Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society
Vol. 12, No. 12 pp. 5622-5632, 2011

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2011.12.12.5622

직교배열을 이용한 통합물류시스템의 실험 설계 및 분석방법

박율기[1], 엄인섭[2], 이홍철[1*]
[1]고려대학교 정보경영공학전문대학원 정보경영공학과
[2]한진물류연구원

Design of Experiment and Analysis Method for the Integrated Logistics System Using Orthogonal Array

Youlkee Park[1], Insup Um[2] and Hongchul Lee[1*]
[1]**Department of Information Management Engineering, Korea University**
[2]**Hanjin Logistics Institute**

요 약 이 논문은 Automated Guided Vehicle(AGV)를 이용하여 운영되는 통합물류시스템의 시뮬레이션 실험 설계와 분석에 관한 방법을 제시한다. 물류창고의 AGVs(Automated Guided Vehicle system) 성능을 최대로 운영하기 위해선 많은 변수들이 고려되어져야 하는데 대표적 중요 요인에는 차량 대수, 속도, 운행규칙, 부품 타입, 스케줄링, 버퍼 사이즈 등이 있다. 우리는 이 논문에서 다양한 중요요인들 중 (1)처리량 최대화, (2)차량 이용률 최대화 (3)차량 혼잡 최소화, (4)Automated Storage and Retrieval System(ASRS) 이용률 최대화를 고려하기 위해 직교배열(Orthogonal Array)로 실험계획을 수립하였고 이를 이용한 시뮬레이션 기반 분석과 진화전략(Evolution Strategy : ES)를 이용한 최적화를 각각 수행했다. 그 결과 ES에 비해 직교배열이 실험 시간과 회수를 절약하였고 두 결과에 대한 유효성 검사 또한 큰 차이를 나타내지 않았다. 따라서 본 논문에서 제시한 방법을 이용한 분석 방법은 시간, 회수 그리고 실험의 정확성에 대한 분석의 효율성을 증대시킬 것으로 예상되며 통합 물류 시스템 이외의 시스템에도 적용이 가능 할 것으로 생각된다.

Abstract This paper presents the simulation design and analysis of Integrated Logistics System(ILS) which is operated by using the AGV(Automated Guided Vehicle). To maximize the operation performances of ILS with AGV, many parameters should be considered such as the number, velocity, and dispatching rule of AGV, part types, scheduling, and buffer sizes. We established the design of experiment in a way of Orthogonal Array in order to consider (1)maximizing the throughput; (2)maximizing the vehicle utilization; (3)minimizing the congestion; and (4)maximizing the Automated Storage and Retrieval System(AS/RS) utilization among various critical factors. Furthermore, we performed the optimization by using the simulation-based analysis and Evolution Strategy(ES). As a result, Orthogonal Array which is conducted far fewer than ES significantly saved not only the time but the same outcome when compared after validation test on the result from the two methods. Therefore, this approach ensures the confidence and provides better process for quick analysis by specifying exact experiment outcome even though it provides small number of experiment.

Key Words : Simulation, Flexible Manufacturing System, Automated Guided Vehicle System, Orthogonal Array, Evolution Strategy, Signal To Noise Ratio

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

최근 선진국을 중심으로 물류(유통)관리에 있어서 관련주체간 물류(유통) 활동을 통합적으로 관리하려는 공급사슬관리(SCM: Supply Chain Management) 또는 통합물류관리(Supply Chain Integration)에 대한 관심과 노력이 광범위하게 이루어지고 있다. 기업경영에서 최대 현안중의 하

*교신저자 : 이홍철(hclee@korea.ac.kr)
접수일 11년 10월 26일 수정일 (1차 11년 11월 25일, 2차 11년 12월 12일) 게재확정일 11년 12월 13일

나는 물류의 효율적 관리 및 운영이며, 물자흐름의 연결점으로서 물류거점시설 혹은 물류센터는 물류현대화의 전략거점이라는 점에서 매우 중요하다. 물류센터는 수배송, 포장, 보관, 가공유통 및 정보센터의 제 기능을 가지고 있으며, 이들 기능과 관련된 물류비용은 수송비, 포장비, 보관비, 하역비, 정보비 등으로 구성된다. 또한 물류시스템에서 물류비용의 대부분을 차지하는 재고 및 수송비의 절감이나 서비스의 향상은 물류센터의 수와 입지로 선정된 물류센터에서 재고정책의 효율성 여하에 따라 변동되며, 물류센터의 재고관련비용과 수요처에 대한 수송비용의 절감을 위하여 통합관리가 요청된다. 하지만 재고 및 수송비의 고려만으로는 공급사슬관리의 전체 최적화를 이룰 수가 없다. 즉, 조달에서부터 고객에 도달할 때까지 어느 하나의 개별적 주체의 경쟁력이 중요한 것이 아니라 전체 사슬을 이루고 있는 사슬의 경쟁력이 중요한 것이다. 따라서 우리나라도 관련주체마다 개별적으로 진행되고 있는 물류시스템을 통합하여 전체 사슬의 경쟁력을 제고시킬 필요성이 증가하고 있다. 따라서 현재 통합물류센터의 저장 및 관리 기능을 극대화시키기 위하여 시뮬레이션을 통한 연구가 활발히 진행되고 있다[4,5,7-9].

통합물류센터의 기본적 역할 중의 하나는 원자재에서부터 부품, 완제품 등에 대한 저장 기능의 수행이며 저장아이템의 종류와 수량을 지속적으로 추적하는 각종 정보관리시스템을 통하여 주문, 생산, 재고, 판매와 관련된 동적재고 관리의 역할을 까지 통합 수행하고 있다[1]. 따라서 이러한 통합물류센터의 저장 및 관리 기능을 극대화하고 시스템 운용의 효율성을 높이기 위하여 최근 자동창고(AS/RS), AGVs, Conveyor 시스템과 같은 자동 물류 시스템들이 개발되어 사용되고 있다. 하지만 이러한 선진화된 첨단 기술이 복합되어 구성된 자동화 물류 시스템은 그 속성이 다양하고 매우 복잡하여 수리적 분석에 한계가 따른다. 시뮬레이션 분석은 분석적인 모델이나 수리적 모형을 이용하여 쉽게 모사 할 수 없는 물류센터 시설과 같은 복잡한 시스템의 분석에 매우 적합한 분석 도구라고 할 수 있을 것이다.

시뮬레이션 모델은 시스템의 기본적인 운영 및 설계 방안을 나타낸다. 그러면 시뮬레이션 설계자는 기대되는 설계 목적에 부합되는지 아닌지를 결정하기 위하여 출력변수를 분석하게 된다. 특히, 물류센터 시설에서, 시뮬레이션은 최적의 설계 방안을 선택하거나 또는 최적의 운영방안을 제시하는데 유용하게 사용이 가능 할 것이다.

출력 변수의 분석에 있어서 경영 과학, Operation Research, Heuristic Method 등의 분석 방법이 많이 활용되고 있다[29,30]. 따라서 본 논문에서는 시뮬레이션 모델의 메타 모델을 이용하여 시뮬레이션 분석을 좀 더 빠르게 활용하고 정확한 결과를 나타내는 방안으로 직교배열을 이용한 실험설계를 제시하고자 한다. 이는 기존의 완전요인분석에 비해 실험수를 경감시키고 빠르고 안전한 최적 실험계획을 제시한다. 또한 시뮬레이션 최적해를 제시하는 경우 시뮬레이션 설계자와 시스템 운영자 사이의 이견이 발생하게 된다. 즉, 시뮬레이션은 그 자체적으로 연구에 그치는 경우가 많게 되고, 현실 시스템에 직접적인 적용이 어렵게 되는 경우가 발생하게 된다. 그러므로 시뮬레이션 설계자와 운영자 사이의 의사 결정에 있어서 문제점이 도출되는 것이 현실이다. 따라서 본 논문에서는 직교배열을 통한 대안설계를 한 뒤 의사결정자의 선호도를 반영한 S/N비 계산을 통하여 시뮬레이션 최적해 집합을 제시함으로서, 운영자가 자신의 시스템에 맞는 최적 대안을 적용하는데 있어서의 의사결정을 제공하는데 목적을 두었다.

본 연구에서는 물류시스템에서 중요요인과 설계변수들의 조합에 따른 실험계획을 수립하고 시뮬레이션을 통해 유효성이 있고 신뢰도가 높은 결과를 내지만 사용이 편리하고 빠른 실험계획을 제안하고자 한다. 이를 통하여 기존에 비해 빠른 결과를 산출하여 물류 시스템에 바로 반영할 수 있게 함으로써 경쟁력 향상에 크게 기여할 수 있을 것이다.

1.2 논문의 구성

이 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 통합물류시스템 설계를 위한 기존연구를 기술하고 3장에서는 물류센터 시뮬레이션기반 설계를 위해 중요요인과 설계변수의 선별을 기술한다. 4장에서는 직교배열을 이용한 실험계획수립을 기술한다. 5장에서는 시뮬레이션 실행, 6장은 연구의 결론을 도출한다.

2. 기존연구

통합물류시스템을 설계 및 분석을 하는 본 논문과 관련한 문헌범주로는 크게 하위 시스템의 부분적 분석 연구와 메타모델을 이용한 연구로 나눌 수 있다.

우선적으로 하위 시스템의 각 부분을 부분적으로 분석하여 설계에 반영하는 방안 위주로 많이 제시되어 왔다. 주요연구를 살펴보면 Takakuwa는 AGV와 자동창고를 통합한 모델을 시뮬레이션을 이용하여 분석하는 기법을 제시하였고[1], Lee는 동일하지 않은 셀을 가지는 자동창고를 측정하는 수리적 모델을 제시하여 자동창고의 성과를 측정하였다[2]. Ottejes는 시뮬레이션 소프트웨어를 이용

하여 multi-AGV 시스템의 통합 설계 및 제어를 나타내었고[3], 이문섭은 시뮬레이션을 이용한 AGV 최적대수 결정 방안을 제시하기도 하였다[4]. 이외에 AGV 운행 시 고려되는 사항과 규칙들은 활발히 연구되어 지고 있다[18-23].

메타모델로 최종 설계안을 도출하기 위한 연구로서 엄인섭은 자동화 물류센터 시스템에 대하여 진화전략(Evolutionary Strategy)을 이용하여 시스템 대안들의 최적화를 수행하고 DEA(Data Envelopment Analysis)를 이용한 대안간의 비교 평가를 통하여 최적 설계안을 도출하는 연구와 MONLP으로 메타모델을 만들고 ES를 이용한 설계변수 최적화를 하는 연구를 하였다[5]. 이 분야와 관련한 또 다른 문헌으로 강정윤은 자동화물류센터에 대하여 시뮬레이션 실험과 반응표면모델을 이용하여 메타모델을 만들고 이를 통하여 설계변수들을 최적화하였고[7], 허병완 등은 자동화 물류센터에 대하여 진화전략(ES)과 AHP (Analysis Hierarchy Process)를 이용하여 시뮬레이션 최적화를 수행한 후 회귀분석 메타모델과 CP(Compromise Programming)을 통하여 최적 설계 변수를 도출하는 방법을 제시하였다[8]. 이러한 설계 최적화와 관련한 시뮬레이션 연구는 물류센터의 설계오류를 최소화하고 동시에 설계기간을 단축하는데 기여했다. 하지만 최근 대부분의 시뮬레이션 논문은 입출력 변수의 분석을 중점적으로 연구하고 있으며, 분석적 기법으로는 통계기법을 활용한 연구가 진행되고 있다. 그러나 이와 같은 연구 결과의 활용에 있어서 현실 시스템의 직접적인 적용에 어려움이 있으며, 연구 결과로서만 활용되는 경우가 많이 존재하게 된다. 그러므로 최적해 집합(Optimal solution Set)을 산출하여 시스템 운영자가 시스템에 최적 대안을 적용하는데 있어서의 의사결정을 제공하는 필요성이 제기되고 있다. 대부분의 연구에서는 중요(종속) 변수와 설계(독립) 변수로 구분을 한 뒤, 다기준 의사 결정 방법(MCDM: Multiple Criteria Decision Making)에 의하여 최적해를 찾게 된다. 관련연구로 엄인섭 등(2007)은 시뮬레이션 모델링 및 분석을 수행 후, 진화전략(Evolution Strategy)을 이용하여 최적화를 수행하는 방법을 제시하였다[9]. Hani Yasimina 등(2007)은 유전자 알고리즘과 시뮬레이션을 이용한 최적 스케줄 선정 방법을 제시하였다[10].

시뮬레이션에서 요인분석을 위한 기존 연구로 강정윤은 FDE(Frequency Domain Experiments)를 통해 입력 요인의 효과를 분석[11]하였고, Douglas는 Harmonic 분석방법을 이용한 요인분석을 제시하였다[12]. CARL과 DENNIS는 통계적 접근방법중 하나인 Random Balance Sampling을 사용하는 방법을 제안하였다[13].

하지만 통합물류센터와 같이 시스템이 복잡하게 되면 많은 변수를 고려하여야 하고, 그 결과 실험 횟수는 증가하게 된다. 이 같은 최적화 알고리즘 적용의 어려움 등으로 메타 모델에 관한 연구는 지금까지 꾸준히 연구되어지고 있다. Kleijnen과 Durieux은 회귀메타모델(Regression Meta Model)에 관한 연구를 수행하였다[14.15]. 본 논문에서는 시뮬레이션 실험 전, Orthogonal Array를 통한 실험계획을 수립하여 메타모델 구축을 하고 ES전략을 이용한 최적해와 검증을 하여 기존의 완전요인분석을 통한 실험보다 훨씬 적은 실험 횟수로도 시스템을 잘 반영할 수 있다는 것을 제시하고자 한다.

위에서 언급한 이러한 연구들을 정리하면

1. 시뮬레이션의 실험계획수립 시 설계변수가 늘어남에 따라 경우의 수가 기하급수적으로 늘어남
2. AGV 운행규칙을 고려한 시스템 설계
3. 사용자의 선호도에 따른 대안선정

따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 극복하기 위하여 1.직교배열을 이용한 실험계획수립 2.통합물류센터에서 적용되는 실제 AGV 운행규칙을 기반으로 시뮬레이션 모델링 3.직교배열과 완전요인실험계획간 결과 비교 및 S/N비를 이용한 대안선정을 시행하였다. 3장에서는 실험계획을 수립하기 위하여 중요요인과 설계변수를 결정하는 과정을 기술하였다.

3. 시뮬레이션 기반 통합물류시스템설계

이 단계의 핵심은 시스템에 영향을 미치는 설계변수와 시스템의 중요요소 및 이러한 변수들을 구분 하는 것을 포함한다. 위에 언급된 핵심과정의 신중한 고려를 통해서 우리는 시뮬레이션 모델을 설계하고 결정변수 및 모델의 실험계획 수립에 필요한 설계변수를 설정할 수 있다. 그런 다음 시뮬레이션 언어와 소프트웨어의 선택 및 각 설계 포인트에 대한 랜덤시드, 안정화 단계에 도달하는데 필요한 시뮬레이션 시간의 선택 및 모델 검정과 검증과정을 고려해야 한다.

3.1 중요 요인 선택

시뮬레이션 기반 설계에서 많은 중요 변수(종속)(Critical Factor)들이 발생한다. 중요 변수들의 상호작용 예측은 어려울 수 있기 때문에, 다른 요인 및 변수들을 고려하지 않고 하나의 요인 및 변수를 결정하는 것은 어렵다. 중요 변수는 시스템의 성과를 가장 잘 나타내는 변수를 선정하여야 한다.

이 논문에서 AGV 시뮬레이션 최적화를 수행하기 위하

여 사용한 성과 측정 변수(중요 변수)은 다음과 같다

(1) Maximize the Throughput
(2) Maximize the AGV Utilization
(3) Minimize the AGV Congestion
(4) Maximize the AS/RS Utilization

3.2 설계변수 선택

설계(독립) 변수(Design Parameter)의 선정은 시뮬레이션 모델의 크기 및 실험 횟수와 밀접한 관련이 있다. 메타모델의 관점에서 설계 변수의 최소화를 통한 최대 효과를 나타내는 방법이 가장 효율적이지만, 그래도 시스템에 영향을 주는 변수의 선정을 위해서는 초기 모델 및 실험 횟수는 커질 수밖에 없게 된다. 시뮬레이션에서 설계변수를 설정하기 위한 기존 연구들[11-13]이 있었는데, 이 논문에서는 민감도 분석을 통하여 설계변수를 구분하였다.

시뮬레이션 기반 설계에 관련된 완전요인분석과 중요요인 최적화가 물류센터 설계변수에 포함된다. 실험계획은 설계변수와 운영변수를 포함한다. 그리고 설계변수는 고정/유동 변수로 구성되어 있는데 이 둘을 분리하기 위해 이 논문에서는 민감도 분석을 제안한다. 설계변수의 영향 분석을 위한 일반적이고 간단한 방법은 시뮬레이션 모델을 사용하여 변수들을 하나씩 분할 분석하는 것이다. 민감도 분석은 하나의 설계 변수의 변화에 따라서 종속변수가 어떻게 반응 하는지를 시뮬레이션 실험을 통해서 관측하는 기법이다. Durieux는 하나의 독립 변수에 대한 민감도 분석과 독립 변수 사이의 상호 효과를 분석하였지만, 본 논문에서는 설계 변수의 값과 에러 값을 선정하여서 에러 값만큼의 변화에 종속 변수가 어떻게 반응 하는지 실험을 실시하였다[15]. 에러 값의 선정은 표준 시간에 설계자가 허용 가능한 차이만큼의 시간을 표시하여서 분석을 하게 된다.

이 분석은 시뮬레이션 모델에서 다른 변수들은 유지하면서, 한 번에 오직 하나의 설계변수를 수정하고 중요 변수의 행동을 관찰한다. 이는 적절한 설계변수들 모두 수행된다. 그리고 각각의 설계변수를 위해 산포도를 개발한다. 설계변수와 중요 변수들과의 상호작용들에 대한 연구를 위하여 많은 요인들의 영향요소가 분석되는 경우 다루기 힘들 수 있는 각 요소(설계변수)의 산점도와 주요요인들이 결합되어 질 수 있다[17].

민감도 분석을 통하여 우리는 설계변수의 값과 이러한 변수들이 기능이 가장 상실될 가능성이 있는 결측치를 정의 할 수 있다. 이 분석을 통해 우리는 하나 또는 그 이상의 설계변수에서 민감한 중요요인들이 어떻게 변화하는지를 평가할 수 있다. 다시 말해 중요요인들과 설계변수의 상호작용을 표현한다. 만약 설계변수가 민감하지 않다면, 이것은 시뮬레이션 모델에 고정변수로 정의하고 사용할 수 있다. 반면에 우리는 변수로 된 사항을 통하여 유동변수를 정의하고 모델의 결론을 도출하기 전에 더 나은 데이터를 수집한다.

운영변수들로는 제품의 작업과정들과 제작시간 및 시뮬레이션으로 실행할 수 있는 각 기계 시설 등에 대한 평균고장간격(mean time between failures :MTBF)과 평균수리시간(mean time to repair :MTTR) 등이 있다. 표 1은 이렇게 결정된 중요요인과 설계변수들을 나타낸다.

[표 1] 실험을 위한 중요요인과 설계변수
[Table 1] Design parameter and critical factor for experiment

Critical Factor (중요요인)		
Variable	Content	Unit
y_1	Throughput	EA
y_2	AGV Utilization	%
y_3	AGV Congestion	%
y_4	ASRS Utilization	%
Design parameter		
Parameter	Content	
x_1	AGV Number	11-15 AGV
x_2	AGV Velocity	2, 3, 4 ft/sec
x_3	AGV Acceleration	0.8, 1, 1.2 ft/sec^2
x_4	AGV Deceleration	0.8, 1, 1.2 ft/sec^2
x_5	AGV Pickup Time	3, 5, 7 sec
x_6	AGV Setdown Time	3, 5, 7 sec
x_7	ASRS_Hor_Vel	2, 3, 4 ft/sec
x_8	ASRS_Vert_Vel	2, 3, 4 ft/sec
x_9	ASRS_Pickup Time	3, 5, 7 sec
x_{10}	ASRS_Setdown Time	3, 5, 7 sec

4. 직교배열을 이용한 실험계획

이 장에서는 시뮬레이션하기에 앞서, 결정된 설계변수들에 대하여 직교배열(Orthogonal Array)를 이용한 실험계획 수립과정을 나타낸다. 실험계획의 수가 방대하고 이에 따른 시뮬레이션 시간이 늘어남에 따라 자연스럽게 비용도 증가되는 문제점이 발생되었다. 이 논문에서는 이러한 시간적 문제를 해결하기 위해 직교배열을 이용한 실험 설계방법을 제안하고자 한다. 이를 위하여 실제 기업에서 활용중인 자동화 통합 물류센터 중 가장 전형적인 통합물류 시스템에 가까운 자동창고 내 저장 및 출고 방식 및 효율적인 Zone의 컨트롤 운용, AGV 시스템 내 Guide path 설계 방법 및 차량 운영방식 마지막으로 Conveyor 시스템의 세부적 사항을 정성적 요소로 선정하여 통합적인 시스

템 분석을 수행하였다. 이러한 시뮬레이션 분석에서는 총 처리량, 자동창고 및 AGV 이용률, 혼잡도 등을 성과 측정 변수로 선정하고 이에 영향을 주는 설계변수들에 대하여 직교배열을 이용한 실험계획을 수립하였다.

4.1 Orthogonal Array

직교배열표란 기술적으로 무시할 수 있는 교호작용에 관한 정보를 희생시켜서 실험횟수를 적게 할 수 있는 실험계획을 만들도록 고안된 표로써 각 열(설계변수 및 교호작용이 배치된 열)의 선형조합들이 통계적으로 서로 독립인 관계, 즉 직교관계를 나타내기 때문에 하나의 설계변수의 효과를 구할 때 다른 설계변수에 의한 치우침이 없게 된다. 다시 말해 직교 배열은 Latin Square라는 수학적 행렬을 기반으로 한다. Latin Square란, 정사각형 (행과 열의 개수가 같은) 행렬 중, 특정 행이나 열에 중복된 요소가 존재하지 않으면서 모든 요소가 한 번씩 나타나는 행렬을 말한다.

현재 많이 쓰이는 표는 1970년대에 Taguchi 박사가 정리한 표(Orthogonal Array Table : 직교배열T)이고, 표현 방법은 다음과 같다.

$L_{n\exp}(LV^{c})$

c : 열의 수
LV : 수준수
nexp : 실험횟수

예를 들어 각각 2개의 수준을 갖는 3개의 변수(동작모드, 설정, 이퀄라이저)를 비교해보면,

[표 2] All combination과 OA 비교
[Table 2] Compare All combination and OA

	All Combination		
	동작모드	설정	이퀄라이저
1	순차	Hold	Off
2	순차	Hold	Live
3	순차	착신	Off
4	순차	착신	Live
5	순차반복	Hold	Off
6	순차반복	Hold	Live
7	순차반복	착신	Off
8	순차반복	착신	Live
	Orthogonal Array		
1	순차	Hold	Off
2	순차	착신	Live
3	순차반복	Hold	Live
4	순차반복	착신	Off

표 2에서 나타나듯이 직교배열을 이용한 실험계획은 조합이 전체 산출 결과에 골고루 균등하게 분포되어 있는 형태를 보인다. 중요한 것은 직교배열은 완전하게 최적화 결과를 보장하지 못한다. 그러므로 기본 직교배열 외 별도의 실험계획을 추가하는 방법이 가장 안정적이다. 하지만 이는 모든 변수가 같은 수준을 가질 경우에 적합한 방법으로 이 논문에서 설계하고자 하는 통합물류창고처럼 수준의 수가 다를 경우에는 별도의 치환과정이 필요하다.

4.2 직교배열을 이용한 실험설계

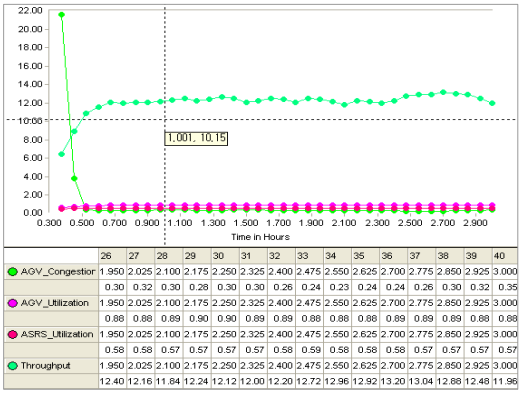
Taguchi method를 이용한 직교배열 Tool로는 C로 만들어진 Jenny, Pair 계산에 최적화된 Allpairs, 그리고 Reduce Array2/3 등 여러 가지가 이용되고 있으며 그 중 융통성 있어 이론 적용범위가 넓으며, 쉬운 사용방법, 빠른 속도, 기본 직교배열표에 케이스를 추가하여 위험도를 낮추는 장점을 지닌 Jenny가 대표적으로 사용된다.

따라서 본 연구에서는 위에 언급한 ad-hoc 접근방법 중 직교배열을 기반으로 만들어진 Jenny를 사용하여 현실적인 상황에 기초한 가정을 케이스화하여 추가한 뒤 실험을 진행하였으며 일반적인 직교배열과 비교했을 때 실험의 수는 늘어나지만 일부 케이스를 수행하지 않을 경우의 위험도를 상당 수준으로 감소시킨다. 게다가 설계변수마다 수준이 다른 Mixed Level Factorial Design에서는 직교배열표를 찾고 다른 변수들을 변환하는 과정이 필요로 하며 올바른 방향으로 진행이 되었는지는 사용자가 판단해야 하는 문제가 있다. 이러한 상황에서 우리는 Jenny가 제안하는 방향을 설명하는데 가장 적합한 툴로 고려하였다.

5. 시뮬레이션

물류창고 모델 - AS/RS 모델을 사용했으며 본 연구에서는 AGV의 해석결과의 정확성을 높이기 위해 기존의 완전요인배치 실험계획과 비교하여 직교배열을 이용한 실험설계를 진행하였다.

실제 AGV 특성을 반영하기 위해 3개의 고정변수인 가속, 하역 시간, 컨베이어 속도를 고려한 실험계획을 수립하였다. 그리고 기존 연구를 통해 사용되는 실제 AGV의 운행 규칙[1-4,18-23]들을 시뮬레이션 모델링에 AGV 운행 규칙에 반영하였다. 그림 1은 시스템의 안정화를 위하여 9시간의 Run Time 중 1시간의 Warmup time을 갖고 나머지 8시간을 분석한 것을 나타내고 있다.



	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
AGV_Congestion	1.950	2.025	2.100	2.175	2.250	2.325	2.400	2.475	2.550	2.625	2.700	2.775	2.850	2.925	3.000
	0.30	0.32	0.30	0.28	0.30	0.30	0.26	0.24	0.23	0.24	0.24	0.26	0.30	0.32	0.35
AGV_Utilization	1.950	2.025	2.100	2.175	2.250	2.325	2.400	2.475	2.550	2.625	2.700	2.775	2.850	2.925	3.000
	0.88	0.88	0.89	0.90	0.90	0.89	0.89	0.88	0.88	0.88	0.89	0.89	0.89	0.88	0.88
ASRS_Utilization	1.950	2.025	2.100	2.175	2.250	2.325	2.400	2.475	2.550	2.625	2.700	2.775	2.850	2.925	3.000
	0.58	0.58	0.57	0.57	0.57	0.57	0.58	0.59	0.58	0.58	0.58	0.57	0.57	0.57	0.57
Throughput	1.950	2.025	2.100	2.175	2.250	2.325	2.400	2.475	2.550	2.625	2.700	2.775	2.850	2.925	3.000
	12.40	12.16	11.84	12.24	12.12	12.00	12.20	12.72	12.96	12.92	13.20	13.04	12.88	12.48	11.96

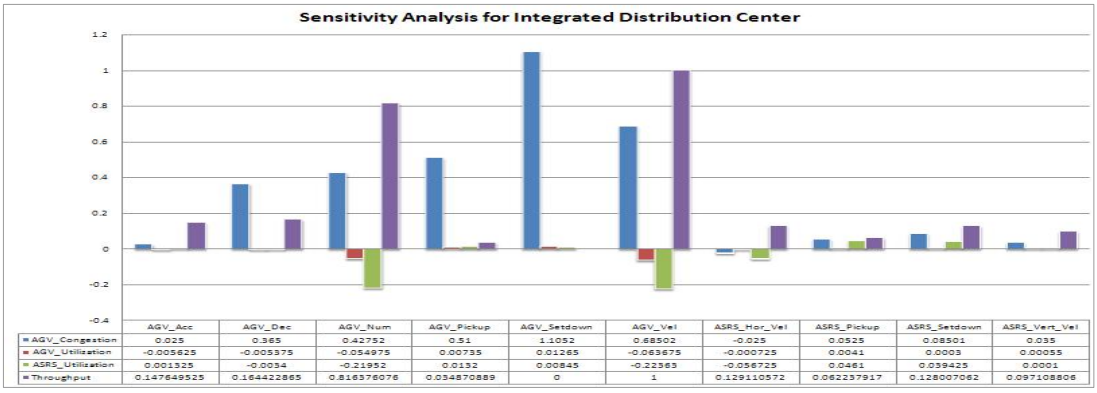
[그림 1] Warmup Graph
[Fig. 1] Warmup Graph

5.1 민감도 분석을 통한 설계변수 선정

의사결정 기준에 사용하기 위하여 앞서 설정한 중요 요인들에 큰 영향을 미치는 설계변수를 찾기 위하여 10개의 설계변수별 회귀분석을 실시하였다. 그 결과는 그림 2에 나타낸 것과 같이 5개의 변수(AGV_Deceleration, AGV_Number, AGV_Pickup time, AGV_Setdown time, AGV_Velocity)가 가장 큰 영향을 주는 것을 나타낸다. 이 결과에 따라 이 논문은 선정된 5가지 변수를 이용한 실험 계획을 수립하고 최적화를 실시하였다.

5.2 시뮬레이션 모델링

이 논문에서 설계된 통합물류센터 프로세스는 그림 3



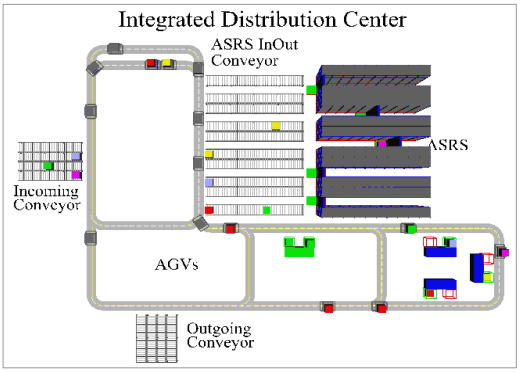
	AGV_Acc	AGV_Dec	AGV_Num	AGV_Pickup	AGV_Setdown	AGV_Vel	ASRS_Hor_Vel	ASRS_Pickup	ASRS_Setdown	ASRS_Vert_Vel
AGV_Congestion	0.025	0.365	0.42752	0.51	1.1052	0.68502	-0.025	0.0525	0.08501	0.035
AGV_Utilization	-0.005625	-0.005375	-0.054975	0.00735	0.01265	-0.063675	-0.000725	0.0041	0.0003	0.00055
ASRS_Utilization	0.001325	-0.0034	-0.21952	0.0132	0.00845	-0.22585	-0.056725	0.0461	0.039425	0.0001
Throughput	0.147649525	0.164422865	0.816376076	0.034870889	0	1	0.129110572	0.062237917	0.128007062	0.097108806

[그림 2] 설계변수별 민감도 분석
[Fig. 2] Sensitivity analysis of Design parameters

[표 3] 직교배열을 이용한 실험 계획과 결과
[Table 3] Design of experiments and results using orthogonal arrays

No.	Design Parameter					Critical Factor			
	Deceleration	Number	Pickup time	Setdown time	Velocity	Throughput	AGV Utilization	AGV Congestion	ASRS Utilization
1	0.8	11	5	7	3	1071	0.9997	1.567	0.574
2	1	15	7	3	2	1041	0.987	1.167	0.584
3	1.2	13	3	5	4	1077.7	0.91	1.1	0.5757
4	1	12	7	7	4	1077.3	0.9787	2.867	0.5747
5	1.2	14	5	3	2	1067.7	0.9953	0.7333	0.5727
6	0.8	12	3	3	3	1078.3	0.9803	0.2	0.5723
7	0.8	14	7	5	3	1076.7	0.9657	1.8	0.574
8	1	11	3	5	2	932.7	1	0.5333	0.8393
9	0.8	13	5	3	4	1074.3	0.9277	0.7667	0.575
10	0.8	15	3	7	2	1062	0.9887	1.033	0.573
11	1.2	11	7	7	3	1081.3	1	2.433	0.5743
12	1	13	5	7	3	1079	0.977	2.033	0.574
13	1.2	15	5	5	4	1078	0.8653	1.967	0.574
14	1.2	12	5	5	2	951.7	1	1	0.837
15	1	14	3	7	4	1078	0.9023	1.9	0.576
16	0.8	11	7	3	4	1078	0.9863	1.167	0.5723
17	1	13	7	7	2	964	0.9997	1.933	0.824
18	1	15	7	7	3	1079.3	0.95	3.1	0.5747

에서 나타난 것과 같이 Incoming Conveyor를 통해 자재가 들어와 AGV에 할당된 뒤 ASRS InOut Conveyor로 운반되어 ASRS에 저장된다. 출고 시 ASRS InOut Conveyor로 나와AGV에 할당되고 제품별 공정에 따라 MC으로 이동되어 완성이 되면 Outgoing Conveyor를 통해 나가게 되는 프로세스를 갖는다. 그리고 각각의 이벤트 분포와 제품의 공정순서, MC별 작업시간들은 표 4에 기술되었다.



[그림 3] 통합물류센터 시뮬레이션 모델
[Fig. 3] Integrated Distribution Center Simulation Model

[표 4] 시뮬레이션 입력 데이터
[Table 4] Simulation Input data

Type	Arriving Distribution	Delivery Distribution	Product Process Procedure
1	N(320, 10)	N(180, 10)	MC1→MC3→MC4
2	N(270, 25)	N(130, 15)	MC1→MC2→MC4
3	N(130, 30)	N(140, 10)	MC2→MC3→MC4
4	N(350, 20)	N(200, 10)	MC2→MC4
5	N(350, 30)	N(200, 10)	MC2→MC3

MC Number	Process Time
MC1	N(40, 3)
MC2	N(30, 3)
MC3	N(20, 2)
MC4	N(10, 2)

[N:정규분포(Normal Distribution), Unit: sec]

5.3 직교배열을 이용한 실험설계

선정된 5가지의 변수의 수준별 직교배열표를 만들고 이를 이용하여 표 3에 나타난 것과 같이 실험계획을 수립하였다. 표 5에서는 완전요인배치법으로 실험계획을 수립했을 경우에 비해 직교배열법을 사용할 경우 387회 감소되었고 5번의 독립된 반복 실험 시 기존의 4.4%인 90회만 실험만으로도 같은 결과가 나올 수 있다는 것을 나타낸다.

[표 5] 실험 수 비교
[Table 5] Compare the number of experiments

방법	실험 횟수	반복 횟수	총 실험수
완전요인배치법	405	5	2025
직교배열법	18	5	90

5.4 S/N비를 이용한 MCDM

18개의 대안 중 최적의 실험계획을 갖는 대안을 선택하기 위하여 S/N비(Signal to Noise Ratio)를 사용하였다. 일반적으로 S/N비는 성능특성치가 목표 값에서 벗어난 정도의 크기에 따라 발생한 손실을 함수로 표현한 신호대 잡음의 비율을 이용한 방법으로 세 가지로 구분하고 있다.

$$SN= \frac{\text{신호의 힘(power of signal)}}{\text{잡음의 힘(power of noise)}}$$

이때 망소특성인 경우의 SN비는

$$SN=-10\log[\frac{1}{n}\sum_{d=1}^{n} y_d^2] \quad (1)$$

이고, 망대특성인 경우의 SN비는

$$SN=-10\log[\frac{1}{n}\sum_{d=1}^{n} \frac{1}{y_d^2}] \quad (2)$$

이며, 단위는 데시벨(DB)을 이용한다.

본 연구에서는 SN비가 많은 대안과 속성을 가지는 다수의 망소/망대특성 문제에 대하여 주어진 그룹간이나 특정의 그룹 내의 속성간 선형성(Linearity)과 가법성(Additivity)을 만족하면서 궁극적으로 효용/선호독립(Utility/Preferential independence)이라고 가정한다[24,28].

매우 많은 대안과 속성을 가지는 다수의 망소/망대특성 문제를 해결하기 위하여 점차적인 단계 p를 거치면서 우선적으로 의사결정자의 입장에서 중요하다고 생각되는 그룹속성을 고려하여 SN비 개념에 의해 이들의 값을 척도로 이용해 최종적으로 최선의 선호대안 a_*^z를 선정한다.

여기서, 단계 p가 증가함에 따라 대안의 차별화를 효율적으로 하기 위하여 $i \neq k$일 때 $a_i, a_k \in A_{p-1}$에 대해 $SN_p(a)$에 의한 대안 a_i와 대안 a_k간의 선호관계는

$$\sum_{p-1}^{z} SN_p(a_i) \geqq \sum_{p-1}^{z} SN_p(a_k) + \beta \Leftrightarrow a_i \succeq a_k, \beta \geqq 0$$

가 됨을 알 수 있다. 위의 $a_i \succeq a_k$는 대안 a_i를 대안 a_k보다 선호하거나 무차별함을 의미한다. 여기서 β는 대안간 SN비의 미세한 차이값을 의미한다. 이러한 개념에 의해

구해지는 단계별 최적 선호대안과 해당 단계에서의 나머지 대안간의 SN비가 의사결정자 입장에서 볼 때 열등대안(Inferior alternatives)을 제거시킬 수 있을 것이다. 이것은 의사결정자가 시간적으로 촉박한 의사결정을 할 상황에서 막연히 열등대안일 것으로 생각하는 임의의 대안이 제거된다면 커다란 손실로 이어질 수 있을 때 의사결정자 입장에서는 가능한 방법을 최대한 모색할 것이다. 이를 위해 본 연구에서는 단계 p를 거치면서 구해지는 절단범위(cutting range)를 벡터정규화를 이용하는 접근방법[25-27]과는 달리 주어진 대안들로부터 얻은 평균 S/N 비 값

$$C_p = \sum_{i=1}^{m_p} \frac{SN_p(a_i)}{m_p} \quad (3)$$

를 이용하기로 한다. 여기서 의사결정자가 단계 p이후의 추가적인 속성을 고려하여 조정가능한 절단범위 $C'_p = \rho C_p$를 통해 다시 열등대안을 제거할 수도 있다. 위의 ρ는 C_p를 조정하기 위한 상수(Constant)가 되는데 $\rho = 1.0$이면 $C'_p = C_p$이기 때문에 절단범위는 평균 SN비 값과 동일한 값을 가진다. 표 6은 각 속성들에 대한 SN비를 식 (1),(2)를 이용하여 구한 것이다. 그리고 중요요인들에 대한 가중치 $\omega_p = [\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4]^T = [10,5,3,1]^T$를 얻었다면 $\lambda_p = \omega_p / \sum_{p=1}^{z} \omega_p$에 의해 λ_p=[0.5263, 0.2631, 0.1578, 0.0526]^{T}가 된다. 그리고 단계p에서 λ_p가중치를 고려하여 각 대안의 $SN_p(a_i)$를 계산하고 최대의 값을 나타낸 후, 식(3)의 절단 범위에서 벗어난 대안들을 제거하여 나타내면 위의 표 7과 같다.

이를 통해 단계를 거치면서 제거되어 최종 의사결정자에게 최적의 해를 제시했으며 의사결정자가 ρ값의 조정을 통해 해의 수렴 속도를 조절할 수 있도록 하였다.

5.5 대안선정

p=1,2,3,4를 통해 구해진 대안집합의 선호순위는 A_1={11>18>12>6>13>16>15>3>4>7>9>1>5>10}, A_2={11>1>5>10>16>6>4>12}, A_3={6>5>10>16}, A_4={10>5}이다. 위의 결과를 통해서 알 수 있는 바와 같이 단계 p를 통해 대안10이 최종대안으로 선정되었다. A_1에서 대안선호 순위에서 마지막에 위치한 대안10이 최종대안으로 선정된 것은 SN비 측면에서 불리한 점을 단계별 추가적으로 고려하는 속성에 의해 상쇄되어지기 때문에 선호순위가 바뀌게 된 것이다. 이는 의사결정자가 열등대안을 제거함으로서 범할 수 있는 대안선정의 실수를 이 과정을 통해 전체적인 그룹속성을 반영한 최선의 선호대안을 보장할 것이다.

6. 결론

통합물류시스템의 저장 및 관리기능 극대화를 위해 시뮬레이션 연구가 일반적으로 사용되고 있다. 시뮬레이션 실험을 위해 필요한 설계변수와 결정요인의 결정을 위하여 민감도 분석을 사용하였다. 기존의 안전하지만 많은

[표 6] 각 중요요인들에 대한 SN비
[Table 6] S/N ratio for each critical factor's

No.	Throughput	최선 대안	AGV Utilization	최선 대안	AGV Congestion	최선 대안	ASRS Utilization	최선 대안
1	60.5956001		-0.002898678		-2.321487063		-4.821788515	
2	60.34577138		-0.113692612		-1.346020533		-4.678662157	
3	60.6496416		-0.819214109		-0.827853703		-4.797005494	
4	60.64687957		-0.187307094		-9.152239006		-4.811793602	
5	60.56808475		-0.040640727		2.676062402		-4.84223665	
6	60.65501333		-0.172545679		13.97940009	a_*^3	-4.847134337	
7	60.64154777		-0.303542012		-5.114377022		-4.821946143	
8	59.39146048		0	a_*^2	5.426228035		-1.534052318	a_*^4
9	60.62271069		-0.652538824		2.291479884		-4.806722103	
10	60.52220416		-0.099005124		-0.293837777		-4.836986741	
11	60.67892158	a_*^1	0	a_*^2	-7.725661731		-4.816990604	
12	60.66040654		-0.202172312		-6.166505268		-4.822265819	
13	60.65235282		-1.256498113		-5.87710965		-4.821999421	
14	59.56883014		0	a_*^2	0		-1.550554017	
15	60.65223362		-0.892791455		-5.575072019		-4.791655052	
16	60.65230795		-0.119528766		-1.346020533		-4.847080995	
17	59.67953586		-0.002898678		-5.744171358		-1.68421298	
18	60.66309441		-0.445537518		-9.827233877		-4.811793602	

[표 7] 단계별로 구해진 $SN_p(a_i)$의 변화
[Table 7] Variation of $SN_p(a_i)$ acquired by levels

No.	p=1		p=2		p=3		p=4	
	Throughput	최선 대안	AGV Utilization	최선 대안	AGV Congestion	최선 대안	ASRS Utilization	최선 대안
1	31.89242		-0.0002		-0.00914	제거		
2	31.76093	제거	—		—		—	
3	31.92086		-0.05673	제거	—		—	
4	31.91941		-0.01297		-0.03603	제거	—	
5	31.87794		-0.00281		0.010534		-4.63171	대안
6	31.92369		-0.01195		0.055029	a_*^3	-4.63661	제거
7	31.9166		-0.02102	제거				
8	31.25866	제거	—		—		—	
9	31.90669		-0.04519	제거	—		—	
10	31.85379		-0.00686		-0.00116		-4.62646	대안
11	31.93627	a_*^1	0	a_*^2	-0.03041	제거	—	
12	31.92653		-0.014		-0.02427	제거	—	
13	31.92229		-0.08702	제거				
14	31.35202	제거	—		—		—	
15	31.92223		-0.06183	제거	—		—	
16	31.92227		-0.00828		-0.0053		-4.63655	제거
17	31.41028	제거	—		—		—	
18	31.92794		-0.03085	제거	—		—	
$C_p = \sum_{i=1}^{m_p} SN_p(a_i)/m_p$	31.80838		-0.02569		-0.00509		-4.63283	

시간을 필요로 하는 완전요인분석과 훨씬 적은 수의 실험계획을 수립하지만 안정성에는 문제가 없는 직교배열표를 이용한 실험계획을 수립하였다.

공공 및 경영상의 일상적인 의사결정을 할 때 쉽게 직면할 수 있는 것으로 주어진 상충요인(conflict /trade-off factors)의 속성이 망소/망대특성 문제에 대한 최선의 선호대안을 효율적으로 선택할 수 있도록 하였다. 이러한 문제는 다양한 속성이 존재하기 때문에 이것들을 모두 고려하여 선호대안을 선정한다는 것은 많은 어려움이 따를 수 있다[6,26,29,30]. 이러한 문제해결 방법으로 속성별 벡터 정규화, 대화형 접근 방법 등이 있지만 의사결정자의 입장을 정확히 반영하기 어렵고 쌍대 비교(pair-wise comparison)를 해야 하는 경우의 수의 증가문제나 일관성 유지 등 의사결정자가 제공해야 하는 정보의 양이 기하급수적으로 많아진다는 어려움을 내포한다[24,26].

따라서 본 연구에서는 이러한 문제점을 좀 더 현실적인 입장에서 보완하기 위하여 대안과 속성을 포함하는 망소/망대특성 문제를 의사결정자가 비교적 이해하기 쉬운 S/N비를 이용 단계별 그룹화를 하여 최종적인 선호대안을 구할 수 있도록 하였다.

이 논문은 고려해야할 변수가 많아 실험계획이 방대한 상황에서 직교배열을 이용하여 실험의 수를 안전하게 대폭 줄여 시간을 경감시키는 방법을 제안하고 설계된 대안별 의사결정자가 쉽게 의사를 반영할 수 있는 S/N비를 이용한 최종대안을 의사결정자에게 제공하는 방법을 나타낸다.

이는 통합물류센터와 같이 고려해야할 대안이 많고 분석적인 모델이나 수리적 모형을 이용하여 쉽게 모사 할 수 없는 복잡한 시스템 분석과 복잡한 대안선정에 활용 가능할 것이다. 또한 S/N비를 이용하여 품질관리 방법으로 사용하는 식으로 이 논문의 대안선정 방법을 별개로도 활용 가능할 것이다.

References

[1] S. Takakuwa, "Precise Modeling and Analysis of large-Scale AS/RS", Simulation Conference Proceedings, pp.1001-1007 Winter, December, 1994

[2] Y. LEE, J. M. A. Tanchoco and S. Chun, "Performance Estimation Models for AS/RS with Unequal Sized Cells", International journal of production research, v.37, no.18, pp.4197-4216, 1999

[3] 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

[4] Mun-Sup Lee, Sang-Yong Yi, "Determination of Optimal Number of AGV by Simulation", Journal of the Korean

Institute of Industrial Engineers, v.16, no.1, June, 1990

[5] In-Sup Um, Hong-Chul Lee, Jeong-Yun Kang, "The Analysis Method of Integrated Logistic System using Evolution Strategies and Data Envelopment Analysis", Journal of the Korea Society for Simulation, v.13, no.4, pp.17-29, 2004

[6] Olson, D. L., "Decision Aids for Selection Problems", Splinger-Verlag, New York, 1996

[7] Byoung-Wan Heo, Hong-Chul Lee, "A Study for Design of Distribution Center using Compromise Programming", Journal of the Korea Society for Simulation, v.14, no.3, pp.43-54, 2005

[8] InSup Um, HongChul Lee, HyeonJae Cheon, "A simulation-based Optimization Approach for the Selection of Design Factors", Journal of the Korea Society for Simulation, v.16, no.2, pp.45-54, 2007

[9] In-Sup Um, Hong-Chul Lee, HyenJae Cheon, "The Optimal Design Method of the Train Repair Facility based on the Simulation", Journal of the Korean Society for Railway, v.10, no.3=no.40, pp.306-312 , 2007

[10] Hani Yasmina, Chehade Hicham, Amodeo Lionel, "Simulation based optimization of a train maintenance facility model using genetic algorithms", Service Systems and Service Management 2006 International Conference, v.1, pp.513-518, 2006

[11] Jeong-Yun Kang, "Study on Design Optimizaion of the Automated Distribution Center Using the Frequency Domain Experiments and Metamodelling", Korea University Doctoral dissertation, 2007

[12] Douglas J. Morrice and Lee W., "Simulation Factor Screening Using Harmonic Analysis", Management Science, v.39, no.12, pp.1459-1476, Dec, 1993

[13] Carl A. Mauro and Dennis E. Smith, "Factor Screening in Simulation: Evaluation of Two Strategies Based on Random Balance Sampling", Management Science, v.30, no.2, pp.209-221, Feb, 1984

[14] Kleijnen, J. P. C. "Statistical Theory on Design of Experiments, Applied to Simulation", Sensitivity analysis of model output, pp.151-154 1998

[15] S. Durieux and H. Pierreval, "Regression metamodeling for the design of automated manufacturing system composed of parallel machines sharing a material handling resource", International Journal of Production Economics, v.89, no.1, pp.21-30, 2004

[16] In-Sup Um, Hong-Chul Lee, HyenJae Cheon, "Optimization for the Design Parameters of Electric Locomotive Overhaul Maintenance Facility", Journal of the Korean Society for Railway, v.13, no.2 = no.57, pp.222-228, 2010

[17] Brooks Automation, Auto-Mod User's Manual, Brooks Automation, Inc., AutoSimulation Division 2001

[18] Dong-Soon Yim, "AGV Deadlock Avoidance Under Zone Control", Journal of Korean institute of industrial engineers, v.26, no.4, pp.392-401, 2000

[19] Evers, J. J. M. and Koppers, S. A. J., "Automated guided vehicle traffic control at a container terminal", Transportation Research Part A, Policy and practice v.30, no.1, pp.21-34, 1996

[20] Yeh, M. S. and Yeh, W. C., "Deadlock Prediction and Avoidance for Zone-control AGVs", International Journal of Production Research, v.36, no.10, pp.2879-2889, 1998

[21] Yong-Hwan Lee, Eun-Kyung Park, Tae-Jin Park, Kwang-Ryel Ryu, Kap-Hwan Kim, "AGV System Operating Scheme based on Grid Level Control in Automated Terminal", Journal of navigation and port research, v.27, no.2 = no.82, pp.223-231, 2003

[22] Kim, K. H., Jeon, S. M., and Ryu, K. R., "A deadlock detection method for automated guided vehicles in port container terminals", Proceedings of the 33rd international conference on computers and industrial engineering, 2004

[23] Jin-Pyo Jun, Kwang-Ryel Ryu, Hang-Mook Yoon, "A Deadlock A voidance Method and a Regression-Based Route Selection Scheme for AGV s in Automated Container Terminals", Journal of navigation and port research, v.29, no.8 = no.104, pp.723-733, 2005

[24] KangIn Lee, "The Optimal Preferred Alternatives for MNDM Problems using the Taguchi's Loss function", Journal of Korean institute of industrial engineers, v.24, no.4, pp.493-502, 1998

[25] Hwang, C. L., and Yoon, K. S., "Multiple Attribute Decision Making", Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Springer-Verlag, New York, 1981.

[26] Zeleny, M., "Multiple Criteria Decision Making", Mcgraw-Hill Book Company, New York, 1982.

[27] KangIn Lee, SungKu Cho, "An Interactive Approach to Select Optimal Solution for MADM Problems with Preferential Dependence", Journal of the Korean operations research and management science society, v.20, no.2, pp.61-76, 1995

[28] SungKu Cho, KangIn Lee, "Finding the Mostly Preferred Solution for MADM Problems Using Fuzzy Choquet's Integral", Journal of Korean institute of industrial engineers, v.23, no.4, pp.635-643, 1997

[29] Korhonen, P. J., "A Hierarchical Interactive Method for Ranking Alternatives with Multiple Qualitative Criteria", European Journal of Operational Research, v.24, pp.265-276, 1986

[30] Mareschal, B., and Brans, J. P., “Geometrical Representation for MCDA”, European Journal of Operationcal Research, v.34, pp.69-77, 1988

박 율 기(Youl-Kee Park) **[준회원]**

- 2008년 2월 : 상명대학교 산업정보시스템공학 학사
- 2009년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 정보경영공학과 석사과정

<관심분야>
Discrete Event Simulation, MCDM, SCM

엄 인 섭(In-Sup Um) **[정회원]**

- 2002년 2월 : 고려대학교 산업시스템정보공학 학사
- 2005년 2월 : 고려대학교 산업시스템정보공학 석사
- 2011년 2월 : 고려대학교 산업시스템정보공학 박사
- 현재 : 한진물류연구원 선임연구원

<관심분야>
생산 물류 정보 시스템, Discrete Event Simulation, SCM, PLM

이 홍 철(Hong-Chul Lee) **[정회원]**

- 1983년 2월 : 고려대학교 산업공학 학사
- 1988년 2월 : Univ. of Texas 산업공학 석사
- 1993년 2월 : Texas A.M. Univ. 산업공학 박사
- 1996년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 정보경영공학과 교수

<관심분야>
SCM, 생산 및 물류 정보시스템, PLM