

철도 승무교번 배치를 위한 유전알고리즘 적용방안

박상미¹, 김현승², 강인석^{3*}

¹경상대학교 토목공학과, ²(주)서영엔지니어링, ³경상대학교 건축도시토목공학부

Application of Genetic Algorithm for Railway Crew Rostering

Park Sang mi¹, Kim Hyeon Seung², Kang Leen Seok^{3*}

¹Department of Civil Engineering, Gyeongsang National University

²Seoyoung Engineering

³Department of Civil Engineering, ERI, Gyeongsang National University

요약 철도 승무원 교번표 작성은 보통 한 달을 주기로 승무원에게 기 작성된 승무다이어야를 근무 기준에 맞게 배치하는 작업으로 균등한 사업 시간을 갖도록 작성해야 한다. 본 연구는 기존 철도 운영시에 승무 교번작성과 관련된 문제점을 파악하고, 승무 운영의 합리적 계획 시에 적용할 수 있는 최적화된 승무 교번표 작성 방안을 제시하고 있다. 이를 위해 실제 철도운영기관의 근무 기준을 파악하였으며, 실제 근무패턴을 고려한 교번표 작성 및 유전알고리즘을 통한 최적화 과정을 통해 균등한 사업 시간을 갖는 교번표를 도출하고자 하였다. 교번표 최적화 과정은 입력데이터 분석, 근무패턴 생성, 해생성, 최적화 단계로 구성하였으며, 최적화 단계에서는 유전알고리즘을 적용하여 교번표를 도출하는 방안을 제시하였다. 또한 연구에서 제시한 과정을 통해 도출한 교번표와 수작업으로 작성된 교번표의 차이를 비교하여 연구에서 제시한 방안을 검증하고 있다. 연구에서 제시한 승무교번 배치 방안은 사업시간의 표준편차 최소화를 목적함수로 하였으므로 교번 작성시 사업시간 편차를 감소시키는 방법론으로 활용성이 기대된다.

Abstract Crew rostering in railway operations is usually done by arranging a crew diagram in accordance with working standards every month. This study was done to identify the problems related to the creation of crew rosters in railway operations and to suggest an optimum crew rostering method that can be applied in railway operations planning. To do this, the work standards of a railway company were identified, and a genetic algorithm was used to develop an optimal roster with equal working time while considering actual working patterns. The optimization process is composed of analysis of the input data, creation of work patterns, creation of a solution, and optimization steps. To verify the method, the roster derived from the proposed process was compared with a manually created roster. The results of the study could be used to reduce the deviation of business hours when generating a roster because the standard deviation of working time is the objective function.

Keywords : Railway Crew Scheduling, Crew Roster, Working Time, Crew Allocation, Genetic Algorithm

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

철도 운행사업 특성 상 근무시간이 일정하지 않고 야

간 업무가 잦아 승무원의 업무는 다른 근로자에 비해 불규칙한 편이다. 따라서 승무원 간 균등한 사업의 배치가 필요하다. 철도 승무 교번표 작성 시에는 근무 규정 및 제약조건 등을 다양하게 고려하여야 하므로 모든 제약조

본 논문은 2019년 국토교통과학기술진흥원 연구비 지원사업(19RTRP-C148789-02)으로 이루어졌음

*Corresponding Author : Leen Seok Kang(Gyeongsang National Univ.)

email: lskang@gnu.ac.kr

Received June 12, 2019

Accepted September 6, 2019

Revised July 23, 2019

Published September 30, 2019

건을 만족하는데 어려움이 따른다. 숙련된 전문가라 할지라도 승무원정계획 시 약 15일에서 30일 정도의 시간이 소요되는 등 많은 시간과 노력의 투입이 필요하다[1]. 또한 승무다이아 (Crew Diagram) 작성 및 교번표 작성 시 근무 규정 내 사업시간은 승무원 임금 산정의 기준이 되므로[2] 승무원 사업시간을 평준화하는 작업은 철도승무계획 시 중요한 요소이다. 이와 같이 철도운영에서 승무 교번표의 작성은 매우 다양한 변수요인과 승무원간 평준화된 근로조건을 고려하여 작성되어야 하나, 현재 철도운영기관의 승무 교번표 작성은 관련 경험을 갖고 있는 전문가의 경험적 지식에 의해 수작업으로 작성되고 있는 경우가 대부분이다. 수작업으로 제약조건 및 사업시간 평준화 조건을 만족하는 철도 교번표를 작성 하는 것은 많은 시간이 소요되며 작성된 교번표가 최적화된 결과인지 판별할 수 없다.

따라서 본 연구에서는 철도승무계획 단계 중 승무교번 작성 단계에서 다양한 제약조건을 만족하고 승무원 근무시간의 평준화를 고려한 교번표 작성 방법론을 제시하고 있다. 이를 위해 기존 교번표 작성 관련 문헌을 조사하여 문제점을 도출하고, 실제 철도운영기관의 근무기준 및 제약조건 요소를 분석한다. 이를 바탕으로 유전알고리즘 기법을 이용하는 최적화된 승무 교번표의 도출 방안을 제시하며, 근무시간 표준편차의 최소화하는 것을 목적함수로 하여 근무시간 평준화를 고려한다. 또한 연구에서 제시한 과정을 통해 도출한 교번표와 기 작성된 교번표와의 차이를 비교하여 연구에서 제시한 방법론을 검증하고 있다.

1.2 연구동향

국내외에서 승무원 운영 다이아 및 교번표 관련 연구는 철도, 항공 등 대중교통 교통수단의 승무원 배치 문제로 연구가 진행된 사례들이 있다. 김영훈은 승무원 교번표 작성업무를 분석하고, TSP(Traveling Salesman Problem)문제를 교번표 작성과 연계하여 정수계획법으로 모형화 하였다[3]. 이동호는 교번표 작성 시 고려해야 하는 제약조건에 대하여 제약조건별로 차별화된 가중치를 부여하는 정수계획법 모형을 제시하여 해를 도출하고 유전알고리즘을 적용하여 최적 해를 도출하고자 하였다 [4]. 강맹모는 항공 객실승무원의 스케줄 만족도와 관련된 연구를 진행하여 승무원 별 속성을 고려한 월간 스케줄을 작성하는 것이 중요하다고 판단하였다[5]. 또한 정재원은 승무원의 만족도를 고려한 최적의 근무패턴을 도출하는 모델을 제시하였다[6]. Zhiqiang Tian은 고속철

도선에 대하여 9일 주기 패턴을 가진 교번표를 바탕으로 집합 커버링 문제(Set Covering Problem)해결 방법으로 교번표 작성 문제를 해결하고자 하였다[7]. Andreas T. Ernst는 승무원 교번표 작성 문제를 해결하기 위해 수학적 모형을 제시하였으며 각 승무원 별 승무원 수를 선택적으로 부여하여 실험을 진행하였다[8].

철도 교번표 작성과 관련된 기 논문에서는 다양한 알고리즘을 활용하여 교번표를 작성하고자 하였다. 또한 근무기준 등 다양한 제약조건이 존재하는 교번표 작성의 특징에 맞게 제약조건을 목록화 한 후, 가중치를 두어 최적 해를 도출하는 연구 등이 진행된 바 있다. 철도분야 외에도 교번표는 항공승무원 근무패턴에 적용되고 있으며, 항공 승무원의 근무일정을 작성하는데 많은 제약조건이 존재하고 이를 고려한 승무원의 만족도를 개선하기 위한 연구가 진행된바 도 있다. 철도승무 운영계획에는 다양한 제약조건이 존재하지만 승무원 교번 작성 시 근무기준에 명시된 근무패턴 주기와 관련된 연구는 다소 미흡하다. 승무원의 근무패턴에 관한 내용은 철도운영기관의 현 근무기준에 명시되어 있는 사항이며 승무 교번표 작성 시 반영되어야 한다. 또한 교번표 작성 시 근무패턴을 적용하여 승무원의 규칙적인 근무환경 조성이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 실제 국내 철도운영기관 근무기준에 포함되어 있는 6일주기의 근무패턴을 적용하여 교번표를 작성하고 이에 유전알고리즘을 적용하여 최적화된 교번표를 도출하고자 한다.

1.3 연구수행방법

본 연구에서는 철도 승무교번 배치를 위해 기존에 수행된 연구를 조사하고 실제 철도운영기관 근무기준 및 노사협의 사항관련 자료를 분석하여 제약조건을 도출하였다. 또한 기존 연구에서 다루어지지 않은 실제 근무기준에 포함되어 있는 6일주기의 근무패턴을 적용하여 규칙성을 부여하고 있다. 또한 승무센터별 운영다이아와 승무원에 맞게 패턴을 변형하여 운행다이아에 적합한 근무 패턴을 생성하였다. 도출된 제약조건과 근무패턴을 만족하는 철도 승무 교번표를 작성한 후 근무시간의 평준화를 목적함수로 한 유전알고리즘을 적용하여 교번표의 최적해 도출방안을 제시한다. 이러한 과정을 OO 철도운영사의 열차 정보를 바탕으로 유전알고리즘을 적용하였으며, 적용 시 조사된 정보를 바탕으로 강한 제약조건에 해당하는 항목만을 한정하여 반영하는 방법론을 도입하고 있다.

2. 철도 승무원 교번표 작성

(1) 개요

일반적으로 철도 승무계획은 기 수립된 열차운행계획, 차량운용계획을 바탕으로 운전시간, 계속 승무시간 등 다양한 제약조건을 만족하는 승무 인원을 할당하는 것이다. 승무원 교번표 작성은 승무일정계획에 포함된다. 승무원이 출근하여 퇴근하는 시간 동안에 수행하여야 하는 승무관련 업무 행로인 승무다이어를 작성 후, 작성된 승무다이어를 순서규칙, 운영규칙과 같은 제약조건을 만족하도록 교번표를 작성한다.[3]

(2) 작성절차 및 문제점

철도 승무원 교번표는 본사에서 각 승무사무소(센터)별로 나누어 작성된다. 교번표는 주로 1~3개월을 주기로 조 혹은 개인별로 법적 근무기준 및 노사 간 협의 사항을 준수하여 작성된다. 승무사업은 근무시간이 일정하지 않기 때문에 소정의 순서를 바탕으로 작성한다. 주간-주간-야간-비행-휴무-휴무와 같은 순서로 이와 같은 제약을 두어 승무원에게 사업을 고루 분배할 수 있다. 또한 불규칙한 승무사업에 규칙성을 부여하여 승무원의 근무환경을 개선할 수 있다. 하지만 기존의 승무원 교번 배치와 관련된 연구에서는 이러한 근무패턴 등 근무순서와 관련된 내용을 고려하지 않아 실제 승무원운영계획 적용 시 다소 부족한 점이 있다.

(3) 제약조건

철도 승무원 교번배치와 관련된 제약조건은 월 기준 근무시간 165시간(3개월 평균, 최대 174시간)을 초과하지 않고, 1주 평균 40시간의 근무시간을 준수하여야 한다. 연간휴일 수는 주 2회를 포함하여 일근 근무자 휴일수와 동일해야한다. 또한 구속시간은 최소 8시간에서 최대 16시간 이내로 산정한다. 부득이한 경우 합의 후 18시간으로 조정가능하다. 근무표는 6일주기(주주야비휴휴)의 순서를 기준으로 작성하며, 야간운전은 연속 2회, 월 10회 이내로 제한한다. 또한 승무사업 종료 후 평균 최소 13시간, 평균 15시간 이상의 휴양시간을 갖도록 한다.

3. 유전알고리즘을 적용한 철도 승무 교번표 최적화 절차 모형

본 연구에서 승무 교번표 작성 프로세스는 다음 Fig. 1과 같이 입력데이터 분석단계, 근무패턴 생성단계, 해 생성단계, 최적화 단계로 나누었다. 최적단계에서는 유전알고리즘을 사용하여 최적화된 해를 도출하고자 하였다. 유전알고리즘은 해의 탐색성능이 우수하여 다양한 분야에 적용가능하며 특히 변수와 제약이 많은 대형 수리문제를 푸는데 적합한 기법이다.[8] 따라서 다양한 제약조건이 존재하는 승무교번표 최적화에 적합하다고 판단되어 유전알고리즘을 적용하고자 한다. 주요 분석 과정은 Table 1과 같다.

Table 1. Process of rostering optimization in railway

(1) Analysis of input data	Data analysis for crew scheduling and rostering
(2) Creation of work patterns	Derive working patterns through 6-day work table creation and work pattern adjustment
(3) Creation of solution	Create the roster value that distributes crew DIA satisfying constraint
(4) Optimization	Derive an optimal solution by applying genetic algorithm to roster values

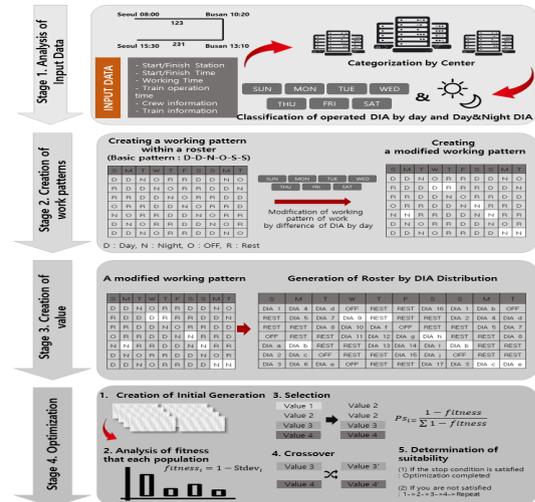


Fig. 1. Process model of rail crew rostering

(1) 입력데이터 분석단계

먼저 첫 번째로 Fig. 1의 '입력데이터 분석단계'에서는 교번작성 시 필요한 데이터를 입력한다. Fig. 1과 같이 입력데이터에는 승무다이어, 출/퇴근역, 출/퇴근시간, 근무시간, 승무시간, 승무원 정보, 열차번호 등의 자료가 입력된다. 입력된 데이터를 활용하여 첫 번째로 승무센터(승무사업소)별로 교번을 작성할 수 있도록 출퇴근역 정

보를 활용하여 센터 별 다이어를 분류한다. 또한 근무패턴 생성을 위해 승무다이어 정보를 활용하여 요일별 운행다이어 및 주간-야간다이어를 분류하고 운행다이어 수를 계산한다.

(2) 근무패턴 생성단계

두 번째 근무패턴생성 단계에서는 Fig. 1의 ‘근무패턴 생성단계’와 같이 주 2휴를 포함하는 6일 기준의 ‘주-주-야-비-휴-휴’ 패턴을 기본으로 하여 근무표 내 근무패턴을 먼저 생성한다. 하지만 요일별로 승무원에 수행하여야 하는 주/야간다이어의 수가 다르고 승무센터별 기장/객실장의 승무원이 다르다. 따라서 일별 수행하여야 하는 다이어와 승무원에 따라 패턴을 변형해야하는 작업이 필요하다. 변형된 패턴은 주 2휴를 보장하도록 하며, ‘주-주-주-주-휴-휴’, ‘주-야-야-비-휴-휴’ 등과 같이 변형될 수 있다. 이 때 야간승무사업이 3회 이상을 초과하지 않도록 하는 제약조건을 만족하도록 패턴을 수정하여야 한다. 패턴의 수정 시에는 한 달 근무표 내 승무원의 주간 근무횟수, 야간근무횟수, 휴일의 수가 가급적 동일하도록 조절하여야 한다. 요일별 운행되는 다이어의 수가 상이하므로 근무 및 휴일의 수가 동일하지 않을 경우에는 익월 근무표 패턴 작성 시 조절하여 횟수를 동일하게 맞출 수 있도록 한다. 위와 같은 과정을 거쳐 Fig. 1의 ‘근무생성 단계’와 같이 수정된 근무패턴을 생성할 수 있다.

(3) 해생성단계

제약조건을 만족하는 근무패턴의 생성이 완료된 후에는 세 번째로 Fig. 1의 ‘해생성단계’와 같이 승무패턴에 맞게 승무다이어를 배치하여 교번표를 생성한다. Fig. 1의 ‘해생성단계’ 내 수정된 근무패턴과 같이 첫 번째 일요일 내 운행다이어가 주간다이어 3개, 야간다이어 1개일 경우 해당 다이어를 작성된 패턴에 맞게 배치하여 근무표 작성이 가능하다. 승무다이어를 배치할 때에는 승무다이어에 포함된 출/퇴근시간, 근무시간, 승무시간 등의 입력정보를 활용하여 제약조건을 만족해야한다. 제약조건에는 월 최대 174시간이내, 사업 종료 후 최소 13시간의 휴양시간보장, 1주 평균 40시간 등의 사항이 포함된다. Fig. 1의 ‘해생성단계’에서 오른쪽 Fig. 1은 수정된 근무패턴에 맞게 다이어를 배치한 모습이다.

(4) 최적화단계

마지막으로 해 생성단계가 완료된 이후 생성된 해에

유전알고리즘을 적용하여 최적화된 교번표를 도출해내기 위해서 ‘최적화단계’가 필요하다. 최적화 단계에서는 유전알고리즘 적용을 위해 Fig. 1의 ‘최적화단계’와 같은 순서의 과정이 요구된다. 첫 번째로 n개의 개체수를 가지는 해집단을 생성한 뒤 해집단 별 적합도를 분석한다. Fig. 1과 같이 해 1,2,3,4 중 2,2,3,4가 선택되었듯이 분석한 해집단 내 적합도를 바탕으로 선택연산을 활용하여 해를 선택한다. 선택된 해를 바탕으로 교차연산을 진행하여 새로운 해를 도출하고 도출 해의 적합도 판별을 통해 사용자가 지정한 정지조건에 만족할 경우 최적화된 해를 도출하며 만족하지 않을 경우 위의 과정을 정지조건을 만족할 때까지 반복한다.

4. 철도 승무 교번표 작성 모형의 적용

본 연구에서는 앞서 제시한 철도 승무교번표 최적화 방안을 OO 철도운영사에서 제공한 OO 승무센터의 기장 근무표를 사용하여 분석한다.

(1) 근무패턴 생성 및 해 생성단계

OO 승무센터의 기장 21명의 한 달 운행다이어는 주간다이어 222개, 야간다이어 185개이다. ‘주-주-야-비-휴-휴’ 패턴으로 21명의 기장 근무표 작성 시 주간다이어는 250개, 야간다이어는 125개로 구성된다. 또한 요일별 운행다이어가 다르게 계획되어있으므로 요일별 운행다이어와 승무원에 맞게 근무패턴을 수정하였다. Fig. 2는 운행다이어에 맞게 근무 패턴을 변경하여 수정한 모습이다.



Fig. 2. Creation of work patterns

Fig. 2와 같이 x축은 월별 일자, y축은 승무원을 나타내며 Fig. 2 내 적색 표시와 같이 ‘주-주-야-비-휴-휴’에서 ‘주-주-주-야-비-휴-휴’로 패턴이 일부 변경된 것을 확인할 수 있다. Fig. 3은 Fig. 2와 같이 생성된 패턴에

승무다이어를 배치하여 제약조건을 만족하는 초기해를 생성한 모습이다. Fig. 3에서 확대된 부분과 같이 3월 2일자 근무에서 비번(OFF), 청색으로 표현된 부분은 야간다이어, 주간다이어 및 황색으로 표기된 부분은 휴무(Rest)를 나타낸다. 생성한 초기해를 통해서 각 승무원별 근무시간, 승무시간 및 이들의 표준편차를 도출할 수 있으며 Fig. 3의 우측 값은 승무원별 한 달 근무시간 및 승무시간과 전체 승무원의 근무시간 및 승무시간의 표준편차를 나타낸다. Fig. 3과 같이 초기해의 근무시간의 표준편차는 07시간 12분, 승무시간의 표준편차는 05시간 19분으로 계산되었다.



Fig. 3. Creation of initial value

Fig. 3과 같이 제약조건을 만족하는 초기해는 다양하게 생성될 수 있으며, 생성된 초기해들을 바탕으로 유전알고리즘을 통해 최적해를 도출할 수 있다.

(2) 유전알고리즘 적용 절차

연구에서는 Fig. 4와 같은 순서로 유전알고리즘을 적용하여 최적화 해를 도출한다. 먼저 n개의 개체수를 가지는 초기 해집단을 생성한 후 해집단의 적합도를 평가한다. 적합도에 따라 산출된 선택연산을 통해 해집단 내 k세대 개체를 선택하게 된다. 난수 r을 발생시켜 k세대 해집단 내 해들의 교배유무를 판별하여 교배연산을 진행한 후 다시 해집단의 적합도를 평가한다. 각 세대별 해집단 내 적합도가 가장 높은 개체를 저장하고 해집단의 목적함수가 정지조건에 도달하지 않았을 경우 위의 과정을 반복하고, 도달하였을 경우 저장된 개체 내 가장 좋은 해를 도출하는 것으로 알고리즘을 종료한다.

유전알고리즘을 적용한 최적화의 목적은 근무시간의 평준화, 운전시간의 평준화 등이 될 수 있다. 본 논문에서는 승무원의 근무시간의 평준화를 위해 근무시간의 표준편차의 최소화를 목적함수로 설정하였으며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

목적함수 (Objective Function)

$$f(x)_{Minimize} = \sum_{i=1}^n WorkStdev_i \quad (1)$$

(*WorkStdev_i* : The standard deviation of the working time for value (i))
(n : number of population)

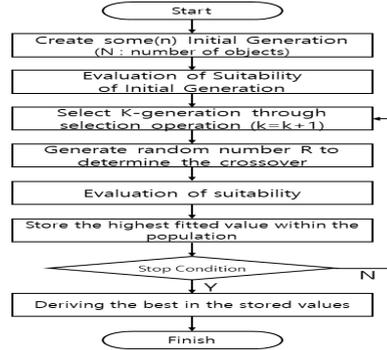


Fig. 4. Flowchart of genetic algorithm

(3) 적합도 함수 및 선택연산

본 연구에서는 초기해의 해집단의 개체수(n)를 10으로 설정하였으며 앞서 생성된 초기해로 집단을 구성하였다. 초기 해집단이 구성된 후에는 해 집단별 적합도를 평가한다. 적합도함수는 해집단이 유전알고리즘 연산과정을 거친 후 발생한 해집단의 품질을 평가하는 함수이며, 주로 목적함수를 적합도로 설정한다[8].

본 연구에서는 적합도 함수를 목적함수에 사용된 교번표 내 승무원 근무시간의 표준편차 값을 활용하였으며 다음 Eq. (2)와 같이 정의하였다. 적합도 값이 높을수록 표준편차 값이 낮다는 것을 의미한다. 따라서 적합도 값이 높은 해집단을 우수한 해집단으로 평가할 수 있다.

적합도함수 (Fitness Function)

$$fitness_i = 1 - WorkStdev_i \quad (2)$$

적합도 분석을 완료한 후에는 선택연산을 수행한다. 본 연구에서는 룰렛 휠 방식을 사용하였다. 모든 해의 적합도의 합한 값만큼의 크기를 가진 룰렛 휠 내 각 해의 적합도 만큼 룰렛 휠 상의 범위를 가지게 된다. Table 1은 선택연산을 위한 룰렛 휠 범위를 나타낸 표이다.

Table 2. Result of selection operation

Population	Fitness	Probability of selection	Cumulative probability	Selection range
1	0.700	0.097	0.097	$0 < r_1 < 0.097$
2	0.680	0.094	0.192	$0.097 < r_2 < 0.192$
3	0.735	0.102	0.294	$0.192 < r_3 < 0.294$
4	0.707	0.098	0.392	$0.294 < r_4 < 0.392$
5	0.733	0.102	0.494	$0.392 < r_5 < 0.494$
6	0.752	0.104	0.598	$0.494 < r_6 < 0.598$
7	0.718	0.100	0.698	$0.598 < r_7 < 0.698$
8	0.761	0.106	0.803	$0.698 < r_8 < 0.803$
9	0.716	0.099	0.903	$0.803 < r_9 < 0.903$
10	0.700	0.097	1.000	$0.903 < r_{10} < 1$
Sum	7.201	1		

선택확률은 Eq. (3)과 같이 표현될 수 있다.

$$Probability\ of\ selection : P_{s_i} = \frac{fitness_i}{\sum_{i=1}^n fitness_i} \quad (3)$$

Table 2에서 확인할 수 있듯이 적합도에 따라 Eq.(3)을 이용하여 선택확률을 구할 수 있다. 구한 선택확률을 바탕으로 누적확률을 계산하여 해가 선택될 수 있는 범위를 지정하였다.

Table 2의 내용을 선택연산의 룰렛 휠로 표현하면 Fig. 5와 같다. 0.700의 적합도를 가진 해는 선택확률식에 따라 0.097의 누적확률을 가지고 룰렛 휠에서 0에서 0.097사이의 범위를 가지게 되며 0.707의 적합도를 가진 해는 선택확률과 누적확률에 따라 룰렛 휠 내 0.294에서 0.392사이의 값을 갖게 된다.

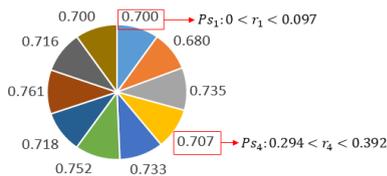


Fig. 5. Roulette wheel for selection operation

(4) 교배연산

해집단의 수만큼 0과 1사이의 난수를 발생시켜 난수가 포함되는 범위의 해집단이 선택된다. 선택된 해집단을 바탕으로 교배연산을 실시하였다. 교배연산은 순차적으로 2개의 해집단을 선택하여 해집단의 교배 수행여부나 난수를 발생하여 판단하였다.

교배확률(P_c)을 0.2, 0.8로 나누어 수행하였으며 교배여부가 판단된 후 교배점은 한 달을 기준으로 1일에서

31일 사이에 난수를 발생시켜 교배위치를 결정하였다. 예를 들어, 난수가 0.5로 발생하였을 경우 교배 확률 0.8의 경우는 교배연산이 진행되지만 교배확률을 0.2로 설정한 경우 교배연산이 진행되지 않는다. 교배는 일점 교배로 교배위치를 기준으로 두 해집단의 개체가 교체되어 새로운 해를 생성한다. Fig. 6은 해집단 1,2의 교배위치가 17일로 선정되어 교배가 진행된 모습이다. 17일을 기점으로 각 날짜에 해당되는 다이어아가 함께 교차되도록 하였다. 따라서 Fig. 6과 같이 해집단 1의 1일부터 17일까지 교변표와 해집단 2의 18일부터 31일까지의 교변표가 교차되어 새로운 해집단 1의 해가 되고, 해집단 2의 1일부터 17일까지의 교변표와 해집단 1의 18일부터 31일까지의 교변표가 교차되어 Fig. 6의 아래 근무표와 같이 새로운 해집단 2의 해가 된다.



Fig. 6. Crossover operation by one-point

본 연구에서는 위의 과정을 Excel을 활용하여 진행하였으며 교배확률 0.2와 0.8로 나누어 5세대까지 연산을 거친 결과는 다음 Table 3,4와 같다.

Table 3. Crossover results with a probability of 0.8

Population	Crossover probability of 0.8 (unit_hh:mm)					
	Initial generation	1 st generation	2 nd generation	3 rd generation	4 th generation	5 th generation
1	07:12	07:28	06:39	07:16	06:49	06:49
2	07:41	06:29	07:21	07:27	05:46	06:15
3	06:21	06:31	07:11	07:11	07:11	05:46
4	07:01	05:24	07:41	07:11	07:11	05:46
5	06:24	05:42	07:30	07:30	07:05	06:49
6	05:57	07:30	06:35	07:41	07:34	05:43
7	06:46	07:33	06:49	07:33	06:42	07:45
8	05:44	07:39	07:33	05:13	07:30	06:20
9	06:49	07:01	05:13	06:42	05:43	07:02
10	07:11	06:35	06:42	07:21	06:14	06:36
Objective Function	67:10	67:57	69:18	71:08	67:49	64:56

Table 4는 교배확률을 0.2로 설정하여 교배연산을 진

행한 결과이다. 낮은 교배확률로 인하여 각 세대별 교배 연산이 많이 이루어지지 않았지만 Table 4에서 확인할 수 있듯이 세대를 거듭할수록 낮은 적합도 값을 확인할 수 있다.

Table 4. Crossover results with a probability of 0.2

Crossover probability of 0.2 (unit_hh:mm)						
Population	Initial generation	1 st generation	2 nd generation	3 rd generation	4 th generation	5 th generation
1	07:12	06:46	07:41	05:24	05:24	06:10
2	07:41	07:12	07:12	06:14	06:14	06:14
3	06:21	06:49	07:12	05:57	06:09	07:12
4	07:01	05:57	07:11	07:12	06:10	06:14
5	06:24	06:26	05:57	07:12	05:24	05:45
6	05:57	06:35	07:12	07:41	06:14	07:08
7	06:46	07:41	06:35	05:57	07:12	05:24
8	05:44	06:46	07:12	05:57	05:57	06:10
9	06:49	05:44	06:38	05:57	07:12	06:14
10	07:11	07:11	05:42	07:12	07:12	05:57
Objective Function	67:10	67:11	68:36	64:48	63:13	62:34

동일한 초기 해집단을 바탕으로 교배확률 0.8일 경우 5세대의 목적함수 값은 64시간 56분으로 나타났으며, 각 세대별 적합도 값이 높은 값은 2, 3세대의 05시간 13분으로 근무시간의 표준편차가 가장 적은 것으로 분석되었다. 교배확률 0.2일 경우 5세대의 목적함수 값은 62시간 34분으로 나타났으며, 각 세대별 적합도 값이 높은 값은 3, 4, 5세대의 05시간 24분으로 근무시간의 표준편차가 가장 적은 것으로 분석되었다.

교배확률 0.8의 경우 세대를 거칠수록 목적함수 값이 줄어들지는 않았지만 교배확률 0.2보다 높은 적합도 값을 도출해 낼 수 있었다. 교배확률 0.2는 세대를 거칠수록 비교적 목적함수 값이 줄어드는 동시에 각 세대별 적합도도 높아지는 모습을 확인할 수 있었다.

초기해에서 가장 낮은 적합도를 가지는 값은 05시간 44분이다. 교배확률을 0.2로 유전알고리즘을 적용하였을 경우 최적해의 표준편차는 05시간 24분으로 20분의 차이를 보였다. 교배확률 0.8 경우 최적해의 표준편차는 05시간 13분으로 31분의 차이를 보였다. 이에 따라 교배확률 0.2와 0.8 경우 모두 초기해 보다 높은 적합도 값을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 승무원 교번 작성 시 본 연구에서 제시한 방법론을 적용할 경우 승무원 근무시간의 표준편차를 줄일 수 있다.

(5) 교번표 최적화 결과의 검증

본 연구에서 제시한 철도 승무교번표 작성방안 및 최적화 과정을 통해 도출한 교번표의 값과 수작업으로 작성하였던 기존 교번표를 비교하고자 한다. 본 연구에서는 2019년도 데이터를 기준으로 교번표를 작성하였으나 수작업으로 작성한 교번표는 2018년도에 작성된 것으로 정확하게 두 교번표를 비교하는 것은 불가능하다. 이러한 점을 감안하여 수작업으로 진행된 교번표와 본 연구에서 도출한 교번표를 비교해 보았을 때, 수작업으로 작성한 근무표는 본 연구에서 도출한 교번표와는 달리 Fig. 7과 같이 미할당 다이가 발생한 것을 확인할 수 있다. 이는 근무패턴을 일일이 맞추는 것이 어려운 작업이며 많은 시간이 소요되기 때문이다. 기존 수작업으로 작성된 교번표에서는 일 1~3개의 미할당 다이가 발생한 것을 확인할 수 있으며 이는 센터별 승무원과의 협의를 통해 배분된다. 이러한 과정은 불필요한 시간을 필요로 하며, 승무원 간 근무시간 차이에 따른 불평등을 초래할 가능성이 있다.



Fig. 7. Manually written roster

기존 수작업 교번표에서 활용된 승무다이어에서 미할당 다이가 발생하며, 본 연구에서 활용된 승무다이어가 동일하지 않으므로 근무시간의 표준편차의 정확한 비교는 어렵다. 하지만 5세대에 걸쳐 진행된 최적화 과정을 통해 초기해와 비교하여 근무시간의 표준편차를 최대 31분으로 줄인 결과를 도출하였다. 본 연구에서 제시한 과정을 통해 짧은 시간 내 다양한 해를 도출할 수 있어 수작업으로 교번표를 작성할 경우 많은 시간이 요구되는 단점을 해결할 수 있을 것으로 사료된다. 또한 미할당 다이가 발생하지 않는다는 장점이 있다.

5. 결론

교번표 작성은 많은 제약조건을 포함하고 있어 수작업으로 최적화 된 해를 도출하거나 판별하기 다소 어렵다. 또한 법적 근로기준의 개정 및 노사 간 협의사항이 추가

되거나 변경될 가능성이 있어 모든 조건을 만족하는 알고리즘을 철도운영기관에서 지속적으로 사용하는데 어려움이 있다. 본 연구에서는 실제 철도 운영기관의 근무기준관련 자료를 분석하여 기존 연구에서 고려하지 않은 근무패턴주기를 추가하였으며 근무시간 평균화를 목적으로 유전알고리즘을 활용한 최적 해의 도출방안을 제시하였다.

제시한 방안에 따라 실제 철도운영기관의 자료를 활용하여 유전알고리즘을 적용하였으며 승무원의 근무시간 평균화를 위해 근무시간 표준편차를 목적함수로 하여 이를 줄이는 것을 목표로 하였다. 유전알고리즘 적용 시 교배확률을 0.2와 0.8로 나누어 교배연산을 진행하였다. 연구 결과 초기 해집단과 비교하여 승무원의 근무시간 표준편차가 최소 20분에서 최대 31분으로 줄어든 결과를 확인할 수 있었다.

수작업으로 작성된 교변표에서 미할당 다이가 발생하며 이러한 경우 승무원의 근무시간 표준편차가 커지게 되므로 근무시간을 평균화하는데 적합하지 않다. 본 연구에서는 운행다이에 맞게 근무패턴을 조정하여 교변표를 작성하여 미할당 다이가 발생하지 않으므로 기존 수작업으로 작성된 교변표와 비교하여 근무시간의 표준편차를 줄일 수 있을 것으로 사료된다. 본 연구에서 진행한 최적화 과정은 방법론의 검증에 위해 해집단과 세대수 크기를 제한하여 해를 도출하였으므로, 전산화 모듈을 이용하여 해집단의 크기를 크게 하고 많은 세대수를 거쳐 해를 도출해 내는 과정이 추가되면 보다 현실적인 최적해의 도출이 가능할 것이다.

References

- [1] N. I. Heo, "A Crew Scheduling Using Set Partitioning", Master's thesis, Donga University, 2001
- [2] J. P. Kim, D. H. Kim, T.-O. Ha, "A Study on the Duty Hour Structure for Railway Crews", Journal of the Korean Society for Railway, Vol.7, No.4, pp. 350-355, 2004
- [3] Y. H. Kim, J. P. Kim, "A study on the crew roster scheduling", Proceedings of the Korean Society for Railway Conference, pp.86-92, Nov. 2000
- [4] M. M. Kang, "A Study on Cabin Crews' satisfaction with their Schedules" Master's thesis, Korea Aerospace University, 2013
- [5] J. W. Jeong, "Cabin Crew Pairing Model for Schedule Satisfaction Fairness", Master's thesis, Korea Aerospace University, 2012

- [6] D. H. Lee, T. Y. Yang, Y. H. Kim, "A Study on Korean Railroad Crew Rostering Problem", Journal of the Korean Society for Railway, Vol.9, No.2, pp.206-211, 2006
- [7] Z. Tian, H. Niu, "Modeling and Algorithms of the Crew Rostering Problem with Given Cycle on High-Speed Railway Lines", Mathematical Problems in Engineering, Vol.2012, Article ID 214607, pp.1-15, 2012. DOI: <https://dx.doi.org/10.1155/2012/214607>
- [8] A. Ernst., H. Jiang., M. Krishnamoorthy., H. Nott., D. Sier., "Rail Crew Scheduling and Rostering Optimization Algorithms", Computer-Aided Scheduling of Public Transport, pp.53,71, 2001. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-56423-9_4
- [9] No Woo Hyeob., "A study of workload balancing for nurse schedule using genetic algorithm : based on military hospital", Master's thesis, Yonsei University, 2005

박 상 미(Sang-Mi Park)

[정회원]



- 2017년 2월 : 경상대학교 대학원 토목공학과 (토목공학석사)
- 2018년 9월 ~ 현재 : 경상대학교 대학원 토목공학과 박사과정

<관심분야>

건설관리, BIM

김 현 승(Hyeong-Seung Kim)

[정회원]



- 2011년 2월 : 경상대학교 대학원 (공학석사)
- 2016년 2월 : 경상대학교 대학원 (공학 박사)
- 2018년 6월 ~ 현재 : ㈜서영엔지니어링 BIM개발팀 과장

<관심분야>

건설관리, BIM

강 인 석(Leen-Seok Kang)

[정회원]



- 1991년 10월 ~ 현재 : 경상대학교
교수
- 2013년 11월 ~ 2015년 11월 :
한국건설관리학회 회장
- 2017년 1월 ~ 2017년 12월 :
한국구매조달학회 회장

〈관심분야〉

건설관리, BIM