

철도 승무원 교번표 작성에 관한 연구

김영훈*, 김지표**

*한국철도기술연구원, **서울산업대학교 산업공학과

초록

철도 승무원 교번표는 승무사업이 작성된 이후 순서규칙(sequencing rule), 운영규칙 등과 같은 제약조건을 만족하는 사업(duty)의 진행 내용을 나타내고 있는 표이다. 일반적으로 철도 승무원 교번표 작성은 승무원 사업표가 작성된 후 각 사업소 별로 승무원간 사업시간의 차이가 최소가 되도록 즉, 승무원이 균등한 사업시간을 갖도록 작성된다. 교번표의 작성은 각 나라마다 독특한 노동협약이나 운용규정 등과 같은 복잡한 제약조건들을 충분히 고려하여 작성되어야 하므로 그동안 연구에 어려움이 많았다. 본 연구에서는 우리나라 철도청에서 현재 수행하고 있는 교번표 작성현황을 살펴보고 문제점을 파악하였다. 또한 교번표 작성 절차를 분석하여 모형화 하였으며 추후 연구 방향을 제시하였다.

1. 서론

항공, 철도, 버스 등과 같은 대중 교통 수단의 운행 계획 수립은 일반적으로 교통 매체의 운행노선과 운행을 담당하는 승무원에 대한 계획으로 나눌 수 있다. 일단 운행 노선이 먼저 결정되면, 노선에 따른 승무원 계획이 작성된다. 승무원 계획은 다시 승무사업계획(crew scheduling)과 승무교번계획(crew rostering)으로 나뉘어진다. 승무사업계획은 각 노선에 대한 출발 시간 및 귀환 시간을 포함한 구체적인 승무행로에 대한 일정계획이며, 승무교번계획은 일정기간 동안 각 승무원들이 수행해야 할 사업 순서에 대한 계획이다. 일반적으로 승무사업계획이 결정이 된 후 교번계획이 작성된다.

본 연구는 철도운행을 위해 이미 작성된 승무사업표를 바탕으로 일정 기간동안 승무원이 수행해야 할 사업의 순서 결정에 대한 문제를 다루고 있다. 철도운영 문제 중에서 열차와 승무원의 스케줄링 업무는 가장 핵심적인 계획업무로 효율적인 철도 운영에 지대한 영향을 미치고 있다. 특히 승무 교번계획 문제는 노동조약 및 운행규약과 같은 복잡한 제약조건 때문에 실용적인 해를 얻기 힘들고, 폭발적인 조합 수를 고려해야 하기 때문에 어려운 문제로 인식되고 있다.

본 연구에서는 현재 우리나라 철도청의 승무원 사무소에서 행해지고 있는 승무 교번계획 현황을 살펴보았다. 또한 현재 수작업으로 진행되고 있는 승무원교번표의 문제점을 정리하였으며 작성 업무를 체계적으로 분석하여 수리적으로 모형화를 하였다.

2. 승무원 교번표 작성 현황

2.1 승무사업계획 작성

일반적으로 열차 및 승무원 운용을 위해서는 여객의 수송통계를 기초로 수송기본계획이 우선적으로 수립된다. 이 계획을 바탕으로 열차운행 계획이 작성되며 열차운행에 승무원을 할당하는 업무가 순차적으로 진행된다. 현재 국내의 승무원 계획 업무는 철도청 본청 영업국과 지방청 소속의 승무원 사무소별로 업무가 이루어지는 이원화 구조로 되어 있다.

다이어	운행표	사업시간					사업키로
		운전	만승	감시	대합	점검	
13081 운행 91360- 11040 (97.11.05) 시행일 (97.11.06)	07:40 - 07:35						
	07:45 - 08:45 11647 (공35)	03.42	00.53	02.03	01.12	03.00	10.50
	09:20 - 10:38 1647 (공22)						
	11:14 - 11:00 1654 (공22)						
	12:00 - 12:00						
	15:25 - 14:32 K175						
	15:25 - 14:32 K213						
							CDC 권 115.2 회 34.2 일 0.0 계 149.4

[그림 1] 승무원 사업표의 예

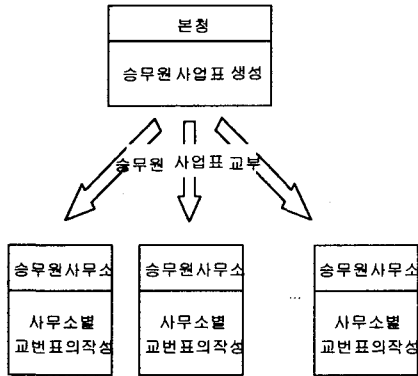
본청에서는 각 사무소별로 인원현황과 과거 승무사업실적을 바탕으로 일년동안에 운행하게 될 승무구간을 설정하여 배분하고 [그림 1]과 같은 승무원 사업표를 생성한다. [그림 1]은 용산에서 출발하여 효창, 의정부, 신탄리를 거쳐 의정부에서 작업종료를 하는 승무행로에 대한 구체적인 일정을 설명하고 있다. 승무원 사무소는 승무원 사업표를 바탕으로 각 승무원들에게 공평한 사업시간이 부여될 수 있도록 승무원 교번표를 작성한다. 여기서 말하는 사업은 자기소속에서 출무하여 승무행로에 의거 승무후 자기 소속에 귀착하여 종료 보고를 마친 행로의 단위로서 교번표는 사업의 집합으로 이루어진다. [그림 2]는 승무사업계획의 흐름을 설명해주고 있으며, [그림 3]은 일주일 동안의 승무원 교번표 양식을 보여주고 있다.

[그림 3]에서 근무시간은 출근시간부터 퇴근시간까지 근무한 시간을 말하며, 사업시간은 출근시간부터 퇴근시간까지의 실근무시간 즉, 급여 계산시 포함되는 시간으로 항상 근무시간보다 작다. 휴양시간은 한 사업의 퇴근시간에서부터 다음 사업의 출근시간까지 부여된 휴식시간을 말하며 야간근무시간은 오후 10시부터 오전 6시 사이에 속한 근무시간을 뜻한다. 또한 야간근무 시간이 2일에 걸쳐있는 경우를 숙근무라고 한다. [그림 3]의

경우 첫째 날은 근무가 없으며 둘째 날은 출근시간은 17:43이며 퇴근시간은 다음 날 오전 11:54이다. 따라서 총 근무시간은 18:11이 되며 그 중에 사업시간은 9:15이다.

2.2 승무원 교번표 작성 절차

각 승무원 사무소는 할당받은 사업의 규모에 따라서 승무원을 조로 나누어 조별 승무원 교번표를 작성한다. 승무원 교번표는 한달을 주기로 작성되며 일반적으로 운행규약 등과 같은 제약조건을 만족시키는 범위 내에서 할당된 사업에 대한 순서를 적절하게 결정하므로 완성된다.



[그림 2] 승무사업계획의 흐름

국내에 열차승무원 사무소는 약 10여 곳이 있으며, 승무원 사무소에는 사업의 양에 따라서 약 150명에서 200여명의 승무원이 있다. 승무원 사무소는 한달 단위로 승무원 교번표를 작성하여 사업을 수행하게 되는데 이렇게 작성된 승무원 교번표를 승무원이 순환하며 공동으로 사용하게 된다. 일반적으로 한 개의 승무원 교번표에는 약 18개에서 20여개의 사업이 포함되어 있다.

승무원 교번표에 표시된 사업을 같은 조내의 승무원이 공유하게되며, 한달간 순환하며 사업을 수행하기 때문에 같은 조의 승무원은 근무하는 시간과 사업시간이 동일하게 된다. 예를 들어서 20개의 사업이 배정된 조의 경우 운용규약과 같은 여러 제약조건을 만족시키면서 20개의 사업이 한달 동안 수행될 순서에 대한 승무원 교번표가 작성되며, 승무원은 순서대로 순환하며 사업을 수행한다. 즉, 1번 사업부터 시작한 승무원이 20번째 사업에서 한달 간의 사업을 종료하게 될 때 2번 사업부터 시작한 승무원은 20번 사업을 거친 후 1번 사업에서 사업을 종료하게 된다. 따라서 각 승무원이 처음 시작하는 사업에 따라 순서만 다를 뿐이지 같은 조에 속한 승무원은 한달 동안 결국 같은 사업을 수행하게 된다.

2.3 교번조의 작성 이유

승무원 사무소마다 조를 분할하는 이유는 사무소에 할당된 사업들이 필요로 하는 열차의 기종이 다르며, 승무원 개인의 운전능력도 차이가 있기 때문이다. 만일 같은 조에 배정된 사업이 여러 기

	1	2	3	4	5	6	7
다이아	S	13086	~	13292	13096	~	13093
열차번호		1664 -1646		1677 -1678	1569 -1552		1557 -1582
출근시간		17:43		07:02	11:01		05:01
퇴근시간		11:54		19:54	07:34		19:24
근무시간		18:11		12:52	20:38		14:23
휴양시간		55:11		19:08	15:07		21:22
사업시간		09:15		12:52	12:35		12:57
야간근무시간					01:35		00:59
주행키로		115.2		178.0	184.0		180.7

[그림 3] 승무원 사업 교번표의 예

종의 열차를 운전하여야 하는 사업으로 계획되어 있다면, 승무원의 운전 능력 차이에 의하여 어떤 사업은 수행될 수 없기 때문에 승무원 교번조를 나눌 때는 승무원의 운전 기량을 고려하여 조를 할당하게 된다.

조를 나누는 또 다른 이유는 사무소 내의 모든 승무원에게 균등한 사업시간을 보장하는 승무원 교번표를 손쉽게 작성하기 위해서이다. 대부분의 철도 업무는 공공성이 강하고, 현재 우리의 경우도 정부에서 철도 운행사업을 관장하고 있기 때문에 승무원에 대한 보수 기준도 사업시간의 양에 따른 성과급이 아니고 매달 일정 금액을 받는 월급제이다. 따라서 모든 승무원에게 균등하게 사업을 나누어주어 승무원들 사이에 작업량의 차이를 없애는 것을 교번표 작성 시 가장 중요하게 여기고 있다.

만일 조를 나누지 않고 승무원 사무소 당 한 개의 승무원 교번표를 작성하여 승무원이 주어진 사업을 기존의 방식대로 순환하여 수행한다면 한달 동안에 모든 사업이 순환 될 수 없게 되고, 이럴 경우 승무원마다 수행하게 되는 사업시간과 휴양시간 등이 다르게 되기 때문에 평등한 근무조건을 제공할 수 없게 된다. 이러한 이유로 승무원 교번표는 조별로 분할하여 작성하게 되는 데, 이럴 경우 최소한 같은 조내의 승무원만큼은 균등한 사업시간을 갖게된다.

2.4 교번표 작성의 문제점

현재 승무원 교번표 작성은 작성자의 경험에 의존하여 수작업으로 진행되고 있다. 이는 교번표 작성의 유연성 제고라는 장점도 있지만 작성자 임의로 교번표가 작성되고 변경될 수 있는 가능성을 배제할 수 없다. 또한 사업시간 균등화 외에는 작성된 교번표에 대한 평가기준이 없어 다양한 측면에서 최적화에 대한 노력이 부족한 상태이다.

우리 나라의 경우 철도사업이 정부 주도하에 이루어지고 있어 공공적 성격이 매우 강하다. 따라서 현재 승무원 교번표 작성의 기준은 공평한 작업 및 휴양시간 분배 등과 같은 형평성에 바탕을 두고 있으며 경비 절감 및 수익성 향상 등과 같은 경제적인 측면은 고려되지 못하고 있다. 그러므로 교번표 작성시 비용, 수익성 혹은 작업시간 등과 같은 다양한 기준을 적용하여 새로운 상황에 대비

할 필요가 있다.

3. 모형의 설정

3.1 연구 배경

앞에서 언급한 바와 같이 우리 나라의 철도 운행은 경제성보다는 공공성에 중점을 두고 있으며, 따라서 승무원 교번표도 비용절감 측면보다는 승무원간 작업량의 형평성위주로 작성되고 있다. 따라서 교번표 작성의 핵심은 승무원 사업소에 할당된 사업을 조별 총사업시간의 차이가 가능한 최소화되도록 교번조에 배분하며- 조별간의 사업시간의 차등은 곧 임금의 차등이 발생하는 원인이 되므로- 조 내에서는 이를 바탕으로 순환이 가능한 교번표를 작성한다.

승무원 스케줄링문제는 철도, 항공, 장거리 노선 버스 등과 연관되어 오래 동안 연구가 진행되고 있는 분야이다. 이 문제는 Balas와 Padberg에 의해 고찰된 것처럼 일반적으로 Set Partitioning Problem(SPP)이나 Set Covering Problem(SCP)과 같은 형식으로 모형화될 수 있다[2]. 그러나 폭발적인 조합 수의 처리문제와 복잡한 제약조건들을 공식화하기 어렵고 대형문제의 경우, 정수계획법으로 정확히 풀기에는 비용과 시간이 많이 소요되어 해를 찾기위한 방법으로 발견적기법이 자주 사용되고 있다. 승무원 교번표 작성에 관해서는 Sakaguchi와 Nozue가 제약충족이론과 논리 프로그램인 CHIP(Constraint Handling In PROLOG)를 사용하여 승무원 교번표 작성을 시도하였다[4].

현재 국내에서는 승무원 교번표 작성을 지원할 수 있는 시스템으로 KROIS(Korean Railroad Operation Information System)가 있다. 하지만 외국에서 사용되는 승무원 스케줄링 시스템과 같이 승무사업의 생성(Duty generation)과 생성된 승무사업의 교번할당 및 교번작성(Duty allocation and rostering)을 지원하지는 못하고, 승무원 사무소의 승무업무를 지원하는 업무지원 성격이 강한 시스템이다.

철도사업은 국가별, 지역별 특성에 따라서 운행 조건 및 규정의 차이가 심하기 때문에 외국의 연구 결과를 그대로 받아들이기에는 한계가 있다. 그러므로 우리 실정에 맞는 승무원 교번표 작성에 대한 체계적인 분석 및 연구가 필요하며, 본 연구는 그 첫 단계로 현재 우리나라 철도청에서 시행되고 있는 교번표 작성에 대한 분석 및 문제 해결을 위한 모형화를 시도하였다.

3.2 모형의 설정

본 연구에서는 교번표 작성 시 목표를 사업시간 균등화와 더불어 사업 수행에 필요한 최소한의 인원으로 교번표를 작성할 수 있도록 하여 비용 개념을 추가하였다. 즉 근무 규정과 같은 제약조건을 만족하면서 조내의 승무원의 사업시간 균등화를 제공하는 사업순서 작성 시 사업 수행에 필요한 최소 인원을 구할 수 있도록 모형을 설정하였다.

승무원 교번표 작성 시 고려해야할 제약조건으로는 두 사업의 전후 관계를 규정하고 있는 순서 규칙과 휴일의 삽입과 같은 운영상의 조건인 승무 규칙으로 나눌 수 있다. 또한 이러한 제약조건은 규정상 반드시 지켜야하는 hard constraint와 권

장사항에 속하는 soft constraint로 나눌 수 있다. <표 1>은 현재 승무원 교번표 작성 시 적용되고 있는 제약조건을 요약한 것이다.

<표 1> 승무원 교번표 작성시 적용되는 제약조건

No	제약조건	제약의 분류	제약의 대상
①	1주에 44시간이상 52시간이하의 사업시간을 확보하여야 한다.	soft constraint	사업 시간
②	한달에 5일 이상의 휴일을 부여한다.	soft constraint	휴 일
③	휴일전의 근무종료시각은 전일 18시 이전으로 한다.	soft constraint	
④	휴일후의 근무개시시각은 아침 8시 30분 이후로 한다.	soft constraint	
⑤	사업이 끝난 승무원은 최소 13시간 이상의 휴양시간을 확보하여야 한다.	hard constraint	휴양시간
⑥	임의의 사업을 종료한 후 다음 사업개시까지의 휴양시간은 이전사업의 근무시간보다 많이 확보하여야 한다.	soft constraint	
⑦	야간근무시간을 2시간이상 포함하는 경우에는 연속하여 야간근무를 하지 않도록 한다.	hard constraint	야간 근무시간 (22:00 ~06:00)
⑧	하루에 2개의 사업을 수행할 수 없다.	hard constraint	사업수행 규칙

승무원 교번표 작성 문제를 모형화하기 위해서 네트워크 $G=(V, A)$ 를 정의한다. 여기서 V 는 노드(node)의 집합으로 $V=\{1, 2, \dots, n\}$ 으로 표시되며 A 는 노드와 노드사이를 연결하는 아크(arc)의 집합을 의미한다. 여기서 n 을 할당된 총 사업의 수라고 할 때 아크(i, j)는 사업 i 와 사업 j 를 연결하는 사업 i 다음 사업으로 사업 j 가 배정됨을 의미한다. 따라서 실행 가능한 교번표는 n 개의 노드로 구성된 네트워크로 표현될 수 있으며, 승무원교번표 작성 문제는 모든 노드가 한번씩 사용되고 노드 사이에 순서가 존재한다는 면에서 최소비용 tour를 결정하는 TSP(Traveling Salesman Problem)와 동일한 형태를 띠게 된다.

아크(i, j)는 두 개의 값 a_{ij} 와 b_{ij} 를 가지고 있는데, a_{ij} 는 사업 i 의 종료시간과 사업 j 의 시작시간 사이에 필요한 최소한의 휴식시간을 나타내며 b_{ij} 는 사업 i 와 사업 j 사이에 휴일이 포함될 때 사업 i 의 종료시간과 사업 j 의 시작시간 사이에 필요한 최소한의 시간을 나타낸다. 따라서 a_{ij} 와 b_{ij} 값을 계산할 때 <표 1>에 있는 제약조건 중 3, 4, 5, 6, 7번이 고려되어야한다.

a_{ij} 로 구성된 행렬을 A 라고 할 때, A 는 두 사업이 교번표 상에서 순차적으로 연결되기 위해 필요한 소요시간을 원소로 가지고 있으며, 이 때 $a_{ii}=\infty$ 이다. 마찬가지로 b_{ij} 를 원소로 하며 $b_{ii}=\infty$ 인 행렬 B 를 정의할 수 있다.

위와 같은 정의를 바탕으로 승무원 교번표 작성

문제를 다음과 같이 0-1 정수계획법(0-1 Integer Linear Programming)으로 모형화 할 수 있다.

$$\text{Min } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} x_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n b_{ij} y_{ij} \quad (1)$$

subject to:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} + \sum_{j=1}^n y_{ij} = 1, \quad j=1, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} + \sum_{j=1}^n y_{ij} = 1, \quad i=1, \dots, n \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n y_{ij} \geq 5 \quad (4)$$

$$\sum_{i \in S} (x_{ij} + y_{ij}) \geq 1 \text{ for each } (S, \bar{S}) \quad (5)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i, j=1, \dots, n \quad (6)$$

$$y_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i, j=1, \dots, n \quad (7)$$

목적함수 (1)은 각조에 할당된 사업 수행에 필요한 시간의 최소화를 목표로 한다. 이는 곧 사업 수행에 필요한 최소한의 승무원 수를 찾는 것과 동일하다. 예를 들어 n개의 사업을 수행하기 위해 k일이 소요가 되면, 이는 곧 해당 조에 최소한 k명이 필요하다는 의미가 되기 때문이다. 또한 (1)에서 a_{ij} 값을 갖는 아크(i, j)가 최적해에 속하면 $x_{ij}=1$ 이고, 아니면 $x_{ij}=0$ 이다. 마찬가지로 b_{ij} 값을 갖는 아크(i, j)가 최적해에 속하면 $y_{ij}=1$ 이고, 아니면 $y_{ij}=0$ 이다.

제약식 (2)와 (3)은 각 노드가 반드시 하나의 인풋과 아웃풋 값을 갖도록 하며 제약식 (4)는 <표 1>에서 휴일에 관한 제약조건 2번을 만족시키기 위한 식이다. 식(5)는 subtour의 발생을 방지하기 위한 제약식으로 (S, \bar{S}) 는 $V=\{1, 2, \dots, n\}$ 의 nontrivial partition을 의미한다.

위 모형은 <표 1>의 제약조건에서 1, 8번을 제외하고는 다 포함하고 있다. 이 중에서 1은 권장 사항에 속하는 soft constraint 이고 반드시 지켜져야 하는 hard constraint는 8번이다. 그러나 8번의 경우는 사업이 만들어 질 때 보통 8시간 기준으로 작성되므로 실제 상황에서 거의 발생되지 않는 실정이다.

현재 TSP와 같은 형태를 띠고 있는 위 모형의 해를 위해 CSP(constraint satisfaction programming)을 이용한 휴리스틱 알고리즘이 개발 중에 있다.

4. 결론

현재 수작업으로 진행되고 있는 승무원교번표 작성 업무는 승무원 사업시간 균등화를 주요 목적으로 작성되고 있다. 우리 나라의 경우 철도사업이 정부 주도하에 이루어지고 있어 공공적 성격이 매우 강하다. 따라서 승무원 교번표 작성도 경제적인 측면보다는 자연히 형평성에 중점을 두고 이루어지고 있는 실정이다. 그러나, 선진국의 경우에서 보듯이 점차 철도 사업도 민영화가 되어 가는

추세이므로 장차 철도 업무 계획 시 비용절감이나 수익을 극대화 같은 경제적 원칙이 적용될 가능성을 배제할 수 없다. 그러한 측면에서 본 연구는 승무원 교번표 작성업무를 분석하고 모형화 함으로서 승무원의 사업시간 균등화 및 총작업시간 최소화를 통한 승무원 수 최소화 문제를 살펴보았다.

사업시간 균등화를 위하여 조를 나누고 조별로 작성된 승무원 교번표를 순환하여 사용하는 현 방식은 문제를 2단계로 나누어 단순화시키는 장점은 있으나 조별 사업시간의 차이가 존재하는 한 실질적인 최적해를 얻기는 힘들다. 따라서 승무 사무소 내의 사업시간 균등화의 최적화를 위해서는 조의 구분 없이 사무소에 할당된 사업 전체를 대상으로 모형이 작성되어야 하며 동시에 승무원의 운전 기량 및 경비 절감 문제도 같이 고려되어야 할 것이다. 그 밖에 휴양시간의 균등화도 승무원의 근로 조건 측면에서 중요한 사항이므로 함께 고려될 수 있으며, 또 예기치 못한 사정으로 인하여 불가피하게 일정을 변경해야 할 경우, 손쉽게 교번표 내용을 수정할 수 있는 방안에 대한 연구도 필요하다.

참고문헌

- [1] Caprara, A., Paolo Toth, Daniele Vigo, and M. Fischetti. "Modeling and Solving the Crew Rostering Problem", Operations Reserch, Vol.46, No.6, 1998.
- [2] Kataoka, K. and K. Komaya, "Crew Operation Scheduling Based on Simulated Evolution Technique", Computers in Railway VI, 1998.
- [3] Morgado, E, and Joao P. Martins, "CREWS_NS : Scheduling Train Crew in The Nethrlands", AAI 97, 1997.
- [4] Sakagchi, T. and Naotugu Nozue "Crew Rostering Scheduling Based on Constraint Logic", RTRI report Vol.10, No. 4, 1996.
- [5] Tykulsker, R., Katherine K. O'neil, Avishai Ceder, and Yossef Sheffi "Commuter Rail Crew Assignment/work Rules Model", Computer Scheduling of Public Transport 2, 1985.