

ILOG를 이용한 고속선 궤도 유지보수 일정계획에 관한 연구

A Study on High-Speed Railway Track Maintenance Scheduling Using ILOG

남덕희† 김기동* 김성수* 이성욱** 우병구** 이기우***
Duk-Hee Nam Ki-Dong Kim Sung-Soo Kim Sung-Uk Lee Byoung-Koo Woo Ki-Woo Lee

ABSTRACT

The high-speed railway track occurs train operating result track irregularity, subsidence of the track, ballast abrasion. This is the unusual condition. High-speed railway track maintenance task is the behavior which repairs unusual section by using the human resource or machine resource.

The resource used to maintenance task is restrictive. A resource can be efficiently used if the high-speed railway track maintenance scheduling is used. So the more task can be performed in the fit time. In conclusion, this manages the unusual condition of a track efficiently. So additional expenses is minimized cause by deteriorating unusual condition. And it offers comfortable ride to passenger. However, maintenance scheduling has to reflect well practical situation and environment. That's maintenance scheduling is used.

We gather the opinions of the hands-on workers. So in this paper define field situation and condition. And suggest mathematical model about this. And we developed the track maintenance scheduling software engine using ILOG.

1. 서론

고속선 궤도는 차량의 운행을 비롯한 여러 가지 이유로 인하여 끊임없이 손상되고, 그 결과 레일의 틀림이나 깨짐, 자갈 마모와 같은 이상 상태가 발생 한다. 궤도의 이상 상태가 발생하면 고속선의 승차감이 저하됨은 물론이고, 승객의 안전을 위협하는 원인이 되기도 한다. 따라서 이상 상태가 발생한 구간은 반드시 유지보수 작업을 필요로 하는데, 유지보수 작업이 적절한 시기에 이루어지지 않을 경우 이상 상태의 진전으로 인하여 많은 추가 비용이 발생 할 수 있다[2, 3]. 현재 고속선 궤도 유지보수에 사용 되는 장비와 인력의 리소스는 한정 되어 있다. 적절한 시기에 작업을 수행 하려면 한정된 리소스의 능력과 일정을 반영하여 효율적으로 이용해야 한다. 따라서 유지보수 작업에 대한 일정 계획은 필수적이라 할 수 있다.

일정계획 모델은 작업을 수행할 수 있는 자원의 개수와 작업장의 형태에 따라 단일 기계(Single machine), 병렬 기계(parallel machine), 흐름 생산(flow shop) 그리고 잡 샵(job shop) 등으로 분류 할 수 있다[2].

병렬 기계 문제는 크게 모든 기계가 똑같은 성능을 가지고 있는 동일 병렬 기계(parallel identical machine)와 병렬 기계가 일정한 비율의 성능을 가지는 비율 병렬 기계(parallel uniform machine) 그리

† 비회원, 강원대학교, 산업공학과, 석사과정
E-mail : stir0221@hanmail.net
TEL : (033)250-6280 FAX : (033)255-6281
* 비회원, 강원대학교, 산업공학과, 정교수
* 비회원, 강원대학교, 산업공학과, 정교수
** 정회원, 철도공사, 팀장
** 정회원, 철도공사, 차장
*** 비회원, (주)휴니드테크놀러지스, 수석연구원

고 병렬 기계간에 무작위 하게 다양한 작업 시간을 가지는 비동일 병렬기계(non-identical parallel machine)로 나눌 수 있다.

본 논문에서 다루고 있는 케도 유지보수 일정 계획의 문제에서는 단일 공정 작업을 수행할 수 있는 다수개의 리소스가 존재한다. 다수의 리소스가 수행할 수 있는 작업들은 각각 다른 작업 시간을 가지고 있으므로, 일정 계획 문제의 병렬 기계 문제 중 비동일 병렬기계(non-identical parallel machine) 문제에 해당한다[7].

병렬 기계의 일정계획에 대한 연구는 60년대 이후부터 활발히 진행 되어 왔다. McNaughton[9]은 동일 병렬기계에서 최대 작업 완료 시간(makespan)을 최소화 하는 알고리즘을 개발 하였으며, Li[8]는 비동일 병렬기계의 총 가중 완료시간을 최소화 하는 문제의 모델에 대하여 정리 하였다.

하지만 이러한 연구 결과들은 현장 상황의 많은 제약들로 인하여 현실적인 고속선 케도 유지보수 작업에 여과 없이 적용되기에는 큰 어려움이 있다.

고속선 케도 유지보수 작업의 현장은 작업자의 안전, 고속선의 원활한 운행, 작업 장비의 특성 등의 여러 가지 이유로 인하여 많은 규칙들과 법규들이 존재 한다. 이를 포함한 현장의 많은 상황들이 제약으로 발생하고 있다. 하지만 고속선 케도를 관리하는 시설 사업소 및 장비 사무소들이 이러한 제약을 반영하고 처리하는 방법들은 조금씩 차이가 있다. 따라서 본 논문에서는 고속선 케도의 유지보수 작업과 관련된 업무를 하고 있는 현업 실무자들과 협의를 통하여 여러 가지 현장의 상황 및 조건들을 제약으로 정의 하였고, 이에 대한 수리 모형을 제시 하였다. 뿐만 아니라 ILOG엔진을 이용하여 고속선 케도 유지보수 일정 최적화 문제를 풀이 하였다.

2. 고속선 케도 유지보수 일정 최적화

고속선 케도 유지보수 일정 계획은 각 작업구간에 대하여 작업 수행 일을 할당하고, 작업을 수행할 리소스의 조합과 이에 해당하는 리소스를 결정한다. 본 절에서는 고속선 케도 유지보수 일정 계획 문제의 개요와 이를 최적화하기 위한 수리 모형을 수립 한다.

2.1 고속선 케도 유지보수 일정계획 문제 개요

고속선 케도 유지보수 작업은 그 종류에 따라 작업을 수행할 수 있는 하나 또는 다수개의 리소스 조합이 존재한다. 작업 수행 시 같은 타입의 리소스로만 작업의 수행이 가능 하다면 하나의 조합이 존재 하겠지만 전혀 다른 타입의 리소스가 모두 작업 수행이 가능 하다면 다수의 조합이 존재할 수도 있다. 뿐만 아니라 다수의 리소스를 한꺼번에 투입하여 작업을 수행해야 하는 경우도 존재한다. 일정 계획 시 이러한 작업종류와 가용 리소스 사이에 관계는 반드시 고려되어야 한다.

작업을 수행하기 위하여 대부분의 경우 하나의 리소스를 필요로 하지만 일부 작업은 인력 리소스와 장비 리소스가 함께 투입되어야 한다. 따라서 리소스를 할당하기 전 리소스의 조합을 결정한 후 그에 따른 리소스를 할당해야 한다.

발생 빈도가 비교적 높은 일반적인 고속선 케도 유지보수 작업의 종류와 해당 작업을 수행할 수 있는 리소스 조합, 그리고 리소스 조합별 가용 리소스 타입을 아래의 표에 정리 하였다.

도표1. 작업 종류별 리소스 조합과 가용 리소스 타입

작업 종류	리소스 조합	가용 리소스 타입
인력템핑	인력	인력일반팀
장비템핑_총다지기	MTT	MTT 장비
장비템핑_spot	STT	STT 장비
장비템핑_부분다지기	MTT	MTT 장비
	STT	STT 장비
레일육성용접	용접	인력용접팀
장대재설정	인력	인력일반팀
인력자갈교환	인력	인력일반팀
자갈정리	인력	인력일반팀
2중작업(균질화)	MTT&인력	MTT 장비
		인력

■ 리소스 조합과 가용 리소스 타입 그리고 리소스

리소스 타입이란 리소스의 종류와 역할에 따라 이들을 분류한 것이다. 예를 들어 리소스 타입중 MTT 장비는 실제 고속선 궤도 유지보수 작업에 사용되고 있는 다수의 MTT를 대표하는 말이고 인력 일반팀은 각 시설사업소에 속해있는 모든 인력작업팀을 대표 하는 말이다. 인력용접팀의 경우 필요에 따라 인력일반팀에 소속된 인원을 추출하여 구성 하는데 이 역시 이렇게 구성된 모든 팀을 대표 한다.

리소스 조합은 리소스 타입의 조합을 의미한다. 작업은 그 종류에 따라 필요로 하는 리소스의 타입이 정해져 있다. 이는 다수의 리소스 타입을 한번에 필요로 할 수도 있고, 또는 작업을 수행 할 수 있는 리소스 타입이 다수 개 이지만 그중 하나의 리소스 타입만으로 작업을 수행해야 하는 경우도 있다. 따라서 작업을 수행 할 수 있는 리소스 타입의 and 또는 or의 조합을 리소스 조합이라 한다.

위의 [도표1] 에서 알 수 있듯이 대부분의 작업 종류와 리소스 조합은 1:1의 관계를 이루고 있다. 하지만 장비템핑_부분다지기와 같이 작업 종류와 리소스 조합이 1:N 일 경우도 존재하며 이러한 경우 적절한 리소스 조합을 선택한 후 이에 적합한 하나의 리소스를 할당 해야 한다. 2중작업(균질화)의 경우는 이와 차이가 있다. 2중작업(균질화)의 경우는 리소스 조합 자체가 MTT와 인력 모두를 필요로 하므로 이경우는 MTT장비 1대와 인력일반팀 1개팀이 모두 할당 되어야 한다.

아래의 [그림 1]은 장비템핑_부분다지기 작업을 HMTT060 장비로 수행하기까지의 리소스 조합과 타입을 도식화 한 것이다.

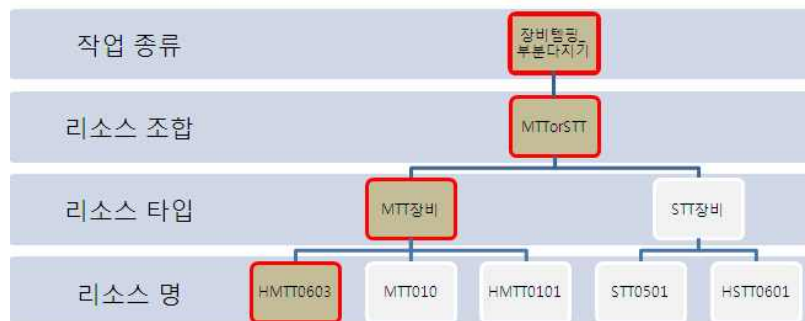


그림1. 작업별 리소스 할당의 예

2.2 목적 함수

고속선 궤도 유지보수 일정 계획의 목적은 여러 가지 방향에서 생각할 수 있다. 먼저 가장 일반적인 목적은 총 비용을 최소화 하는 비용 최소화의 측면에서 접근할 수 있다. 작업 시기를 놓친 구간은 이상 상태의 진전으로 인하여 많은 추가비용을 발생 시킨다. 뿐만 아니라 할당된 작업을 모두 수행하지 못할 경우 발생할 수 있는 승차감 저하, 더 크게는 열차의 탈선과 같은 문제는 고객 감소로 인한 수익 감소, 또는 막대한 복구비용을 초래할 수 있다. 따라서 작업량 최대화는 고속선 궤도 유지보수 일정 계획의 가장 기본적인 목적 함수라 할 수 있다[4].

고속선 궤도의 유지보수 작업은 궤도의 이상 상태에 맞추어 미리 설정된 완료 요구일 기간 내에 작업이 이루어 져야 한다. 하지만 일부 시설 사업소의 현업 실무자들은 설정된 완료 요구일 당일 또는 완료 요구일 내의 근접한 날에 작업하기를 원한다. 그 이유는 일정 수립 기간 동안 고속선 궤도의 전체적인 운영 계획으로 인하여 때때로 장비의 운영이 불가능한 날이 발생하고, 이를 반영하여 완료 요구일을 설정하기 때문이다. 따라서 완료 요구일 준수는 일부 시설 사업소에서 중요하게 고려하는 목적 함수라 할 수 있다.

궤도 유지보수 작업은 그 완료 요구일이 같다고 하더라도 긴급도에 따라 중요도가 다르게 분류 된다. 긴급도는 AA, A, B, C, D의 5단계로 분류 되는데, 이는 우선 배치의 권한을 갖게 된다. 리소스 용량의 한계로 인하여 부득이하게 모든 작업을 완료 요구일 내에 수행 할 수 없을 경우 긴급도를 고려한 작업량 최대화는 할당 작업과 미 할당 작업을 결정 할 수 있는 목적 함수라 할 수 있다.

본 논문에서는 현업 실무자와의 협의를 통하여 총 3개의 목적 함수를 정의 하였다. 현업 실무자는 일정 계획의 성격에 맞추어 목적 함수를 선택하여 최적화된 일정을 선택 할 수 있고, 또는 다양한 목적으로 다수의 일정 계획을 실행하여 가장 적합한 일정계획 결과를 선택 할 수도 있다.

■ 목적 함수에 이용된 파라미터

j = 작업 번호($1 \leq j \leq J$)

t = 기간 인덱스($1 \leq t \leq T$)

c = 리소스 조합 번호($1 \leq c \leq C$)

D_j = j 작업의 완료 납기일

W_j = j 작업의 긴급도에 기인한 중요도 점수(AA>A>B>C>D)

■ 목적 함수에 이용된 결정변수

x_{jtc} = j 작업이 t 기간에 c 리소스 조합을 이용하여 실시되면 1, 아니면 0

■ 목적 함수 Case 1 : 작업량 최대화

$$\text{Maximize } \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T \sum_{c=1}^C x_{jtc} \quad (1)$$

■ 목적 함수 Case 2 : 완료 요구일 준수

$$\text{Maximize } \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T \sum_{c=1}^C x_{jtc} \cdot (T - (D_j - (t+1))) \quad (2)$$

■ 목적 함수 Case 3 : 긴급도를 고려한 작업량 최대화

$$\text{Maximize } \sum_{j=1}^J \sum_{t=1}^T \sum_{c=1}^C x_{jtc} \cdot W_j \quad (3)$$

2.3 제약 조건

고속선 궤도 유지보수 작업에는 일정 계획 시 고려해야하는 많은 현실적인 상황이 존재 한다. 고속선 궤도 유지보수 일정 최적화를 위하여 현장의 실질적인 상황들을 현업 실무자와의 협의를 통하여 제약으로 정의하고 이를 수식화 하였다. 먼저 제약식에 이용된 변수와 파라미터를 기술한 후 각 제약에 대하여 기술 한다.

■ 제약 함수에 이용된 파라미터

- j = 작업 번호($1 \leq j \leq J$)
- t = 기간 인덱스($1 \leq t \leq T$)
- c = 리소스 조합 번호($1 \leq c \leq C$)
- p = 리소스 타입 번호($1 \leq p \leq P$)
- r = 자원(resource) 번호($1 \leq r \leq R$)
- F_j = j 작업 구간의 시점
- T_j = j 작업 구간의 종점
- D_j = j 작업의 완료 납기일
- SC_j = j 작업을 수행 할 수 있는 c 리소스 조합의 집합
- P_c = c 리소스 조합에 해당하는 p 리소스 타입의 집합
- R_p = p 리소스 타입을 수행 할 수 있는 r 리소스의 집합
- R_c = c 리소스 조합을 수행 할 수 있는 r 리소스의 집합
- RC_1 = 리소스 타입이 인력으로만 이루어진 리소스 조합의 집합
- RC_2 = 리소스 타입이 장비로만 이루어진 리소스 조합의 집합
- RC_3 = 리소스 타입이 장비와 인력이 함께 이루어진 리소스 조합의 집합
- P_{rj} = r 자원을 이용하여 j 작업을 수행할 경우 수행 시간(단위 : 분)
- MP_{cj} = c 리소스 조합을 이용하여 j 작업을 수행할 경우 수행 시간, c 리소스 조합에 해당하는 리소스 r 의 수행 시간 P_{rj} 중 가장 큰 수행 시간(단위 : 분)
- SJR_r = r 자원을 이용하여 수행할 수 있는 모든 작업들의 집합
- C_{rt} = r 자원의 t 기간 작업 가능 시간(단위 : 분)
- RA_h = 인력 자원의 작업 여유 시간(준비시간 + 작업 지점 간 이동시간 + 정리시간)
- RA_m = 장비 자원의 작업 여유 시간 (준비시간 + 최초 작업 전 이동시간 + 작업 지점 간 이동시간 + 최후 작업 후 이동시간 + 정리시간)
- SR_m = 장비 자원들의 집합
- SR_h = 인력 자원들의 집합
- SJ_1 = 상행선 작업들의 집합
- SJ_2 = 하행선 작업들의 집합
- g = 군집화 그룹 번호($1 \leq g \leq G$)
- J_g = 같은 군집화 그룹으로 묶인 작업들의 집합
- LT_r = r 자원의 최대 이동 가능 거리, 인력 리소스만 해당 됨
- RTS_c = c 리소스 조합에 해당 된 리소스 타입의 개수, $RTS_c = n(P_c)$

■ 제약 함수에 이용된 결정변수

- x_{jtc} = j 작업이 t 기간에 c 리소스 조합을 이용하여 실시되면 1, 아니면 0
- y_{jtr} = j 작업이 t 기간에 c 리소스 조합의 r 자원을 이용하여 실시되면 1, 아니면 0
- ld_{rt} = r 자원이 t 기간에 실시 할 작업 중 가장 먼 거리에 위치한 작업 구간의 종점
- sd_{rt} = r 자원이 t 기간에 실시 할 작업 중 가장 가까운 거리에 위치한 작업 구간의 시점
- d_{rt} = r 자원이 t 기간에 상행선에 투입되면 1, 아니면 0

■ 리소스와 리소스 조합의 연계 제약

각 보수 작업을 수행 하는 리소스의 수는 리소스 조합에 포함된 리소스 타입의 수와 동일해야 하며 (4), 리소스 타입별로 가용한 하나의 리소스만 할당 되어야 한다(5)(6)는 제약이다.

$$\sum_{r=1}^R y_{jtr} = x_{jtc} \cdot RTS_c, \quad \forall j, \forall t, \forall c \tag{4}$$

$$y_{jtr} = 0, \quad r \notin R_c \tag{5}$$

$$\sum_{r \in R_p} y_{jtr} = x_{jtc} \quad p \in P_c, \quad \forall j, \forall t, \forall c, \forall p \tag{6}$$

■ 보수 작업 할당 제약

각 보수 작업은 일정 수립기간 중 단 하루에만, 그리고 단 하나의 리소스 조합에만 할당 되어야 한다는 제약이다.

$$\sum_{t=1}^T \sum_{c=1}^C x_{jtc} \leq 1, \quad \forall j \tag{7}$$

■ 해당 리소스 조합 할당 제약

각 보수 작업은 해당 작업을 수행 할 수 있는 리소스 조합에 의해서만 수행 될 수 있다는 제약이다.

$$\sum_{t=1}^T \sum_{c \in SC_j} x_{jtc} \leq 1, \quad \forall j \tag{8}$$

$$\sum_{t=1}^T \sum_{r \notin SC_j} x_{jtr} = 0, \quad \forall j \tag{9}$$

■ 장비&인력 작업의 인력 리소스 할당 금지 제약

장비&인력 작업에 할당된 인력 리소스는 해당일에 장비&인력 작업이 아닌 다른 작업에는 할당될 수 없다는 제약이다. 즉 인력 리소스가 장비&인력 작업에 할당되면 해당일은 오직 장비와 함께하는 작업만을 수행한다는 것이다.

k = 작업 번호($1 \leq k \leq J$)

d = 리소스 조합 번호($1 \leq d \leq C$)

$$y_{jtr} + y_{ktr} \leq 1, \quad j \neq k, c \in RC_3, d \notin RC_3, r \in SR_h \tag{10}$$

■ 장비 자원의 방향성 제약

장비 작업의 경우 한 리소스가 한 날에 상행선과 하행선중 한 곳에만 투입될 수 있다는 제약이다.

$$x_{jtc} \leq d_{rt}, \quad j \in SJ_1 \quad (11)$$

$$x_{jtc} \leq 1 - d_{rt}, \quad j \in SJ_2 \quad (12)$$

■ 각 리소스에 할당된 작업들의 최대, 최소 거리 산출을 위한 제약

각 리소스에 할당된 작업의 최대, 최소 거리를 파악하여 리소스의 가용일 별 작업구간을 산출하기 위한 제약이다. 장비&인력 작업에서 산출된 최대, 최소 거리는 장비 리소스에만 적용 된다.

$$T_j \cdot y_{jtr} \leq ld_{rt}, \quad (c \in RC_3) \cap (r \notin SR_h) \quad (13)$$

$$F_j + Big M \cdot (1 - y_{jtr}) \geq sd_{rt}, \quad (c \in RC_3) \cap (r \notin SR_h) \quad (14)$$

■ 완료 요구일 제약

할당된 모든 작업은 완료 요구일 안에 이루어 져야 한다는 제약이다.

$$\sum_{t \leq D_j} \sum_{r=1}^R x_{jtr} \leq 1, \quad \forall j \quad (15)$$

$$\sum_{t > D_j} \sum_{r=1}^R x_{jtr} = 0, \quad \forall j \quad (16)$$

■ 인력 작업의 용량 제약

인력 작업 시 하루 최대 이동거리 내에서 모든 작업이 이루어 져야 하고, 작업 준비 시간과 작업 정리시간 그리고 작업개소 간 이동시간을 포함한 하루의 작업시간은 최대 작업시간 내에 이루어 져야 한다는 제약이다. 군집화 작업은 용량제약에서 제외 된다.

$$\sum_{j \in SJ_r} P_{jr} \cdot y_{jtr} \leq \max((C_{rt} - RA_h), 0), \quad c \in RC_1, \quad j \notin J_g, \quad r \in SR_h, \quad (17)$$

$$ld_{rt} - sd_{rt} \leq LT_r, \quad r \in SR_h, \quad (18)$$

■ 장비 자원의 용량 제약

작업 준비 시간과 작업 정리시간 그리고 작업을 위한 총 이동 시간을 포함한 하루의 작업 시간은 최대 작업시간 내에 이루어 져야 한다. 군집화 작업은 용량제약에서 제외 된다.

$$\sum_{j \in SJ_r} P_{jr} \cdot y_{jtr} \leq \max((C_{rt} - RA_m), 0), \quad c \notin RC_1, \quad j \notin J_g, \quad r \in SR_m, \quad (19)$$

■ 작업 군집화 제약

군집화 작업란 일정 계획시 하나의 리소스를 통하여 한꺼번에 처리 하고자 하는 작업들을 의미한다. 따라서 동일한 그룹 번호로 군집화 된 작업들은 동일한 날 동일한 리소스에 할당해야 한다. 이때 할당된 리소스는 용량에 관계없이 모든 작업을 수행 한다. 군집화 작업들의 할당일은 해당 작업들의 완료

요구일 중 가장 빠른 날을 기준으로 하며, 군집화 작업은 용량제약에서 제외 되었으므로 해당일에 운영 가능한 리소스에 한해서 작업이 할당 되어야 한다.

뿐만 아니라 군집화에 할당된 리소스는 해당일에 군집화 작업들만을 수행 해야 하므로, 다른 작업을 수행 할 수 없다.

$k =$ 작업 번호($1 \leq k \leq J$)

$$[(C_{rt} > 0) \cap (y_{jcr} = y_{kcr})], \quad j \in J_g, \quad k \in J_g, \quad \forall g \quad (20)$$

$$y_{jcr} + y_{kcr} \leq 1, \quad j \in J_g, \quad k \notin J_g, \quad \forall g \quad (21)$$

■ 장비 작업구간에 타 작업 할당 금지 제약

장비 운행의 안전을 위하여 장비가 운행되는 구간의 반경 1km 내에 다른 리소스는 접근 할 수 없다는 제약이다.

$s =$ 자원(resource) 번호($1 \leq s \leq R$)

$$\max[(sd_s - ld_{rt}), (sd_{rt} - ld_s)] > 1000, \quad r \in SR_m, \quad r \neq s \quad (22)$$

3. 실험 및 결과

본 논문은 ILOG 제품군의 CPLEX를 이용하여 고속선 궤도 유지보수 일정 계획 문제를 풀이 하였다. 실험 데이터는 한국 철도공사 오송 시설사업소의 2010년 4월 1,2차 궤도 검측 및 현장점검 데이터를 이용하였다. 2.1.2에 소개된 3개의 목적함수를 각각 적용하여 모두 풀이 하였고, 2.1.3의 모든 제약함수를 적용 하였으며 이것이 반영된 결과를 도출하였다.

3.1 입력 데이터

실험에 사용한 데이터는 총 65개 구간이다. 이중 인력 텀핑 작업이 46개 구간, 장비 텀핑 작업이 18개 구간 기타 작업이 1개 구간이다. 모든 작업 대상의 구간은 대략 45km정도 이다. 작업 종류별 리소스 조합은 2.1.1의 [도표1]과 같다. 아래의 표는 각 작업구간에 대한 세부 정보를 나타낸 것이다.

도표 2. 입력 데이터 정보

작업번호	방향	시점(km)	종점(km)	연장(km)	완료요구일	작업종류	긴급도	작업시간(분)	그룹번호
J1	하행	102.07	102.812	0.742	2010-04-21	장비텀핑_총다지기	B	60	-
J2	하행	125.74	125.745	0.005	2010-04-19	인력텀핑	A	25	-
J3	하행	125.754	125.76	0.006	2010-04-19	인력텀핑	A	30	-
J4	하행	125.77	125.775	0.005	2010-04-19	인력텀핑	A	25	-
J5	하행	125.78	125.785	0.005	2010-04-19	인력텀핑	A	25	-
J6	하행	125.79	125.796	0.006	2010-04-19	인력텀핑	A	30	-
J7	하행	126.065	126.07	0.005	2010-04-19	인력텀핑	A	25	-
J8	하행	126.33	126.35	0.02	2010-04-19	인력텀핑	B	100	-
J9	하행	126.395	126.398	0.003	2010-04-19	인력텀핑	A	15	-
J10	상행	125.735	125.745	0.01	2010-04-19	인력텀핑	B	50	-
J11	상행	125.75	125.76	0.01	2010-04-19	인력텀핑	A	50	-
J12	상행	125.775	125.78	0.005	2010-04-19	인력텀핑	B	25	-
J13	상행	125.8	125.806	0.006	2010-04-19	인력텀핑	B	30	-
J14	상행	103.127	103.132	0.005	2010-04-20	장비텀핑_Spot	B	2	-
J15	상행	103.63	103.637	0.007	2010-04-20	장비텀핑_Spot	B	3	-
J16	상행	103.65	103.665	0.015	2010-04-20	장비텀핑_Spot	B	5	-
J17	하행	145.174	145.6	0.426	2010-04-25	장비텀핑_총다지기	B	45	-
J18	상행	145.655	145.83	0.175	2010-04-20	2종작업(균질화)	B	45	-
J19	하행	102.057	102.062	0.005	2010-04-21	인력텀핑	B	25	-
J20	상행	103.867	103.889	0.022	2010-04-21	장비텀핑_Spot	B	7	-
J21	상행	103.918	103.923	0.005	2010-04-21	장비텀핑_Spot	A	2	-

J22	상행	103.932	103.939	0.007	2010-04-21	장비탐핑_Spot	B	3	-
J23	상행	101.239	101.244	0.005	2010-04-22	인력탐핑	A	25	-
J24	상행	101.294	101.304	0.01	2010-04-22	인력탐핑	B	50	1
J25	상행	101.493	101.496	0.003	2010-04-22	인력탐핑	A	15	1
J26	상행	101.53	101.54	0.01	2010-04-22	인력탐핑	A	50	-
J27	상행	101.588	101.593	0.005	2010-04-22	인력탐핑	B	25	-
J28	상행	101.659	101.675	0.016	2010-04-22	장비탐핑_Spot	B	5	-
J29	상행	101.71	101.715	0.005	2010-04-22	장비탐핑_Spot	B	2	-
J30	상행	101.725	101.73	0.005	2010-04-22	장비탐핑_Spot	B	2	-
J31	상행	101.748	101.76	0.012	2010-04-22	장비탐핑_Spot	B	4	-
J32	상행	101.763	101.767	0.004	2010-04-22	장비탐핑_Spot	B	2	-
J33	상행	101.775	101.78	0.005	2010-04-22	장비탐핑_Spot	B	2	-
J34	상행	101.84	101.845	0.005	2010-04-22	장비탐핑_Spot	B	2	-
J35	상행	101.858	101.863	0.005	2010-04-22	장비탐핑_Spot	B	2	-
J36	상행	101.908	101.913	0.005	2010-04-22	장비탐핑_Spot	B	2	-
J37	상행	101.931	101.94	0.009	2010-04-22	장비탐핑_Spot	B	3	-
J38	하행	101.223	101.233	0.01	2010-04-23	인력탐핑	B	50	-
J39	하행	101.265	101.27	0.005	2010-04-23	인력탐핑	B	25	-
J40	하행	101.294	101.305	0.011	2010-04-23	인력탐핑	B	55	-
J41	하행	101.353	101.357	0.004	2010-04-23	인력탐핑	B	20	1
J42	하행	101.476	101.481	0.005	2010-04-23	인력탐핑	B	25	1
J43	하행	101.485	101.49	0.005	2010-04-23	인력탐핑	A	25	1
J44	하행	101.509	101.512	0.003	2010-04-23	인력탐핑	B	15	-
J45	하행	101.676	101.686	0.01	2010-04-23	인력탐핑	B	50	-
J46	하행	101.727	101.738	0.011	2010-04-23	인력탐핑	B	55	-
J47	하행	101.745	101.759	0.014	2010-04-23	인력탐핑	B	70	-
J48	하행	101.914	101.917	0.003	2010-04-23	인력탐핑	B	15	-
J49	상행	104.486	104.491	0.005	2010-04-24	인력탐핑	B	25	-
J50	상행	104.51	104.518	0.008	2010-04-24	인력탐핑	B	40	-
J51	상행	104.529	104.537	0.008	2010-04-24	인력탐핑	B	40	-
J52	상행	104.83	104.834	0.004	2010-04-24	인력탐핑	B	20	-
J53	상행	105.146	105.15	0.004	2010-04-24	인력탐핑	B	20	-
J54	상행	105.163	105.17	0.007	2010-04-24	인력탐핑	B	35	-
J55	상행	105.205	105.21	0.005	2010-04-24	인력탐핑	B	25	-
J56	하행	122.607	122.615	0.008	2010-04-25	인력탐핑	B	40	-
J57	하행	122.621	122.628	0.007	2010-04-25	인력탐핑	B	35	-
J58	하행	122.635	122.64	0.005	2010-04-25	인력탐핑	B	25	-
J59	하행	122.643	122.654	0.011	2010-04-25	인력탐핑	B	55	-
J60	하행	122.66	122.675	0.015	2010-04-25	인력탐핑	B	75	-
J61	상행	122.516	122.52	0.004	2010-04-25	인력탐핑	B	20	-
J62	상행	122.6	122.609	0.009	2010-04-25	인력탐핑	B	45	-
J63	상행	122.62	122.624	0.004	2010-04-25	인력탐핑	B	20	-
J64	상행	122.647	122.653	0.006	2010-04-25	인력탐핑	B	30	-
J65	상행	122.66	122.67	0.01	2010-04-25	인력탐핑	A	50	-

3.2 문제 정의

일정 계획 기간은 2010.04.19 ~ 2010.04.25 까지 7일 동안이며, [도표 2]의 작업 목록은 완료요구일이 일정 계획 기간에 속한 작업으로 이루어져 있다. 일정 계획에 사용된 가용 리소스는 모두 5개이며, 가용 리소스의 정보는 아래의 표와 같다.

도표 3. 가용 리소스 정보

가용 리소스 타입	리소스 명	일일 작업 용량(분)	일정 계획 기간 중 가용일(일)
MTT 장비	HMTT0603	240	7
	MTT010	240	7
STT 장비	STT0501	240	7
인력일반팀	작업A팀	240	7
	작업B팀	240	7
인력용접팀	작업C팀	240	7

3.3 일정계획 수립 결과

2.2의 (1),(2),(3) 각각의 목적함수로 풀이한 결과 총 65개의 작업 구간 중 65개의 작업 구간이 모두 할당 되었으며, 풀이 시간은 약 3초가량이 소요 되었다. 할당 결과는 아래의 표와 같다.

모든 작업들은 완료 요구일 안에 할당 되었으며, 작업 수행이 가능한 리소스에만 할당되었다. 그 외 인력과 장비의 용량제약 및 군집화 제약 등 모든 제약이 만족되었음을 확인 할 수 있다.

목적함수 작업량 최대화의 경우 많은 작업을 할당 하는 것을 그 목적으로 하는데 다른 결과와 비교하였을 때 더 많은 작업을 할당 하지는 않았다. 하지만 모든 작업을 할당 하였으므로 작업량 최대화를 만족 했다고 할 수 있다.

목적 함수 완료 요구일 준수의 경우 작업의 입력 데이터에 주어진 완료 요구일과 일정 계획 수립결과 할당된 작업 할당일의 차이를 비교하여 확인 할 수 있다. 작업량 최대화의 경우 완료 요구일과 작업 할당일의 평균 차이는 0.89일, 완료 요구일 준수의 경우는 0.05일, 긴급도를 고려한 작업량 최대화의 경우는 0.80일로 완료 요구일 준수의 결과 값이 가장 우수한 것을 알 수 있다.

긴급도를 고려한 작업량 최대화는 각 목적함수에 미 할당 작업이 존재하지 않으므로, 어느 결과 값이 더 뛰어나다고 말하긴 어렵다. 하지만 미 할당 작업이 발생하는 타 실험을 통하여 높은 긴급도를 가진 작업을 더 많이 할당하는 결과를 확인 하였다.

도표 4. 작업 할당 결과

작업번호	작업량 최대화		완료 요구일 준수		긴급도를 고려한 작업량 최대화	
	작업 할당일	할당 리소스	작업 할당일	할당 리소스	작업할당일	할당리소스
J1	2010-04-20	HMTT0603	2010-04-21	HMTT0603	2010-04-20	HMTT0603
J2	2010-04-19	인력B팀	2010-04-19	MTT010	2010-04-19	인력A팀
J3	2010-04-19	인력B팀	2010-04-19	인력B팀	2010-04-19	인력A팀
J4	2010-04-19	인력B팀	2010-04-19	인력A팀	2010-04-19	인력B팀
J5	2010-04-19	인력B팀	2010-04-19	인력B팀	2010-04-19	인력A팀
J6	2010-04-19	인력B팀	2010-04-19	인력B팀	2010-04-19	인력A팀
J7	2010-04-19	인력B팀	2010-04-19	인력A팀	2010-04-19	인력A팀
J8	2010-04-19	인력A팀	2010-04-19	인력B팀	2010-04-19	인력B팀
J9	2010-04-19	인력A팀	2010-04-19	인력A팀	2010-04-19	인력A팀
J10	2010-04-19	인력A팀	2010-04-19	인력A팀	2010-04-19	인력B팀
J11	2010-04-19	인력A팀	2010-04-19	인력A팀	2010-04-19	인력B팀
J12	2010-04-19	인력B팀	2010-04-19	인력B팀	2010-04-19	인력A팀

J13	2010-04-19	인력B팀	2010-04-19	인력A팀	2010-04-19	인력A팀
J14	2010-04-19	STT0501	2010-04-20	STT0501	2010-04-19	STT0501
J15	2010-04-19	STT0501	2010-04-20	STT0501	2010-04-19	STT0501
J16	2010-04-19	STT0501	2010-04-20	STT0501	2010-04-19	STT0501
J17	2010-04-22	HMTT0603	2010-04-25	MTT010	2010-04-24	MTT010
J18	2010-04-20	인력A팀 HMTT0603	2010-04-20	인력A팀 HMTT0603	2010-04-20	인력B팀 MTT010
J19	2010-04-21	인력A팀	2010-04-21	인력B팀	2010-04-21	인력A팀
J20	2010-04-19	STT0501	2010-04-21	STT0501	2010-04-19	STT0501
J21	2010-04-19	STT0501	2010-04-21	STT0501	2010-04-19	STT0501
J22	2010-04-21	STT0501	2010-04-21	STT0501	2010-04-19	STT0501
J23	2010-04-22	인력A팀	2010-04-22	인력A팀	2010-04-22	인력A팀
J24	2010-04-20	인력B팀	2010-04-22	인력B팀	2010-04-21	인력B팀
J25	2010-04-20	인력B팀	2010-04-22	인력B팀	2010-04-21	인력B팀
J26	2010-04-21	인력A팀	2010-04-22	인력A팀	2010-04-22	인력A팀
J27	2010-04-22	인력A팀	2010-04-22	인력A팀	2010-04-22	인력A팀
J28	2010-04-19	STT0501	2010-04-22	STT0501	2010-04-19	STT0501
J29	2010-04-19	STT0501	2010-04-22	STT0501	2010-04-19	STT0501
J30	2010-04-19	STT0501	2010-04-22	STT0501	2010-04-19	STT0501
J31	2010-04-19	STT0501	2010-04-22	STT0501	2010-04-19	STT0501
J32	2010-04-19	STT0501	2010-04-22	STT0501	2010-04-19	STT0501
J33	2010-04-19	STT0501	2010-04-22	STT0501	2010-04-19	STT0501
J34	2010-04-19	STT0501	2010-04-22	STT0501	2010-04-19	STT0501
J35	2010-04-19	STT0501	2010-04-22	STT0501	2010-04-19	STT0501
J36	2010-04-19	STT0501	2010-04-22	STT0501	2010-04-19	STT0501
J37	2010-04-19	STT0501	2010-04-22	STT0501	2010-04-19	STT0501
J38	2010-04-23	인력A팀	2010-04-23	인력B팀	2010-04-23	인력A팀
J39	2010-04-23	인력B팀	2010-04-23	인력B팀	2010-04-23	인력B팀
J40	2010-04-22	인력B팀	2010-04-23	인력A팀	2010-04-22	인력B팀
J41	2010-04-20	인력B팀	2010-04-22	인력B팀	2010-04-21	인력B팀
J42	2010-04-20	인력B팀	2010-04-22	인력B팀	2010-04-21	인력B팀
J43	2010-04-20	인력B팀	2010-04-22	인력B팀	2010-04-21	인력B팀
J44	2010-04-23	인력B팀	2010-04-23	인력B팀	2010-04-23	인력B팀
J45	2010-04-23	인력A팀	2010-04-23	인력B팀	2010-04-23	인력A팀
J46	2010-04-22	인력B팀	2010-04-23	인력B팀	2010-04-22	인력B팀
J47	2010-04-22	인력B팀	2010-04-23	인력A팀	2010-04-22	인력B팀
J48	2010-04-23	인력B팀	2010-04-23	인력B팀	2010-04-23	인력B팀
J49	2010-04-24	인력B팀	2010-04-24	인력B팀	2010-04-24	인력B팀
J50	2010-04-24	인력B팀	2010-04-24	인력B팀	2010-04-24	인력B팀
J51	2010-04-24	인력B팀	2010-04-24	인력B팀	2010-04-24	인력B팀
J52	2010-04-24	인력A팀	2010-04-24	인력B팀	2010-04-24	인력A팀
J53	2010-04-24	인력A팀	2010-04-24	인력B팀	2010-04-24	인력A팀
J54	2010-04-24	인력A팀	2010-04-24	인력B팀	2010-04-24	인력A팀
J55	2010-04-24	인력A팀	2010-04-24	인력B팀	2010-04-24	인력A팀
J56	2010-04-25	인력A팀	2010-04-25	인력B팀	2010-04-25	인력A팀
J57	2010-04-25	인력A팀	2010-04-25	인력B팀	2010-04-25	인력A팀
J58	2010-04-25	인력B팀	2010-04-25	인력B팀	2010-04-25	인력A팀
J59	2010-04-25	인력B팀	2010-04-25	인력A팀	2010-04-25	인력B팀
J60	2010-04-25	인력B팀	2010-04-25	인력A팀	2010-04-25	인력B팀
J61	2010-04-25	인력A팀	2010-04-25	인력B팀	2010-04-25	인력A팀

J62	2010-04-25	인력A팀	2010-04-25	인력B팀	2010-04-25	인력A팀
J63	2010-04-25	인력A팀	2010-04-25	인력B팀	2010-04-25	인력A팀
J64	2010-04-25	인력A팀	2010-04-25	인력B팀	2010-04-25	인력B팀
J65	2010-04-25	인력A팀	2010-04-25	인력A팀	2010-04-25	인력A팀

위의 [도표.4]의 할당 결과를 살펴보면 긴급도를 고려한 작업량 최대화의 목적 함수로 풀이한 경우 모든 장비템핑_Spot 작업이 2010-04-19일 STT0501리소스에 할당된 것을 확인 할 수 있다. 하지만 작업량 최대화와 완료 요구일 준수의 경우 작업 할당일이 동일하지 않다. 작업량 최대화의 경우 할당일이 다르더라도 목적함수의 평가값에 영향을 미치지 않고, 완료 요구일 준수는 각 작업의 완료 요구일이 다르기 때문에 이에 맞추어 서로 다른 날 할당해야만 더 좋은 평가값을 구할 수 있기 때문이다. 이러한 결과는 사용자의 의도에 따라 작업수행에 더 적합할 수도 그렇지 않을 수도 있다.

하지만 일반적인 경우 STT작업은 소수의 작업구간을 위하여 운행되기 어렵다. 그렇기 때문에 장비 운행 시 많은 작업을 한번에 수행하는 것이 일반적이다. 따라서 이러한 요구는 받아들여져야 하고 이는 작업 군집화로 만족 될 수 있으며, 본 논문에서 제안한 수리모형은 이를 수용할 수 있다. STT 가용 작업 범위 내의 모든 작업을 한번에 수행하고 싶다면, 이러한 작업들을 군집화 하여 동일한 그룹 번호를 적용 시킨다.

아래의 [도표.5]는 장비템핑_Spot작업들을 군집화 하여 일정계획을 수립한 결과이다. 목적함수와 관계없이 모든 장비템핑_Spot작업이 동일한날 동일한 리소스에 할당되었음을 확인 할 수 있다.

도표5. 장비템핑_Spot을 군집화한 작업 할당 결과

작업번호	작업량 최대화		완료 요구일 준수		긴급도를 고려한 작업량 최대화	
	작업 할당일	할당 리소스	작업 할당일	할당 리소스	작업 할당일	할당 리소스
J1	2010-04-20	MTT010	2010-04-21	HMTT0603	2010-04-21	HMTT0603
J2	2010-04-19	인력B팀	2010-04-19	인력B팀	2010-04-19	인력A팀
J3	2010-04-19	인력B팀	2010-04-19	인력B팀	2010-04-19	인력A팀
J4	2010-04-19	인력A팀	2010-04-19	인력B팀	2010-04-19	인력A팀
J5	2010-04-19	인력B팀	2010-04-19	인력B팀	2010-04-19	인력A팀
J6	2010-04-19	인력B팀	2010-04-19	인력B팀	2010-04-19	인력A팀
J7	2010-04-19	인력B팀	2010-04-19	인력B팀	2010-04-19	인력B팀
J8	2010-04-19	인력A팀	2010-04-19	인력A팀	2010-04-19	인력B팀
J9	2010-04-19	인력B팀	2010-04-19	인력A팀	2010-04-19	인력A팀
J10	2010-04-19	인력B팀	2010-04-19	인력A팀	2010-04-19	인력A팀
J11	2010-04-19	인력A팀	2010-04-19	인력B팀	2010-04-19	인력B팀
J12	2010-04-19	인력A팀	2010-04-19	인력B팀	2010-04-19	인력A팀
J13	2010-04-19	인력B팀	2010-04-19	인력A팀	2010-04-19	인력B팀
J14	2010-04-19	STT0501	2010-04-20	STT0501	2010-04-19	STT0501
J15	2010-04-19	STT0501	2010-04-20	STT0501	2010-04-19	STT0501
J16	2010-04-19	STT0501	2010-04-20	STT0501	2010-04-19	STT0501
J17	2010-04-19	HMTT0603	2010-04-25	HMTT0603	2010-04-21	HMTT0603
J18	2010-04-20	인력B팀 HMTT0603	2010-04-20	인력A팀 HMTT0603	2010-04-20	인력B팀 MTT010
j19	2010-04-21	인력A팀	2010-04-21	인력B팀	2010-04-21	인력A팀
j20	2010-04-19	STT0501	2010-04-20	STT0501	2010-04-19	STT0501
j21	2010-04-19	STT0501	2010-04-20	STT0501	2010-04-19	STT0501
j22	2010-04-19	STT0501	2010-04-20	STT0501	2010-04-19	STT0501
j23	2010-04-22	인력A팀	2010-04-22	인력A팀	2010-04-22	인력A팀
j24	2010-04-21	인력B팀	2010-04-22	인력B팀	2010-04-21	인력B팀
j25	2010-04-21	인력B팀	2010-04-22	인력B팀	2010-04-21	인력B팀

j26	2010-04-21	인력A팀	2010-04-22	인력A팀	2010-04-22	인력A팀
j27	2010-04-22	인력A팀	2010-04-22	인력A팀	2010-04-22	인력A팀
j28	2010-04-19	STT0501	2010-04-20	STT0501	2010-04-19	STT0501
j29	2010-04-19	STT0501	2010-04-20	STT0501	2010-04-19	STT0501
j30	2010-04-19	STT0501	2010-04-20	STT0501	2010-04-19	STT0501
j31	2010-04-19	STT0501	2010-04-20	STT0501	2010-04-19	STT0501
j32	2010-04-19	STT0501	2010-04-20	STT0501	2010-04-19	STT0501
j33	2010-04-19	STT0501	2010-04-20	STT0501	2010-04-19	STT0501
j34	2010-04-19	STT0501	2010-04-20	STT0501	2010-04-19	STT0501
j35	2010-04-19	STT0501	2010-04-20	STT0501	2010-04-19	STT0501
j36	2010-04-19	STT0501	2010-04-20	STT0501	2010-04-19	STT0501
j37	2010-04-19	STT0501	2010-04-20	STT0501	2010-04-19	STT0501
j38	2010-04-23	인력B팀	2010-04-23	인력B팀	2010-04-23	인력B팀
j39	2010-04-23	인력B팀	2010-04-23	인력B팀	2010-04-23	인력B팀
j40	2010-04-22	인력B팀	2010-04-23	인력A팀	2010-04-22	인력B팀
j41	2010-04-21	인력B팀	2010-04-22	인력B팀	2010-04-21	인력B팀
j42	2010-04-21	인력B팀	2010-04-22	인력B팀	2010-04-21	인력B팀
j43	2010-04-21	인력B팀	2010-04-22	인력B팀	2010-04-21	인력B팀
j44	2010-04-23	인력B팀	2010-04-23	인력B팀	2010-04-23	인력B팀
j45	2010-04-23	인력A팀	2010-04-23	인력B팀	2010-04-23	인력A팀
j46	2010-04-22	인력B팀	2010-04-23	인력B팀	2010-04-22	인력B팀
j47	2010-04-22	인력B팀	2010-04-23	인력A팀	2010-04-22	인력B팀
j48	2010-04-23	인력B팀	2010-04-23	인력B팀	2010-04-23	인력B팀
j49	2010-04-24	인력B팀	2010-04-24	인력B팀	2010-04-24	인력B팀
j50	2010-04-24	인력B팀	2010-04-24	인력B팀	2010-04-24	인력B팀
j51	2010-04-24	인력B팀	2010-04-24	인력B팀	2010-04-24	인력B팀
j52	2010-04-24	인력A팀	2010-04-24	인력B팀	2010-04-24	인력A팀
j53	2010-04-24	인력A팀	2010-04-24	인력B팀	2010-04-24	인력A팀
j54	2010-04-24	인력A팀	2010-04-24	인력B팀	2010-04-24	인력A팀
j55	2010-04-24	인력A팀	2010-04-24	인력B팀	2010-04-24	인력A팀
j56	2010-04-25	인력A팀	2010-04-25	인력A팀	2010-04-25	인력A팀
j57	2010-04-25	인력A팀	2010-04-25	인력B팀	2010-04-25	인력A팀
j58	2010-04-25	인력A팀	2010-04-25	인력B팀	2010-04-25	인력A팀
j59	2010-04-25	인력B팀	2010-04-25	인력A팀	2010-04-25	인력B팀
j60	2010-04-25	인력B팀	2010-04-25	인력A팀	2010-04-25	인력B팀
j61	2010-04-25	인력A팀	2010-04-25	인력B팀	2010-04-25	인력A팀
j62	2010-04-25	인력B팀	2010-04-25	인력B팀	2010-04-25	인력A팀
j63	2010-04-25	인력B팀	2010-04-25	인력B팀	2010-04-25	인력A팀
j64	2010-04-25	인력A팀	2010-04-25	인력B팀	2010-04-25	인력A팀
j65	2010-04-25	인력A팀	2010-04-25	인력B팀	2010-04-25	인력B팀

4. 결론

고속선 궤도 유지보수 작업은 궤도의 이상 상태를 바로 잡아, 이를 안정화 시키는 매우 중요한 작업이다. 하지만 궤도 위에서 작업을 수행 한다는 특성상 많은 위험 상황이 존재 하고, 고속선의 원활한 운행을 위한 많은 규칙과 법규들이 존재 한다. 뿐만 아니라 한정된 유지보수 장비 및 인력을 운영해야 하므로, 언제 어디서 발생할지 모르는 작업들에 대처하기도 쉽지 않다.

따라서 본 논문은 고속선 궤도 유지보수 일정 계획 시 반영해야 하는 현장의 상황들을 현업 실무자들과 함께 정의 하고, 이를 목적식과 제약식으로 반영하여 수리모형을 제시 하였다. 이를 통하여 보다 빠

르고 체계적인 일정 계획을 수립할 수 있고, ILOG CPLEX를 이용한 실험은 이를 뒷받침 할 수 있는 결과를 제시 하였다.

추후 고속선 궤도 유지보수 일정계획에 필요하다고 판단되는 다른 현장의 상황들을 지속적으로 조사하여 반영해야 할 것이며, 일정 계획의 현장 반영을 고려하여 일정 수립 결과를 검증하는 연구가 필요할 것이다.

참고문헌

1. 김대영, 이성근, 이기우, 우병구, 이성욱, 김기동, “궤도 유지보수를 위한 틀림진전 예측 및 일정최적화” 한국철도학회 2008년도 춘계 학술대회 논문집, 2008 June 12, pp.1359 - 1370
2. 박지호, “유전자 알고리즘을 이용한 고속선 궤도 유지보수 일정계획에 관한 연구,” 강원대학교 석사 학위 논문, 2009
3. 한국철도공사, “고속선 궤도관리 의사결정지원 시스템 개발 : 2차년도 중간 보고서,” 2008
4. 한국철도공사, “고속선 궤도관리 의사결정지원 시스템 개발 : 3차년도 중간 보고서,” 2009
5. Baker, K. R., "Introduction to sequencing and scheduling," John Wiley & Sons, 1974
6. Budai, G., "Scheduling preventive railway maintenance activities," IEEE International Conference on System, Vol.5, pp.4171-4176, 2004
7. Higgins, A. (1998), "Scheduling of Railway Track Maintenance Activities and Crews," The Journal of the Operational Research Society, Vol.49, pp.592-623, 1998
8. Li, Kai, Yang, Shan-Lin, "Non-identical parallel-machine scheduling research with minimizing total weighted completion time: Models, relaxation and algorithms," Applied Mathematical Modelling, Article in Press, 2008
9. Lin, Chien-Hung, Liao, Ching-Jong, "Makespan minimization for multiple uniform machines, *Computers & Industrial Engineering*," Vol. 54, pp. 983-992, 2008