

국내 선로용량 산정방법의 문제점 및 개선방안 검토

An Investigation to Problems and Improvement Plan on Calculating Railway Track Capacity

오석문*[†], 김경민*, 장운호**, 최유복**

Suk-Mun Oh*[†], Kyungmin Kim*, Yoon-Ho Jang**, You-Bok Choi**

Abstract Many researchers have presented their work on the railway track capacity. Particularly, many of researchers, engineers and government officers paid attention to this theme at the beginning of competitive operation scheme in the Korean railway. This paper aims at investigating problems and misunderstanding of concepts and definitions on the railway track capacity, then proposing an improvement points to overcome the problems.

Keywords : Railway, track, capacity

초 록 현재까지 선로용량을 주제로 국내외에서 많은 연구들이 수행되었다. 특히 국내에서는 고속철도 등의 경쟁운영환경에서 선로용량 배분정책 시행을 앞두고 선로용량에 대한 명확한 개념 정립과 정확한 산정방법에 관심이 높아지고 있다. 본 논문에서는 최근에 두드러진 선로용량의 개념 정의 측면에서 문제점을 검토하고 개선방안을 제시하고자 한다.

주요어 : 철도, 선로, 용량

1. 서 론

현재까지 선로용량을 주제로 국내외에서 많은 연구들이 수행되었다. 특히, 최근 국내에서는 고속철도 등의 경쟁운영환경에서 선로용량 배분정책 시행을 앞두고 선로용량에 대한 개념의 정립과 산정방법에 관심이 높아지고 있다.

그러나 선로용량에 대해 높아진 관심과는 반대로 선로용량의 개념이 불명확하게 해석되고, 정의가 모호하게 이해되어 정책 기관과 관련 업계에서 혼동이 야기되고 있다. 대표적인 예로 국내 일부 선로구간 (예, 시흥 ~ 금천구청)에 산정된 선로용량보다 더 많은 열차가 운행되고 있어 선로용량의 개념자체가 불명확하다는 비판에 직면한 바 있다.

뿐만 아니라, 최근에는 선로용량을 산정함에 있어 기존에 보편적으로 적용한 선로 이용률 (65% ~ 75%) 보다 크게 상회하는 값을 적용함에 따라, 일부 관련 산업계 엔지니어들의 우려의 목소리가 들리기도 하였다.

† 교신저자: 한국철도기술연구원 녹색교통물류시스템공학연구소 (smoh@krri.re.kr)

* 한국철도기술연구원 녹색교통물류시스템공학연구소

** 한국철도시설공단 녹색연구원

Table 1 Variant definitions on railway track capacity

Articles	Definitions to railway track capacity
Peat Marwich and Partners (1997)	“Capacity is the level of traffic (i.e. number of trains per day) that a rail line can accept without exceeding a specified limit of queuing time ”.
Kahan (1979)	“The ability of the carrier to supply as required the necessary services within acceptable service levels and costs to meet the present and projected demand.”
Krueger (1999)	“Capacity is a measure of the ability to move a specific amount of traffic over a defined rail line with a given set of resources under a specific service plan .”
TRB-TCRP (2003)	“Line capacity is the maximum number of trains that can be operated over a section of track in a given period of time, typically 1 hour .”
Harrod (2009)	“Capacity is measured as the count of valid train paths over a fixed time horizon within an optimal master schedule ”.
Hansen (2008)	“The maximum number of trains that may be operated using a defined part of the infrastructure at the same time as a theoretical limiting value is not reached in practice.”
UIC-406	<p>“A unique, true definition of capacity is impossible.”</p> <p>The capacity of any railway infrastructure is:</p> <ul style="list-style-type: none"> - the total number of possible paths in a defined time window, considering the actual path mix or known developments respectively and the IM's own assumptions; - in nodes, individual lines or part of the network; - with market-oriented quality. <p>This must also take account of the IM's own requirements.</p>

이와 같은 선로용량의 개념과 정의의 모호성과 관련된 문제는 비단 국내에 국한된 문제만은 아니다. Table 1은 선로용량과 관련한 많은 문헌들에서 다양한 방법으로 선로용량을 정의하고 있음을 통하여 파악할 수 있다. 뿐만 아니라 UIC 406에서는 선로용량을 간단히 정의하는 것은 사실상 불가능하다고 선언하고 있다.

한국철도시설공단에서는 이와 같은 문제에 대응하기 위하여 ‘철도건설 경쟁력 강화를 위한 철도용량편람 제정연구’ 용역을 발주하였다. 본 논문은 상기 과제의 수행과 관련하여 국내에서 통용되는 선로용량 산식의 개념 정의 측면의 문제점들을 점검하고 대안을 제시하고자 한다.

국내외 선로용량 산정방법에 관한 기존 연구의 방법론은 (i) 해석적 모형(Analytical model) 기반의 방법, (ii) UIC-406 기반의 방법, (iii) 최적화 모형(Optimization model) 기반의 방법, (iv) 시뮬레이션 모델(Simulation model) 기반의 방법 등으로 구분해 볼 수 있다.

이중에서 해석적 모형 기반의 방법은 현재 국내에서 가장 광범위하게 활용하고 있을 뿐만 아니라 다른 방법에 비하여 적용이 매우 용이한 장점을 가지고 있다. 다만, 적용의 용이성을 위해 복잡한 현실조건을 지나치게 단순화함에 따라 산정 결과의 정확성이 다소 떨어지는 단점을 불가피하게 내재하고 있다.

반면 UIC-406 기반의 방법은 명시적으로 주어진 스케줄을 대상으로 판단하므로 산정 결과의 정확성이 높은 장점을 가지고 있다. 그러나 이 방법은 별도의 전문화된 소프트웨어를 활용해야 하고, 소프트웨어에 입력해야 하는 요소들이 매우 복잡하여 해석적 모형 기반의 방법과 같은 적용의 용이성을 기대하는 것은 어렵다.

최적화 모형 기반의 방법과 시뮬레이션 모델 기반의 방법은 대체로 학술적인 연구에서 의해 다루어지는 반면, 실제 설계기관 및 운영기관에서의 활용 빈도가 낮은 실정이다. 이는 방법론 자체의 전문성이 높아 다양한 계층에서 광범위하게 적용하기 어려운 점을 이유로 들 수 있다.

본 논문에서는 국내에서 가장 광범위하게 활용되고 있는 해석적 모형 기반의 방법을 중심으로 선로용량의 개념과 적용시의 문제점들을 검토하고 개선방안을 제시한다.

2. 선행연구 고찰

이 절에서는 해석적 모형을 기반으로 한 선로용량 산정관련 선행연구들을 고찰한다. 저자가 알고 있는 범위에서 선로용량에 관한 최초의 해석적 모형은 Poole (1962)에 의해 식(1)과 같이 제시되었다. 여기서 t = 연속하는 두 대피역 사이의 운행시분을 나타낸다. 식(1)은 차후에 식(2)와 같이 보완되었다. 여기서 $t/2$ = 반대 방향 열차를 위한 평균 대피시간, m = 대피를 위한 지연시간을 나타낸다. 식(1)에 비해 식(2)의 ‘대피에 의한 열차지연’ 과 같은 스케줄링의 요소가 감안된 점이다.

$$N = \frac{1440}{t} \quad (1)$$

$$N = \frac{1440}{2t + t/2 + m} \times 2 \quad (2)$$

해석적 모형을 기반으로 한 방법론 중에서 Krueger (1999)는 국내 연구자들에 의해 가장 많이 소개된 문헌중의 하나이다. Krueger (1999)의 산식은 식(3)과 같다. 여기서, E_f = 시스템의 효율성 (수동 = 60%, ABS = 70%, CTC = 80%), E_t = 동쪽 행 열차의 운행시간, W_t = 서쪽 행 열차의 운행시간, V_t = 가감속에 필요한 시간을 나타낸다. 식(2)에 비해 식(3) 시스템 효율성에 관련된 비율적 요소와 차량의 성능에 관련된 요소가 추가된 점이다.

$$N = \frac{1440}{E_t + W_t + V_t} \times 2E_f \quad (3)$$

Williams의 선로용량 산식은 식(4)에서 보는 바와 같이 Krueger (1999)와 유사한 구조를 가지고 있다. 다만 Krueger (1999)와 달리 차량 성능에 관한 요소를 제외하고 교행/대피에 의한 지연시간과 같은 스케줄링의 요소를 포함한 점이 특징이다. 여기서 E = 동쪽 행 열차의

운행시간, W = 서쪽행 열차의 운행시간, n = 중간 교행역 수, a = 교행/대피 정차시간을 나타낸다.

$$N = \frac{2880(n+1)}{E+W+(n+1)a} \quad (4)$$

Burdett와 Kozan (2004)은 기본적으로 최적화 모형 기반으로 방법론을 따르고 있으나 ‘Absolute capacity’ 라는 개념의 선로용량 산식을 식(5)와 같이 제시하였다. 여기서, $C_{abs}^{l,k}$ = (1-k)구간의 선로용량 (Absolute capacity), η_i^{l-k} = 열차종별-i의 구성비, $\mu_i^{l \rightarrow k}$ = 방향 (1→k)에서 열차종별-i의 구성비, $SRT_i^{l \rightarrow k}$ = 방향 (1→k)에서 열차종별-i의 운행시간을 나타낸다. 식(5)의 특징은 열차종별의 구성비와 같은 또 다른 스케줄링의 요소가 포함된 점이다.

$$C_{abs}^{l,k} = \frac{T}{\sum_{i=1}^n \eta_i^{l-k} (\mu_i^{l \rightarrow k} \times SRT_i^{l \rightarrow k} + \mu_i^{k \rightarrow l} \times SRT_i^{k \rightarrow l})} \quad (5)$$

Rudjanakanoknad, Deethanasuwan, Wongchaivit (2014)이 소개한 Scott의 산식은 식(6)과 같다. 여기서 t_b = 폐색구간 통과시간, t_w = 폐색 작동시간, 그리고 SF = 스케줄링 요소이다. SF 값은 열차의 밀도가 높은 경우 0.7, 열차 밀도가 높지 않은 경우 0.8 ~ 0.9 까지 가능한 것으로 제시하고 있다.

$$N = \frac{T}{t_b + t_w} \times SF \quad (6)$$

UIC 405-1R은 현재 UIC 406으로 대체되어 공식적인 기준으로 활용되지는 않으나, 본 논문에서 참고하기 위해 검토하면 아래 식(7)과 같다. 여기서, t_{fm} = 최소 운행시격의 평균값, t_r = 운행시간의 여유시간으로서 선로 이용률 60%인 경우 $t_r = 0.67 t_{fm}$ 으로 산정하고 선로 이용률이 75%인 경우에는 $t_r = 0.33 t_{fm}$ 로 산정한다. 마지막으로 t_{zu} = 추가적으로 고려하는 시간으로서 $t_{zu} = 0.25 \times a$ (a = 고려대상 선구의 수)로 산정한다.

$$N = \frac{T}{t_{fm} + t_r + t_{zu}} \quad (7)$$

Pachl and White (2004)는 식(7)과 관련하여 최소 운행시격의 평균값(t_{fm}) 계산 방법을 식(8), 식(9), 식(10)과 같이 비교적 상세하게 제시하고 있다. 여기서, n = 총 열차수, n_i = 열차종별- i 의 열차수, f_{ij} = 열차조합의 상대적 빈도 (열차순서가 $i \rightarrow j$ 인 경우), t_{ij} = 열차순서가 $i \rightarrow j$ 인 경우 최소 운행시격, η = 선로 이용률이다.

$$f_{ij} = n_i \times n_j / n^2 \quad (8)$$

$$t_{fm} = \sum t_{ij} \times f_{ij} \quad (9)$$

$$\eta = n \times t_{fm} / T \quad (10)$$

Mussone and Calvo (2013)는 DB의 선로용량 산정방법을 식(11)과 같이 소개하고 있다. 여기서, C^l = 구간 1의 선로용량, \bar{h}^l = 구간 1의 평균시격, $\Delta\bar{h}^l$ = 운행시격 편차의 평균을 나타낸다. 식(11)의 특징은 운행시격의 편차의 개념을 적용하고 있다는 점이다. 운행시격의 편차는 일종의 불확실성의 영역으로서 식(7)에서 고려하는 운영여유와 개념적으로 상통한다는 점이 저자의 의견이다.

$$C^l = \frac{T}{\bar{h}^l + \Delta\bar{h}^l} \quad (11)$$

3. 국내 선로용량 산정방법의 문제점 및 개선방안

앞 절에서 소개한 선행연구의 다양한 선로용량 산정방법 중에서의 가장 공통된 부분만 선택하면 식(12)와 같다. 이것은 식(12)에 나타난 3 가지의 요소는 선로용량에 관한 대부분의 연구자들이 공감하는 요소라는 의미로 해석해 볼 수 있다.

$$\text{선로용량}(C) = \frac{\text{시간적범위}(T)}{\text{운행시격}(h)} \quad (12)$$

국내 선로용량 산정방법의 문제점을 재검토 하고자 본 논문에서는 식(12)의 3가지 관점을 중심으로 먼저 검토해보는 방법을 선택한다.

3.1 선로용량(C) 정의의 문제점

국내 선로용량 정의 측면에서의 문제점은 (i) 선로용량이 한계 값으로서의 의미와 사용량으로서의 의미 사이에서 명확한 구분 없이 통용되어 제3자의 이해에 혼동을 야기해왔다는 문제와 (ii) Table 2에서 제시되는 바와 같이 해외 문헌에서 소개된 다양한 선로용량의 개념이 (i)에서 소개된 의미상의 불명확성과 연계되어 혼란이 가중된 측면으로 구성된다고 본다.

Table 2 Variant terminology on the railway track capacity

TCRP	Krueger (1999)	UIC-406	Korea
Line capacity	Theoretical (Physical) capacity	Theoretical (Maximum) capacity	“(이론적) 한계용량”
	Practical capacity		“실용용량”
	Available capacity		“운영(사용)용량”
Car capacity			
Train capacity			
Design capacity			
Achievable capacity			

제3자의 관점에서 이해할 때 '선로용량'이라는 개념은 '용량'이라는 단어가 주는 어감에 의해 한계 값의 의미로 통용되는 것이 타당할 것이다. 그러나 선로용량이란 Table 1의 UIC에 의한 정의에서도 알 수 있는 바와 같이 해당 노선에 구비된 설비(infrastructure)의 요건에 의해서만 정의되지 않고, 해당 노선을 운행하는 다양한 종류의 철도차량들이 가진 성능과 운영규칙(Operation scheme)이 선행적으로 정의된 이후에 산정할 수 있다. 지금까지 국내 선로용량 산정 값이 한계 값과 사용량 사이의 개념적 혼동에 빠졌던 이유는 운영규칙이라는 선행 규칙을 제3자가 쉽게 이해하지 못했거나, 관련분야 전문가들이 이점을 제3자에게 명쾌하게 납득시키지 못하였기 때문으로 판단된다. 이와 같은 원인으로 특정구간의 선로용량 산정 값보다 상회하는 실제 열차운행횟수가 발생하는 문제점이 도출된다. 따라서 선로용량의 개념 자체는 한계 값의 의미를 명확히 하여 용어를 사용해야 할 것이며, 선로용량을 산정할 때 역시 한계 값으로서의 개념을 명확히 하고 산정해야 할 것이다.

제3자 뿐만이 아니라 관련분야의 담당자들에게도 개념상의 혼동을 야기하는 것이 Table 2에서 소개되는 (이론적) 한계용량이다. 앞서서도 언급한 바와 같이 '용량'이라는 단어 자체가 한계 값의 의미를 내포하고 있음에도 불구하고 '이론적 한계'라는 수식어가 붙어 마치 한계 값의 종류가 다양한 것과 같은 의미를 제공한다. 이는 단순한 의미의 제공을 넘어서 현실적으로 채택되지 않는 운영규칙 (예컨대, 모든 KTX 열차가 선행으로 운행하고 다음으로 새마을, 무궁화 및 화물열차 순으로 운행한다는 개념) 을 상정한 선로용량 산정 값을 고려함으로써 한계 값의 상한을 현실보다 높게 설정하고 그 이하에서 형성되는 값들이 개념적인 모호성에 빠지게 되었다. 따라서 선로용량의 개념을 명확하게 하기 위해서는 앞에서 소개한

현실성 없는 예시의 상황을 배제해야 할 것이다.

결론적으로 선로용량의 개념은 용어 자체가 부여하는 한계 값으로서의 의미에 맞게 정립되어야 하며, 해당 노선의 시설과 차량의 사양을 고려할 뿐만 아니라, 현실적인 운영규칙이 선행으로 전제된 상황에서 산정되어야 할 것이다.

3.2 선로 이용률 (f) 개념의 문제점

선로용량에 관한 가장 기본요소들만 고려된 식(12)를 국내에서 가장 광범위하게 이해되는 산식에 맞게 변형하면 식(13)과 같다. 국내에서 이해되고 있는 선로 이용률(f)의 개념은 다분히 야마기시의 선로용량 산정방식을 근간으로 하고 있다. 야마기시 산식에서 선로 이용률에 대한 개념은 식(14) 및 식(15)와 같이 비교적 구체적으로 정의되어 있다.

$$C = \frac{T}{h} \times f \quad (13)$$

$$f = \frac{N}{N'} \quad (14)$$

여기서, $N = N'$ 중 실제의 계획(대피역 설비의 제약)상에 이용할 수 있는 편도 하루 최대 총 열차 횟수; $N' =$ 모든 열차가 자유로이 대피 할 수 있는 것으로 가정한 경우, 계산상 하루 동안에 운전할 수 있는 편도 최대 총 열차횟수(주어진 선로의 상태와 사용방법 하에서) 이다. 따라서 저자는 본래 야마기시 산식에서 선로 이용률은 대피역 설비의 정도와 밀접하게 관계되는 파라미터이며, 대피설비의 설치 정도를 판단하는 지표로서의 활용 목적을 가진다고 판단하고 있다. 야마기시의 방법에서는 선로 이용률과 관련하여 식(4)와 같은 다항식을 제시하면서 해당 다항식의 유효한 최소값과 최대값의 범위를 각각 0.6과 0.75로 제시하고 있다.

$$f = 0.84 - \frac{N'}{400} + \frac{N'^2}{300,000} \quad (15)$$

식(15)를 해석적인 관점에서 고찰하기 위해 $N' = 0$ 으로 설정할 경우 $f = 0.84$ 를 얻는다. 흥미로운 점은 식(15)의 함수가 아래로 볼록한 최소값을 갖는 함수라는 점이다. 식(15)에 의한 선로 이용률의 최소 값은 $N' = 375$ 일 때 $f(\text{최소 값}) = 0.37125$ 이다. 반면 $N' \geq 810$ 인 경우 $f > 1.0$ 의 값을 갖게 된다. (물론 이렇게 큰 열차 운행 횟수는 현실적으로 불가능 할 것이다.)

Fig. 1에 따르면 열차횟수가 작을수록 선로 이용률은 높고 열차횟수가 클수록 선로이용률은 작아지나, 열차횟수가 극대적으로 커지면 선로 이용률이 1보다 크게 된다. 그러나 이와 같은 개념은 상식적으로 공감할 수 있는 선로 이용률의 개념과 배치된다.

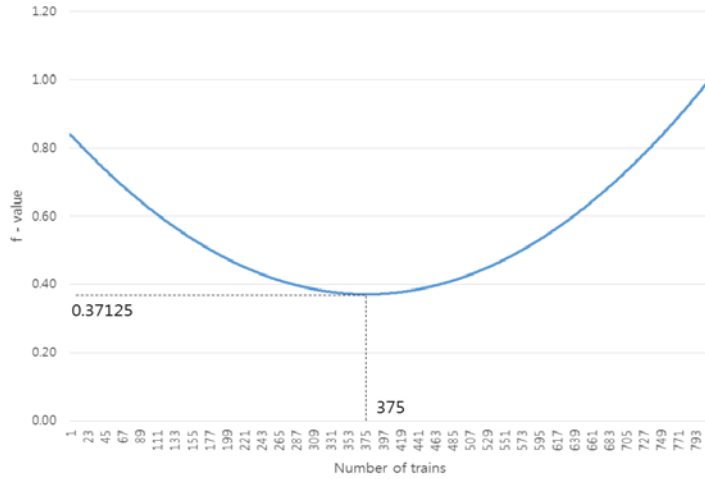


Fig. 1 f - value with respect to the number of trains

결론적으로 기존 야마기시 산식에서 선로 이용률은 모든 역에서 열차가 자유롭게 대피가 가능하다고 전제하는 상황에서 설정 가능한 열차횟수 대비 대피설비의 현실적 제약 상황에서 설정 가능한 열차횟수의 비율을 표시하는 것으로 의미가 강하고 식(16)에서와 같이 ‘선로 이용률’ 이라고 하는 용어 자체로부터 상식적으로 유추할 수 있는 개념과는 차이가 있다는 점이 저자의 견해이다.

$$f = \frac{\text{실제 열차 설정시간}}{\text{전체시간}} \quad (16)$$

그러므로, 철도용량을 새롭게 정의하고자 하는 현재 시점에서 선로 이용률에 대한 개념은 당초 야마기시 방법에서 적용 취지를 재고하고, 용어 자체에 대한 상식적이 판단을 기반으로 공감이가 가능하도록 보완해서 적용할 필요가 있다고 판단한다. 즉 선로 이용률은 철도용량을 산정하기 위해 선행적으로 입력하는 입력 값이 아니라, 산정된 철도용량 대비 계획된 열차횟수의 비율을 나타내는 문자 그대로 주어진 선로에 대한 사용량의 나타내는 지표가 되어야 할 것이다.

3.3 시간적 범위(T)의 개념과 문제점

식(12)의 분자는 선로용량을 산정하는 시간적 범위에 해당한다. 국내 선로용량 관련 연구에서는 시간적 범위에 관한 검토가 이루어진 사례가 있다. 그러나 선로용량 산정의 시간적 범위에 대해 아직까지 통일된 견해가 없이 개인적인 의견만 존재하는 상황이다. 본 논문에서는 기존에 검토되었던 다양한 시간적 범위의 장단점을 검토하고, 통일된 개념을 정립하기 위한 기반을 제공하고자 한다.

Table 3에서는 다양한 시간적 범위에 대한 장단점 검토 결과를 제시한다. 24[h]은 국내에서 가장 일반적으로 활용하고 있는 야마기시 산식에서 채택하는 시간적 범위이다. 야마기시 산식에서 채택하는 시간적 범위인 24[h]은 식(13), (14) 및 (15)와 불가분의 연관관계를 가지고 있다. 즉 식(15) 자체와 식(15)의 최대값 및 최소값은 24[h]의 시간적 범위를 고려한 상황에

Table 3 Pros and cons for different time horizons on track capacity

Categories	Pros	Cons
24[h]	기존 야마기시 산식의 개념에 잘 부합 이용률에 대한 기존 개념과 연계 용이	열차가 운행하지 않는 시간 (차단시간)을 포함 (비 논리적인 요소) 침두와 비침두시 운행시격의 차이에 대한 고려 미흡
19.5[h]	열차가 운행하지 않는 시간 제외함으로써 논리성 확보	기존 이용률 개념과 차별화된 개념 정의 필요 침두와 비침두시 운행시격의 차이에 대한 고려 미흡
1[h]	침두 시간대를 중심으로 한 용량정의 가능: 용량이라는 사전적 의미에 가장 잘 부합	기존 이용률 개념의 완전한 재정립 필요 열차의 운행시간 고려 미흡 (예, 서울 → 부산 운행시간)
With train running time	노선 전체 구간 중 추월/대피에 의한 시간변화의 영향을 고려 가능	열차별 운행패턴이 동일/반복적인 경우 추가 고려의 필요성 저하 '출발시격 + 운행시간' 개념의 이중성 → 개념의 단순 명료성 저하 시발역 부근의 시간적 Empty 공간에 대한 추가적 설명의 필요성 발생 가능
Without train running time	용량의 개념이 출발 (또는 도착) 시격이라는 개념으로 단순 명료화 가능	노선 전체 구간의 영향 고려 제한적

서 도출된 것이다. 따라서 최근 국내 고속철도의 선로용량 산정에서 선로 이용률을 85% 수준으로 고려하는 것은 기존의 시간적 범위를 24[h]로 고려하는 것과 차별화해야 할 필요가 있다.

$19.5[h] = 24[h] - 3.5[h]$ (선로 차단시간) - $1[h]$ (주간 점검시간)으로 산정되는 시간적 범위이다. 이와 같은 시간적 범위는 최근 고속철도의 선로용량 산정 값과 관련하여 사용된 개념으로 24[h]과 개념적으로 대동소이하여 별도의 차별성을 찾기는 곤란하다.

1일 열차설정 (사용량) 측면에서는 침두와 비침두 시간대에 따라 서로 다른 값이 된다. 그러나 앞 절에서 저자는 선로용량이 한계 값의 개념으로 적용되어야 함을 주장하였으므로 24[h] 또는 19.5[h]의 시간적 범위의 필요성을 낮다고 본다. 이러한 개념에 대응하여 국내 일부 연구에서는 1[h]을 시간적 범위로 해야 한다고 주장하고 있다. 이것은 한계 값으로서의 선로용량 개념에 보다 잘 부합하지만 다음과 같은 두 가지 측면에서 보완될 필요가 있다.

먼저 1[h] 단위의 선로용량은 출발/도착의 열차시격을 중심으로 선로용량을 산정하는 개념이다. 그러나 서로 다른 열차종별이 운행도중 대피/추월하는 경우 출발지의 일정한 시격은 다른 종착지의 시격이 설정될 수 있다. 즉 노선에 대한 열차의 운행시간에 대한 고려가 미흡해지는 측면이다.

두 번째는 열차운행 패턴에 있어서 규격화에 대한 고려가 미흡해지는 측면이다. 국내에서는 열차운행 패턴을 규격화하는 열차 스케줄링 담당자들의 전통이 있다. 이는 열차운행 패턴이 규격화되는 경우 여러 가지 좋은 점이 있기 때문이다. 열차운행 패턴의 1 규격은 복수의 열차종별로 구성되는 출발패턴이 1일중 반복적으로 나타나는 기본 단위를 의미한다. 이러한 1 규격의 시간적 범위가 1[h] 시간 범위와 호환되기 어려운 경우가 존재한다.

본 논문 저자의 견해는 시간적 범위 역시 선로용량 산정을 위해 운행규칙에 관한 사전 전제 조건에 따라 정의되어야 한다고 본다. 예를 들어, 시간적 범위가 2[h]인 기본규격을 전제하는

경우 시간적 범위는 2[h]이면 되고, 반드시 한 가지의 값으로 사전에 결정할 필요가 없다고 본다.

3.4 운행시격(h)의 개념과 문제점

식(12)의 분모는 운행시격을 의미한다. 운행시격은 연속하는 두 열차 사이의 시간적인 간격을 나타내는 개념으로 열차가 얼마나 빈번하게 운행하는가를 나타내는 척도이다. 연속하는 두 열차의 출발시각과 출발시각의 차이로 나타내는 출발시격 또는 도착시각과 도착시각의 차이로 나타내는 도착시격으로 구분해 볼 수 있으나 출발과 도착을 구분하지 않고 단순히 ‘운행시격’이라는 용어가 사용된다.

그러나 운행시격은 단순한 상수가 아니며, 선로상에 운행하는 차량의 가속속 성능, 신호시스템의 종류 뿐만이 아니라 열차 운행규칙상 대피/추월의 방법에 따라 달라진다. 식(19)은 차량의 성능 및 신호시스템의 형태에 따른 운행시격의 정의이다. 여기서, h = 열차시격[초], BL = 패색길이[m], D_w = 정차시간[초], SD = 상용제동거리[m], L = 열차장[m], V_{ap} = 최대 접근 속도[m/s], a = 평균 가속도[m/s²], d = 제동비[m/s²], M : 운영한계(여유), 정차시간 변화 감안을 나타낸다.

$$h = \frac{2BL/V_{ap} + D_w + \sqrt{2L/a}}{1 - M} \quad (17)$$

또한 식(18) 및 (19)는 야마기시 산식의 분모 부분에 해당하는 항목으로서 열차의 횡수비, 군수비 및 대피/추월의 관계에 따른 운행시격의 변화를 나타낸다. 여기서, h' = 속행하는 고속열차 상호 시격, v' = 저속열차 횡수비, v = 고속열차 횡수비, w = 열차 군수비, d = 열차 대피에 따라 발생하는 운행시분 증가 추정치를 나타낸다.

$$h = h' \times (v' + \sum v - \sum w) + \sum wd \quad (18)$$

$$d = \frac{P}{2q} (tn' - tn) + r + u - \left(1 - \frac{P}{2q}\right) (s' - s) \quad (19)$$

운행시격의 산정은 선로용량 산식의 핵심 분야라고 할 수 있다. 아직까지 식(17)의 차량 및 신호시스템을 감안한 운행시격과 식(18) 및 (19)와 같은 대피/추월을 감안한 운행시격의 통합에 대한 고려가 부족한 실정으로 이 분야는 추가적인 연구가 필요한 실정이다.

참고문헌

- [1] E. C. Poole (1962) Cost – A tool for railroad management, New York, Simmons Boardman.
- [2] H. Krueger (1999) Parametric modeling in rail capacity planning, *Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference*.
- [3] UIC Leaflet 405-1, 1983. Method to be Used for the Determination of the Capacity of Lines, International Union of Railways.
- [4] UIC Leaflet 406, 2004. Capacity, International Union of Railways.
- [5] J. Pachl and T. White (2004) Analytical capacity management with blocking times, Transportation Research Board: 83rd Annual Meeting.
- [6] Mussone and Calvo (2013) An analytical approach to calculate the capacity of a railway system, European Journal of Operational Research Vol. 228.