

Compromise Programming을 이용한 물류센터 설계에 관한 연구

허병완*, 이홍철**

A Study for Design of Distribution Center using Compromise Programming

Byoung-Wan Heo, Hong-Chul Lee

Abstract

For the effective design of automated distribution center composed of Automated Storage/Retrieval System, Automated Guided Vehicle System, and Conveyor System, we proposed an analysis method to determining design and control parameters with multiple performance objectives using Compromise Programming, which can resolve the dilemma of conflicting objectives. The Evolution Strategy generates the optimal solutions for each objectives. The Analytic Hierarchy Process selects the best solution among the alternatives generated from Evolution Strategy. The Regression Analysis formulates the objective functions for each objectives. By reducing deviations between goal values and target values generated from Analytic Hierarchy Process, Compromise Programming determines design and control parameters by compromising the multiple objectives formulated using Regression Analysis. When the parameters of system are changed, this proposed analysis method has a benefit of reducing costs and time without repeating whole simulation run.

Key Words: Evolution Strategy, Compromise Programming, AHP (Analytic Hierarchy Process), Simulation, Meta Model

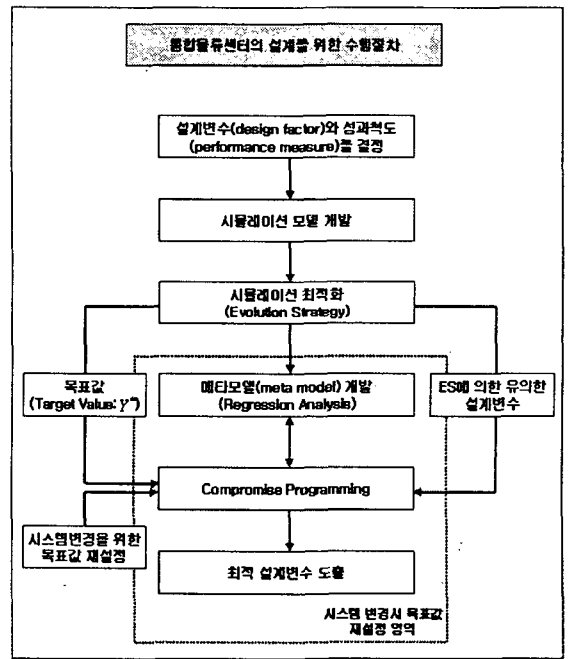
* 고려대학교 대학원 산업시스템정보공학과 석사과정

** 고려대학교 산업시스템정보공학과 교수

1. 서론

세계 교역량의 증대로 국제물동량이 지속적인 증가를 보이고 있고 전 세계에서 차지하는 동북아 지역 경제활동의 비중도 증가하고 있다. 동북아 지역의 물동량도 전 세계 평균보다 빠르게 증가하고 있는 상황이다. 이에 따른 물류비용도 각 기업의 전체비용에서 차지하는 비중이 증가하고 있기 때문에 다국적 기업뿐만 아니라 영세기업에게도 물류비 감소가 중요한 이슈로 떠오르고 있다. 물류비용을 줄이고자 하는 하나의 방안으로 다국적 기업들은 재고관리의 지역적 집중화를 시도하고 있다. 그렇기 때문에 물류센터의 자동화 시스템을 구축하는 것은 큰 의미가 있다. 물류자동화 시스템은 다 품종 소량생산, 주문의 증가, 고객의 다양한 주문, 열악한 국내 교통 환경에 수반하는 물류비 증가의 문제를 외부적으로 해결하기보다는 기업 내부적으로 해결하기 위한 기업의 물류정책으로 나아가고 있다. 이를 위해서 물류 자동화 시스템이 기업에서 절대적으로 필요하게 되었고 신뢰할 만한 물류센터의 분석이 절실히 요구되게 되었다. 자동화된 물류센터에서는 자동창고, 무인운반차, 컨베이어 시스템이 혼합되어 사용되고 있는데 이러한 시스템은 매우 복잡하여 분석에 많은 어려움이 있다. 기존의 연구에서는 위에서 언급한 것과 같은 자동화된 물류센터의 각 하위시스템을 효율적으로 설계하는 연구방법이 제시되고 있다. 그러나 전체 물류자동화 시스템의 통합적인 설계와 이에 대한 분석방법에 대하여 앞으로 많은 연구가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 통합물류센터의 AS/RS (Automated Storage/Retrieval System), AGV (Automated Guided Vehicle), Conveyor 시스템의 중요척도를 분석하고 이에 따른 통합물류센터의 최적 설계 대안을 선택하는 효율적인 분석방법을 제시하고자 한다. 이를 위하여 통합물류센터를 설계하기 위해서 자동창고에서는 아이템을 저장하는 방식과 효율적으로 재고를 관리하는 방식, AGV 시스템에서는 AGV 경로

설계 방법과 AGV 운영규칙, Conveyor 시스템에서는 세부사항을 선정하여 물류센터를 설계하였다. 통합물류센터의 분석에서는 무인운반차 혼잡도, 무인운반차 이용률, 자동창고 이용률, 총 처리량 등을 성과척도로 선정하여 실험을 수행하였다. 실험을 통하여 수집된 데이터를 이용하여 진화전략, AHP (Analytic Hierarchy Process), 회귀분석 및 CP (Compromise Programming)를 이용한 분석방법을 제시하였다. <그림 1>은 통합물류센터의 설계를 위한 수행절차를 나타낸다.



<그림 1> 통합물류센터의 설계를 위한 수행절차

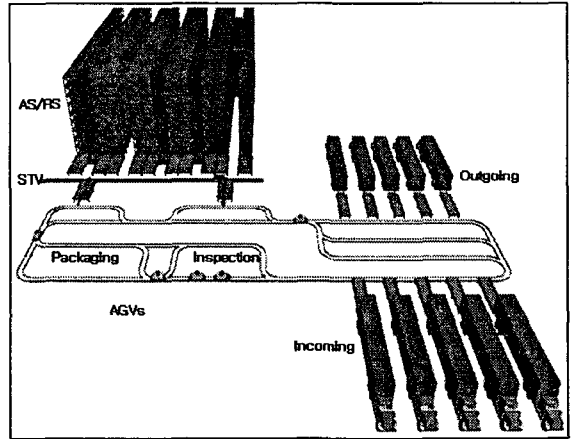
2. 기존 연구 및 고찰

지금까지의 시물레이션과 분석적인 모델링의 연구는 주로 단일 목적함수에 대한 결정문제에 초점이 맞춰졌다[1][2]. 하지만, 과거연구와 대조적으로 일부 연구자들은 하나 이상의 목적함수를 가지는 생산계획 및 통제 문제를 해결하

기 위하여 다목적성을 가지는 의사결정의 접근 방법을 연구했다[3]. 여러 분야에서 발생하는 상충관계에 있는 목적들의 딜레마를 해결하기 위하여 목표계획법(Goal Programming : GP), Linear Multi-objective Programming(LMP), CP 등과 같은 다목적성을 가지는 수학적 모델들이 개발되어졌다. Dean(1990)은 생산율, 기계가동률, 총 처리시간, 톨 사용시간 및 부품가치와 같은 다목적성을 가지는 유연생산시스템의 생산계획 문제의 모델링을 위하여 GP를 사용하였다[4]. Park은 실험계획법(Design Of Experiments : DOE)과 CP기반의 시뮬레이션을 이용하여 다수의 성과척도들을 가지는 제조 셀(Manufacturing Cell)에 대한 설계문제를 연구하였다[5]. Park은 다목적성을 가지는 유연생산시스템의 환경에서 상충하는 4가지 목적들인 작업지연(Tardiness), 이용률(Utilization), 공정중재고(WIP), 총 처리량(Throughput)을 CP를 이용하여 설계 및 통제 파라미터를 동시에 결정하는 문제를 연구하였다[6]. 기존 연구에서는 물류센터의 설계를 위한 연구가 부족하였고 CP의 Target Value를 시스템 설계자의 주관에 의하여 반복적인 목표설정과정을 거쳐서 설정하였다. 본 논문에서는 다목적성을 가지는 통합물류센터의 설계를 위하여 진화전략에 의한 정량적인 Target Value와 설계 및 통제 파라미터를 동시에 결정하기 위하여 CP의 분석방법을 이용하여 시스템설계자가 적절하게 시스템을 설계할 수 있는 분석방법을 제시하였다.

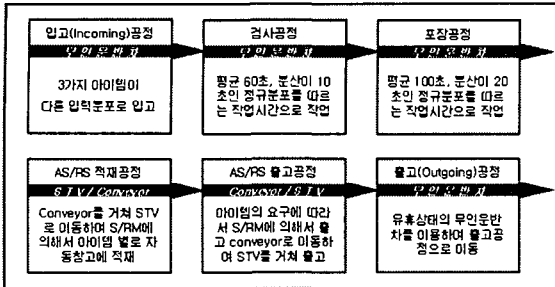
3. 시뮬레이션 모델링

본 논문에서 제안된 <그림2>와 같이 통합물류센터를 설계하기 위하여 시뮬레이션 툴은 Brooks Automation Incorporate의 AutoMod Ver.11.0을 이용하여 모델링하였으며, 시뮬레이션 실험환경은 펜티엄 4, 3.2 MHz, 2.0G RAM 성능의 컴퓨터를 이용하여 수행하였다.



<그림 2> 시뮬레이션 모델

통합물류시스템은 AS/RS, STV(Sorting Transfer Vehicle), AGV 및 컨베이어 시스템 등이 통합된 모델이다. 본 모델에서 아이템의 입고 시에는 3가지 종류의 아이템이 각각 다른 입력분포로 시스템에 들어온 후 입고 컨베이어를 통하여 AGV 시스템으로 이동하고 무인운반차에 제품이 적재되어 검사공정으로 이동하게 된다. 검사공정에서는 검사를 받고 포장 단계가 되어 있는 아이템은 바로 STV로 이동되고 그렇지 않은 아이템은 포장공정으로 이동하여 포장단계를 거친 후 STV로 이동하게 된다. STV로 들어온 아이템들은 자동창고의 입출고 컨베이어로 이동하게 된다. 자동창고 시스템으로 이동된 아이템은 자동창고의 각 통로에 있는 스택크레인에 의하여 아이템별로 할당된 랙으로 이동하게 된다. 출고 시에는 자동창고에 저장된 아이템은 스택크레인에 의해서 자동창고 입출고 컨베이어로 출고되어 STV에 의하여 유희상태에 있는 무인운반차에 적재되어 출고 컨베이어로 이동한 후 시스템을 빠져나간다. <그림 3>은 설계된 모델에 대한 세부적인 설명을 간략한 다이어그램으로 나타내었다.



<그림 3> 모델의 다이어그램

4. 실험계획

물류센터 시스템의 성과를 분석하기 위하여 기존 연구자들에 의해서 사용된 일반적인 설계변수 및 성과척도 변수를 선택하여 시물레이션 수행을 통하여 유의한 설계변수와 성과척도변수를 결정하였다[7][8]. 본 논문의 실험계획(Design of Experiments : DOE)을 위하여 도출된 분석결과는 4가지 성과척도변수(AGV 혼잡도, AGV 이용률, AS/RS 이용률, 시스템 총 처리량)를 결정하고 시스템에 영향을 적게 미치는 4가지 설계변수(AGV 가속도, AS/RS 수평가속도, 수직가속도 및 컨베이어 속도)는 결정된 고정값을 사용하고 영향을 많이 미치는 4가지 설계변수(AGV 속도, AS/RS 수평속도, AS/RS 수직속도 및 AGV 대수)는 성과척도변수를 최적화하기 위한 통합물류 시스템의 설계문제에 포함하였다. <표 1>은 결정된 성과척도변수 및 설계변수를 나타낸다.

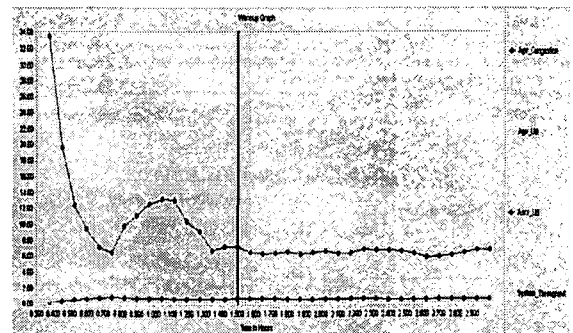
<표 1> 결정된 성과척도변수 및 설계변수

Undetermined Design Factors		
Symbol	Content	level
X_1	AGV 속도	3 (1, 3, 5 m/sec)
X_2	AS/RS 수평속도	3 (1, 3, 5 m/sec)
X_3	AS/RS 수직속도	3 (1, 3, 5 m/sec)
X_4	AGV 대수	5 (4, 5, 6, 7, 8 대)

Determined Design Factors		
X_5	AGV 가속도	0.5 m/sec/sec
X_6	AS/RS 수평가속도	0.3 m/sec/sec
X_7	AS/RS 수직가속도	0.3 m/sec/sec
X_8	컨베이어 속도	0.5 m/sec

Performance Measure	
Symbol	Contents
Response A	AGVS 혼잡도
Response B	AGVS 이용률
Response C	AS/RS 이용률
Response D	시스템 총 처리량

실험은 설계변수의 수준에 따른 독립적인 반복실험이므로 Terminating 시물레이션이며 시물레이션 실험시간은 초기 조건을 알 수 없으므로 시스템이 안정 상태에 들어설 때까지의 시간인 초기준비시간(Warmup time)인 1시간30분을 제외한 이후부터 8시간으로 설정하였다. 초기준비시간을 결정하기 위하여 Brooks Automation 사에서 제공하는 AutoStat Ver. 4.0을 활용하여 Warmup Analysis를 수행하였다. <그림 4>는 Warmup Analysis의 결과를 나타내었다.



<그림 4> Warmup Analysis

시물레이션 반복은 일주일 치 자료에 해당하는 5회로 설정하여 총 675회(135×5회(반복))의

시뮬레이션 런(Run)을 수행하여 종속변수를 결정하였다. 시스템의 총 처리량(Throughput)은 시스템의 성과를 측정하는데 가장 중요하고 기본이 되는 출력변수이다. 시스템의 총 처리량을 이용하면 시스템의 산출량을 예측하고 부족한 능력에 대한 시스템의 보충 및 보완이 가능하다. 자동창고의 이용률(AS/RS Utilization)과 AGV 시스템의 이용률(AGV Utilization)은 Vehicle의 가동률로서 적정 가동 시간 및 대수 등을 산정에 반영이 가능하다. AGV 시스템의 혼잡도(AGV Congestion)는 타 시스템과 달리 물류센터에서 무인운반차 간의 간섭여부를 측정하는 중요한 변수가 된다. 따라서 4가지의 종속변수를 설정하여 시스템의 성과측정을 하였다.

설계된 시뮬레이션 모델의 성과척도변수에 대하여 유의한 설계변수를 찾기 위하여 분산분석(Analysis Of Variance : ANOVA)을 이용하였다. ANOVA는 4가지 설계변수의 주효과와 교호작용효과의 유의수준을 알기위해서 활용된다. 3가지 혹은 더 많은 요인의 교호작용의 효과는 교호작용을 가지고 있는 평균제곱이 오차항에 풀링된다고 가정하였다. 분산분석의 결과는 유의수준 5%에서의 유의하지 않은 설계변수들을 제거하였다. 유의수준을 5%로 설정하였으므로 $p \leq 0.05$ 에서의 효과는 통합물류센터의 성과척도에 대하여 유의하다. 분산분석을 통하여 도출된 결과는 6장에서 메타모델을 모형화하기 위하여 활용된다.

5. 진화전략

진화전략(Evolution Strategy : ES)은 자연계의 진화현상에 기반한 계산 모델로서 국소해가 많은 최적화 문제에 해를 구하는 것을 목적으로 Rechenberg와 Schwefel에 의하여 1970년대에 개발된 알고리즘이다[9]. 주 연산자로는 돌연변이(Mutation)를 사용하고, 보조 연산자로 교배(Crossover)나 조합(Recombination)을 이용하였다[10].

5.1 진화전략 알고리즘

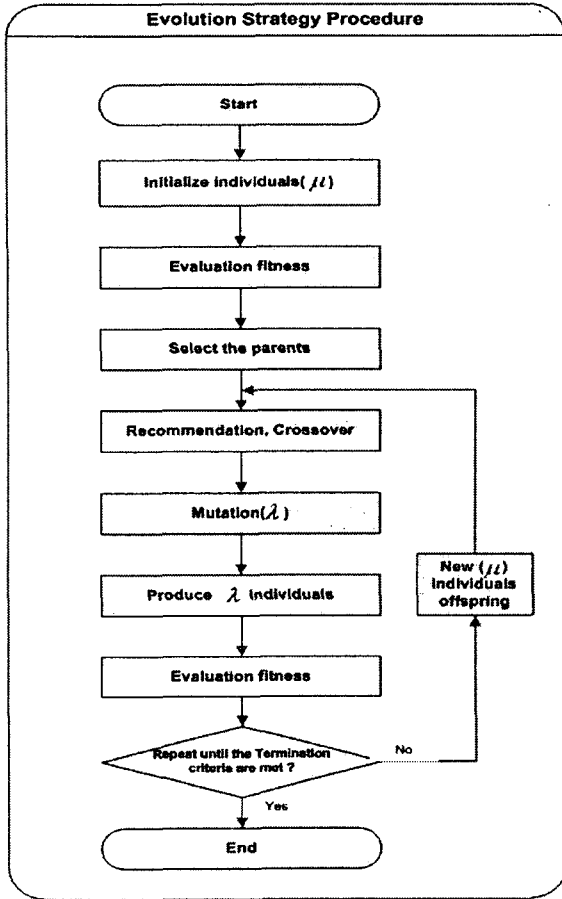
진화전략의 알고리즘은 다른 진화 알고리즘인 Genetic Algorithms, Evolutionary Programming 등과 마찬가지로 정해진 영역 내에서 무작위로 선택한 초기 개체 집단(Initial population)을 기반으로 무작위 연산방법의 일종인 돌연변이(Mutation)와 조합(Recombination) 및 선택(Selection)을 통해서 탐색 공간 내에서 조 작자가 정한 적합도(Fitness)함수를 최대화하거나 최소화하여 최적의 해를 찾기 위하여 자연진화의 원리를 모방한 알고리즘이다. 진화 전략의 각 개체는 $V=(X, \sigma)$ 와 같이 한 쌍의 실수벡터로서 표현된다. 여기서 X 는 탐색 공간내의 하나의 점을 나타내는 위치벡터이며 σ 는 표준편차 벡터가 된다. 이 때 돌연변이에 의한 다음 세대의 개체는 다음과 같이 표현된다.

$$X^{i+1} = X^i + N(0, \sigma)$$

단, $N(0, \sigma)$ 은 평균이 0, 표준편차가 σ 인 가우스분포를 따르는 임의의 난수이다. 초기의 진화전략에는 하나의 개체로부터 집단의 탐색을 행하였다. 이런 경우 돌연변이에 의해 만들어진 자손(X^{i+1})은 부모(X^i)보다 적합도가 좋게 될 때 부모로서 집단의 일원으로 채용된다. 그 후 진화전략은 복수개체의 집단에 의한 탐색수법으로서 여러 가지 형태로 발전되어져 왔다. <그림 5>는 진화전략 알고리즘의 수행 절차를 단계별로 보여주고 있다[8].

5.2 AHP를 이용한 최적대안 선정

Brooks Automation사에서 제공하는 AutoStat Ver. 4.0의 통계적 분석도구를 사용하여 진화전략을 이용한 최적화 실험을 수행하였다. <표 2>는 진화전략을 이용한 최적화 실험의 조건을 나타낸다.



<그림 5> 진화전략의 수행절차

<표 2> 실험조건

* Optimization Parameters	
1. Maximum replications per solution :	5
2. Number of parents in each generation :	3
* Termination Criteria	
1. Terminate the optimization when 50 generations result in less than 5 percent improvement	
2. Maximum number of generation :	100

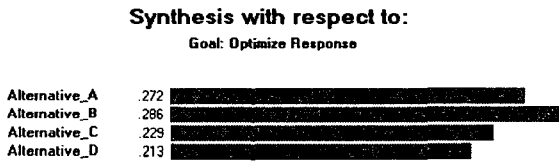
실험의 결과는 4가지 결정되지 않은 변수를 결정하고 4가지 Response 값을 도출하였다. <표 3>은 진화전략을 이용하여 도출된 결과값이다.

<표 3> ES에 의해서 도출된 결과값

Factor		Alternative			
		A	B	C	D
AGV	가속도 (m/min/min)	0.5	0.5	0.5	0.5
	속도 (m/min)	1	1	5	3
	대수	4	4	4	5
AS/RS	수평가속도 (m/min/min)	0.3	0.3	0.3	0.3
	수직가속도 (m/min/min)	0.3	0.3	0.3	0.3
	수평속도 (m/min)	3	1	3	3
	수직속도 (m/min)	5	3	1	3
Conveyor	속도 (m/min)	0.5	0.5	0.5	0.5
Performance measure	AGV 혼잡도	0.4833	0.6	3.483	7.587
	AGV 이용률	0.9653	0.9654	0.7918	0.7143
	AS/RS 이용률	0.54425	0.6596	0.6685	0.54663
	총 처리량	1338	1331	1342	1345

총 대안은 4가지로 4개의 종속변수에 대하여 각각의 진화전략을 이용한 최적화 실험을 통하여 4가지 결과값을 얻을 수 있었다. 4가지의 종속변수들은 각각 다른 종속변수들과 상충관계를 가지고 있으며 동일한 척도를 가지고 있지 않으므로 4가지 대안들 가운데 다수의 목표에 대하여 비교 평가가 효율적이며 복잡한 의사결정 문제를 분석하는데 효과적인 AHP를 사용한다[11]. AHP는 피츠버그 주립 대학의 Tomas L. Saaty(1977)에 의하여 개발되었으며 여러 요소들을 한꺼번에 고려하여 각 요소들의 중요도 또는 가중치를 구하는 것이 매우 어렵기 때문에 의사결정 문제를 계층화한 후 상위계층에 있는 한 요소의 관점에서 하위 계층에 있는 요소들의 상대적 중요도 또는 가중치를 쌍대비교를 통하여 측정하는 방식으로 궁극적으로 최하위 계층에 있는 대안들의 우선순위를 구할 수 있도록 도와준다[12][13]. 이러한 과정을 보다 효율적으로 수행하

기 위하여 AHP 전용 분석 프로그램인 Expert Choice 2000을 사용하였다. <그림 6>은 AHP에 의하여 도출된 각 요소에 대한 대안의 쌍대 비교 행렬로부터 얻어진 대안의 중요도이다[14].



<그림 6> 대안들의 중요도

진화전략에 의한 최적대안은 28.6%의 중요도를 나타낸 AGV 속도 : 1 m/sec, AS/RS 수평속도 : 1 m/sec, AS/RS 수직속도 : 3 m/sec, AGV 대수 : 4 units의 결정된 설계변수에 의해서 무인운반차 혼잡도 : 0.6, 무인운반차 이용률 : 0.9654, 자동창고 이용률 : 0.6596, 시스템 총 처리량 : 1331의 결과값을 가지는 Alternative B가 AHP 분석에 의해서 가장 높게 나타났다. 진화전략에 의해서 선정된 최적대안은 통합물류센터의 시뮬레이션 모델의 최적값을 나타내며 다음 장에서 소개할 Compromise Programming의 Target Value(Y^*)로 선정하여 CP의 계산에서 이용하였다.

6. CP를 이용한 설계변수 최적화

6.1 회귀분석을 이용한 메타모델 도출

통합물류센터의 4가지 성과척도의 함수(예를 들면, AGV 혼잡도, AGV 이용률, AS/RS 이용률 및 시스템 처리량)는 선택된 유의한 주효과와 교호작용 효과를 회귀분석을 통하여 모형화하였다. 회귀분석을 통하여 만들어진 각 성과척도의 메타모델은 아래와 같다.

(1) 목적함수

i) AGV Congestion (Y_1) :

$$Y_1 = -14.35958 - 1.97067 X_1 + 1.17267 X_3 + 3.15256 X_4 - 0.11975 X_1 X_3 + 0.73061 X_1 X_4 - 0.15000 X_3 X_4$$

ii) AGV Utilization (Y_2) :

$$Y_2 = 1.19878 - 0.07917 X_1 - 0.08691 X_4 + 0.00825 X_1 X_4$$

iii) AS/RS Utilization (Y_3) :

$$Y_3 = 0.72193 - 0.02799 X_2 - 0.01061 X_3 - 0.00173 X_1 X_4$$

iv) System Throughput (Y_4) :

$$Y_4 = 1331.06546 + 2.7035 X_1 - 59.94352 X_4 + 59.6024 X_1 X_4$$

(2) 제약조건:

$$1 \leq X_1 \leq 5, \quad 1 \leq X_2 \leq 5, \quad 1 \leq X_3 \leq 5,$$

$$4 \leq X_4 \leq 8, \quad 4 \leq X_4 \leq 8 \text{이고,}$$

X_1, X_2, X_3, X_4 는 실험설계에서 정의한 설계변수와 동일한 변수이며 정수값을 가진다. 목적함수에 대한 4가지 설계변수의 영역은 이전 분석을 통하여 설정하였다. 실제 물류시스템에서 변수들의 범위는 투자예산, 공간제약, 공정중재고를 고려한 버퍼의 설계정책, 그리고 AGV 속도제약과 잠재적인 운송위험과 같은 실제적인 제약을 포함한다는 것을 주의해야 한다.

6.2 Compromise Programming

CP의 목적은 여러 가지 목표들을 가지는 상황 하에서 하나의 목표를 얻기 위한 인간의 행동으로 정의한다[5]. Zeleny(1992)에 의하면 인간의 의사결정은 상충관계에 있는 목표들을 최대화하거나 최소화하는 것이 아니라 여러 가지 목표들 사이에서 안정적인 패턴을 찾는 것이라고 하였다[15]. 의사결정 프로세스에서 각각의 목표는 결정변수에 관하여 함수로서 표현되고 달성하고자 하는 목표의 Target Value는 의사결정자에 의해서 결정된 값이다. Target

Value를 설정하고 CP는 Target Value로부터 Goal Value의 편차를 줄이기 위해서 반복적인 목표설정 과정을 통한 최상의 의사결정에 도달하기 위하여 사용된다. CP에 의해서 만들어진 모델은 Target Value로부터 Goal Value의 모든 편차들의 조합인 손실함수를 최소화한다. 주어진 목표 n 에 대한 벡터 $Y=(Y_1, \dots, Y_n)$ 는 목적함수의 집합이다. Y^* 는 의사결정자에 의하여 초기에 설정하는 Target Vector이다. Y 의 손실은 Y 에서 Y^* 사이의 거리로 나타낼 수 있다. 따라서 손실함수 $L(Y)=\|Y-Y^*\|$ 로 정의된다. 이것은 거리함수의 집합을 정의하는 파라미터 p 의 거리를 나타내는 다음의 L_p -매트릭스의 형태로 나타낼 수 있다.

$$L(Y|p, W) = \left[\sum_{i=1}^n (|Y_i - Y_i^*| / K_i)^p \right]^{1/p}, \quad K_i \text{는}$$

i 번째 목표값에 대한 정규화 값이다. 의사결정프로세스에서 목표들은 다른 중요도를 가지기 때문에 Y_i 의 중요도 가중치 W_i 는 목표에 할당되어야 하고 $\sum_{i=1}^n W_i = 1$ 이다. 따라서

$$L(Y|p, W) = \left[\sum_{i=1}^n W_i^p (|Y_i - Y_i^*| / K_i)^p \right]^{1/p},$$

$$W = (W_1, \dots, W_n).$$

가중치 벡터 W 의 추정은 중요한 일이다. 첫 번째, 각 목표와 다른 목표들 간의 중요도를 상호비교 한다. 모든 목표들 간의 쌍대비교 결과는 목표 i 와 목표 j 가 비교되는 상대적인 중요도 $a_{ij}(i=1, \dots, n; j=1, \dots, n)$ 의 매트릭스 $A=[a_{ij}]$ 에 기록되어한다. 예를 들면, 목표 i 가 목표 j 보다 중요도가 2배라면 $a_{ij}=2$ 로 나타낸다.

위에서 제시한 손실함수의 절대값의 기호는 아래와 같이 $i=1, \dots, n$ 의 새로운 변수 D_i^+ 와 D_i^- 에 의해서 제거된다.

$$D_i^+ = \begin{cases} Y_i - Y_i^* & \text{if } Y_i > Y_i^* \\ 0 & \text{otherwise,} \end{cases}$$

$$D_i^- = \begin{cases} Y_i^* - Y_i & \text{if } Y_i < Y_i^* \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases}$$

$$|Y_i - Y_i^*| = D_i^- + D_i^+,$$

$Y_i^* - Y_i = D_i^- - D_i^+$ 이고 $D_i^- \times D_i^+ = 0$ 이다. 따라서 손실함수는 아래와 같다.

$$L(Y|p, W) = \left[\sum_{i=1}^n (W_i / K_i)^p (D_i^- + D_i^+)^p \right]^{1/p}$$

그러므로 다목적 함수의 문제를 CP의 모형으로 모형화하면 아래와 같다.

Minimize

$$L(Y|p, W) = \sum_{i=1}^n (W_i / K_i)^p (D_i^- + D_i^+)^p$$

Subject to

$$Y_i^* - F_i(X) = D_i^- + D_i^+, \quad i=1, \dots, n$$

$$CX \in H,$$

$X : X_i(i=1, \dots, n)$ 결정변수를 가지는

(X_1, \dots, X_n) 의 결정벡터이다.

$F_i(X) : Y_i$ 의 i 번째 목적함수

C : constraint coefficient matrix

H : right-hand side vector of constraints.

다목적을 가지는 상기 CP 문제를 계산한 후 시스템 설계자는 목표의 Target Value가 달성되었는지 확인해야 한다. 만약 몇 가지 목표들의 Target Value가 만족할만한 수준에서 얻어지지 않았다면, 시스템 설계자는 만족할만한 해답에 도달 할 때까지 다른 목표들의 Target Value를 조정하여 목표의 개선을 시도해야한다[16][17].

6.3 CP에 의한 최적대안 선정

S 는 제약의 집합이고 i 번째 성과척도의 함

수를 나타낸다. $Y_i = F_i(x)$ 이고 Target value는 Y^* 이다. Y^* 는 시스템의 의사결정자에 의해서 주관적으로 설정된다. 실제 통합물류센터를 대표할 수 있는 Target Value를 찾는 것은 매우 어려운 일이며 반복적인 목표설정과정을 거쳐서 얻어진다. 하지만 본 논문에서는 통합물류센터를 시뮬레이션의 진화전략에 의해서 얻어진 최적대안의 결과값을 Target Value로 설정하여 CP를 계산한다. 이것은 정량적으로 신뢰할 수 있는 결과값이므로 의사결정자가 시스템 설계를 위해서 Target Value의 설정에 대한 어려움을 제거해준다. 통합물류센터에 대한 CP 모델은 다음과 같다[6].

Minimize

$$L(Y, p, W) = \sum_{i=1}^4 (W_i / K_i)^p (D_i^- + D_i^+)^p$$

Subject to

$$Y_i^* - F_i(x) = D_i^- + D_i^+, \quad i = 1, \dots, 4$$

$$x \in S$$

$$X = (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8)$$

고유값 방법(eigenvalue method)은 W_i 값을 측정하기 위하여 사용하는 방법으로 진화전략의 대안분석에서 사용한 것과 같은 계층분석기법(AHP)을 사용하여 계산한다. W_i 의 가중치의 합은 1이 되며 이를 측정하기 위하여 4가지 목적들의 쌍대비교를 통하여 구조화한다 [14]. <그림 7>은 AHP를 이용하여 가중치를 계산한 결과이다.

Priorities with respect to:

Congestion	.194	
Agv_Util	.274	
Asrs_Util	.133	
Throughput	.399	

<그림 7> 요소들의 가중치

무인운반차의 혼잡도, 무인운반차의 이용률, 자동창고의 이용률 및 시스템의 처리량의 4가

지 목적들의 쌍대비교 결과는 $W_1 = 0.194$, $W_2 = 0.274$, $W_3 = 0.133$, $W_4 = 0.399$ 로 계산된다. 정규화 요인(Normalization factors)인 K_i 는 목표값의 |가장 높은 값 - 가장 낮은 값|에 의해서 계산되어지고 $K_1 = 82.8$, $K_2 = 0.337$, $K_3 = 0.564$, $K_4 = 1113$ 이다.

최소화를 위한 손실함수 $r(y)$ 는 :

$$L(Y) = 0.002343 * D_1^+ + 0.813056 * D_2^- + 0.235816 * D_3^- + 0.000358 * D_4^+$$

Target Value Y^* 는 객관적인 목표값의 설정을 위하여 진화전략과 AHP분석을 통하여 최적대안으로 선정된 결과값을 사용하였다. $p = 1$ 일 때, $Y^* = (0.6, 0.9654, 0.6596, 1331)$ 는 손실함수가 최소가 되는 설계변수의 조합이 $X = (1, 1, 3, 4)$ 가 계산되고 얻고자 하는 Goal Value $Y = (0.56, 0.963, 0.6551, 1332)$ 이 계산된다. <표 4>는 CP에 의해서 도출된 설계요소와 진화전략에 의한 목표값이다.

<표 4> 확정된 설계요소와 최종 목표값

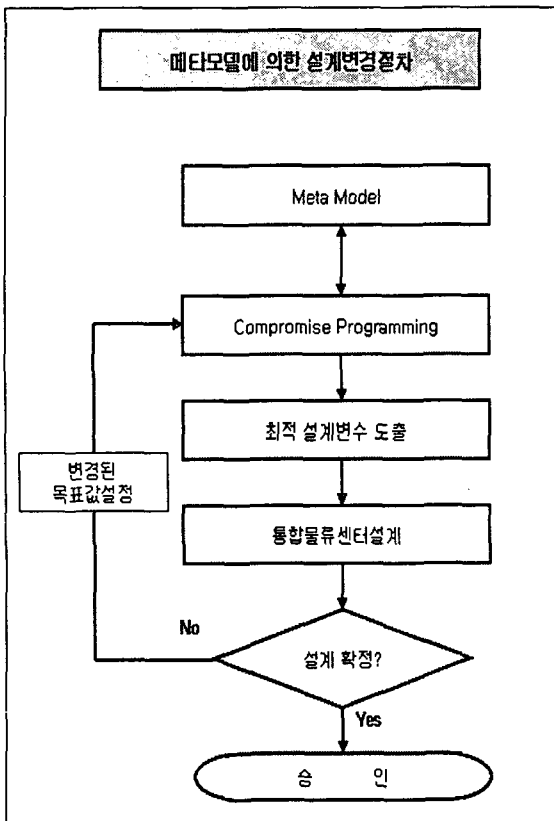
Result of Compromise Programming		
Design Factor X		Value
X_1	AGV Velocity	1 (m/sec)
X_2	AS/RS Horizontal Velocity	1 (m/sec)
X_3	AS/RS Vertical Velocity	3 (m/sec)
X_4	Number of AGV	4 (Units)
Performance Measure Y		Value
Y_1	AGV Congestion	0.56 (%)
Y_2	AGV Utilization	96.3 (%)
Y_3	AS/RS Utilization	65.51 (%)
Y_4	System Throughput	1332 (Units)

Result of Evolution Strategy		
Design Factor X		Value
X_1	AGV Velocity	1 (m/sec)
X_2	AS/RS Horizontal Velocity	1 (m/sec)
X_3	AS/RS Vertical Velocity	3 (m/sec)
X_4	Num of AGV	4 (Units)
Performance Measure Y		Value
Y_1	AGV Congestion	0.60 (%)
Y_2	AGV Utilization	96.54 (%)
Y_3	AS/RS Utilization	65.96 (%)
Y_4	System Throughput	1331 (Units)

AHP에 의해서 최적대안으로 선정된 결과값을 Y^* 로 설정하여 CP를 이용한 계산결과 (Y)는 AHP에 의해서 선정된 최적설계변수의 값과 동일한 설계변수가 도출되었다. 이는 메타모델과 CP에 의한 분석방법이 시뮬레이션 최적화에 의한 분석방법을 대체할 수 있음을 의미한다. 시스템 설계자가 설계변수를 변경하고자 할 때 시뮬레이션은 많은 인력, 비용 및 시간이 투자되어야 하는 반면 메타모델과 CP를 이용하는 경우 인력, 비용 및 시간의 투자가 시뮬레이션보다 매우 적게 투입되며 Target Value의 재설정에 의해서 시스템의 변경시마다 간편하게 수정 및 보완이 가능하므로 시스템 설계 작업의 효율성을 크게 향상 시킬 것이다. <그림 8>은 메타모델에 의한 효율적인 설계변경 절차에 대하여 나타낸다.

7. 결 론

지금까지 자동창고, 무인운반차, 컨베이어와 같은 단일 목적을 가지는 물류시스템에 대해서는 많은 연구가 진행되어져왔다. 그러나 다목적 함수를 가지는 통합물류센터에 대한 연구는 그리 많이 수행되지 않고 있다. 본 논문에서는 다목적성을 가지는 통합물류센터의 효율적인 설계를 위하여 시뮬레이션과 메타모델을 이용한 Compromise Programming을 활용하였다. 이 방법은 물류센터뿐만 아니라 다른 통합적 생산 환경에 대한 시스템 설계에서도 매우 유용하게 활용될 수 있을 것이다. 향후 연구로는 실제 다른 통합 시스템의 환경에서 이 설계방법을 반영한 연구가 수행되어야 할 것이다.



<그림 8> 메타모델에 의한 설계변경 절차

참고문헌

- [1] 이문섭, 이상용, "시뮬레이션에 의한 AGV 최적대수 결정" 「대한산업공학회 논문지」, 16권, 1호(1990), pp59-65.
- [2] Inman, R. R. "ASRS sizing for recreating automative assembly sequences", *International Journal of Production Research*, Vol.41, No.5(2003), pp.847-864.
- [3] Karaivanova, J. N. and Narula, S. C., Vassilev, V., "An interactive procedure for multiple objective integer linear programming problems", Vol.68, No.3(1993), pp.344-351.
- [4] Dean, B.V., Yu, Y. and Schniederjans, M. J., "A goal programming approach to production planning for flexible manufacturing systems", *Journal of Engineering and Technology Management*, Vol.6, (1990), pp.207-220.
- [5] Ali K. Kamrani, Hamid R. Parsaei and Donald H. Liles, "Planning , Design and Analysis of Cellular Manufacturing Systems", Elsevier Science B.V., 1995.
- [6] Taeho Park ,Hochang Lee and Heeseok Lee, " FMS design model with multiple objectives using compromise programming", *International Journal of Production Research*, Vol.39. No.15(2001), pp.3513-3528.
- [7] Soemon Takakuwa, "Precise Modeling and Analysis of Large - Scale AS/RS", *Simulation Conference Proceedings*, Winter, December, 1994.
- [8] 엄인섭, 이홍철, 강정운, "진화전략과 DEA 를 이용한 물류센터 분석 방법", 「한국 시뮬레이션학회 논문지」, 13권, 4호(2004), pp.17-29.
- [9] Spears, W. M. De Jong, K. A., Baeck, T. and Fogel, D. B., "An Overview of Evolutionary Computation", *Lecture notes in computer science*, Vol.667, (1993), pp. 442-459
- [10] Eiben, A. E. and Schoenauer, M., "Evolutionary Computing", *Information processing letters*, Vol.82, No.1(2002), pp.1-6.
- [11] Liberatore, M. J. and T. Miller, "A Decision Support Approach for Transport Carrier and Mode Selection", *Journal of Business Logistics*, Vol.16, No.2(1995), pp.85-115.
- [12] Tavana. M. and Banerjee, S., "Strategic Assessment Model(SAM) : a Multiple Criteria Decision Support System for Evaluation of Strategic Alternatives." *Decision Science*, Vol.26, No.1(1995), pp.119-143.
- [13] Saaty, T. L., "The Analytic Hierarchy Process", McGrawHill, New York, 1980.
- [14] 김성희, 정병호, 김재경, 「의사결정분석 및 응용」, 영지문화사, 1999.
- [15] Zeleny, M., "An essay into a philosophy of MCDM : A way of thinking or another algorithm?", *Computers and Operations Research*, Vol.19, No.7(1992), pp.563-566.
- [16] Karpak, B and Zionts, S., "Multiple criteria decision making and risk analysis using microcomputers", Berlin, Springer, 1989.
- [17] Evren, R., "Interactive Compromise Programming", *Journal of the Operational Research Society*, Vol.38, No.2(1987), pp.163-172.

주 작 성 자 : 허 병 완

논문투고일 : 2005. 07. 15

논문심사일 : 2005. 07.19(1차), 2005. 08. 01(2차),
2005. 08. 29(3차)

심사판정일 : 2005. 08. 29

● 저자소개 ●



허병완

2004 동양대학교 산업공학과 학사

2004 ~ 현재 고려대학교 산업시스템정보공학과 석사과정

관심분야 : Logistics, SCM, Modeling and Simulation.



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,