

## 일반철도의 선로이용율과 선로 유지보수시간 추정

### Estimation of Line Utilization Rate and Track Maintenance Time of Conventional Railway

기형서\* · 박동주 · 김동수 · 김행배

Hyungseo Ki · Dongjoo Park · Dongsoo Kim · Haengbae Kim

**Abstract** In this study, we numerically estimated available and unavailable time of conventional railway by examining 60% which is known as average range of track utilization efficiency. We also estimated track repair time for maintenance which is the main factor of making track utilization change and analyzed appropriate estimated time. The railway's safety should be guaranteed by appropriate railway operating plan and by adequate rail facilities maintenance. At the same time, daily railway train 'Dia's recovery power should be reflected to the management plan. Considering these factors, we examined mechanical equipment and the national rail network in order to rationally estimate track repair time of the maintenance and to secure spare time in case of train delays. It was found that track utilization efficiency was more or less 60%.

**Keywords** : Track utilization efficiency, Track repair time for the maintenance, Available and unavailable time, Resiliency of train diagram (train 'Dia's recovery power)

**초 록** 본 연구에서 일반철도의 선로이용율의 범위인 60%를 검토하여, 이용가능한 시간과 이용 불가능한 시간을 수치화 하였다. 또한 선로이용율을 변화시키는 요소인 선로유지보수시간에 대한 계산과 적절한 추정시간을 분석하였다. 적절한 철도운영계획과 원활한 시설유지보수를 통한 열차의 안전을 보장하여야 한다. 동시에 매일 연속되는 열차Dia의 원상회복력도 운영계획에 반영되어야 한다. 이런 사항들을 고려하여 보유 중인 기계장비와 국가철도망에 대한 자료를 활용하여 유지보수작업시간 산출방법을 개선하고, 열차지연에 대비한 여유시간을 확보하도록 검토하였다. 결론적으로 일반철도의 선로이용율과 선로유지보수시간 구성요소를 함께 수량화하여, 선로이용율은 60% 내외가 타당함을 증명하였다.

**주요어** : 선로이용율, 선로유지보수시간, 이용가능 시간과 불가능시간, 열차Dia복원력

## 1. 서 론

철도운영상 열차운행의 안전성과 정확성을 확보하는 것은 매우 중요하다. 철도는 다양한 분야가 시스템적으로 유기적 관계를 맺고 있다. 안전운행을 위하여 각 분야가 일정한 시간배정과 정기적인 계획을 통하여 시설유지보수와 예방적 검사를 통하여 기반시설을 관리하고 있다. 즉 열차 및 차량이 이용하는 선로시설, 가선(전철설비 등), 신호기 등의 제반 시설설비와 차량들은 검사와 수리 등에 소요되는 시간을 규칙적으로 배정받아 운용해야 된다. 그런데 최근 수송수요의 증가추세와 기존 일부 노선구간의 병목현상에 따라 선로용량이 포화상태에 이르고 있다.

그 개선책으로 대두되는 선로이용율의 상향조정 요구 혹은 다른 부문에서의 연구 및 대책 등은 아직도 구체적으로 수치화 되지 않은 선로이용율의 각종 구성요소에 대한 불명확성에 상당부분 기인하고 있다. 예를 들어 수송수요의 증

가는 일반적으로 첨두시 최소시각 단축을 통하여 해소되는 것이다. 그러므로 단순히 영업시간 연장을 통한 선로용량 증대방안은 비첨두시간(평시) 확장이라는 모순이 따르며 적절한 해법으로 볼 수 없다. 오히려 열차운영상 여유시간 및 시설유지보수시간의 잠식과 종사자들의 근무시간 연장으로 이어지며 안전운행을 저해할 우려가 있다.

본 연구는 아직 구체적 수치로 제시되지 않은 여러 요소에 착안하여 2장에서 기존 연구검토를 통하여 선로이용율의 의미와 선로용량과의 관계, 선로이용율 적용비율의 국내외 적용실태, 그리고 선로유지보수시간에 대한 조사를 수행하였다. 그리고 선로이용율의 주요 구성요소가 되는 선로유지보수시간 및 열차지연 회복시간을 구체화 하기 위하여 철도 운영 실태자료를 기준으로 분석하였다. 이를 기반으로 국내 일반철도 선로이용율과 선로유지보수시간 범위 및 열차지연 회복시간 등을 추정 함으로서 일반적으로 준용하고 있는 60% 이용율의 타당성을 증명하고자 한다.

\*Corresponding author.

Tel.: +82-2-2210-2187, E-mail : grand0303@yahoo.co.kr

©The Korean Society for Railway 2012

<http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2012.15.6.638>

## 2. 본 론

### 2.1 기존 연구 검토

#### 2.1.1 선로이용률과 선로용량 관계

철도에서 사용하는 선로이용률은 선로용량과 밀접한 관계가 있다. 선로용량은 일정한 선로구간(line section)에서 실제로 운행이 가능한 1일 총운행가능 열차수라고 정의된다. 이것은 정해진 노선의 시종점에 계획한 열차들이 일반 공중에 공시한 시간에 맞춰 지연되지 않고 운행될 수 있는 최대열차수로서 Flow개념에 속한다[3].

선로용량 계산단위는 Fig. 1과 같이 열차시각표에 의한 계획상 열차횟수가 변화되는 인접 정거장간 혹은 선구(여러 정거장 구간) 및 노선 전체에 대하여 계산된다.

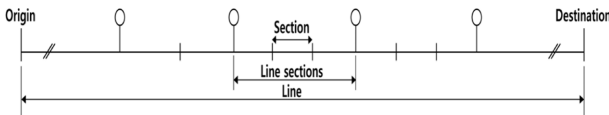


Fig. 1 Estimated range of line capacity

선로용량의 의미 중에서, 1시간주기 용량이 많다거나 혹은 이를 적용해야 한다는 주장이 있다. 선로용량 산정은 분석주기 동안 최대 운행가능한 열차수를 계산하기 위한 평균 최소시격을 산정하는 과정이다. 따라서 분석주기 시간의 대소와 상관없이 동일한 평균최소시격을 적용하므로 차이가 발생하지 않는다. 다만, UIC 405<sup>1)</sup>[11]에서 열차Dia를 기준으로 첨두시와 평시를 구별하여 여유시간을 다르게 적용하는 사례가 있지만 국내철도 산정식에서는 이를 구별하지 않기 때문이다. 또한 영업용량의 관점에서 상대적으로 수요가 적은 평시에 열차회수를 줄이는 것은 본래 선로용량보다 수요가 적은 노선에 대한 열차계획상 특징에 속한다.

#### (1) 이론상 선로용량( $N_t$ )

김훈 외[4]는 이론상 선로용량은 식 (1)과 같이 지정주기(일일 혹은 1시간)를 구간 최소운전시격(설비상)과 도중정차시간의 합으로 나눈 값이라고 정의한다.

$$N_t = \frac{T}{(Hw + D)} \quad (1)$$

여기서,

$N_t$  = 이론상 선로용량[회/주기]

$T$  = 계산주기시간 (일일 혹은 1시간[ $\text{min.}$ ])

$Hw$  = 최소운전시격(Minimum headway)[ $\text{min.}$ ]

$D$  = 도중정차시간(Dwell time)[ $\text{min.}$ ]

#### (2) 실제 선로용량( $N$ )

실제 이용 가능한 총열차회수인 선로용량은 운영기관의 영

업방침, 선로유형, 운전방식(열차종별과 그 비율, 유효시간대 등), 신호시스템 및 기타 운전설비, 선로유지보수시간 등에 영향을 받는다. 또한 최종 운영계획 결과물인 열차시간표(Train Scheduling -이하 열차Dia로 표시한다)로 표현할 수 있어야 된다.

직간접적인 변화인자들 중 가장 크게 영향을 주는 것은 선로유지보수시간이다. 상세하게 구분하면, 선로의 단·복선, 노선선형 및 열차속도, 열차종별의 회수비와 정차시분, 역간거리와 평균 운전시분, 폐색방식과 폐색구간 길이, 신호제어시스템, 열차제어장치의 취급시분, 교행 및 대피설비의 유무, 구내작업 상황 및 분기기 형태와 재질도 영향을 준다. 기타 요소로 착발선 용량, 운영상 열차운전 여유시분, 철도사업의 환경 등도 있다.

#### (3) 선로이용률( $f$ )

여러 가지 인자들이 반영되어 계산되는 실제 선로용량( $N$ )과 이론상 선로용량( $N_t$ )과의 비를 선로이용률( $f$ )이라 하며, 식 (2)로 표현할 수 있다.

$$f = \frac{N}{N_t} \times 100 (\%) \quad (2)$$

여기서,

$f$  = 선로이용률[%]

$N_t$  = 이론상 선로용량[회/주기]

$N$  = 실제 선로용량[회/주기]

#### 2.1.2 선로이용률 적용비율 조사

##### (1) 선로이용률 변화요인

변화요인은 노선 운영방식(여객전용, 화물전용, 혼용, 통근전동열차 전용 등), 동력차 견인성능(가감속도의 크기, 견인중량의 대소 등), 열차종별(여객, 화물, 전동) 열차속도종별(고속, 특급~화급 18중), 사회경제적 환경에서 영업가능시간 범위와 철도기술수준에 따른 관계적 열차운영 효율 기준이 있다.

Erhan Kozan, Rovert Burdett[13]는 철도노선의 선로용량은 다른 운영조건하에서 열차지연에 의해 평가된다고 주장하고 있다. 이용률을 증가시킬 경우, 선로유지보수시간의 감소와 열차지연 등 운용 혼란으로 인한 당일의 열차스케줄(인력운용, 차량운용)이 익일까지 영향을 끼쳐서 정상 열차스케줄의 변동을 야기하므로, 이를 예방하려면 열차계획상 여유시간이 확보되어야 한다.

또한 선로용량의 변화인자들 중 선로유지보수시간은 계산주기 가운데 열차운행이 가능한 시간(=영업시간)과 운행불가시간(=영업불가시간)을 나누는 주요 변수로서 큰 비중을 차지하는 바 본 연구는 이를 수치적으로 분석하여 명확한 선로이용률을 추정하였다.

##### (2) 국내외 선로이용률 적용비율

국내의 경우 선로용량을 좌우하는 요소로서 선로이용률이란 1일 24시간에 대한 열차설정 가능시간의 비율로 표현하고 있다. 김의일[1]은 1일 중 열차설정 이용시간에 대한 선

<sup>1)</sup>UIC code 405는 선로용량 계산식에 최소시격( $t_m$ )에 첨두시0.33, 평시0.67을 곱하여 산출된 운행여유시간( $t_r$ )과 추가시분( $t_{su}$ ) 및 최소시격을 합하여 아랫변에 적용하므로 1시간주기 용량과 평시용량을 구분하고 있다.

**Table 1** Setting an example of line utilization rate of railway

Classification(per daily)	Calculating time
Estimated loss time(min.)	100 train×1.81=181
Track maintenance time	245
Unused time (No departure)	100 train×1.5=150
Total unused time (40%)	181+245+150=576
Train set used time (60%)	1440-576=864

\*자료 : 김의일, 최신 운전이론(1999)

로보수시간과 열차설정 사용불가시간을 합한 시간비로 표시하며 일반철도 60%로 설정하고 있다. 그리고 선로유지보수 작업의 실태에 따라 개략적인 선로유지보수시간을 아래 Table 1과 같이 산출하고 있다.

본 연구는 추정손실시분(저속과 고속도 열차간 대피로 인하여 손실되는 시간)과 시발불가 불용시간(시발역에서 전후 열차간 도중 경합을 해소하려고 최소시격에 추가되는 시간)이 이미 선로용량 산정식에 반영되어 중복계산 되었고 선로유지보수시간도 구체적으로 분석이 필요함을 발견하였다.

Korail 선로이용율 또한 Table 1에 제시하는 유사한 논리를 적용하며, 일반여객 및 화물열차 혼용선구에서 60%, 전동열차 전용선로에서 75%(완전 평행Dia)와 60~75%(규격 Dia)를 사용하고 있다. 그러므로 좀 더 구체적인 분석과 이에 대한 수치화로 검증이 요구되는 것이다.

도시철도의 경우 서울시 대중교통 영업시간 연장운행 방침에 따라 지하철 심야운행 서비스(선로이용율 80%)가 시행 중이다. 이러한 운영은 사실상 선로유지보수 및 여유시간을 단축시키는 결과로 추정되지만 이에 대한 분석이나 공식적 자료는 검색할 수 없어 도시철도부문에 대한 선로이용율(75%~80%)의 분석은 제외하였다.

Jianxin Yuan, Ingo A. Hansen[14]은 철도기반시설의 이용시간을 일반철도의 경우 첨두시 75% 및 평시 60%로 정의하고 있다. UIC 406[12] 선로이용율은 식 (3)과 같이 정의된 계산시간에 대한 선구점유시간과 추가시간 합인 비율로 계산된다. 추가시간은 열차시각표상의 여유시간, 교행 과정에서 발생하는 여유시간 및 시설유지보수 등에 소요되는 시간이 포함된다.

$$\text{총선로이용율(\%)} = \frac{\text{선구점유시간} + \text{추가시간}}{\text{계산시간(주기)}} \quad (3)$$

Table 2는 UIC 406의 노선유형별 첨두 및 평시 선로이용율을 나타낸다. 여기서 노선유형에 따라 첨두시 상대적으로 증가하는 수요를 감당하도록 최소시격을 줄여 선구점유시간을 평시보다 더 할애하는 것으로 분석된다.

또한 RFF[10]는 프랑스 고속선의 경우, 주간 1h(선로별), 야간 6h(상하행 선로, 동시에 4h 포함)설정 원칙에 전력차단 및 투입 등 여유 1시간을 운행불가시간으로 적용하여 67%(960분/일일)를 사용하고 있다. 스웨덴 국영철도 기관인 Banverket의 기본적 개념은 식 (4)와 같이 UIC 406 모형과 유사하게 정의된 계산주기시간 동안 열차가 일정 선구를 점

**Table 2** Standard of line utilization rate(UIC 406 code)

Type of line	Peak	Daily	Comment
Dedicated Suburban Passenger traffic	85%	70%	Can be higher when number of trains is low (smaller than 5 per hour) with strong heterogeneity.
Dedicated HSL	75%	60%	
Mixed-traffic line	75%	60%	

\*자료 : UIC code 406(2004)

유하는 시간에 기반을 둔다.

$$C_x = \frac{T^0}{aT} \quad (4)$$

여기서,

$C$  = 선로이용율(%)

$T^0$  = 선구점유시간(min.)

$x$  = 단선 또는 복선을 표시

$T$  = 계산주기시간(첨두 2, 1일 18~22시간 적용)

$a$  = 보정계수(1일 = 0.8, 첨두시 = 1.0 적용)

Banverket 모형에서 용량이용율 범위별 상태는 Table 3과 같이 구분하며, 도로교통과 유사한 서비스수준 개념을 도입하고 있다. 그렇지만 균형상태는 60% 이내로 이를 초과시 지연회복에 대한 문제발생 상태로 판정하고 있다. 특히 선로용량은 열차운영계획상 실용용량을 의미하며 철도용량인 이론용량과 구분이 요구된다.

**Table 3** State and range of line utilization rate of Banverket model

Utilization rate	Comment
0~40%	More train service available
40~60%	Balance status between LOS and frequency
60~80%	Trains delayed the recovery difficult
80~100%	Lack of state capacity

주) 자료 : Mattsson, L.G.(2004)<sup>2</sup>에서 재인용

일본의 경우, 일반적으로 列車ダイヤ研究會[7]에서 0.6~0.75를 적용한다. 조사 결과도 Table 4와 같이 고속노선은 65%, 통근형 전철노선은 75~80%외를 적용하며, 국내 철도와 유사한 선로이용율을 사용하고 있다.

M. Abril et al.[15]은 정상 운영조건 하에서 실용용량이 Kraft<sup>3</sup> (1982년)에 의해 이미 정의된 이론용량의 약 60~75%에 해당된다고 주장한다. 그리고 Fig. 2와 같이 이론용량 및 실용용량 비율과 신뢰도 수준을 제시하고 있다.

특히 미국 AREMA[8] 선로용량과 산출식은 식 (5)에서 선

<sup>2</sup>Mattsson (2004) L.G., "Railway Capacity and Train Delay Relationships", Critical Infrastructure Reliability and Vulnerability (2007) pp.130-139, Springer Berlin Heidelberg New York.

<sup>3</sup>Kraft, E.R. (1982) "Jam Capacity of Single Track Rail Lines", Proceedings of the Transportation Research Forum, 23(1) pp.461-471.

Table 4 Track utilization efficiency of JR

Type	Routes segment	Opening hours
Shinkansen	East Tokaido-Sanyo	920min.(64%)
	Tohoku	840min.(58%)
Metro	Mita line	1,140min.(80%)
		1,110min.(77%)

주) 자료 : JR 시각표 조사

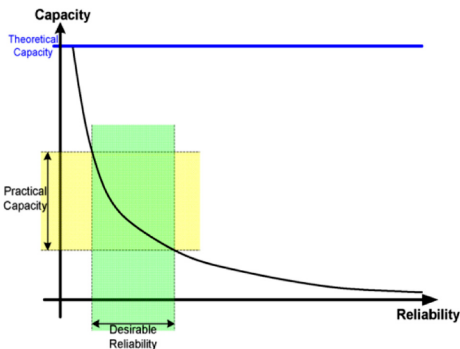


Fig. 2 Reliability of theoretical capacity and practical capacity ratio

로이용률 개념을 운행관리효율이라고 표현하고 있다. 유의 할 사항으로서 유지보수작업은 항상 봄철과 여름철에 시행 되고 있다.

$$C_p = C_t \times E \quad (5)$$

여기서,

$C_p$ : 실용 선로용량

$C_t$ : 이론상 선로용량

$E$ : 선로구간 운행관리(Dispatching)효율

이와 같이 국내의 여러 가지 자료 등을 검토한 바 공통적으로 이론용량의 약 60-75%를 실용적인 선로용량 범위로 제시하고 있다. 그렇지만 구체적 요소별 수치자료는 찾을 수 없고 일반적인 전체 비율만 제시되어서 본 연구는 주요 요소에 대한 수치화를 시도하였다.

### 2.1.3 선로이용률과 선로용량 관계

#### (1) 선로유지보수 작업시간 개요

철도 통행수요가 많아질수록 열차회수가 증가되면서 선로 시설도 더욱 피로가 누적되면서 사실상 시설장비 등의 교체 주기의 단축과 유지보수시간의 증가 및 보수주기 단축으로 이어지게 된다. 열차안전운행과 직결된 철도기반시설의 결함은 열차지연의 주된 원인으로 작용하고 이는 연쇄지연을 초래하여 서비스품질을 저하시킨다. 만약 유지보수작업시간이 충분하지 못해 적정량 유지보수가 이뤄지지 않을 경우, 주요시설에 이상이 발생하면 오히려 복구시간이 더 많이 소요되어 열차운행에 상당한 지연을 초래한다. 그런 측면에서 유지보수시간은 운영계획의 중요한 인자로서 지속적이고 철저한 사전 및 사후관리상 충분히 책정되어야 할 것이다.

#### (2) 선로유지보수시간 조사

본 연구를 보다 현실적으로 수행하고자 제1종작업<sup>4</sup> 및 제2종작업<sup>5</sup>을 위주로 대표적으로 경부선과 충북선 자료를 분석한 바, 연중 작업 가능일수는 다음과 같다.

- . 연간 총일수 : 365일,
- . 주휴무일 : 104일(2×52),
- . 법정공휴 : 10일(2009 기준)
- . 휴한기 동상기간 제외 : 60일(12월중순~2월중순 사이 제2종작업 곤란)
- . 기타 여유 : 10일(작업불가 사유 발생 등 200일×0.05% = 10)
- . 연간 작업가능일수 ≒ 180일(통상 년중 50% 추정)
- . 야간 열차운행 중지시간 : 각 노선구간별로 상이(Dia 구성)하며, 2.5~3.0시간 이내

이러한 실태를 감안할 때, 열차운행 중지시간은 본 연구에서 제시하는 일일 작업시간의 절대량에 미치지 못하는 것으로 사료된다.

## 2.2 본 연구의 차별화 내용

### 2.2.1 새로운 선로유지보수시간 추정 및 산출방안

본 연구는 기존의 선로이용률 추정에 있어서 중복되거나 또는 수치화 되지 않은 요소들을 명확하게 계산하는 것이 목적이다. 사전에 검토한 규정 들은 선로유지보수 관련 규정 및 작업지침과 국토부 '선로배분지침'(선로작업시간 3시간 배정)이다. 기반시설 조사자료는 전국철도망 기반시설 및 궤도부설현황이다. 보선기계장비의 작업단 구성과 장비의 기능 및 성능 자료를 검토하고 기계작업은 제1종 및 제2종 작업을 대상으로 하였다.

전국 철도망을 대상으로 일정 주기별로 현보유 운용장비를 가동한다는 전제하에, 이에 대한 일일 소요시간을 정한다. 다만, 보유 운용장비의 다소에 따라 선로이용률의 변화가 수반되지만, 과다 보유시 인력의 확충 혹은 과소시 유지보수시간 부족 등과 같은 쟁점은 별도의 심층 연구대상이다.

또한 노선마다 선로이용률의 다른 적용은 일관성이 없고, 노선별 실제 운행열차수의 다소 보다는 최대가능열차수가 목표이다. 따라서 본 연구는 현 보유장비를 기준으로 전국철도망의 평균값을 구하고, 선로용량 영향인자인 열차지연회복시간의 수치화에 초점을 맞췄다.

#### (1) Korail 선로길이 검토(지역본부별, 노선별)

Table 5는 Korail 본선 및 측선 선로길이와 중량별 연장길이를 나타낸다.

<sup>4</sup>멀티폴 타이템퍼(Multiple Tie Tamper)를 사용하여 선로를 차단하고 궤도 들기, 먼맞춤, 줄맞춤 및 다지기 등을 동시 다기능적으로 시행하며, 밸리스트콤팩터(Ballast Compact) 또는 궤도안정기(Dynamic Track Stabilizer)를 사용하여 도상면을 달고 다지는 일련의 작업.

<sup>5</sup>밸리스트클리너(Ballast Cleaner)로 도상자갈을 전체적으로 치고, 친개소에 새자갈을 보충하여 밸리스트레귤레이터(Ballast Regulator)로 정리하여 멀티폴로 다지고 도상면을 콤팩터 또는 궤도안정기(DTS)를 달고 다지는 일련의 작업.

**Table 5** Trunk line and side track length(Km)

Trunk · side track (Km)			Weight			
Total	Trunk	Sides	Total	60kg	50kg	Aux.
7,980	5,720	2,260	7,980	1,700	5,984	295

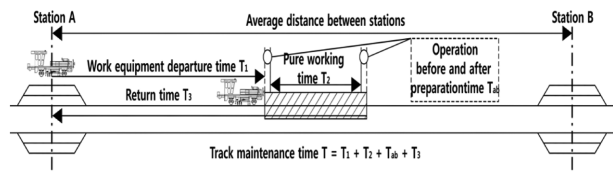
주1) 본선을 야간(심야) 유지보수작업 대상으로 계산  
 주2) 정거장구내 측선은 인력작업으로 간주하고 다만, 분기기는 STT 작업<sup>6</sup>으로 추정함

(2) 선로유지보수시간 구성 분석

구체적인 작업시간의 검토는 먼저 Fig. 3과 같이 작업출동시간(T1), 작업 전 준비와 작업 후 정리시간(Tab), 복귀시간(T3) 및 순수작업시간(T2)으로 구분하여 산출하였다.

노선별 정거장 중 보선장비단이 유치 가능한 부분선과 측선이 부설된 개소의 역간평균거리를 구한다. 본선의 작업현장은 정거장A ~ 정거장B까지 분포되므로 역간평균거리의 1/2 지점에 위치하고, 작업출동과 복귀시 더 가까운 거리의 정거장을 선택한다고 가정하였다.

Table 6와 같이 Korail 총평균 역간거리(7.36Km)를 계산한 후 이를 토대로 작업장까지 보수장비가 운행하는 시간과 철수시간을 각각 산출 정리하였다.



**Fig. 3** Mechanical work step-by-step configuration

**Table 6** Analysis of distance between trunk line stations

Station a	Segment b	distance c	Aver. dist d	Remark
315	305	2,244	7.360	Standard dist.

주1) 장비유치 가능한 측선보유 기준(# 주요 간선 경부선 외 9개 노선의 정거장 기준)  
 주2) 작업장 이동시간:  $\text{roundup}((60 \times 7.360 / 2)) / (25 \times 0.95) \times 2$ (왕복) = 20분

(3) 궤도연장 및 연간작업회수 현황 추정

제1종 및 제2종작업의 연간 작업주기에 대한 규정이 없어 관례적인 작업회수와 현장 및 Korail본사 계획팀의 면접조사를 기초로 1~3회를 계산하여 그 중간값을 적용하였다. Table 7과 같이 제1종작업은 2회/년, 제2종작업은 10~12년 주기로 하여 일일작업시간을 추정하였다.

Table 8은 기계작업단 구성과 시간당 작업속도의 표준이며 이를 작업시간 계산에 반영하였다.

**Table 7** Analysis of annual number of operations

Line rail length (Km)			Equipment performance(m/hour)		Equipment reserve	
Trunk	Sides	Total	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>	1 <sup>st</sup>	2 <sup>nd</sup>
5,720	2,260	7,980	1,100	120	10	17

주) 보유장비 증가는 작업시간 단축 요인이지만 운용인력이 그 만큼 추가되어 임의 조정에 한계가 있음

**Table 8** Standard of mechanical work speed

Type	Configure equipment	Work speed
1 <sup>st</sup>	MTT + RE, DTS	1,100m/h
2 <sup>nd</sup>	SLT+CL+Hopper car+MT+RE+MTT+DTS	120m/h

**Table 9** Work cycle analysis

Classification	Daily	Remark
Total	365	2 <sup>nd</sup> type calculate : roundup $((\text{trunk length} \times 0.083) / (\text{Equipment performance} \times \text{work days} \times \text{Equipment reserve}) / 12 \times 60,0) = 12\text{min.}$
Available to work days	180	
1 <sup>st</sup> period	2	Median(1~3)
2 <sup>nd</sup> period	0.083	1/12 years

주) 제2종 작업주기(도상자갈 갱환작업)는 1/12=0.083주기/년이지만, 실제 장비가 출동하여 일일 최소 1시간은 작업이 가능토록 보정(0.083대신 0.5를 임의 적용하여 일일 60분 배정)

(4) 기계장비 연간작업 가능일수 및 주기계산

연간 작업일수는 대략 180일이며, 작업주기의 계산 결과는 Table 9와 같다.

2.2.2 노선별 열차지연 통계 활용

Table 10은 Korail 5개년 총지연시간과 운행열차수 통계 자료를 활용하여 열차당 평균일일지연시간을 각 노선별로 정리한 것이다. 전체 노선 합계와 총평균을 산출하고, 열차지연에 대비하여 열차지연 복원예비시간을 선로이용율에 반영하였다.

특히 열차회수는 최대 운행가능회수를 감안하였으며, 복선은 경부선 기준으로 평균지연 0.52분과 열차회수 200(회/일)을 적용하였다. 다만, 단선의 경우 대표적인 장항선 평균지연 1.06(분/열차)과 상하행 경합에 따라 최대 100회를 적용하면 단선과 복선에서 유사한 값이 도출된다.

만약 예비시간을 별도로 반영하지 않을 경우, 각 열차의 지연발생마다 열차Dia는 연쇄적으로 영향을 받을 것이다.

2.3 선로이용율과 선로유지보수 작업시간 추정

2.3.1 일일 작업시간 종합 및 추정

Table 11에서 보는 바와 같이 제1종작업 주기 2회/년, 제2종작업 주기 1회/12년(최소 1시간 적용)을 기준으로 장비 준비 정리와 기타작업 및 작업장 이동시간을 합하여 472분

<sup>6</sup>Switch Tie Tamper 분기기 트립정정용 타이탬퍼

**Table 10** Analysis of train delay statistics during five years

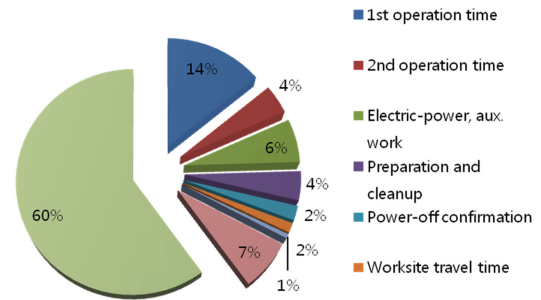
Classification	2005	2006	2007
Annual total delay time (min.)	139,147	143,361	95,074
Days average delay time (min.)	381.22	392.77	260.48
Total number of trains	230,621	226,879	225,197
Average number of trains	631	621	616
Average delay per trains	0.60	0.63	0.42
classification	2008	2009	total
Annual total delay time (min.)	119,460	94,906	591,948
Days average delay time (min.)	327.29	260.02	1,621.8
Total number of trains	224,545	224,221	1,131,463
Average number of trains	615	614	3,097
Average delay per trains	0.53	0.42	0.52
Train delays recovery slack/daily	(on the double-track, 200 trains) : 104 (min.)		

주1) Korail(경부선외 9개 주요노선 5분이상 지연)  
주2) 열차당 평균지연시간 추정 : 총지연시간의 합/각 연도열차수의 합 = 0.52분/열차,  
\*복선 : 일일 열차수 200×0.52분 = 104분/일,  
\*단선 : 100×1.06분 = 106분/일

(변동율 2% 감안)이 산출되었다. 여기에 열차지연복원예비시간 104분을 더하면 총불가시간은 576분으로서 일일 총시분 중 40%의 불가시간이 도출된다.

**2.3.2 선로이용율과 열차운영 가용시간 및 불가시간 분석**

Fig. 4에서 일일 1,440분 가운데 60%인 864분이 가용시간이며, 열차운영시간(864분)에 열차지연예비시간(104분)을 더하여 총 968분 동안 열차Dia를 배분할 수 있다. 여기서 선로용량은 하루 중 열차지연에 대비한 예비시간을 차인하고 총운영시간만을 기준으로(60%) 산정된 값의 개념이다. 만약 선로용량 포화상태로 운용 중 열차지연이 발생하면 일일 영



**Fig. 4** Slot plot on train operation, and unavailable time in a day

업시간을 초과하여 순차적으로 열차배열이 뒤로 밀린다. 더 나아가 예비시간(104분)까지 초과할 경우, 유지보수시간도 감소시킬 수 있다. 그러므로 운영요원 및 차량운용계획과 상호 연계된 선로이용율 설정시 운영상 혼란을 예방하도록 적정한 여유시간도 확보되어야만 한다

**3. 결 론**

본 연구는 선로이용율을 수치화 하는 과정에서, Korail 철도연장길이와 보유장비, 평균구간키로 및 작업방법 등 업무특성을 반영하였으며, 또한 일일 작업할당시간과 5개년 열차지연통계 자료를 정리하여 분석하였다. 덧붙여 열차Dia 복원예비시간 설정을 면밀히 분석하고 기존의 개략적인 비율과 검증이 미흡하던 주요 인자들을 보완하여 구체적 수치를 추정하였다.

그 결과 일반철도 선로이용율은 60% 범위로 설정함이 타당함을 입증하였다. 선로이용율 구성요소에 대한 명확한 수치화에 따라 열차운영계획 수립이 보다 합리적으로 이루어질 것이며, 선로이용율에 대한 논란이 일정 부분 해소될 것으로 기대한다.

향후 과제는 본 연구에서 미진했던 광역 및 도시철도 등의 운행빈도가 많은 선로시설물에 대한 적정한 열차설정시

**Table 11** Analysis of daily work hours and unavailable hours

Classification	Trunk total work hours (cycle)			remark	
	1	2	3		
Track Repair time	1 <sup>st</sup>	101.0	203.0	305.0	2 cycle/year
	2 <sup>nd</sup>	60	60	60	1cycle/12 years (minimum 1hour)
	Sub-total	161.0	263.0	365.0	(1 <sup>st</sup> + 2 <sup>nd</sup> working time)
Ancillary operation time	Electric-power, aux. work	90.0	90.0	90.0	Non-electrification segment is a spare time include
	Preparation and cleanup	60.0	60.0	60.0	Standardized 2 <sup>nd</sup>
	Power-off confirmation	30.0	30.0	30.0	Opening and closing: before and after 30 minutes
	Worksite travel time	20.0	20.0	20.0	Standardized round trip
Total	368.0	472.0	576.0	Rate-of-change (2%)	
Train delays recovery slack	104.0	104.0	104.0	(average daily)	
Total unusable time (%)	472(33%)	576(40%)	680(47%)	Daily service impossible time ratio(%)	

주1) 작업소요시간 제약 기준(전력, 기타 작업90분), 작업시간 변동율은 0.02 적용  
주2) 1종작업시간 산출: INT((본선연장×주기2회)/(장비성능Km/h×장비보유수×연간작업일)×60)=203

간과 유지보수시간 분석이다. 그리고 콘크리트도상 노선에 대한 적절한 유지보수시간 설정 등과 선로이용율 범위 설정에 대한 연구가 필요하다.

### 참고문헌

- [1] U.I, Kim (1999) *Recent Driving Theory*, (Corporation) Korea Railroad Operation Technology Association.
- [2] KNR (1989) *Line Capacity Calculation*, KNR.
- [3] H.S, Ki (2008) Master's thesis, *The study of line capacity calculation which considers a train high-speeding and a diversification*, University of Seoul.
- [4] H. Kim, et al. (2006) *Development of Methods for Capacity Management of Inter-regional Railway*, KOTI.
- [5] Korea Rail Network Authority (2010) *Efficient infrastructure, railway facilities for rail capacity calculation and management research*, Korea Rail Network Authority.
- [6] Hiroshi Kubota (1997) *Railroad Engineering Handbook*, SEIZANDO-SHOTEN PUBLISHING CO., LTD.
- [7] Train Diagram Research Association (2008) *Train Diagram Service Management*, (Foundation) Transportation Research Association, p. 79.
- [8] AREMA (1999) *AREMA Manual of Railway Engineering*, American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association, Section 4.7 Line capacity.
- [9] FTA (1996) *TCRP Report 13-Rail Transit Capacity(3. Train Control and Signaling)*, TRB NRC.
- [10] Réseau Ferré de France (2008) *Document de référence du réseau ferré national Horaire de service 2010*, RFF.
- [11] UIC (1996), *405-R, Links between railway infrastructure capacity and the quality of operations, 1st edition*, UIC, Paris.
- [12] UIC (2004) *Leaflet 406: Capacity*, UIC, Paris.
- [13] Erhan Kozan, Roberd Burdett (2004) *A Railway Capacity*

*Determination Model and Rail Access Charging Methodologies*, Queensland University of Technology, Australia, February 2005, 28(1), pp. 27/45.

- [14] Jianxin Yuan, Ingo A. Hansen(2005), *Optimizing capacity utilization of stations by estimating knock-on train delays*, Transportation Research Part B 41 (2007) 202-217.
- [15] M. Abril, F. Barber, L. Ingolotti, M.A. Salido, P. Tormos, A. Lova (2006) *An assessment of railway capacity*, Transportation Research Part E 44 (2008) 774-806.
- [16] Sh. Kim (2011) Deterioration Evaluation of Railway Line Segments Using Analytic Hierarchy Process, *Journal of the Korean Society for Railway*, 14(6), pp. 569-574.

접수일(2012년 6월 18일), 수정일(2012년 7월 27일),  
게재확정일(2012년 10월 30일)

**Hyungseo Ki** : grand0303@ yahoo.co.kr

Department of Transportation Engineering, University of Seoul, 163 Siripdaero (90 Jeonnong-dong), Dongdaemun-gu, Seoul 130-743 Korea

**Dongjoo Park** : djpark@ uos.ac.kr

Department of Transportation Engineering, University of Seoul, 163 Siripdaero (90 Jeonnong-dong), Dongdaemun-gu, Seoul 130-743 Korea

**Dongsoo Kim** : tomcat25@ naver.com

SunKoo Engineering(Co) Dept. Railroad, Sunkoo Square, 85 Anyangpangyo-ro, Uiwang-si, Gyeonggi-do, Korea

**Haengbae Kim** : habkim@hanmail.net

SunKoo Engineering(Co) Dept. Railroad, Sunkoo Square, 85 Anyangpangyo-ro, Uiwang-si, Gyeonggi-do, Korea