관해서는 많은 연구가 필요한 상황이다. 이에 본 논문에서는 자동창고, AGVs, Conveyor 시스템의 중요 요소를 분석하여 정성적 요소로 선정하여 시물레이션 대안을 확정한다. 시물레이션 최적화 기법인 진화전략을 이용하여 정성적 요소를 정량화시키고 DEA (Data Envelopment Analysis)를 활용한 전체 시스템의 최적 설계 대안을 선택하는 방안을 제시하고자 한다.

이를 위하여 전형적인 통합 물류 시스템의 한 예를 설정하고 자동창고에서는 저장 및 출

고 방식과 효율적인 Zone의 컨트롤, AGV 시스템에서는 Guide path 설계 방법과 차량 운영 방식 그리고 Conveyor 시스템의 세부적 사항을 정성적 요소로 선정하여 통합적인 시스템 분석을 수행하였다.

시물레이션 분석에서는 총 처리량, 자동창고 이용율, AGV 이용율, 혼잡도 등을 성과 측정 변수로 선정하고 진화 전략을 이용하여 최적화를 수행하였으며, 이 결과를 토대로 정성적 요소들의 조합에 의해 확정된 대안 중 가장 효율적인 전체 시스템의 선정에는 DEA(Data Envelopment Analysis)기법을 사용 하였다. <그림 1>은 이와 같은 통합 물류 시스템 분석 방법의 절차를 나타내고 있다.



<그림1> 통합 물류 시스템 분석 방법

1장 이하의 본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 자동창고의 기본적 설계 방안에 대하여 고찰하고, 3장에서는 AGV 시스템의 핵심적 분석방안을 분석한 후, 4장에서는 통합 물류 시스템을 모델링하고 이에 대한 운영 방안을 검토한다. 5장에서는 설계된 물류 시스템의 하위 시스템 별 대안을 구성하고진

화전략을 이용한 시뮬레이션 최적화를 수행하여 정량적 요소들에 대한 최적값을 결정한다. 6장에서는 DEA를 통하여 정성적 요소의 효율성을 평가하고, 마지막으로 7장에서는 방법적용 결과에 대한 결론 및 향후 연구 과제를 제시한다.

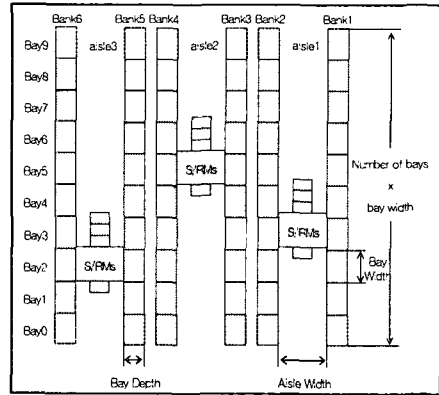
2. 자동창고(AS/RS)

자동창고는 물류센터와 FMS라인, 제조업의 창고 등에서 널리 이용되고 있으며 보관 아이템을 공정이나 연결지점으로부터 지정된 창고의 저장위치에 자동으로 저장하고, 출고 시에는 선택된 아이템을 자동으로 특정 공정이나 연결지점으로 이송하는 기능을 갖는다[2]. 자동창고 이용의 최대 장점은 높은 공간 효율성과 재고 관리 및 통제 기능의 향상으로 재고의 품질을 획기적으로 방지할 수 있다는 점이다. 또한 입고 및 출고 시간을 감소시키며, 인건비, 조명비, 난방비 등의 절감을 통하여 전체 운영비를 감소시키고, 다양한 아이템의 자동 관리가 가능하여 공장 전체의 자동화를 지원하기 위한 기반이 되는 등 많은 장점을 가지고 있다.

2.1 자동창고의 구성

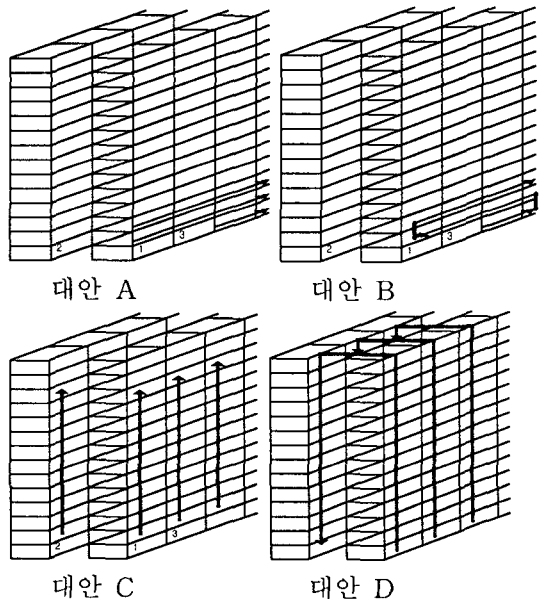
자동창고는 저장 랙(rack)을 가지는 하나 또는 그 이상의 통로(aisle)와 아이템(load)을 반출(pick-up)하고 반입(retrieve)하는 자동 크레인(Storage/Retrieval Machine; S/RM)으로 구성되어 있다. 현재 많이 이용되고 있는 형태의 자동창고는 저장과 출고 시에 컨베이어 스테이션을 이용하고 있으며, 입출고 스테이션에 자동반송대차(Sorting Transfer Vehicle; STV)를 같이 연계하여 이용하는 경우가 많다. STV는 주로 저장 및 출고 시 하나의 Vehicle을 이용하는 경우에는 양방향 설계를 하고, 여러 개의 Vehicle을 사용할 시에는 루프형의 설계를 하는 것이 일반적이다. 저장 랙은 통로를 따라서

평행하게 배열되고, 각 통로의 양쪽으로 S/RM에 의하여 아이템의 저장 및 출고가 가능하다. S/RM은 수직, 수평이동을 하고 각각 다른 모터로 작동하기 때문에 수직과 수평으로 동시에 움직이는 것이 가능하다. <그림 2>는 전형적인 자동창고의 모형을 나타내고 있다.



<그림 2> 자동창고의 형태(단면)

2.2 저장 및 출고 방법



<그림 3> 자동창고 저장 및 출고 방법

자동창고에 아이템을 저장하고 출고 하는 방법에는 다양한 형태가 가능하지만 수직과 수평의 작업방향에 의해 4가지 전형적 대안이 있다. 대안에 관한 자세한 사항은 <그림 3>과 같다. 대안 A, B는 수평으로 저장 및 출고를 하는 전형적인 대안이고, 대안 C, D는 수직으로의 전형적인 대안이다[1].

2.3 Zone 설정(Zoning)

Zone(랙의 저장 구역)설정은 자동창고의 저장 영역을 용도에 맞게 분할하는 방안이다. 이를 위하여 가장 먼저 고려해야 할 것은 자동창고의 이용 크기이다. 즉, 재고 수준을 어느 정도로 할 것인지를 정하고 보관 아이템 별 수량을 설정하여 Zone을 할당하여야 한다. 그리고 여기에 운영 정책을 적용하여 여러 가지 형태로 Zone의 설정이 가능한데 일반적인 설정 형태에는 아래와 같은 것들이 있다.

① 아이템 별 저장 및 출고

아이템의 수가 적고 수량이 비교적 많은 경우에 저장 및 출고를 하는 방식이다. 이 대안은 아이템의 수와 동일하게 Zone의 수를 설정을 하게 되고, 저장 및 출고량이 많은 아이টে으로 구성되는 Zone을 랙의 P&D(Pick Up & Delivery) stand와 가까운 앞쪽으로 설정 한다.

② 무작위 저장 및 출고

무작위 저장 및 출고의 경우 하나의 랙을 단일 Zone으로 설정하고 무작위로 저장 및 출고를 하는 경우 이다. 이 대안은 아이টে의 항목이 많아서 아이টে에 따른 Zone의 분할이 불가능한 경우에 사용된다. 또는 단일 아이টে으로서 수량이 많은 경우에도 사용한다.

③ 추가 아이টে을 고려한 저장 및 출고

아이টে 별 저장 및 출고에서 추가 아이টে을 고려한 Zone의 설정 방식이다. 기본적인 사항

은 아이টে별 저장 및 출고와 동일하다. 사용되는 아이টে에 따라서 Zone을 설정하고 나머지 부분은 추가 아이টে을 위해서 비워 놓는 방식이다.

3. AGV(Automated Guided Vehicle)시스템

자동 운반 시스템(Automated Transport System)은 운반 자동화를 고려하는 많은 기업이 관심을 가지고 있는 사항이다. 자동 운반 시스템 중에서도 유연성이 가장 높고 많이 사용되고 있는 시스템이 AGV 시스템이다[4][5]. AGV 시스템의 설계는 크게 유도경로(Guide Path) 설계와 차량(Vehicle) 운영방식으로 나누어진다.

3.1 Guide Path 설계

AGV 시스템은 주로 작업자와 Vehicle이 혼재하여 작업하는 작업장에서 많이 사용되기 때문에 안정성과 효율성을 고려한 최적의 경로(Path)를 설계하는 것이 요구된다. Guide Path 설계는 고정 경로에서 물류시스템(Material Handling system)을 분석하는 것이 일반적인 기법이다. Guide Path의 설계에 가장 많이 알려진 기법은 고정된 Pick-up/Delivery point 상황 하에서 0-1 정수계획법을 이용하여 최적 경로를 찾아내는 방법이다[6].

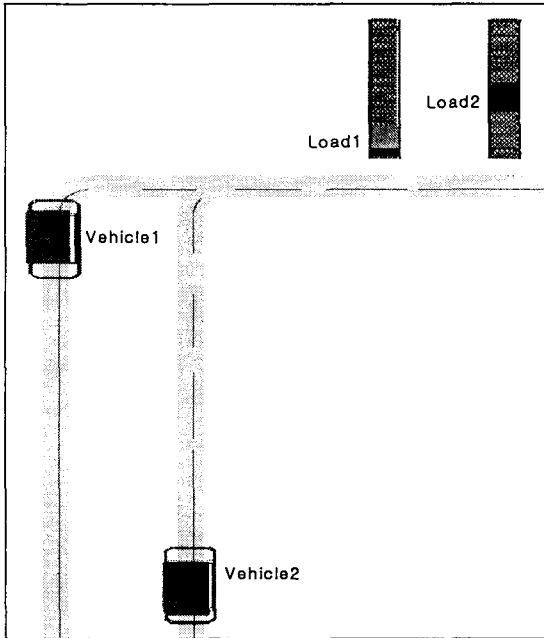
3.2 AGV 운영 방식

AGV 운영 방식은 AGV 시스템 설계 시 다각적인 시각에서 충분한 검토가 이루어져야 할 항목이다. 이는 AGV 운영 방식에 따라서 혼잡도, 이용율, 대수의 결정 등이 큰 영향을 받기 때문이다. 기본적인 운영방식은 다음과 같다.

① Closest Distance(최단거리)

차량이 유희인 상태에서 가장 가까운 거리

에 있는 load를 찾는 방식이다. <그림 4>와 같이 Vehicle1과 Vehicle2가 load1에 대하여 신호를 받으면 Vehicle1이 할당되는 경우이다.



<그림 4> AGV 운영 방식

② Oldest Time(최장시간)

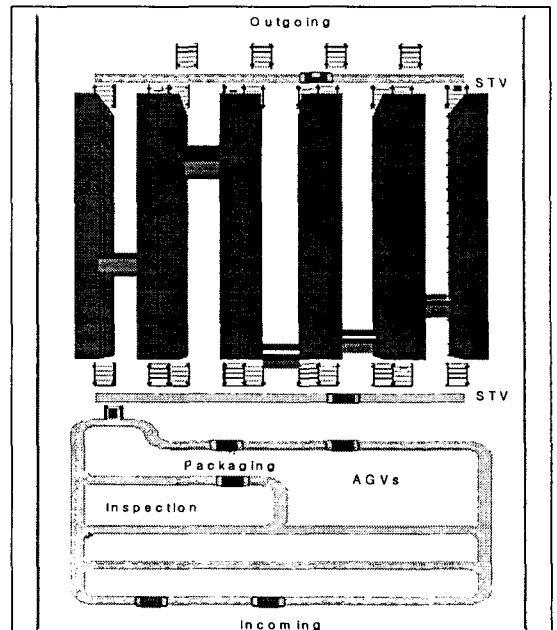
선입선출(FIFO)의 경우로 load가 가장 먼저 신호를 보냈을 때 첫 번째 유휴 상태인 차량이 할당되는 경우이다. <그림 4>에서 load1이 먼저 발생하고 후에 load2가 발생하였으며 Vehicle2가 Vehicle1보다 먼저 유휴인 상태가 되었다고 가정하면, load1을 Vehicle2가 pickup 하고, load2는 vehicle1이 pickup하게 된다.

③ 혼합 운영

취급 아이템, Guide Path의 특성에 따라 Closest와 Oldest를 혼합하여 적용하는 경우도 있다.

4. 통합 물류 시스템 모델

본 논문에서 사용된 시스템 모델은 자동창고, STV, AGV 시스템, Conveyor 시스템이 통합된 물류 시스템 모델로서 <그림 5>와 같이 설계 되었다. 모델에 이용된 Load는 3가지로 각각 다른 입력 분포로 시스템에 들어온 후 AGV 시스템으로 이동하여 Vehicle에 Load가 적재되고 검사장으로 이동하게 된다. 검사장에서 검사를 받고 포장되어 있는 Load는 컨베이어를 통하여 STV로 이동되어 지고, 그렇지 않은 Load는 포장공정으로 이동하여 포장을 한 후 STV로 이동하게 된다. STV로 들어온 Load는 자동창고 입력 컨베이어로 이동하여 자동창고 각각의 통로에 있는 S/RM에 의하여 할당 된 랙으로 이동하게 된다. 자동창고에 저장된 Load는 S/RM에 의해서 자동창고 출력 컨베이어로 출고되어 STV에 의하여 Outgoing 컨베이어로 이동된 후 시스템을 떠난다.



<그림 5> 통합 물류 시스템 모델

5. 시물레이션을 이용한 정량적 요소 최적화

위에서 설계된 물류 시스템 모델에 대하여 본 논문에서는 정성적 요소를 이용하여 시물레이션 대안을 구성하고 진화전략을 이용하여 정량적 요소의 매개 변수를 확정하는 방안을 제시하였다. 진화전략은 자연계의 진화 현상을 기반으로 한 계산 모델로서 국소 해가 많은 최적화 문제에서 전역 해를 구하는 것을 목적으로 많이 사용한다. 주 연산자로는 돌연 변이를 사용하고, 보조 연산자로 교배를 이용기도 한다[7]. 본 논문에서는 돌연변이를 사용하여 최적화를 수행하였다.

5.1 시물레이션 대안 및 입력 요소 선정

자동창고, AGV 시스템, Conveyor 시스템 각각에 대하여 대안 구성을 위한 정성적 요소들을 각 항목 별로 정리하면 아래와 같다.

대안 구성을 위한 정성적 요소

Factor A: AS/RS 저장 및 출고 방식 (<그림 3> 참조)

- A1: 대안 A
- A2: 대안 B
- A3: 대안 C
- A4: 대안 D

Factor B: AS/RS 재고 수준

- B1: 20% 재고 수준
- B2: 80% 재고 수준

Factor C: AS/RS Zone 설정

- C1: 아이템 별 저장 및 출고
- C2: 무작위 저장 및 출고
- C3: 추가 아이টে을 고려한 저장 및 출고

Factor D: AGV 운영방식

- D1: Closest 운영방식
- D2: Oldest 운영방식

위의 요소들을 모두 반영 할 경우 Factor

A(4개)×Factor B(2개)×Factor C(3개)×Factor D(2개)=48개의 조합이 나오므로 시물레이션 대안 수는 48개가 된다. 그러나 Factor A는 자동창고의 재고 수준에 관계없이 대안 A와 대안 B가 가장 효율적인 저장 및 출고 방법인 것으로 연구 되었다. A, B 두 대안은 통계적으로 유의할 만한 차이를 갖고 있지 않으며 수직이동 시간이 수평 이동 시간보다 더 많이 소요 되는 것으로 분석 되었다. 또한 Factor B는 우리의 기대와 달리 프로세스의 성과측정에 차이를 보이지 않았다[1]. 따라서 본 논문

<표 1> 정량적요소와 입력 값의 범위

Items	Parameters
Storage Transfer Vehicle	
Number of Vehicle	5 (units)
Velocity	1 (m/sec.)
Acceleration	0.5 (m/sec. ²)
Rack	
Number of rack	20×10×10
S/RMs	
Number of S/RMs	5 (units)
Horizontal direction	
Velocity	0.5~3 (m/sec.)
Acceleration	0.3 (m/sec. ²)
Vertical direction	
Velocity	0.5~3 (m/sec.)
Acceleration	0.3 (m/sec. ²)
Loding/Unloding Time	10 sec.
AGV System	
Number of Vehicle	5~10 (units)
Velocity	0.5~3 (m/sec.)
Acceleration	0.5 (m/sec. ²)
Outgoing Conveyor	
Number of Conveyor	4 (units)
Velocity	1 (m/sec.)
Load	
Number of kinds	3 (kinds)
Inspection Time	N(60,10) sec.
Packaging Time	N(120,10) sec.

에서는 Factor A는 대안 B를 Factor B는 20% 재고 수준을 이용하고 Factor C와 Factor D의 조합으로 구성하여 Factor A(1개)×Factor B(1개)×Factor C(3개)×Factor D(2개)=6개의 조합을 정성적 중요요소를 이용한 시뮬레이션 대안으로 선정하였다. 또한 이 6개의 조합으로 최종 대안을 구성하고 각각의 대안에 대하여 정량적 요소들의 최적조합(Optimal Configuration)을 구하기 위한 최적화 실험을 실시하였다.

<표 1>은 정량적 요소의 종류와 입력 값을 나타낸다. 이 표에 나와 있는 정량적 요소 중에 입력값이 단일값으로 확정된 요소는 그 값을 상수로 시뮬레이션에 반영하였고, 확정되지 않은 가변 요소의 값이 시뮬레이션 최적화를 통한 결과로서 결정된다.

5.2 진화전략 프로세스

시뮬레이션 최적화를 위한 진화 전략 프로세스는 아래와 같은 절차로 수행된다.

진화전략의 수행 절차

- step1 : Generate first run
- step2 : Randomly create the first generation of children
- step3 : Make the runs for each child
- step4 : Select the parents
- step5 : Randomly pick two of the parents
- step6 : Combine them
- step7 : Mutate the factor value
- step8 : Repeat step 3-7 until the termination criteria are met [3]

첫 번째 런을 생성하여(초기화), 최초로 자식 세대를 생성한 후 각각의 자식을 수행하고, 이 중에서 각 객체의 적합도(fitness)에 근거하여 다음 세대에 이용 될 부모를 선택하게 된다. 선택된 부모로부터 돌연변이를 생성하여 새로운 자식 개체들을 생성하면서 조건을 만족 시

키거나 수행의 횟수가 다하게 되면 종료하고 그렇지 않으면 step3부터 step7까지의 과정을 반복을 하게 된다.

5.3 시뮬레이션 조건 및 가정

시뮬레이션 수행과 관련된 조건과 가정은 아래와 같다.

- (1) 시뮬레이션 수행 시간은 8시간으로 한다.
- (2) 자동창고의 저장 및 출고 방식은 <그림 3> 자동창고 저장 및 출고 방법의 대안B로 설정한다.
- (3) Vehicle(S/RM, AGV)의 고장 상태는 고려하지 않으며 언제나 가동이 가능하다.
- (4) Vehicle은 한번에 하나의 Load만 운반한다.(Single Load)
- (5) Loaded Vehicle과 Unloaded Vehicle의 속도는 일정하다.
- (6) Load 운반을 끝낸 Vehicle은 첫 번째 수요를 운반하기 위하여 이동하며 수요가 없으면 Parking Area로 이동하여 대기한다.
- (7) AGV 시스템은 각 분할 마다 체크 포인트로 설계되었기 때문에 충돌이 일어나지 않는다.
- (8) AGV의 Guide Path는 고정되어 있다.
- (9) 컨베이어의 고장 상태는 고려하지 않으며 언제나 가동이 가능하다.

5.4 시스템 출력변수(Response)의 설정

시뮬레이션 최적화를 수행하기 위하여 사용한 성과 측정 변수는 아래와 같다.

Response I : System 총처리량(Throughput)

Response II : AS/RS 이용율(%)

Response III : AGV 시스템 이용율(%)

Response IV : AGV 시스템 혼잡도(%)

시스템의 총 처리량(Throughput)은 시스템의 성과를 측정하는데 가장 중요하고 기본이 되는 출력변수로서 시스템 능력의 예측과 평가에 활용된다.

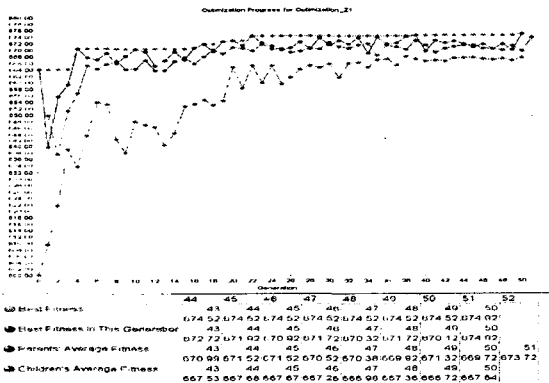
자동창고와 AGV 시스템의 이용율은 기계의 효율로서 약 85%를 적정 수준으로 하고 이를 활용하면 각 차량의 적정 가동 시간과 수량을 계획하는 계획 정비를 시스템에 적용하는 것이 가능하다. AGV 시스템의 혼잡도는 시스템의 경제적 설계와 운용 효율성을 판단하는 중요한 출력변수이다. 이상 4개의 측정변수가 시스템 성과 측정을 위하여 사용 되었다.

5.5 시물레이션 최적화의 수행 및 결과

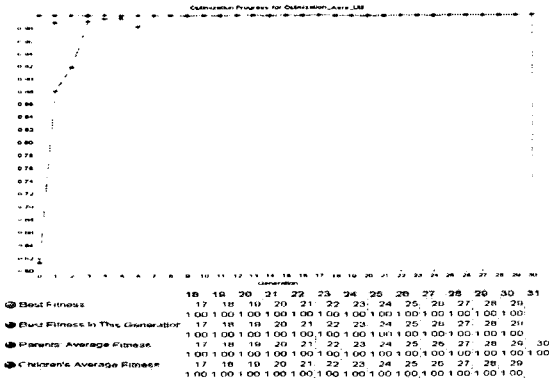
Factor C와 Factor D의 조합으로 구성된 6개 대안에 대하여 4개의 출력변수 각각에 대한 시물레이션 최적화를 실시하여 정량적 요소들의 최적과라미터를 도출 하였다.

시물레이션 프로그램으로는 AutoMod 10.0을 이용하고, Pentium IV 1.7GHz의 컴퓨터를 사용하였다. 최적화 실험 방법으로는 출력변수 Response I, II, III, IV 각각에 대하여 아래와 같은 실험을 수행하였다.

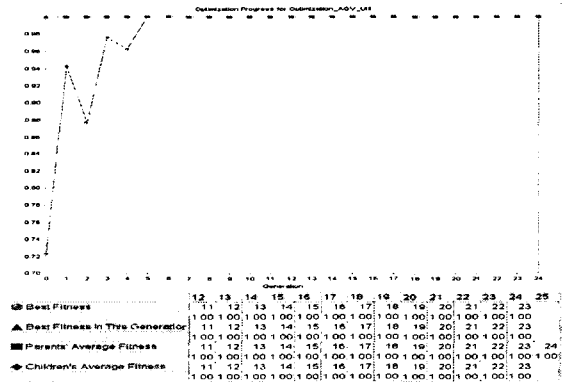
- 적합도 함수 : MAX 총 처리량
MAX AS/RS 이용율
MAX AGV 시스템 이용율
MIN AGV 시스템 혼잡도
- 각 세대 당 최대 반복 횟수 : 5회
- 각 세대 당 부모 개체의 수 : 3
- 종료 조건 : 1. 50 세대 동안 5%미만으로 향상 되었을 때
2. 각 세대의 최대 실험 횟수가 100이 되었을 때



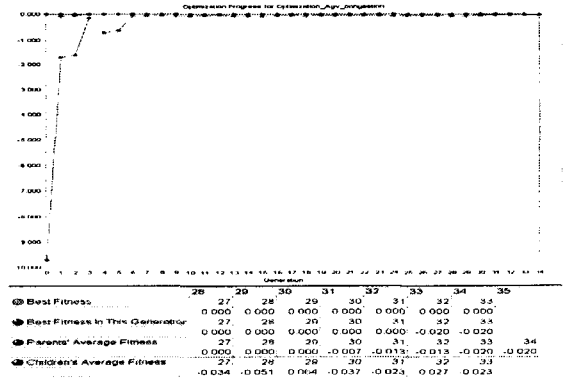
총 처리량



AS/RS 이용율



AGV 이용율



AGV 혼잡도

<그림 6> 각 측정변수별 최적화 모형

<표 2>최적화에 따른 세부항목 도출 값

시뮬레이션 대안			INPUT DATA(정량적 중요요소)								OUTPUT DATA			
Factor C	Factor D	Response	Agv			Asrs				컨베이어 속도	Agv 혼잡도	Agv 이용율	Asrs 이용율	총처리량
			가속도	Vehicle 수	속도	수평 가속도	수평속도	수직 가속도	수직속도					
C1	D1	I	0.5	5	0.627	0.3	0.505	0.3	0.913	1	10.3	0.8962	0.854	708
C1	D1	II	0.5	5	0.59	0.3	0.531	0.3	2.645	1	10.4	0.8956	0.829	714
C1	D1	III	0.5	5	0.671	0.3	0.502	0.3	1.595	1	11.8	0.9025	0.85	710
C1	D1	IV	0.5	5	0.668	0.3	0.788	0.3	1.034	1	27.4	0.9241	0.603	730
C1	D2	I	0.5	6	0.521	0.3	1.08	0.3	1.677	1	6	0.8851	0.771	700
C1	D2	II	0.5	6	0.521	0.3	1.08	0.3	1.677	1	6	0.8851	0.771	700
C1	D2	III	0.5	6	0.581	0.3	0.572	0.3	1.305	1	18.7	0.9088	0.832	719
C1	D2	IV	0.5	5	0.507	0.3	2.48	0.3	2.581	1	2.1	0.8782	0.364	680
C2	D1	I	0.5	5	0.531	0.3	1.85	0.3	2.924	1	2.5	0.8782	0.382	678
C2	D1	II	0.5	5	0.525	0.3	0.713	0.3	2.738	1	3.4	0.8818	0.626	680
C2	D1	III	0.5	5	0.53	0.3	1.367	0.3	2.798	1	4.1	0.8824	0.415	683
C2	D1	IV	0.5	5	0.518	0.3	1.372	0.3	2.503	1	2.6	0.8782	0.633	682
C2	D2	I	0.5	5	0.536	0.3	0.756	0.3	1.975	1	3	0.8797	0.782	682
C2	D2	II	0.5	5	0.519	0.3	0.461	0.3	2.467	1	9.2	0.895	0.85	691
C2	D2	III	0.5	6	0.797	0.3	0.326	0.3	1.642	1	47	0.9571	0.946	734
C2	D2	IV	0.5	6	0.64	0.3	0.622	0.3	1.448	1	19	0.9103	0.827	726
C3	D1	I	0.5	5	0.5	0.3	1.867	0.3	2.054	1	4.7	0.883	0.401	689
C3	D1	II	0.5	5	0.5	0.3	1.867	0.3	2.054	1	4.7	0.883	0.401	689
C3	D1	III	0.5	5	0.504	0.3	0.955	0.3	2.045	1	13.9	0.898	0.507	681
C3	D1	IV	0.5	5	0.5	0.3	1.867	0.3	2.054	1	4.7	0.883	0.401	689
C3	D2	I	0.5	5	0.958	0.3	1.218	0.3	1.126	1	1.2	0.9262	0.6739	723
C3	D2	II	0.5	5	0.958	0.3	1.218	0.3	1.126	1	1.2	0.9262	0.6739	723
C3	D2	III	0.5	6	2.39	0.3	0.688	0.3	1.28	1	2.3	0.9565	0.7887	730
C3	D2	IV	0.5	6	2.39	0.3	0.688	0.3	1.28	1	2.3	0.9565	0.7887	730

총 대안(6가지) × 출력변수(4가지) = 24개의 Configuration에 대하여 각각의 최적화 결과 값을 찾아내었다. 여기에서 도출된 입출력 변수 값을 이용하여 6장에서의 DEA를 이용한 다목적 최적화를 통한 최종대안 선정이 수행하게 된다. <그림 6>은 각 측정변수 별 최적화 시킨 모형을 나타내고, <표 2>는 최적화에 따른 세부항목 도출 값을 나타낸다.

6. DEA를 이용한 최종대안 선정

DEA(Data Envelopment Analysis)는 다수의 투입 요소와 다수의 산출요소를 가진 다수의 대안들에 대하여 정량적으로 객관적 평가를 하기위하여 이용되며 기본원리는 주관적인 평가 요소를 제한하고 투입 요소와 산출 요소를 이용한 상대적 효율성 분석이다[8]. 최종대안의 선정 문제는 MOLP (Multi Objective-Linear Program)로 생각할 수 있으며

MOLP의 해결은 Goal Programming, Compromising Programming, 유전자 알고리즘 등을 이용한 해법들이 많이 개발되어 왔다. 그러나 물류 센터와 같이 복잡한 통합시스템의 경우 직접 MOLP로의 모델링이 불가능하므로 본 논문에서는 단일 목적 값에 대한 시뮬레이션 최적화를 먼저 수행하여 해당 단일 목적 값에 대하여 부분 최적화된 입출력 결과를 얻은 후 이를 토대로 DEA를 통한 다목적 최적화를 수행하는 방법을 사용하였다. 이 장에서는 DEA의 기본원리에 대하여 간략하게 고찰하고 DEA를 통하여 이미 부분 최적화 되어 있는 산출요소들의 상대적 효율성을 분석하여 최적 대안을 선정하였다.

6.1 CCR DEA Model

DEA 모형 중 Charnes, Cooper, Rhodes (CCR) 가 제시한 모형은 아래 수식과 같다. 의사결정단위 (Decision Making Unit : DMU)가 k 개의 투입요소를 사용하여 m 개의 산출요소를 생산한다고 가정할 때, DMU $_j$ 의 효율성은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Max } h_j = \sum u_r y_{rj} \quad (1)$$

st.

$$\frac{\sum u_r y_{rt}}{\sum v_i x_{it}} \leq 1 \quad t = 1, 2, \dots, n$$

$$u_r, v_i \geq 0$$

만약에 (u^*, v^*) 이 식(1)의 최적해가 된다면, $\beta > 0$ 에 대하여 $(\beta u^*, \beta v^*)$ 또한 최적해를 가지게 된다. 그러므로 위의 식은 무한개의 최적해를 가지게 된다. 따라서 이 선형 분수 계획법 문제를 Charnes, Cooper, Phodes가 아래 수식과 같이 선형계획법 문제로 대체하여 제

시하였다. 본 논문에서 사용한 CCR모형은 아래와 수식(2)와 같다.

$$\text{Max } h_j = \sum u_r y_{rj} \quad (2)$$

st.

$$\sum_{r \in R} u_r y_{rt} - \sum_{i \in I} v_i x_{it} \leq 0 \quad t = 1, 2, \dots, n$$

$$\sum_{i \in I} v_i x_{ij} = 1 \quad i = 1, 2, \dots, m, r = 1, 2, \dots, s$$

$$u_r, v_i \geq \epsilon, \epsilon > 0$$

기호

R : 산출 속성의 집합, $|R| = s$

I : 투입 속성의 집합, $|I| = m$

J : 의사결정단위 집합, $|J| = n$

h_j : 의사결정단위 j 의 효율

u_r : 산출요소 r 의 가중치

v_i : 투입요소 i 의 가중치

y_{rj} : 의사결정단위 j 의 산출요소 r 의 값

x_{ij} : 의사결정단위 j 의 투입요소 i 의 값

t : 의사결정단위

식 (2)는 u_r 와 v_i 는 대상 대안의 효율을 극대화 시키는 각 산출 요소와 투입요소의 가중치이다. 의사 결정 단위 j 의 효율성에 대한 제약 조건으로, 산출량이 투입량을 넘지 못함을 의미한다. 그 이유는 의사결정단위의 효율을 1이 넘지 못하게 함으로써 가장 효율적인 프론티어의 기준 값을 1로 제한하고자 하는 것이다[8].

6.2 DEA 분석 자료

DEA모형을 이용한 최적 대안의 효율성을 비교하고 분석하기 위하여 시뮬레이션 최적화로 산출된 값을 기반으로 EMS 1.3 (Efficiency Measurement System)[9]를 사용하여 분석을

실시하였다. 투입변수로는 AGV 가속도, AGV Vehicle 수, AGV 속도, AS/RS 수평가속도, AS/RS 수평속도, AS/RS 수직가속도, AS/RS 수직속도, 컨베이어 속도를 이용하였고, 산출변수로 AGV 혼잡도, AGV 이용율, AS/RS 이용율, 총처리량을 이용하였다. 각 자료에 대한 기초 통계 자료는 <표3>에 정리되어 있다.

<표 3> 투입 산출물 기초 통계 자료

변 수	평균	표준 편차	최소값	최대값
AGV 가속도	0.5	0	0.5	0.5
AGV Vehicle 수	5.29	0.464	5	6
AGV 속도	0.75	0.522	0.5	2.39
AS/RS 수평가속도	0.3	0	0.3	0.3
AS/RS 수평 속도	1.06	0.576	0.326	2.48
AS/RS 수직가속도	0.3	0	0.3	0.3
AS/RS 수직 속도	1.87	0.620	0.913	2.924
컨베이어 속도	1	0	1	1
AGV 혼잡도	9.10	10.465	1.2	47
AGV 이용율	0.90	0.0260	0.878	0.957
AS/RS 이용율	0.67	0.1871	0.364	0.946
총 처리량	702.95	19.920	678	734

AGV 혼잡도는 최소화 시키는 문제이기 때문에 최대화에 적용하기 위하여 값을 변형시켜서 수행하였고, AGV 이용율과 ASRS 이용율을 85%의 적정수준이 최대값을 얻게 만들기 위하여 <표2>의 시뮬레이션 최적화에 의하여 산출된 값을 85%가 최대값 1을 갖게 변형시켜서 DEA 분석 자료로 활용하였다.

6.3 DEA 분석 결과

8개의 투입변수와 4개의 산출변수를 이용하여 DEA 효율성 분석을 한 결과가 <표4>에 나타나 있다. CCR 모형 하에서 Zone의 설정은 아이템 별 저장 및 출고(C1)가 가장 높은 효율성을 나타내었고, 무작위 저장 및 출고(C3)가 가장 낮은 효율성을 나타내었다. AGV 운영 방식에서는 Closest Distance(D1)가 Oldest Time(D2)보다 더 좋은 효율성을 나타내었다. 아이템 저장 및 출고 방법은 수평으로

저장 및 출고를 하는 방법이 더 적은 시간이 소요됨을 알 수 있었다.

<표 4> 대안별 효율성 분석 결과

DMU	시뮬레이션 대안			효율성 (%)
	Factor C	Factor D	Response	
DMU1	C1	D1	I	100
DMU2	C1	D1	II	84.94
DMU3	C1	D1	III	84.77
DMU4	C1	D1	IV	88.96
DMU5	C1	D2	I	85.32
DMU6	C1	D2	II	90.72
DMU7	C1	D2	III	79.76
DMU8	C1	D2	IV	79.76
DMU9	C2	D1	I	81.81
DMU10	C2	D1	II	80.48
DMU11	C2	D1	III	81.35
DMU12	C2	D1	IV	81.41
DMU13	C2	D2	I	81.61
DMU14	C2	D2	II	81.18
DMU15	C2	D2	III	92.35
DMU16	C2	D2	IV	70.33
DMU17	C3	D1	I	84.18
DMU18	C3	D1	II	84.18
DMU19	C3	D1	III	89.26
DMU20	C3	D1	IV	84.18
DMU21	C3	D2	I	79.15
DMU22	C3	D2	II	79.15
DMU23	C3	D2	III	69.95
DMU24	C3	D2	IV	69.95

7. 결론 및 토의

최근까지 자동창고, AGV, Conveyor시스템과 같은 자동 물류 시스템에 관한 많은 연구가 진행되어져 왔다. 그러나 이들을 연계한 전체적인 통합 자동 물류 시스템의 분석에는 문제의 복잡성으로 인하여 많은 기술적 제약이

내재되어 있다.

이를 해결하기 위한 하나의 실험적 접근 방법으로서 본 논문에서는

- (1) 정성적 중요 요소의 결합을 통한 통합 물류시스템 평가 대안을 선정하고
- (2) 각 대안별로 하위 시스템의 정량적 중요 요소와 측정변수에 대한 시뮬레이션 최적화를 수행하여
- (3) 이 결과를 토대로 만들어진 상이한 척도의 다수 투입변수와 산출변수를 가진 대안을 객관적으로 평가하기 위하여 DEA 모형을 이용하였다.

DEA를 이용한 분석에서는 정량적 중요요소를 가지고 가장 효율적인 대안을 선택하였지만, 이 정량적 중요요소의 파라미터는 정성적 중요요소에 따른 시뮬레이션 설계의 최적화 값을 이용하므로, 최종적으로는 DEA를 이용한 정성적 요소와 정량적 요소에 대한 복합적인 효율성 분석이 수행 되었다. 통합 물류 시스템의 분석 결과 CCR 모형 하에서 Zone의 설정은 아이템 별 저장 및 출고(C1)가 평균 86.78%의 가장 높은 효율성을 나타내었고, AGV 운영방식에는 Closest Distance(D1)이 85.46%의 효율성으로 가장 좋은 효율성을 나타내었다.

이와 같은 정성적 요소와 정량적 요소의 복합적인 분석 방법은 복잡한 의사결정 문제의 접근을 용이하게 하는 하나의 방법으로 발전될 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] S. Takakuwa, "Precise Modeling and Analysis of Large-Scale AS/RS", Simulation Conference Proceedings, 1994. Winter, December, 1994
- [2] Y. LEE, J. M. A. Tanchoco and S. Chun, "Performance Estimation Models for AS/RS with Unequal Sized Cells", Int. J. PROD. RES., Vol. 37, No.18, 1999, 4197-4216
- [3] D. E. Moriarty, A. C. Schultz and J. J. Grefenstette, "Evolutionary Algorithms for Reinforcement Learning", Journal of Artificial Intelligence Research 11, 241-276, 1999
- [4] M. P. Groover, "Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing 2nd Edition", Prentice Hall, 2000
- [5] J. A. Ottjes and F. P. A. Hogedoom, "Design and Control of Multi-AGV System Reuse of Simulation Software", Proceedings of the 8th Simulation Symposium, October, 1996
- [6] M. C. DE Gunzman, N. Prabhu and J. M. A. Tanchoco, "Complexity of the AGV Shortest Path and Single-Loop Guide Path Layout Problem", Int. J. PROD. RES., Vol. 35, No.8, 1999, 2083-2092
- [7] W. M. Spears, et al., "An Overview of Evolutionary Computation", Lecture Notes in Computer Science, No.667, 1993, pp.442-459
- [8] W. W. Cooper, A. Y. Lewin and L. M. Seiford, "Data Envelopment Analysis : Theory, Methodology and Application", Kluwer Academic publishers, 1995
- [9] <http://www.wiso.uni-dortmund.de/Isfg/or/scheel/ems/>
- [10] 이문섭, 이상용, "시뮬레이션에 의한 AGV 최적대수 결정", 대한산업공학회지, 16권, 1호, pp.59-65, 1990

주 작 성 자 : 엄 인 섭
 논문투고일 : 2004. 09. 02
 논문심사일 : 2004. 10. 27(1차), 2004. 10. 28(2차),
 2004. 10. 28(3차)
 심사판정일 : 2004. 10. 28

● 저자소개 ●



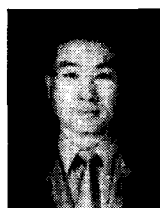
엄인섭

2002 고려대학교 수학, 산업시스템정보공학과 학사
 2002 ~ 현재 고려대학교 산업시스템정보공학과 석사과정
 관심분야 : 시뮬레이션 모델링 및 분석, SCM, 물류시스템



이홍철

1983 고려대학교 산업공학과 학사
 1988 Univ. of Texas 산업공학과 석사
 1993 Texas A&M Univ. 산업공학과 박사
 현재 고려대학교 산업시스템정보공학과 교수
 관심분야 : 생산 및 물류 정보시스템, SCM



강정운

1990 경희대학교 전자공학과 학사
 1998 고려대학교 산업공학과 석사
 2001 고려대학교 산업시스템정보공학과 박사 수료
 관심분야 : 시뮬레이션 Optimization, SCM, 물류시스템