

## 고속철도 궤도유지보수 일정계획에 관한 연구

# A Study on Track Maintenance Scheduling of High-Speed Railway

김기동\*      이주환\*\*  
Kim, Ki-Dong      Lee, Joo-Hwan

### Abstract

The track of high-speed railway get deteriorated according as using it. In that case, the maintenance jobs are needed for improvement of track quality. A scheduling problem for the track maintenance of high-speed railway is to determine the jobs should be performed daily. In the problem, the set of jobs for maintenance is given. Each job has it's parameters such as due date, emergency level, and processing time. In addition, jobs can be worked during a certain fixed time when the train doesn't move.

In this study, we developed a mathematical model of the scheduling problem for the maintenance of high-speed railway and solved the problem using the ILOG CPLEX library.

키워드 : 궤도유지보수, 일정계획, ILOG CPLEX

Keywords : railway maintenance, scheduling, ILOG CPLEX

### 1. 서론

철도산업은 고속철도의 개통을 계기로 점차 선진화하는 추세에 있으며, 철도청의 공사화와 시설/운영의 분리 등 철도운영 환경 또한 급격히 변화하고 있다. 이러한 변화는 세계적인 철도선진국에서도 진행되었거나 진행 중이며, 그에 따른 철도기술의 발전 또한 눈부시게 진행되었다. 철도산업의 외부적인 변화로는 경제발전에 따른 사회구조 선진화로 인건비의 상승 및 3D업무의 기피현상 등과 생활수준 향상에 따른 이용객의 승차감에 대한 기대수준 향상 등을 들 수 있다. 철도산업이 이러한

변화에 적응하기 위해서는 높은 수준의 서비스를 제공할 수 있는 경쟁력을 갖추어야 하며, 이를 위해서는 철도시설의 유지보수가 필수적이다[4, 5].

열차 궤도는 레일, 침목, 도상, 체결구 등 서로 이질적인 재료들로 구성된 노반상의 구조체로서 반복적인 열차 하중에 의해 궤도에 점진적인 변형이 발생하게 된다. 통과 열차 하중이 증가함에 따라 이러한 변형이 누적되면 열차 주행면에 대해 여러 형태의 궤도틀림으로 나타난다. 기준치 이상의 궤도 틀림은 승차감을 악화시키고 나아가 열차 운행안전에 중대한 영향을 미칠 수 있다. 특히, 고속선 궤도의 경우 일반노선에 비해 상대적으로 열차의 동적하중이 크게 증폭 되므로, 비슷한 정도의 궤도틀림이 발생한 경우 궤도틀림이 일반철도보다 빠른 속도로 진전된다. 궤도틀림의 진전은 궤도의 수명과 열차 운행의 안전과 직결되기 때문에 안전하고 신뢰성 있는 철도운행을 위해서는 유기적이고 체계적인 궤도유지관리가 매우 중요하다. 그러

\* 강원대학교 산업공학과 교수, 공학박사

\*\* EIB Korea, Industrial Technology Research Center

므로 사용기간 동안 적정한 궤도의 품질을 유지하기 위한 궤도유지보수 일정계획의 수립은 궤도의 유지 관리 담당자에게는 가장 중요한 업무가 된다. 또한 비용 측면에서 궤도유지보수가 전체 철도시설들 중 가장 큰 비중을 차지하고 있으므로 합리적이고 효율적인 궤도유지보수 계획을 도출하여 이를 시행해야 한다. 즉, 국내의 철도 운영 환경에 가장 효율적인 궤도유지보수 관리를 위해 현 유지보수체계를 개선할 필요가 있다[2, 3].

고속철도 구간은 단위구간에 따라 Lot으로 고유하게 관리되며, 모든 Lot들은 열차통과 톤수의 누적에 따라 궤도틀림 값이 증가한다[1]. 고속철도 궤도 유지보수지침에서는 모든 고속철도 구간의 궤도틀림 값이 특정범위 이하로 유지되도록 정하고 있다. 또한 작업의 종류가 많고, 장비는 한정되어 있으며 분석대상 구간길이나 분석기간이 커짐에 따라 수작업으로 결정할 수 없는 매우 복잡한 최적화 문제에 해당된다[6].

본 논문에서는 궤도유지보수 작업들에 대한 일정계획 수립 방안을 제시하였다. 추후 2장에서는 궤도유지보수 일정계획에 관련된 기존 연구 현황을 정리하고, 3장에서는 본 연구에서 다루고자 하는 문제를 정의하고 최적화를 위한 수리 모형을 제시한다. 4장에서는 최적일정 수립을 위한 실험 및 분석을, 5장에서는 결론 및 추후 연구 방향을 제시한다.

## 2. 관련 연구 현황

궤도유지보수 일정계획은 인력, 장비 등 각종 리소스와 궤도틀림진전예측에 의한 예방보수를 감안하여 효율적이고 효과적인 작업일정을 수립하는 것이다. 또한 각종 제약조건을 고려하여 최적 작업일정을 산출해내는 어려운 문제로 알려져 있으며 이와 관련된 연구가 현재 진행 중이다.

Higgins[8]는 분석기간 48시간 동안의 열차 운행시간을 확보하기 위해 작업 수행 시간의 최소화를 목표로 작업과 인력의 투입 일정을 수립하는 단기 계획 모형을 제시하였다. 모형은 일부 비선형 제약식이 포함되는 복잡한 정수계획 모형으로 수립되었으며, 타부서치를 이용해 해를 도출하였다.

Miwa[10]는 궤도틀림 방지를 위해 MTT작업의 최적 일정계획을 수립할 수 있는 혼합정수계획 모형을 제시하였는데 이는 단위기간 10일, 분석기간 6개월 동안에 대한 장비할당과 작업일정계획을 수립할 수 있는 모형이다.

Budai[7]는 보수작업으로 인한 궤도점유시간의 단축을 목적으로, 1단계로 주간단위의 작업량을 할당한 후, 2단계에서 이미 할당된 주간단위의 작업을 열차 차단 시간 내에 할당하는 모형을 제시하였다.

궤도유지보수 일정계획 문제는 주체가 철도사업자로 한정되어 있고 공공 성격이 강한 관계로 외부에 발표된 연구문헌이 많지 않은 실정이다. 기존의 연구를 정리해보면 매 일별 차단시간을 고려해서 인력계획까지 수립하는 단기 계획 모형과 세부 고려사항은 배제하고 거시적인 계획만을 수립하는 중장기 계획 모형으로 나뉘 볼 수 있다.

## 3. 문제정의 및 수리모형

본 장에서는 고속철도 궤도유지보수 작업의 일정계획수립을 위한 전반적인 프로세스를 설명하고 이 문제의 최적화를 위한 수리모형을 제시한다.

### 3.1 궤도유지보수 작업계획 프로세스

KORAIL에서는 고속철도 구간을 모두 5개 소구간으로 나누어서 각 소구간을 특정 시설사업소에서 관리하고 있다. 궤도유지보수는 일반적으로 궤도의 검측, 작업계획, 그리고 작업 시행의 단계로 구분할 수 있다.

궤도의 검측은 한 달에 한번 운영되는 궤도검측차와 매일 실시하고 있는 일일선로육안점검, MTT와 STT에 탑재된 장비 등을 통해 이루어진다. 궤도검측차의 운영으로 얻어진 데이터와 일일선로육안 점검 등을 통해 선로상의 불량개소를 파악하고 불량개소에 대한 확인점검 지시가 내려진다. 이 확인점검이 끝나게 되면 보수 작업이 필요한 장소가 결정된다. 작업을 할 대상의 파악이 끝나면 이 작업들이 필요한 궤도에 대한 궤도틀림의 진전도에 따라 긴급도가 부여된다. 긴급도는 궤도틀림치가 높은 순서대로 특A, A, B, C 등급으로 나뉘어 지는데 특A는 궤도틀림의 정도가 심해 아주 위험한 수준에 이르는 불량개소이며 이를 안에 작업이 이루어져야만 한다.

보수작업은 장비사용의 유무에 따라 인력작업과 장비작업으로 나뉜다. 불량개소의 구간이 길거나 인력을 이용한 작업이 불가능할 경우에는 장비를 투입하여 장비 작업이 이루어지고 불량개소의 구간이 짧을 경우에는 인력을 투입하여 인력작업을 실시한다. 장비작업 시 투입되는 장비는 MTT(Multiple Tie Tamper)와 STT(Single Tie Tamper) 두 가지로 나뉜다. MTT장비는 불량개소의 구간이 길 때 전체도상다짐을 위해 투입되고, STT는 불량개소의 구간이 다소 짧고, 부분적인 도상다짐이 필요할 경우 투입된다. 인력작업은 팀 단위로 이루어진다. 일반적으로 한 팀은 대략 7명으로 이루어지며, 궤도 유지 보수를 담당하고 있는 시설사업소 별로 운영된다.

작업구간에 대해 장비를 투입할 것인지 인력을 투입할 것인지에 대한 의사결정이 이루어지고 나면 작업들을 언제 수행해야 할지에 대한 일정계획

을 수립하게 된다.

### 3.2 최적화를 위한 수리 모형

본 절에서는 앞에서 정의된 궤도유지보수 일정 계획 문제를 정형화 한 수리모형에 대해 설명한다.

- 수리모형에 이용된 파라미터

$m$  : 장비작업에 이용되는 장비의 번호  
 $t$  : 시간 인덱스(  $1 \leq t \leq T$  )  
 $j$  : 작업 번호(  $1 \leq j \leq J$  )  
 $G_j$  :  $j$  작업장까지의 거리  
 $W_j$  :  $j$  작업의 긴급도  
 $UL_j$  :  $j$  작업의 작업량  
 $BT_t$  :  $t$  기간에서의 장비작업 가능시간  
 $ST_t$  :  $t$  기간에서의 인력작업 가능량  
 $LT_t$  :  $t$  기간에서의 인력작업구간의 가능 거리  
 $VR_m$  :  $m$  장비의 이동속도( $m$  장비가 작업을 하지 않고 이동하는 속도)  
 $MP_m$  :  $m$  장비의 작업속도( $m$  장비가 작업을 하면서 이동하는 속도)  
 $J_m$  :  $m$  장비를 이용하는 작업들의 집합  
 $J_h$  : 인력작업들의 집합  
 $J_x$  : 긴급도 특A에 속하는 작업의 집합  
 $M$  : BigM(큰 수)

- 수리모형에 이용된 결정변수

$lg_{mt}$  :  $t$  에 할당된 장비작업 중( $m$  장비를 이용하는) 가장 멀리 있는 작업장까지의 거리  
 $lg_t$  :  $t$  에 할당된 인력작업 중 가장 멀리 있는 작업장까지의 거리  
 $sg_t$  :  $t$  에 할당된 인력작업 중 가장 가까이 있는 작업장까지의 거리  
 $y_{jt}$  :  $j$  작업이  $t$  기간에 할당되면 1, 아니면 0

- 수리모형

$$\text{Maximize } \sum_{j=1}^J W_j * \left( \sum_{t=1}^T \frac{1}{t} * y_{jt} \right) \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{t=1}^T y_{jt} \leq 1, \quad \forall j \quad (2)$$

$$y_{jt} + y_{jt} = 1, \quad \forall j \in J_x \quad (3)$$

$$G_j * y_{jt} \leq lg_{mt}, \quad \forall j \in J_m, \quad \forall m, \quad \forall t \quad (4)$$

$$\frac{2 * lg_{mt}}{VR_m} + \sum_{j \in J_m} \frac{UL_j}{MP_m} * y_{jt} \leq BT_t, \quad \forall j \in J_m, \quad \forall m, \quad \forall t \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J_h} UL_j * y_{jt} \leq ST_t, \quad \forall j \in J_h, \quad \forall t \quad (6)$$

$$G_j * y_{jt} \leq lg_t, \quad \forall j \in J_h, \quad \forall t \quad (7)$$

$$sg_t \leq G_j + M(1 - y_{jt}), \quad \forall j \in J_h, \quad \forall t \quad (8)$$

$$lg_t - sg_t \leq LT_t, \quad \forall t \quad (9)$$

식 (1)은 할당된 작업의 긴급도의 총합을 최대화 하고 긴급도가 높은 작업들을 먼저 할당하게 하는 목적함수이다. 식 (2)는 작업이 어느 한 시점에  $t$ 에 할당이 되면 1, 아니면 0을 나타낸다.

식 (3)은 긴급도가 특A에 속하는 작업은 반드시 이틀 이내에 이루어져야 한다는 제약이다. 식 (4)는 기간  $t$ 에  $m$ 장비를 이용하는 작업들의 집합 중 가장 긴 작업장까지의 거리를 산출하는 식이다.

식 (5)는 기간  $t$ 에  $m$ 장비를 이용하는 작업장에서의 이동시간과 작업시간의 합은 주어진 작업가능시간 보다 작아야 한다는 제약이다. 식 (6)은 기간  $t$ 에 할당된 인력작업량의 총합은 주어진 작업량 보다 작아야 한다는 제약이다.

식 (7)은 기간  $t$ 에 할당된 인력작업들의 집합 중 가장 긴 작업장까지의 거리를 산출하는 식이다. 식 (8)은 기간  $t$ 에 할당된 인력작업들의 집합 중 가장 가까운 작업장까지의 거리를 산출하는 식이다. 처음 들어오는 값이 0인 경우 최소거리는 0만 가지게 되므로,  $M$ 을 곱하여 이를 방지하였다.

식 (9)는 기간  $t$ 에 할당된 인력작업들의 집합 중 가장 가까운 작업장의 거리에서 가장 긴 작업장까지의 거리가 주어진 인력작업구간의 가능거리보다 작아야 한다는 제약이다. 이는 하루에 할 수 있는 인력작업구간의 거리가 정해져있는데 이 가능거리 이상 작업을 할 수 없다는 것이다.

위의 수리 모형은 ILOG CPLEX 라이브러리를 이용하여 C++ 언어로 구현되었다[9].

## 4. 실험 및 분석

본 연구를 통해 궤도유지보수 일정계획 문제를 정형화 한 수리모형의 검증에 위해 수행한 실험의 내용을 요약 정리한다. 실험은 실제 문제에 적용하기 전에 예제 데이터로 주어진 제약을 만족하면서 타당한 결과가 도출이 되는지의 여부를 확인하고, 시설사업소에서 실제 보수작업계획의 수립 시 이용하는 실제 검측 데이터를 활용하여 보수작업 일정을 수립하였다.

4.1 실제 문제 적용을 위한 예비 실험

본 실험은 실제 데이터를 사용하여 실제 문제에 적용하기 전에 실제 데이터와 같은 형식의 예제 데이터를 만들어 수행하였다. 풀이한 결과가 목적식에 부합하는지의 여부와 각종 제약조건들을 만족하고 있는지를 확인한다. 불량개소 10개구간을 대상으로 인력 및 장비 작업을 동시에 고려하였고, 기간은 일주일로 설정하였다.

장비작업의 경우 각 기간에 주어진 차단시간은 30분, 인력작업의 경우 각 기간에 주어진 작업량은 1300m, 작업구간의 길이제한은 5000m로 한다. 장비작업은 장비 1과 장비 2로 나뉘는데 장비 1은 MTT 작업을 나타내었고, 장비 2는 STT 작업을 나타낸 것이다.

다음의 표 1은 예비 실험에 사용된 데이터를 나타낸다.

표 1 예비 실험에 이용된 데이터

작업번호	작업자원	시점(m)	연장(m)	긴급도
1	장비 1	1700	420	A
2	인력	2300	450	A
3	장비 1	2900	360	B
4	장비 2	3500	600	특A
5	장비 1	4100	450	A
6	인력	4700	510	A
7	장비 2	5300	600	특A
8	장비 1	5900	300	B
9	인력	6500	420	A
10	인력	7100	420	A

다음의 그림 1은 예제 데이터를 이용하여 인력 및 장비작업의 일주일 작업일정계획을 수립한 결과이다.

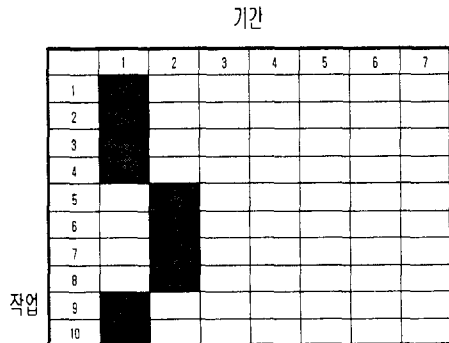


그림 1 인력 및 장비작업의 일주일 작업일정계획 수립 결과

예제 데이터를 이용하여 인력 및 장비작업을 동시에 고려한 일주일 작업일정계획의 수립 결과를 살펴보면 1기간에 6개의 작업, 2기간에 4개의 작업이 할당되었다. 각 작업들을 할당된 기간에 주어진 긴급도, 차단시간, 작업량 등의 제약을 만족하는지 알아보도록 한다.

다음의 표 2는 1번 장비를 이용한 장비작업들의 할당된 기간과 작업시간, 그리고 작업장까지의 최대거리를 나타낸 것이다.

표 2 '1번 장비'를 사용한 장비 작업

기간	할당된 작업번호	연장/작업 속도(분)	작업장까지 최대거리(m)
1	1	14	2900
	3	12	
2	5	15	5900
	8	10	

1 기간에 할당된 1번 장비를 이용한 장비작업의 작업시간(연장/작업속도)은  $14+12 = 26$ 분이고, 이동시간은  $(2 * 2900)/3000 \approx 2$ 분이다. 따라서 1 기간에 할당된 1번 장비를 이용한 장비작업을 하는데 걸리는 시간은 작업시간과 이동시간의 합인 28분이다. 2 기간에 할당된 1번 장비를 이용한 장비작업의 작업시간(연장/작업속도)은  $15+10 = 25$ 분이고, 이동시간은  $(2 * 5900)/3000 \approx 3$ 분이다. 따라서 1 기간에 할당된 1번 장비를 이용한 장비작업을 하는데 걸리는 시간은 작업시간과 이동시간의 합인 28분이다.

예비실험에서 각 기간에 주어진 차단시간은 30분이고, 1번 장비를 이용한 장비작업들이 주어진 차단시간 내에 모두 이루어지고 있는 것을 알 수 있다.

다음의 표 3은 2번 장비를 이용한 장비작업들의 할당된 기간과 작업시간, 그리고 작업장까지의 최대거리를 나타낸 것이다.

표 3 '2번 장비'를 사용한 장비 작업

기간	할당된 작업번호	연장/작업 속도(분)	작업장까지 최대거리(m)
1	4	20	3500
2	7	20	5300

1 기간에 할당된 2번 장비를 이용한 장비작업의 작업시간(연장/작업속도)은 20분이고, 이동시간은  $(2 * 3500)/3000 \approx 2$ 분이다. 따라서 1 기간에 할

당된 2번 장비를 이용한 장비작업을 하는데 걸리는 시간은 작업시간과 이동시간의 합인 22분이다.

2 기간에 할당된 2번 장비를 이용한 장비작업의 작업시간(연장/작업속도)은 20분이고, 이동시간은  $(2 * 5300)/3000 \approx 3$ 분이다. 따라서 1 기간에 할당된 2번 장비를 이용한 장비작업을 하는데 걸리는 시간은 작업시간과 이동시간의 합인 23분이다.

2번 장비를 이용한 장비작업들은 작업량이 많아 각각의 작업이 한 기간에 하나씩 만 이루어지는 것을 볼 수 있다. 또한 2번 장비를 이용한 장비작업들은 모두 긴급도가 특A에 속하는 작업이며, 할당된 기간은 각 1 기간, 2 기간으로 이들 안에 이루어져야 하는 긴급도에 의한 작업종료일 제약도 동시에 만족하는 것을 알 수 있다.

다음의 표 4는 인력작업들의 할당된 기간과 작업량, 작업장까지의 최소거리와 최대거리를 나타낸다.

표 4 인력 작업

기간	할당된 작업번호	연장 (m)	작업장까지 최소거리(m)	작업장까지 최대거리(m)
1	2	450	2300	7100
	9	420		
	10	420		
2	6	510	4700	5210

1 기간에 할당된 인력작업의 연장의 합은 1290m이고, 작업장까지의 최소거리는 2300m, 최대거리는 7100m이다. 이 실험에서 각 기간에 주어진 연장제한 즉, 작업량은 1300m, 작업구간의 길이는 5000m이다. 따라서 작업량제약과 작업구간 길이제약을 동시에 만족함을 알 수 있다. 2 기간에 할당된 인력작업은 하나의 작업으로 구성되어있으므로 작업구간의 길이 제약은 무조건 만족한다. 작업량에 대한 제약을 고려해야 하는데 연장의 합이 510m이므로 작업량에 대한 제약도 만족한다.

#### 4.2 실제 문제를 적용한 실험 결과

궤도 검측차에 의한 검측결과는 한 달에 한번 도출되지만 검측결과의 정보를 이용하여 수립한 일정은 15일정도 까지만 유효하다. 이유는 결과가 도출된 이후 15일 동안 상당한 궤도의 상태 변화가 있기 때문이다. 따라서 일정수립에 대한 주어진 기간을 15일로 하고 각 작업들에 대한 주간 일정수립 결과를 도출하였다. 실험에 사용한 데이터들은 실제로 시설사업소에서 작업일정계획을 수립할 때 사용되는 데이터들로 궤도검측차의 검측지를 바탕으로 하였다.

#### (1) 장비작업에 대한 실험 결과

장비작업에 대한 실험은 인력작업을 제외한 장비작업만을 대상으로 하였다. 궤도의 총 다짐작업과 부분적인 다짐 등 궤도의 트림수치가 비교적 높고, 개소의 불량상태 즉, 연장의 길이가 긴 구간은 MTT 나 STT 로 작업을 수행한다. 다음의 실험결과는 Y시설사업소의 대상 선로 구간의 장비작업일정 수립에 대한 결과이다. 작업일정계획의 수립은 불량개소 20개 구간을 15일 단위로 수행하였다.

다음의 표 5는 실제 문제를 적용한 실험에 이용되는 데이터로 실제 시설사업소에서 작업일정계획을 수립할 때 사용되며, 불량개소가 발생한 국간의 위치와 실제로 작업해야 할 작업구간의 길이와 궤도의 트림치 등에 대한 정보가 들어 있다.

표 5 장비작업에 대한 실험에 이용된 데이터

작업 번호	장비	시점 (m)	종점 (m)	연장 (m)	작업 사유
1	MTT	191500	192520	1020	고저
2	STT	244656	245150	66	장파장
3	MTT	194000	195600	1600	방향
4	STT	241751	242881	141	고저
5	MTT	195600	197200	1600	고저
6	STT	238000	240000	2000	방향
7	MTT	197700	199000	1300	고저
8	STT	234500	236000	1500	고저
9	MTT	223800	225500	1700	고저
10	STT	227500	229000	1500	고저
11	MTT	220000	221400	1400	고저
12	STT	231900	232000	100	고저
13	MTT	226500	227500	1000	고저
14	STT	229500	231500	2000	고저
15	MTT	218800	220000	1200	고저
16	STT	245000	246500	1500	고저
17	MTT	197400	199000	1600	고저
18	STT	242000	244000	2000	고저
19	MTT	188000	189100	1100	고저
20	STT	244000	245500	1500	고저

다음의 그림 2는 실제 데이터를 이용하여 장비작업의 15일 작업일정계획을 수립한 결과이다.

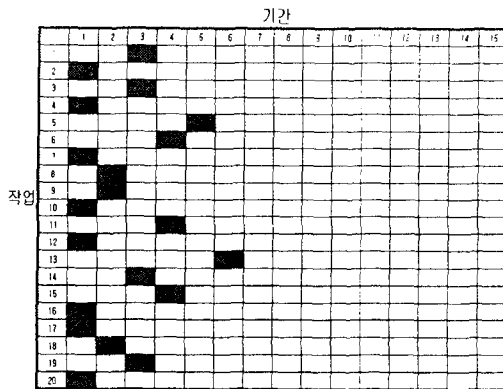


그림 2 장비작업의 15일 작업일정계획 수립결과

(2) 인력 및 장비작업에 대한 실험 결과

인력 및 장비 작업에 대한 실험은 인력작업과 장비작업을 동시에 고려하였고, 케도틀림의 상태에 따라 긴급도를 부여하였다. 인력작업은 장비작업과 마찬가지로 케도틀림의 상태에 따라 긴급도가 존재하고, 작업량에 대한 제약과 작업구간의 총 길이에 대한 제약이 있다. 장비작업과 다른 점은 이동시간이 존재하지 않는다는 점인데 이는 작업투입 이전에 작업장에서 대기하고 있다가 작업을 수행하기 때문이다. 인력 및 장비 작업에 대한 실험 결과도 마찬가지로 불량개소 20개 구간을 15일 단위로 작업일정계획을 수립하였다.

다음의 표 6은 실제 문제를 적용한 실험에 이용되는 데이터로 실제 Y시설사업소에서 작업일정계획을 수립할 때 사용되며, 불량개소가 발생한 국간의 위치와 실제로 작업해야 할 작업구간의 길이와 케도의 틀림치 등에 대한 정보가 들어 있다.

표 6 인력 및 장비작업에 대한 실험에 이용된 데이터

작업 번호	작업 자원	시점 (m)	종점 (m)	연장 (m)	종별	틀림치
1	인력	179392	179393	1	면좌	8
2	MTT	183650	183651	1	twist	9
3	인력	184995	184997	2	twist	-8
4	MTT	186786	186788	2	twist	-11
5	인력	187294	187296	2	면우	8
6	인력	188315	188317	2	면우	8
7	STT	188903	188904	1	면좌	8
8	MTT	189028	189031	3	면좌	9
9	MTT	189819	189823	4	twist	-9
10	인력	189840	189842	2	면우	-7
11	STT	189840	189842	2	면좌	-9

12	STT	190937	190938	1	면우	8
13	인력	194086	194088	2	면좌	8
14	MTT	194276	194278	2	면우	8
15	인력	194288	194290	2	면우	9
16	인력	194288	194290	2	면좌	8
17	MTT	194363	194370	7	면우	11
18	STT	194367	194370	3	면좌	9
19	인력	194424	194431	7	면우	-9
20	인력	194514	194521	7	twist	-12

다음 그림 3은 실제 데이터를 이용하여 인력 및 장비작업의 15일 작업일정계획을 수립한 결과이다.

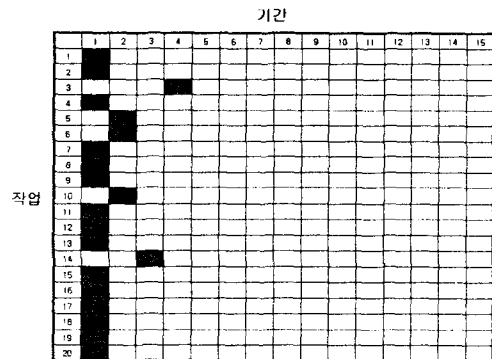


그림 3 인력 및 장비 작업의 15일 작업일정계획 수립결과

인력 및 장비 작업은 목적식의 최대화로 기간의 앞쪽에 할당이 되었으며 열차 차단시간 제약과 인력작업의 작업량 제약을 만족하는 범위에서 주어진 기간에 할당되었다.

본 실험을 통해서 보수 작업의 기간 및 작업별 일정을 수립하였다. 목적식은 주어진 기간 내에 많은 양의 작업을 할당하고, 긴급도가 높은 작업을 기간의 앞쪽에 할당하도록 하였다. 또한 주어진 제약식인 열차 차단시간 내 작업수행, 긴급도에 의한 작업종료일 제약, 인력작업량의 제한의 제약식을 만족하는 것을 알 수 있다.

(3) 시설사업소에서 수립한 장비계획과의 비교

다음 그림 4에 Y 시설사업소에서 수립한 장비 작업 일정을 도시했다.

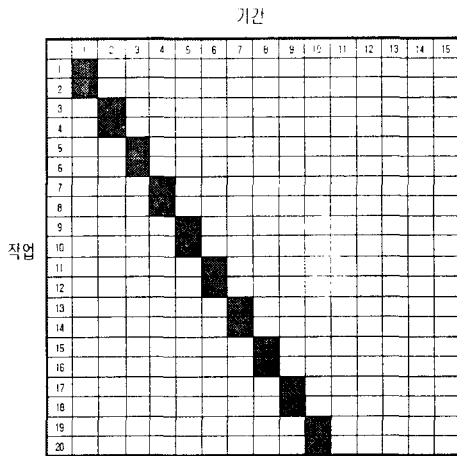


그림 4 Y 시설사업소에서 수립한 장비작업일정

시설사업소에서는 20개의 불량개소구간을 하루에 2구간씩 장비작업을 수행하는 일정을 수립하였다. 본 연구에서 수립한 작업일정은 Y시설사업소에서 수립한 일정보다 장비의 효율면에서 더 나은 결과를 보였고, 작업수행기간을 4일 단축시켰다.

### 5. 결론 및 추후연구방향

고속철도시스템의 운영에 있어서 궤도의 유지보수는 매우 중요한 부분을 차지한다. 특히 자갈도상을 사용하는 궤도 시스템은 누적 통과톤수에 비례하여 궤도의 틀림값이 증가한다. 고속철도의 경우 궤도 틀림값이 일정 수준 이상이 되면, 해당 궤도를 주행하는 열차의 승차감을 해칠 뿐만 아니라, 차량의 주행안정성에 심각한 영향을 미칠 수 있다. 따라서 궤도의 유지보수 작업에 대한 효율적인 일정계획 수립이 필요하다.

본 논문에서는 궤도유지보수 작업에 대한 수리모형을 제시하고, 상황에 맞는 작업계획의 수립 결과를 제시하였다. 제시한 수리모형은 실제 궤도유지보수 작업 시 제약이 되는 사항을 반영하였고, 계획 담당자의 목적인 기간 내 많은 양의 작업을 할당하여 작업을 수행할 수 있도록 하였다. 하지만 대상 구간의 길이가 길어지고 분석기간이 길어지면 작업계획의 수립 시 어려움이 있다.

본 연구에서는 작업을 수행할 장비 또는 인력이 사전에 결정되어 있다고 가정하고, 일정을 수립했다. 보수 작업 중에는 인력을 이용한 작업도 가능하고, 장비를 이용한 작업도 가능한 경우가 존재한다. 추후 연구에서는 보수 작업 수행 주체(장비의 종류 또는 인력)의 선택과 관련된 의사결정까지 포함된 문제를 연구할 예정이다.

### 참고 문헌

- [1] 오석문의, “궤도 다짐작업의 장기 일정계획문제에 관한 수리적 모형 고찰”, *한국철도학회 추계학술대회논문집*, pp.10-17, 2005.
- [2] 오석문의, “도상 다짐작업의 장기 일정계획문제에 관한 수리적 모형 고찰”, *한국철도학회 논문집*, 제9권, 제1호, pp.50-56, 2006.
- [3] 오지택, *보선작업의 기계화 및 현대화 계획수립을 위한 연구*, 한국철도기술연구원, 2000.
- [4] 이지하, *시운전시 궤도 노반시설물의 성능검증*, 한국철도기술연구원, 2003.
- [5] 이지하, *궤도유지보수작업계획수립지원 시스템의 요구조건*, *한국철도학회 추계학술대회논문집*, pp.19-24, 2004.
- [6] Baker, K. R., *Introduction to sequencing and scheduling*, John Wiley & Sons, 1974.
- [7] Budai, G., “Scheduling preventive railway maintenance activities”, *IEEE International Conference on Systems*, 2004.
- [8] Higgins, A., “Scheduling of railway track maintenance activities and crews”, *Journal of the Operational Research Society*, Vol.49, pp.1026-1033, 1998.
- [9] ILOG, *ILOG CPLEX 9.0 User Manual*, ILOG, 2006.
- [10] Miwa, M., “Mathematical programming model analysis for the optimal track maintenance schedule”, *QR of RTRI*, pp.131-136, 2002.