

시뮬레이션과 엔트로피 척도를 이용한 철도 차량기지 대안 선정

김경록¹, 천현재¹, 이홍철^{1*}

¹고려대학교 정보경영공학전문대학원 정보경영공학과

Decision Making for Train Maintenance Facility using Simulation and Entropy measurement

Kyung-Rok Kim¹, Hyun-Jae Chun¹ and Hong-Chul Lee^{1*}

¹Department of Information Management Engineering, Korea University

요 약 본 최근 철도 산업이 국가 중심 산업으로 부상하면서 이 분야의 학문적 관심이 높아지고 있다. 특히, 철도 산업의 규모가 커짐에 따라 승객과 화물의 안전한 수송이 강조되고 있으며 이를 위해 철도 차량의 정기적인 검수 및 청소를 담당하는 차량기지의 건설이 증가하고 있다. 하지만 철도 차량기지 건설은 막대한 투자비용과 시간이 소요되며 효율적인 설계 및 시공을 위해 고려해야 할 조건이 많다. 따라서 본 논문에서는 복수의 차량기지 설계 대안들 중 가장 효율적인 설계안을 찾기 위해 시뮬레이션을 사용하여 분석하였다. 시뮬레이션 분석은 시설의 목적을 최대한 반영 할 수 있는 종속 변수를 선정 후 Warm-up 분석을 하였고, 분석 이후 안정화 상태의 종속 변수 평가치를 대안 별로 추출하였다. 그리고 시뮬레이션 실험에 의해 얻어진 각 종속 변수의 평가치는 다 속성 의사 결정 방법을 통해 대안 선정에 사용 되는데, 기존의 다 속성 의사 결정 방법은 절차적으로 복잡하거나 의사 결정자의 주관적인 능력에 기대는 단점을 가진다. 그러나 엔트로피 척도를 활용한 대안 선정은 의사 결정자에게 신속하고 객관적인 방법으로 대안 선정을 할 수 있게끔 도와준다. 따라서 본 연구에서는 철도 차량기지 설계의 신속한 최적 설계안 도출을 위해 엔트로피 척도를 이용하였으며 이는 차량기지 설계 프로젝트처럼 신속하고 객관적인 의사결정이 필요한 상황에서 매우 유용함을 보여주었다.

Abstract The scholarly concern of train industry has been improved, since country focuses on this field. Especially, train maintenance facility has been studied for construction, because the facility is important to inspect the train that transports passenger and cargo. Various operation plans and criteria are considered to build train maintenance facility. In this paper, the decision making of train maintenance facility for construction is studied and analyzed with simulation, because mathematical theory is restricted to consider various operation plans and criteria. Through simulation, we analyze warm-up after selecting dependent factors, and extract data. The data is used to select a alternative in this problem, Multiple Attribute Decision Making(MADM). Previous study is difficult, complex and subjective for decision making. However, entropy measurement we used help decision maker for decision making, easily, simply, and objectively. This method can have decision maker choose the best alternative in case the train maintenance facility construction is fast revitalized.

Key Words : Train Maintenance Facility, Simulation, Entropy Measurement, MADM

1. 서론

철도의 가장 큰 목적은 승객과 화물을 정확하고 안정
이 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 '2단계BK21사업'의 지원비를 받았음.

*교신저자 : 이홍철(hclee@korea.ac.kr)

접수일 10년 06월 28일

수정일 10년 07월 31일

계제확정일 10년 08월 10일

과 관련된 역할을 하는 시스템으로 철도 차량기지 시설이 있다[1].

철도 차량기지 시설은 검수 및 청소 주기에 따라 계획적이고, 체계적으로 업무가 되고 있기 때문에 시설 구축 단계 중 설계 단계에서 더 정확한 분석을 통해 검증되도록 요구되고 있다.

최근에는 우리나라 국가 정책 중 국토 전 구간 철도화를 목표로 철도 구간 확충은 물론 철도 차량기지 시설도 활발히 설계 및 건설되고 있으며 이런 추세에 맞추어 보다 체계적이고 과학적인 분석을 통한 차량기지 시설의 설계 및 건축에 관한 지속적인 분석 연구가 필요하다[2].

철도 차량기지 시설의 검수 및 청소 체계는 차량 종류, 주행 거리 등에 따라 나뉘며, 각 업무 장소에 따른 작업 시간, 운영 계획 및 작업자 교대 시간이 경우에 따라 다양하여 시설의 설계 및 분석은 수리적 모델로 분석하기에 어려움이 따른다. 따라서 본 연구에서는 시뮬레이션 방법을 통하여 차량기지 시설을 분석하려 한다. 수많은 비용과 시설 투자를 하는 만큼 하나의 대안만을 갖고 분석하지는 않고, 보통 복수의 대안으로 이루어진 경우가 대부분이며, 그에 따른 대안 별 수많은 속성 데이터가 존재한다. 이런 상황에서 단순 결과 데이터 비교만을 통해 하나의 대안을 결정한다는 것은 현실적으로 많은 어려움이 따른다. 이를 해결하기 위하여 가장 중요한 것이 각 결과 데이터 속성별 중요도 즉, 가중치를 어떻게 주느냐

에 따라 결과가 달라지는 것인데 현재 이런 다 속성 의사결정(MADM) 문제를 해결하기 위해 많은 연구되고 있다. 그 예로는 의사결정자의 선호구조(preference structure)에 제약을 가하는 수리적 접근방법(mathematical approaches)과 의사 결정자에게 반복적으로 대안이나 속성 간 쌍대 비교(pairwise comparison)의 선호 정보를 요구하는 대화형 접근 방법(Interactive approaches)으로 크게 구분할 수 있다[3]. 후자의 대표적인 예가 Analytic Hierarchy Process(AHP)라 할 수 있다. 그러나 이런 접근 방법 모두 일반적인 의사 결정자가 의사결정과정 및 절차를 이해하는 데 많은 어려움이 따르는 단점이 있다[3]. 게다가, 속성 간 비교 시 의사결정자 주관적인 능력에 따른다는 점에서 대안 선정의 한계가 있다. 따라서 본 연구에서는 의사 결정자가 좀 더 이해하기 쉬우면서 합리적인 과정을 통해 가중치를 결정할 수 있어야 하는 측면에서 엔트로피 척도[3]를 다 속성 의사 결정에 적용하였다.

시뮬레이션 분석 방법은 먼저, 종속 변수를 선정 후 Warm-up 분석을 수행하였다. 그리고 안정화 상태 이후에 대안 별 종속 변수의 데이터를 추출하여 분석한다. 그 후, 얻어진 각 속성데이터를 바탕으로 엔트로피 척도를 활용하여 여러 대안 중 최적 대안을 결정한다. 그림 1은 철도 차량기지 시설의 시뮬레이션 및 분석 방법에 관한 순서도이다.

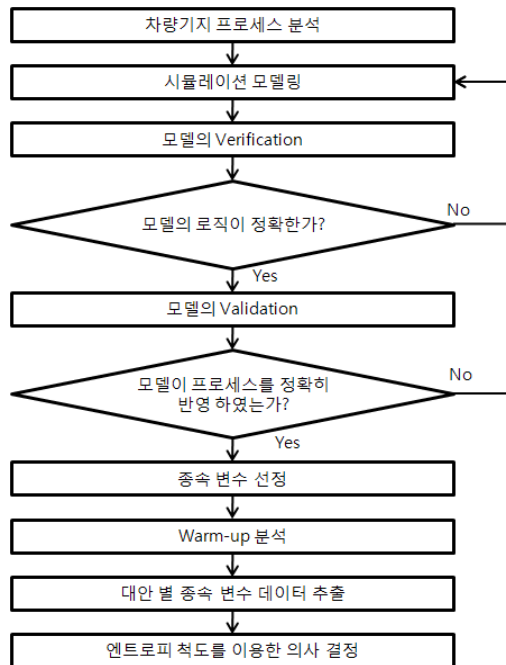
본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 철도 차량기지 시설 및 다 속성 의사 결정에 관한 최근 연구 동향에 대해 알아보고, 3장에서는 시뮬레이션 설계, 4장에서는 엔트로피 척도를 이용한 의사 결정을 제시한다. 그리고 5장에서는 3장 및 4장에서 설명한 내용을 바탕으로 실제 데이터를 실험에 적용하여 철도 차량기지 설계 대안들을 시뮬레이션 검증 및 분석 후 종속 변수 데이터를 추출하여 엔트로피 척도를 활용한 대안 선정을 제시하며 결론으로 마무리하였다.

2. 국내외 최근 연구 동향

2.1 철도 차량기지 시설에 관한 연구

차량기지 시설에 관하여 많은 연구가 되어 있지는 않은 상태이지만, 주로 시뮬레이션을 기반으로 연구가 되고 있다. 최근 동향은 시뮬레이션 방법을 이용하여 여러 최적화 및 대안 선정 방법론 등이 이 분야에 접목되고 있다.

엄인섭(2009) [1] 등은 시뮬레이션과 AHP를 이용하여 열차 중수선 시설의 대안 선정을 하였다. 그러나 AHP 방법은 의사 결정자의 주관적인 능력에 큰 영향을 받는 방



[그림 1] 시뮬레이션 및 의사 결정 방법 순서도

법이기에 의사 결정자가 대안의 모든 속성과 그 관계의 기준을 정확히 파악하지 못하면 잘못된 대안 선정이 나올 수 있는 단점이 있다.

전병학(2009) [4] 등은 시뮬레이션 기법을 통해 철도 차량 증정비 공장 설계의 대안 선정을 하였다. 그러나 이 방법은 단순 속성의 일대일 비교로만 이루어진 대안 평가로 다양한 속성을 함께 고려하여 대안 선정을 하지 못한다.

2.2 다 속성 의사 결정(MADM)에 관한 연구

다 속성 의사 결정(MADM) 문제는 주로 AHP를 사용하여 해결해 왔다. 쌍대 비교를 통한 속성별 가중치를 두어 정량화 된 데이터로 의사 결정을 하는 것인데, 최근에는 MADM 문제를 해결하기 위한 방법론이 다양해진 상태이다.

이강인(2003) [3]은 엔트로피 척도를 이용하여 MADM 문제에서 선호 대안 선정하였다. 이는 대안 별 속성 평가치의 차이가 클수록 높은 가중치를 부여하여 의사 결정하는 방법론이다. 이 이론을 통해서 어떤 의사 결정자라도 쉽고 빠르게 대안 선정을 할 수 있다. 하지만 이 선행 연구에서는 속성 평가치가 높을수록 좋은 경우만을 고려하였다. 현실에서는 속성 평가치의 목적이 높은 수록 좋은 것과 낮을수록 좋은 것이 공존하기에 좀 더 보안이 필요하다.

본 연구에서는 시뮬레이션을 통해 얻어진 대안별 데이터를 위 방법론을 인용하여 다 속성 의사 결정 문제를 해결하려 한다.

3. 엔트로피 척도를 이용한 의사 결정

3.1 엔트로피 척도

엔트로피 척도 개념은 정보 이론 등에서 널리 사용한다. 엔트로피는 구간의 순도에 대한 척도이다. 주어진 구간이 한 클래스에 속한 값들만을 포함하면 즉, 완전히 순수하면 엔트로피는 0이 되고 전체 엔트로피에 기여하지 못하게 된다. 한 구간에 여러 클래스의 값들이 동등하게 자주 발생하면 즉, 구간이 가능한 불순하면, 엔트로피는 최대가 된다[5].

3.2 엔트로피 척도를 통한 최적 대안 선정

엔트로피 척도를 통한 의사 결정을 설명하기 위해서 기호를 표 1과 같이 정의 한다.

[표 1] 기호 정의

기 호	내 용
n	전체 속성의 수
m	전체 대안의 수
k	상수로서 $1/\log m$
x_{ij}	대안 별 속성 평가 치
P_{ij}	x_{ij} 를 정규화 한 값
E_j	P_{ij} 의 엔트로피 값
d_j	다양함의 정도, $d_j = 1 - E_j$
W_j	d_j 에 의해 구해지는 정규화 된 가중치

각 대안 별 속성을 통한 의사 결정을 하려면, 먼저 각각의 속성 값들을 정규화 하는 과정이 필요 하다. 정규화 하는 공식은 식(1)과 같다.

$$P_{ij} = y_{ij} / \sum_{i=1}^m y_{ij}, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$y_{ij} = \begin{cases} x_{ij}, & \text{만약 } x_{ij} \text{이 최대일수록 좋으면} \\ 1/x_{ij}, & \text{만약 } x_{ij} \text{이 최소일수록 좋으면} \end{cases}$$

이때 x 값은 속성 값이 최대 일수록 좋은 것이라면 그대로 사용 하고, 최소 일수록 좋은 것이라면 $1/x$ 값으로 바꾼다.

선행 연구에서는 속성 값이 최대 일수록 좋은 것만을 고려했다. 그러나 본 연구의 대안이 가진 다양한 속성들을 모두 반영하지는 못하여 위와 같은 제약 식을 추가하였다.

정규화 된 속성 값에 가중치를 주기 위해 엔트로피 개념을 활용한다. 엔트로피 공식은 식(2)와 같다.

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \log P_{ij}, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$d_j = 1 - E_j, j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

여기서 다양함의 정도(degree of diversification) 를 엔트로피를 통해 얻어 낸다. 이를 통해 속성 내 대안별 평가치의 차이가 많이 날수록 해당 속성의 d_j 는 높게 표현된다. 마지막으로, 해당 d_j 를 가중치로 사용하기 위해 식(4)와 같은 절차를 따른다.

$$W_j = d_j / \sum_{j=1}^n d_j, j = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

이 방법을 통해 속성 내 평가치가 대안별로 차이 많을 수록 높은 가중치를 갖게 되어 좀 더 효율적인 의사 결정을 빠르고 쉽게 얻어 낼 수 있다[3].

4. 사례연구(Case Study)

4.1 철도 차량 기지의 시뮬레이션 설계

시뮬레이션 모델링에 앞서 철도 차량기지 시스템을 정확히 이해하고, 이에 맞는 시뮬레이션 가정을 정의해야 한다. 본 연구에서 기술한 사례 연구 자료는 실제 차량기지 설계 대안 및 운영 계획을 통하여 실험 하였다.

4.1.1 시뮬레이션 가정

시뮬레이션 가정은 시뮬레이션 실시 전 모델링의 일관되고 효율적인 구축을 위해 설정하는 가정이라고 할 수 있다. 세부 사항은 아래와 같다.

차량기지는 1일 18시간, 년 365일 작업을 하는 것을 원칙으로 함(월상/임시/제한검수: 247일/년)

각 설비 별 고장률은 고려하지 않으며, 항상 이용 가능한 가용상태로 정의 함(MTBF, MTTR 미 고려)

이미 다른 편성이 청소선 또는 검수 선을 점유하거나 작업 중이면, 유치선에서 대기하는 것을 원칙으로 함

청소선 또는 검수 선으로의 이동은 신호를 받는 순서에 따라서 작업을 수행 함(First Come First Served)

차량 기지 내 이동은 한 번에 한 편성 씩 이동함 차량기지 내 이동의 우선순위는 입·출장선, 경수선 공장 및 전착고, 유치선 순임

각 작업시간은 표준 작업 시간(Standard Working Time)의 편차를 고려하여 분포로 정의함

각 작업 장 별 작업자는 항상 작업대기 상태 및 작업 상태에 있는 것을 원칙으로 함

4.1.2 차량기지 시설 시뮬레이션 모델 명세서

철도 차량기지 시설 설계 및 운영 프로세스는 다음과 같다.

[표 2] 차량기지 시설의 모델 명세서

차량 편성 수 및 주차 계획	• 차량 편성 수		
	항 목	유 치 량	경 수 선
	편 성 수	14 편성	20 편성
	• 차량 주차 계획		
주차 계획	구 분	차량기지 유치	주차 계획
	일반형 전동차	11 편성	4편성
	간선형 전동차	3 편성	2편성
차량 운행 시간	구 분	운행시간	첨두 시간
	일반형 전동차	06:00 ~ 24:00	07:00 ~ 09:00 18:00 ~ 20:00
		간선형 전동차	06:00 ~ 24:00

기지 내 운행 정보	구 분	내 용
	기지 내 차량속도	기지 내 평균 25 km/h 세척고 통과 시 5 km/h
	차량 가감속도	3.0 / 3.5 km/h/sec

4.1.3 차량기지 시설의 검수 및 청소 체계

철도 차량기지 내에서는 철도의 보수를 위하여 정기 검수 및 비 정기 검수와 청소 업무가 행해지고 있다. 시뮬레이션 모델링의 주된 기준이라 할 수 있다. 차량기지 내 검수 및 청소 업무는 표 3와 같은 기준으로 발생한다.

[표 3] 차량기지 시설의 검수 및 청소 체계

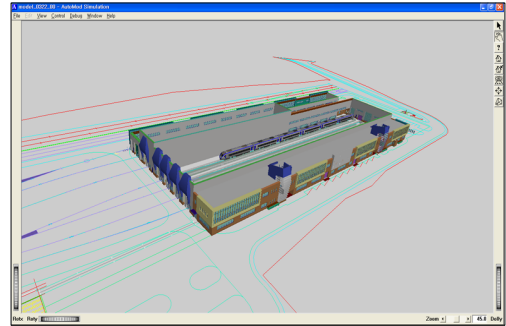
검수 및 청소 체계	• 일반형 전동차				
	구 분	검수 종류	검수기준		작업 시간
		검수 종별	주행 거리	주행 일	
	정 기 검 수	일상 검수	2,300km		2 hr
		월상 검수	41,000km		8 hr
	비 정 기 검 수	차륜 교환	-	8 개월	30 min
		임시 검수	-	13.1% /year	2 day
	• 간선형 전동차				
	구 분	검수 종류	검수기준		작업 시간
		검수 종별	주행 거리	주행 일	
	정 기 검 수	일상 검수	2,500km	5 일	2 hr
		월상 검수	60,000km	4 개월	8 hr
비 정 기 검 수	차륜 교환		8 개월	30 min	
	임시 검수		13.1% /year	2 day	
청소 종류		주 기	시 행 장 소		
일상 청소		3 일	경수선 공장 내 청소선		
전반 청소		30 일	경수선 공장 내 청소선		
차체 외부 세척		매일	차체 세척고		

대안	설비 배치 모형	특징
대안1		<ul style="list-style-type: none"> • 두단식 배선 • 인상선 2선 배치
대안2		<ul style="list-style-type: none"> • 두단식 배선 • 임시검수선을 인상선으로 이용
대안3		<ul style="list-style-type: none"> • 관통식 배선 • 입출고 시 유치선을 이용
대안4		<ul style="list-style-type: none"> • 완전 관통식 배선 • 스트레이트 입출고 가능

[그림 2] 대안 별 Layout 및 설명

4.1.4 대안 별 차량기지 설계 내용

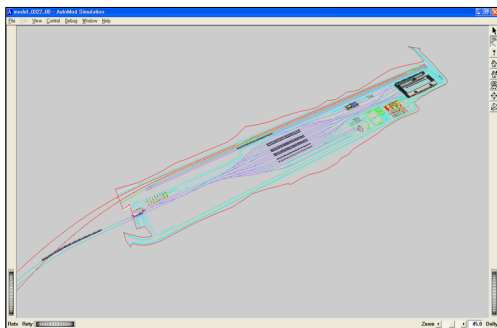
차량기지 설계안은 설계 배치와 운영 프로세스에 따라 그림 2 와 같이 총 4개의 대안이 고려되었으며 각각 시뮬레이션 모형을 구축하여 상호 비교분석하였다. 대안 별 설계상 차이점으로 대안1과 대안2은 두단식이며, 대안3과 대안4은 관통식이다. 하지만 대안3은 입고선을 거쳐 경수선 공장으로 가는 경우 유치선 중 하나를 선택하여 이를 거쳐 가야 하지만 대안4의 경우는 유치선 중간에 관통선이 따로 존재하여 유치선을 거치지 않고 바로 경수선 공장으로 입장할 수 있는 차이가 있다.



[그림 3] 시뮬레이션 실행 화면

4.2 시뮬레이션 실험 및 분석

위에서 정의한 내용을 토대로 각 대안별 시뮬레이션 모델링을 수행하였다. 시뮬레이션 모델링을 위해 AutoMOD 라는 3D Simulation Tool을 사용하였다. 그림 3 시뮬레이션 모델 전체 및 경수선 정비 시설 화면이다.



4.2.1 종속 변수 선정

시뮬레이션 종속 변수의 선정은 시스템을 평가하는 기준이 되는 변수로서, 현 시스템에서 가장 큰 영향을 주는 변수를 선정하여야 한다. 종속 변수로는 각 작업장 별 이용률, 싸이클 타임, 대기 시간 그리고 이동 시간으로 선정하였다. 각 작업장 별 이용률은 각 설비 별 이용률로서, 동일한 작업을 처리하는데 있어서 낮은 이용률로 처리가 가능하다면 더 좋은 방법이지만, 적정 수준의 이용률을 가지는 것이 좋은 시스템이라고 할 수 있다. 각 차량 별 싸이클 타임은 작업 별 기준 시간에 정비가 완료되는 지를 판단하는 지표로 사용 될 것이다. 이동시간은 총 시뮬레이션 동안 입고선에서 출고선 까지 전체 차량의 평균 누적 대기 시간으로 차량의 목적지가 결정되고 실제 이동이 가능해 질 때까지 대기한 시간의 누적 합이 된다. 대기 시간으로 기지 내 전체 혼잡도를 측정할 수 있다. 또한 이동 시간은 총 시뮬레이션 동안 입고선에서 출고선까지 전체 차량의 평균 누적 이동 시간으로 작업 시간과 대기 시간을 제외한 순수 이동에 소요된 시간의 누적 합이다. 이동 시간은 기지 내 전체 이동 효율성을 파악할 수 있다.

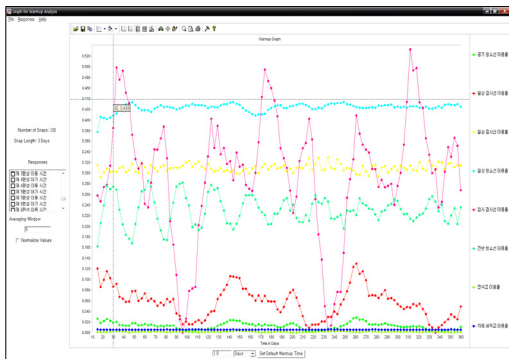
[표 4] 종속 변수 정의 및 단위

종속변수	정의	단위
싸이클 타임	• 유치선→경수선 공장→유치선까지를 하나의 주기로 간주하여 이에 대한 작업장 별 평균 소요시간	hour
대기시간	• 입고선→출고선까지 차량의 평균 누적 대기시간 • 목적지가 결정되고 실제 이동이 가능해 질 때까지 대기한 시간의 누적합	hour
이동시간	• 입고선→출고선까지 차량의 평균 누적 이동시간 • 작업시간과 대기시간을 제외한 순수 이동에 소요된 시간의 누적 합	hour
작업장 이용률	• 시뮬레이션 동안 차량이 각 검수 및 청소선을 점유한 평균 시간 비율	%

4.2.2 Warm-up 분석

Warm-up 분석은 시뮬레이션 분석에 가장 우선시 되는 분석 방법이다. 시뮬레이션 실행 시, 항상 초기 상태부터 실행이 되기 때문에 초기 데이터부터 분석에 포함하기에는 무리이다. 이에 Warm-up 분석을 통해 시뮬레이션 실행상태가 안정화상태(Steady-State)에 도달하는 시간을 분석 하여, 해당 시간만큼 얻어진 자료를 분석 자료에서 제거하기 위하여 Warm-up분석을 한다.[1]

본 실험에서는 AutoMOD의 PlugIn Tool인 AutoStat 4.4를 이용하여 차량기지 시뮬레이션 에 관한 Warm-Up Graph를 아래 그림과 같이 산출 할 수 있었다. 이 그래프를 통해 시뮬레이션 실행 처음부터 대부분의 결과 값이 일정한 주기에 맞추어 도출되는 것을 알 수 있는데, 이는 시뮬레이션 처음부터 안정화 상태에 이르기 때문에 Warmup Period가 필요 없다 할 수 있다. 그러나 임시 검사선 이용률의 경우 불규칙 적으로 발생하기에 안정화



[그림 4] Warm-up 그래프

된 데이터를 얻기 위해서는 임시 검사가 발생하는 처음 주기에 따라 Warmup Period를 30일로 정의 하였다.

따라서 Warmup Period 30일 이후 60개월(5년)을 하나의 Scenario로 5회씩 반복한 결과를 대안의 분석 결과로 사용하였다.

4.2.3 설계 대안의 비교 분석

대안의 분석에서는 위의 종속 변수에 관한 데이터 분석을 실시하였다. 각 분석 결과 데이터에 관한 요약은 다음과 같다.

[표 5] 기지 내 평균 차량 대기 시간 및 평균 이동 시간 (5년 누적)

대안1		대안2	
대기시간	이동시간	대기시간	이동시간
4899.193	265.686	2430.880	205.448
대안3		대안4	
대기시간	이동시간	대기시간	이동시간
2442.994	109.316	2368.057	104.467

[표 6] 청소선 및 검수선 이용률(5년 평균)

구분	이용률			
	대안1	대안2	대안3	대안4
전반 청소선	0.230	0.230	0.230	0.230
일상 청소선	0.457	0.450	0.426	0.425
월상 검수선	0.056	0.057	0.057	0.057
일상 검수선	0.311	0.310	0.310	0.310
임시 검수선	0.320	0.290	0.289	0.290
전삭고	0.002	0.002	0.002	0.002

[표 7] 청소선 및 검수선 싸이클 타임(5년 평균)

구분	싸이클 타임			
	대안1	대안2	대안3	대안4
전반 청소선	9.41	9.09	9.05	9.05
일상 청소선	2.11	1.73	1.69	1.81
월상 검수선	11.64	11.58	11.19	11.07
일상 검수선	2.42	2.10	2.09	2.06
임시 검수선	49.36	49.39	48.99	48.49
전삭고	0.90	0.58	0.75	0.75

[표 8] 속성별 평가치 정규화 자료 및 가중치

		대안1	대안2	대안3	대안4
평균 대기 시간		0.141050281	0.284273	0.282863	0.291814
평균 이동 시간		0.137610332	0.177958	0.334454	0.349978
이용률	전반 청소선	0.25	0.25	0.25	0.25
	일상 청소선	0.240175638	0.243912	0.257653	0.258259
	월상 검수선	0.253333333	0.248889	0.248889	0.248889
	일상 검수선	0.249396621	0.250201	0.250201	0.250201
	임시 검수선	0.231794673	0.255773	0.256658	0.255773
사이클 타임	전삭고	0.25	0.25	0.25	0.25
	전반 청소선	0.243027449	0.251583	0.252695	0.252695
	일상 청소선	0.215800026	0.263201	0.269431	0.251568
	월상 검수선	0.244087806	0.245353	0.239904	0.256656
	일상 검수선	0.222963801	0.256939	0.258169	0.261928
임시 검수선	0.248454181	0.248303	0.250331	0.252912	
전삭고	0.201949861	0.31337	0.24234	0.24234	
		<i>E</i>	<i>d</i>	<i>W</i>	
평균 대기 시간		0.974134759	0.025865241	0.279477238	
평균 이동 시간		0.947755777	0.052244223	0.564505516	
이용률	전반 청소선	1.000000000	0.000000000	0.000000000	
	일상 청소선	0.999623973	0.000376027	0.004063021	
	월상 검수선	0.999978690	0.000021310	0.000230262	
	일상 검수선	0.999999299	0.000000701	0.000007571	
	임시 검수선	0.999350900	0.000649100	0.007013100	
사이클 타임	전삭고	1.000000000	0.000000000	0.000000000	
	전반 청소선	0.999904714	0.000095286	0.001029581	
	일상 청소선	0.997448125	0.002551875	0.027573339	
	월상 검수선	0.999832587	0.000167413	0.001808915	
	일상 검수선	0.998539084	0.001460916	0.015785386	
임시 검수선	0.999980039	0.000019961	0.000215678		
전삭고	0.990903000	0.009097000	0.098290000		

[표 9] 엔트로피 척도를 이용한 대안 선정

		대안1	대안2	대안3	대안4
평균 대기 시간		0.039420343	0.079447718	0.079053763	0.081555414
평균 이동 시간		0.077681791	0.100458337	0.188800947	0.197564440
이용률	전반 청소선	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
	일상 청소선	0.000975839	0.000991018	0.001046850	0.001049314
	월상 검수선	0.000058333	0.000057310	0.000057310	0.000057310
	일상 검수선	0.000001888	0.000001894	0.000001894	0.000001894
	임시 검수선	0.001625601	0.001793767	0.001799974	0.001793767
사이클타임	전삭고	0.000000000	0.000000000	0.000000000	0.000000000
	전반 청소선	0.000250217	0.000259025	0.000260170	0.000260170
	일상 청소선	0.005950327	0.007257335	0.007429107	0.006936569
	월상 검수선	0.000441534	0.000443822	0.000459290	0.000464269
	일상 검수선	0.003519570	0.004055885	0.004075291	0.004134640
임시 검수선	0.000053586	0.000053553	0.000053991	0.000054547	
전삭고	0.019849729	0.030801304	0.023819675	0.023819675	
총 합		0.149828758	0.225620969	0.306858263	0.317692010

4.3 엔트로피 척도를 이용한 대안 선정

먼저 위에서 언급한 되도록 각 속성별 평가치를 정규화

한다. 그 후 정규화를 통해 얻어진 데이터를 통해 표 8에 서처럼 가중치를 구한다. 대안 별 속성 값 차이가 클수록

가중치의 값은 더 크게 얻어 진다. 이런 가중치 특징은 주관적인 판단이 아닌 객관적인 계산으로 속성 별 중요도를 구별할 수 있게 해준다.

이후 정규화 된 평가치 값에 가중치를 곱하여 총합을 구한다. 총합이 가장 높은 대안 4가 실험을 통해 선택 되었다. 시뮬레이션과 엔트로피를 활용한 이런 절차를 통하여 선택된 대안 4는 현실적으로 빠르고 객관적으로 대안 선정이 이루어져야 하는 차량기지 대안 선정 문제에 매우 쉽고 효과적으로 대응할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 효율적인 철도 차량기지 설계를 위하여 시뮬레이션 분석에 이은 엔트로피 척도를 활용한 최적 설계안 선정을 하였다. 시뮬레이션 분석으로는 종속 변수를 선정하여, Warm-up 분석 후 안정화 상태의 데이터를 추출하여 대안 별 비교, 평가하였다. 이후 다 속성 의사 결정을 위해 엔트로피 척도를 이용하여 대안 별 속성 평가치의 차이가 클수록 해당 속성에 높은 가중치를 주었다. 이 방법은 의사 결정자의 주관적인 능력이 배제하고, 절차의 간소화로 어떤 의사 결정자도 쉽고 빠르게 대안 선정이 가능하고, 추가 연구를 통해 속성의 목표가 최대화이든 최소화이든 모두 고려하여 철도 차량기지 건설의 최적 설계 대안 선정을 할 수 있다. 본 연구에서 설명한 방법으로 한정된 시간 내 빠르게 진행되고 있는 실제 철도 차량기지 대안 선정에 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 기대되는 바이다.

참고문헌

- [1] 엄인섭, “열차 중수선 시설의 최적 설계를 위한 시뮬레이션 분석 방법”, 한국철도학회 논문지, 제12권, 제2호, pp. 291-301, 2009.
- [2] 최성환, “시뮬레이션과 BPR을 응용한 Layout 기반의 철도차량기지 중정비 검수 여유율”, 한국철도학회 논문지, 제13권, 제1호, pp. 9-15, 2010.
- [3] 이강인, “엔트로피 척도를 이용한 MADM 문제의 선호 대안 선정”, Journal of the Society of Korea Industrial and Systems Engineering, 제26권, 제2호, pp. 55-61, 2003.
- [4] 전병학, “시뮬레이션 기법을 이용한 철도차량 중정비 공장 설계검증”, 한국시뮬레이션학회 논문지, 제18권, 제3호, pp. 23-34, 2009.

- [5] Addison Wesley, “DATA MINING”, 2007.
- [6] Yasmina Hani, “Simulation based optimization of a train maintenance facility”, Journal of Intelligent Manufacturing, 제19호, pp. 293-300, 2008
- [7] Zhi-Ping Fan, “A multiple attributes decision making method using individual and collaborative attribute data in a fuzzy environment”, Information Sciences, 제179호, pp. 3603-3618, 2009.
- [8] Wei-Jaw Deng, “Evaluating Service System Alternatives via a Computer Simulation-enabled MCDM Framework”, The Asian journal on quality, 제8권, 제2호, pp. 100-114, 2007.
- [9] KumarA., “Attribute based specification, comparison and selection of electroplating system using MADM approach”, Expert systems with applications, 제36권, 제8호, pp. 10815-10827, 2009.

김 경 록(Kyung-Rok Kim)

[준회원]



- 2008년 2월 : 명지대학교 산업공학 학사
- 2009년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 정보경영공학과 석사과정

<관심분야>

Discrete Event Simulation, MCDM, SCM

천 현 재(Hyun-Jae Chun)

[정회원]



- 1997년 2월 : 인천대학교 산업공학 학사
- 1999년 2월 : 고려대학교 산업공학 석사
- 2006년 2월 : 고려대학교 산업공학 박사
- 2010년 3월 ~ 현재 : 정보 보호 연구원 연구 교수

<관심분야>

SCM, Data Mining, Simulation

이 흥 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