

UIC 방식을 이용한 경부선 선로용량 산정연구

A study of Gyung-Bu Line Capacity Analysis by Using UIC Technique at a Railway

김연규

(교통개발연구원 연구위원)

목 차

<p>I. 서론</p> <p>II. 국내철도 선로용량 산정의 문제점</p> <p style="margin-left: 20px;">1. 선로용량 산정방법</p> <p style="margin-left: 20px;">2. 국내 선로용량 산정방식의 문제점</p> <p>III. UIC 선로용량 산정방식</p> <p style="margin-left: 20px;">1. 개요</p> <p style="margin-left: 20px;">2. UIC방식의 기본원리</p> <p style="margin-left: 20px;">3. 계산방법</p>	<p>IV. UIC방식을 이용한 경부선 선로용량 산정</p> <p style="margin-left: 20px;">1. 용량산정구간 선정 및 기초자료수집</p> <p style="margin-left: 20px;">2. 최소열차 차두간격의 계산</p> <p style="margin-left: 20px;">3. 평균열차 차두간격의 계산</p> <p style="margin-left: 20px;">4. 구간별 용량산정</p> <p>V. 결론</p>
--	--

I. 서론

열차의 운행은 도로와 같이 용량제약을 받으며 이에 따라 선로구간별로 용량을 산정하여 그 범위 내에서 운행하게 된다. 국내에서 현재 선로용량을 산정하는 방식은 일본인 야마기시 데루오(山岸輝雄)가 경험에 의해 작성한 방식으로 1945년에 적용된 이후로 현재까지 사용하고 있다.

국내의 지역간 철도 운행 현황을 살펴보면 경부선을 주 간선으로 하여 장항선, 호남선, 전라선, 복선 등 주요 노선이 지선으로 연결되어 있는 서울 지향형 노선 체계로 경부선 수도권 구간에 철도수요가 집중되어 있다. 이러한 수요 행태로 인하여 경부선 서울-대전구간은 이미 선로용량이 한계에 도달하고 있어서 이와 연결되어 있고 철도 수요가 잠재되어 있는 호남선, 장항선 등에 운행 회수를 증설 할 수가 없는 실정이다. 그런데 경부선 일부 구간은 임시 열차 등의 편성 방식으로 계산된 선로용량보다 용량 이상으로 운행되고 있어서 현재 사용되고 있는 선로용량 산정 방식에 문제점이 있음을 알 수 있다.

따라서 본 연구는 국내에서 사용하고 있는 용량산정방법을 분석하여 선로용량에 영향을 주는 요소 및 산정방법의 문제점을 파악하고, 유럽에서 현재 사용되고 있는 UIC 방식과 같은 새로운 선로용량 산정방식의 이론적 내용을 고찰하고 이를 경부선 선로용량 산정에 적용하여 기존방법과 비교하고자 한다.

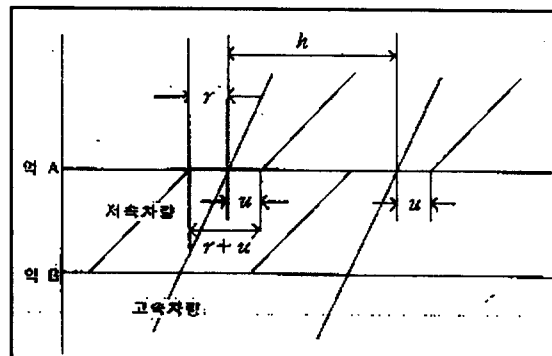
II. 국내 철도 선로용량 산정의 문제점

1. 선로용량 산정방법

철도청에서 현재 사용하고 있는 철도용량산정방법은 일본인 야마기시 데루오(山岸輝雄)가 작성한 선로용량 산정식을 근간으로 하고 있다.

1) 야마기시(山岸)식의 기본원리와 형태

야마기시식은 실제 운행표를 기준으로 하여 열차의 추월 및 대피에 따른 지연시분에 착안하여 유도되었는데 최대 운전시분이 소요되는 역간을 최저속열차가 운전하는 총시분과 그 역 사이에서 저속열차가 전(前) 열차를 대피하는데 따른 지연시분과의 합이 1일 작업시간과 동일하다는 근거에서 산출하게 된다. 즉 최저속열차가 고속열차의 운행을 위해 대피하기 위한 지연시분과 운전하는 총시분의 합이 24시간이다.



$$N = \frac{f \cdot T}{h(v' + \Sigma v - \Sigma w) + \Sigma wd}$$

$$d = \frac{p}{2q}(t'_n - t_n) + r + \mu - (1 - \frac{p}{2q})(s' - s)$$

- v' : 저속열차회수비
- v : 고속열차회수비
- p : 해당구간의 총역간수
- q : 해당구간의 총대피역간수(시발역, 종착역은 대피역에 포함)
- t'_n : 저속열차의 1구간 평균운전시분(단선의 경우는 상행고속열차)
- t_n : 고속열차의 1구간 평균 운전시분
- s' : 저속열차의 각역에서의 정차시분
- s : 고속열차의 각역에서의 정차시분
- f : 선로이용률
- h : 속행하는 1군의 고속열차상호 운전시격
- w : 편도 전열차에 대한 임의종류 고속열차의 군수비(群數比)
- r : 대피역에 도착할 선차의 저속열차와 후차의 고속열차사이에 필요한 최소시격
- u : 선발의 고속열차와 대피역을 출발하는 후발의 저속열차 사이에 필요한 최소시격

2. 국내 선로용량 산정방식의 문제점

현재 국내 철도 선로용량 산정방식의 문제점은 복선구간 용량산정방식에 의해 산출된 경부선의 경우를 실제 운행되고 있는 회수와 비교하여 보면 계산된 선로용량보다 초과하여 운행되고 있다는 것이다. 이는 용량의 기본적인 개념인 운행회수가 선로용량을 초과할 수 없다는 상식과도 어긋나고 있다. 따라서 현재 사용되고 있는 선로용량 산정방식형태와 이의 전제조건에 문제가 있는 것으로 생각된다.

<표-1> 경부선 서울-대전구간 선로용량과 운행회수 비 교
단위: 회/일

구 간	선로용량		실제운행회수		
	상행	하행	상행	하행	운행구간
서울-영등포	128	121	123	122	노량진-영등포
영등포-수원	153	155	149	149	부곡-수원
수원-천안	138	140	152	151	오산-서정리
천안-조치원	134	134	146	145	천안-소정리
조치원-대전	134	134	150	141	매포-신탄진

구체적으로 살펴보면 첫째, 열차의 위계별 정차시분과 열차종별, 열차운행조합에 따른 대피

시간 및 지연시분의 산출에 있어서 각기 다른 특성치를 반영하여야 하나 식의 형태상으로 산술 평균적인 개념으로 용량을 산정한다.

둘째는 고속군의 열차를 형성하는 새마을호, 무궁화호, 통일호는 위계가 있고 열차별 속도별 수송량이 다른데 이런 열차종별 특성치를 감안하지 않고 고속군으로 묶어 산술 평균적 계산을 하는 것은 결국 용량산정이 부정확함을 나타낸다.

셋째는 현재 사용하고 있는 선로이용률의 범위는 0.6에서 0.75인데 이 수치는 야마기시 데루오에 의해 만들어진 선로이용률 수치를 여과 없이 그대로 적용하고 있으며 현재 0.6을 표준으로 삼고 있다. 야마기시 데루오는 철도의 선로이용률은 열차의 운행빈도가 높아지면 선로이용률은 0.6으로 근접하며 운행빈도와 선로이용률은 기본적으로 반비례한다고 판단하고 있는데 선로이용률의 범위에서 계수별 기준이 없는 상태에서 선로이용률의 이분법적인 사용은 문제가 있는 것으로 판단된다.

기존의 선로이용률은 24시간 중 선로이용시간을 표시한 것이 아니고 시설의 개량과 차량 조건, 운영조건등이 고려된 실용용량 상수라 할 수 있는데 따라서 선로이용률을 0.6으로 고정화시킨 것은 문제가 있으며 위와같은 조건의 개량이 이루어지면 선로이용률도 증가되어야 할 것이다.

결론적으로 현재 사용하고 있는 선로용량산정식은 식자체의 형태 및 기본전제에서도 문제점을 내포하고 있기에 산정식자체의 개선 또는 새로운 식으로 전환이 요구된다.

III. UIC 선로용량산정 방식

1. 개요

유럽 각국이 사용하고 있는 선로용량 산정방법이 서로 달라 국가간 연결철도망의 개발과 평가상의 어려움이 발생하자 세계철도연맹(UIC)에서는 어떤 철도노선에 적용할 수 있어 서로 소속이 다른 철도노선에 대한 선로용량의 비교 및 애로구간의 판단에 적용될 수 있는 선로용량 산정방법으로 UIC식을 개발하였는데 복잡한 각국의 철도시스템에 보편적으로 적용할 수 있으며 계산식에서도 그다지 많은 자료가 요구되지 않아 사용에 편리한 장점이 있다. 이 방법은 특히 국제간 교통에 사용된 철도노선의 용량을 계산하는데 적용되도록 권유하고 있다.

2. UIC방식의 기본원리

UIC방식은 다음과 같은 기준을 기반으로 개발되었다.

- ① 어떤 철도에도 적용할 수 있어야 하므로 이 방식은 많은 자료처리능력을 필요로 하지 않는다.
- ② 과도한 비용지출이 없이 단순히 적용할 수 있어야 한다.
- ③ 이 방식에 의해 결정된 용량은 다양한 열차종별 비율과 모든 열차요소를 고려해야만 한다.
- ④ 신호설치유형과 폐색구간의 분할과 같은 노선상에 존재하는 조건들을 고려해야만 한다.

3. 계산방법

1) 용어의 정의

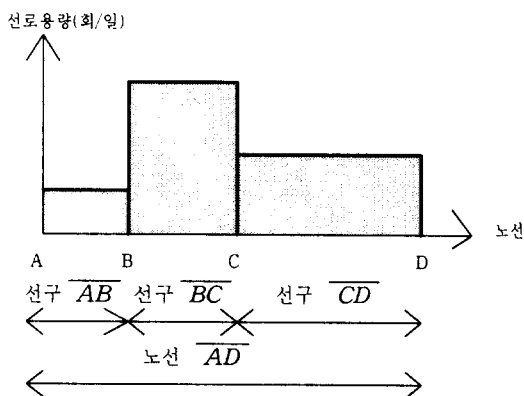
가. 용량(Capacity)

철도용량은 대상선로상에서 일정시간간격동안 운행가능한 열차회수로 표현되며, 다음 사항이 고려되어야 한다.

- 운영 및 기술적 조건
- 질적서비스 수준요소의 충족

용량은 선구내의 단위구간을 기반으로 계산되며, 단위시간당 열차회수로 표현된다.

노선용량은 노선상의 모든 선구의 용량을 한 눈에 보여주는 <그림 2>와 같은 그래프로 나타낸다.



<그림 2> 노선용량의 표현

나. 노선(Line)

노선은 두 개의 큰 역간을 잇는다. 일반적으로 몇 개의 선구로 구성된다.

다. 선구(Line Section)

한 선구는 추월 또는 교행, 교차하는 두 역간(일반적으로 서로 이웃하지는 않음)을 잇고, 그 내부 구간에는 다음과 같은 큰 변화가 없어야 한다.

- 열차운행회수(±10%)의 변화
- 열차종별 비율의 변화

라. 단위구간(Determinant Sector of Line)

단위구간(용량결정구간)은 서로 이웃하며 추월 또는 교행이 발생하는 두 역간을 잇는데 단위구간은 한 선구내에서 가장 용량이 작은 구간이다.

2) 계산식

선구의 용량계산은 단위구간과 관련된 자료를 기본으로 하고, 여기에 선구의 특성을 고려하는 항목이 추가된다.

단위구간은 일반적으로 운행시간이 가장 긴 구간이며, 최소열차차두시간(t_{fm})이 가장 크다. 모든 계산은 열차의 전방부를 기준으로 한다.

선구의 용량계산식은 다음과 같다.

$$C = \frac{T}{t_{fm} + t_r + t_{zu}} \quad (\text{회/주기})$$

C = 선구의 용량(열차운행회수)

T = 용량계산주기(1일 또는 1시간을 분으로 표시)

t_{fm} = 최소 열차차두시간의 평균값(분)

t_r = 여유시분(분)

t_{zu} = 추가시분(분)

3) 용량계산주기: T

일반적으로 어떤 다른 조건이 주어지지 않는다면, 용량은 1일(1440분)당 용량이다. 시간(60분)당 용량의 표현은 피크시 선구의 점유율을 평가하는데 가장 중요하다. 이 경우에 여유시분의 값은 감소될 수 있고, 이 방식으로 계산된 시간당 용량은 1일 단위로 계산된 평균 시간당 용량보다 크다.

또한, 하루 중 열차운행회수 또는 열차종별 운행비율에서의 큰 변화가 있거나 노선이 하루 24시간동안 운행되지 않는 경우라면, 하루 중 어떤 특정기간동안을 대상으로 용량을 계산할 필요가 있을 수도 있다.

4) 최소 열차차두시간의 평균값: t_{fm}

최소 열차차두시간(t_f)은 두 대의 연속되는

열차간에 절대적으로 필요한 시간이다. 최소열차차두시간의 평균값 (t_{fm})은 선구상을 운행하는 모든 열차의 차두간격으로부터 계산된 평균 최소차두시간이다.

열차 차두간격의 결정을 위하여 사용된 방법은 2가지로 구분되는데 첫째는 열차운행시간표를 고려한 경우이고 둘째는 열차운행시간표를 고려하지 않은 방법이다.

가. 열차운행시간표를 고려한 방법

열차운행시간표를 고려한 방법을 적용하는 경우, 최소열차차두시간의 평균값 (t_{fm})은 모든 열차의 최소차두시간을 평균한 값이다. 최소열차차두시간의 평균값 (t_{fm})은 다음 식에 의해 구해진다.

$$t_{fm} = \frac{\sum(n_{ij} \cdot t_{fij})}{\sum n_{ij}} \quad (\text{분/열차})$$

n_{ij} = 열차차두간격의 회수

t_{fij} = 두개 등급의 운행시간사이의 최소차두시간

(1) 차두간격수의 결정

계산을 단순화하기 위하여 대략 운행시간이 비슷한 열차를 두 개이상 또는 많아야 4개 정도의 등급으로 묶는다. 실제운행시간표가 있는 경우에 차두간격수는 각 등급간 행렬표에 기입하여 계산된다. <표-2>와 같은 행렬표가 3개 등급인 경우의 차두간격수를 나타내는 방법의 예를 설명하고 있다.

<표-2> 속행하는 열차의 차두간격 행렬

i \ j	후속열차			
	1	2	3	
선행열차	1	n_{11}	n_{12}	n_{13}
	2	n_{21}	n_{22}	n_{23}
	3	n_{31}	n_{32}	n_{33}

n_{ij} = 열차차두간격별 회수,

i = 선행열차의 등급, j = 후속열차의 등급

(2) 최소 열차 차두간격의 계산

최소열차차두간격을 계산하는 식은 다음과 같다.

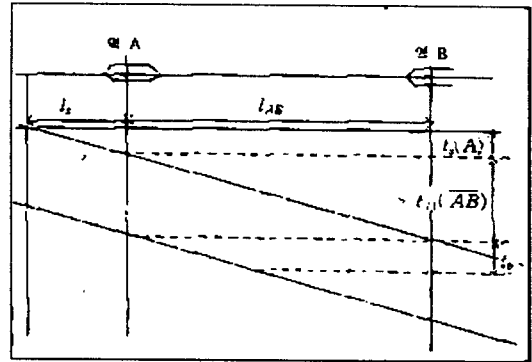
역 A에서 다음 열차 정차 :

$$t_f = t_n(\overline{AB}) + t_b + t_a \quad (\text{분})$$

역 A에서 다음 열차 통과 : 역 A에 진입을

위하여 이 열차가 시인점에 도달하기전에 경고 신호는 진행신호를 보여야만 한다.

$$t_f = t_n(AB) + t_b + t_{\omega(A)} \quad (\text{분})$$



<그림-3> 최소열차간격 결정을 위한 시간간격

나. 운행시간표를 고려하지 않은 방법

대상 노선에 대한 직면한 조건에 따른 운행 스케줄이 아직 짜여지지 않았다면, 연속적인 열차의 차두간격은 무작위유형(Random Pattern)으로 가정된다. 그러면 각 등급별 열차의 수를 아는 것으로 충분하다.

$$t_{fm} = \frac{\sum n_i \cdot n_j \cdot t_{fij}}{\sum n_i \cdot n_j} \quad (\text{분/열차})$$

i = 선행열차

j = 후발열차

n_i, n_j = 운행시간 등급별 열차수

t_{fij} = 두 개의 다른 등급에 대한 최소열차차두간격

5)여유시분(Extra Time Margin): t_r

여유시분 t_r 은 열차지연 발생의 위험을 줄이기 위하여 각 최소열차차두간격에 덧붙여 제공되는 여유시간(Breathing Space)이다. 그러므로 여유시분의 길이는 노선운영의 서비스질에 상당한 영향을 미치는 반면에, 여유시분이 너무 길면 노선용량은 감소된다. 단위구간의 길이뿐만 아니라 그 구간의 열차운행속도를 고려하기 위하여 적용된 여유시분은 평균열차차두간격에 따라 변할 것이다. 실제 운영조건하의 실험을 기초로 단위구간의 최대허용점유율 $N = 60\%$ 일 때 열차운영서비스의 질적인 요구를 만족할 수 있을 것으로 가정된다. 이때 여유시분의 값은 다음과 같다.

$$t_r = 0.67 t_{fm} \quad (\text{분/열차})$$

시간용량의 계산은 단위구간의 최대허용점유율 $N = 75\%$ 를 기반으로 한다. 이 정도의 점유율하의 실험을 바탕으로 보면 주된 장애없이 운행이 가능하나 서비스질적 요구조건은 약간 낮아진다. 그러므로 시간용량에 대한 여유시분은 다음과 같다.

$$t_r = 0.33 t_{fm} \quad (\text{분/열차})$$

6) 추가시분(Additional time): t_{zu}

추가시분 t_{zu} 는 전 선구에 걸쳐 요구된 서비스 질을 다소간 보장하기 위하여 각 열차차두간격에 덧붙여지는 또 다른 시간이다.

철도노선의 약 40개 선구에 걸쳐 행해진 조사에 의하면 동일한 서비스수준하에서 구간의 수가 많아지면 많아질수록 단위구간에 대하여 계산된 선구의 용량은 작아진다.

동시에 구간당 0.25 분/열차의 보정계수가 적용되는데 t_{zu} 는 다음과 같이 계산된다.

$$t_{zu} = a \times 0.25 \quad (\text{분/열차})$$

$$a = \text{구간수}$$

IV. UIC식을 이용한 경부선 선로용량산정

1. 용량산정 구간선정 및 기초자료 수집

UIC식을 적용하여 경부선 서울-대전 구간의 용량을 산정하기 위하여 우선 운행조건의 변화가 별로 없는 5개 선구로 나누었으며, 각 선구에 대하여 용량에 가장 큰 영향을 미치는 용량산정구간을 선정하였다.

5개로 구분한 선구 중에서 본 연구의 계산과정은 수원-천안 구간에서만 설명하고 이의 결과는 전부 제시토록 하였다.

<표-3> 용량산정구간별 특징

구분	선구 연장(km)	용량산정 구간연장(km)	구간수
수원-천안 (오산-서정리)	55.6	10.0	9

<표-4> 용량산정구간별 운행시간 등급

용량 산정 구간	운행시간등급					
	상행			하행		
	1급	2급	3급	1급	2급	3급
오산- 서정리	5.5분	9.0분	15.0분	5.5분	9.0분	15.0분

<표-5> 운행시간등급별 운행회수
-수원-천안(오산-서정리)구간

단위: 회/일

선행열차	후행열차	1급		2급		3급		계
		정차	통과	정차	통과	정차	통과	
상 행	1급	1	94	4	8	7	2	116
	2급	-	13	1	10	1	-	25
	3급	-	8	-	2	1	-	11
	계	1	115	5	20	9	2	152
하 행	1급	2	85	8	7	5	-	107
	2급	-	15	3	18	1	-	37
	3급	1	5	-	1	-	-	7
	계	3	105	11	26	6	-	151

2. 최소열차차두간격의 계산

최소열차차두간격의 계산에는 역간평균운행시분($t_f(\overline{AB})$), 경고신호 시인점과 운행시간 측정점간의 운행시간(t_b), 그리고 폐색구간설비의 연동에 요구되는 시간(t_b), 발차명령을 주고받는데 필요한 시간(t_a) 등이 사용된다. 여기서 각 세분화된 구간의 운행시간은 역간평균운행시분(운행시간등급)을 토대로 하여 거리비례로 계산된다.

<표-6> 운행시간등급별 최소열차 차두간격
-수원-천안(오산-서정리)구간

단위: 분

선행열차	후행열차	1급		2급		3급	
		정차	통과	정차	통과	정차	통과
상 행	1급	4.29	4.29	3.65	4.15	3.65	4.75
	2급	-	7.79	6.44	6.44	5.67	-
	3급	-	13.79	-	12.44	10.40	-
하 행	1급	4.27	4.27	3.65	4.11	3.65	-
	2급	-	7.77	6.40	6.40	5.67	-
	3급	13.77	13.77	-	12.40	-	-

3. 평균열차차두간격의 계산

<표 7> 구간별 평균열차차두간격

단위:분

구간	서울- 영등포 (노량진- 영등포)	영등포- 수원 (부곡- 수원)	수원- 천안 (오산- 서정리)	천안- 조치원 (천안- 소정리)	조치원- 대전 (매포- 신탄진)
상행	5.72	5.40	5.36	5.54	5.51
하행	5.63	5.36	5.29	5.59	5.38

4. 구간별 용량산정

구간별 용량산정에는 위에서 계산된 평균열

차차두간격에 열차지연발생위험을 줄이기 위한 여유시분과 용량산정구간을 전 선구에 적용하기 위한 추가시분을 덧붙여 계산되어진다.

여유시분은 용량계산주기가 1일이므로 최대 허용점유율을 60%로 보고 계산하였으며 추가시분은 선구내의 서비스수준을 일정하게 유지할 수 있도록 선구내의 구간수를 적용하여 산정하였다.

이와 같이 UIC방식으로 산정된 용량과 철도청방식으로 산정된 용량을 비교하여 보면 <표-8>와 같다.

<표-8> UIC방식과 철도청방식간의 선로용량 산정 결과 비교
단위:회/일

구 간		서울-영등포	영등포-수원	수원-천안	천안-조치원	조치원-대전
		UIC식	상행 140	155	149	144
	하행	142	157	150	143	148
철도청식	상행	122	153	138	134	134
	하행	121	155	140	134	134

UIC방식을 경부선 철도에 적용하여 선로용량을 산정해 본 결과, 대부분의 구간에서 철도청 방식에 의해서 산정된 용량보다 약 5~10%가량 높게 나타났으며, 이 UIC식에 의해 산정된 용량회수는 현재 운행되고 있는 정기, 부정기 횡수를 합한 수치와 거의 비슷한 수준임을 알 수 있다.

V. 결론

본 연구에서는 국내 철도 선로용량 산정 방식의 문제점을 검토하고 이를 대처하기 위한 방법으로 세계철도연맹(UIC)에서 개발하여 각국에서 사용토록 권고하고 있는 UIC 산정방법을 이론적으로 고찰하고 이를 경부선에 적용하여 구간별 선로용량을 산정하였다. 그 결과를 요약하면, UIC산정식은 열차운행 패턴을 고려하여 선로용량을 산정하였고 그 결과 현 운행 횡수 이상으로 용량이 산정되어 현재 사용되고 있는 야마기시 산정식보다 현실적임을 알 수 있다. 즉 UIC식이 열차의 등급별 운행패턴을 제대로 반영하고 있음을 알 수 있는데 야마기시 식은 등급을 고속과 저속으로만 구분한 반면 UIC식은 열차등급을 3개 이상으로 구분이 가능하고 또한 선행과 후행열차로 구분한 후 이를 조합하여 계산하므로 운행패턴이 고려된 선로용량이 산정될 수 있다.

UIC식은 선로이용율을 이용하지 않고 서비

스 수준을 고려한 여유시분을 최소열차 차두시간에 합함으로써 1일 또는 시간당 선로용량을 구하도록 되어 있어서 서비스 수준의 기준이 없는 선로이용률을 적용함으로써 나타나는 용량산정의 부정확성을 제거시킬 수가 있다.

그러나 추가시분에 의해 단위구간의 선로용량을 선구로 확장한 선로용량으로 산정하는 방식은 국내 산정식과 유사한데 이 추가시분에 사용된 보정계수가 선구용량으로 확장가능한 값인지에 대해서는 명확하지가 않다.

앞으로 국내철도 선로용량 산정에 UIC식을 적용하기 위해서는 여유시분에 사용되었던 1일 또는 시간당 용량 산정시의 보정계수와 위에서 언급한 추가시분의 보정계수 그리고 최소열차 차두간격 계산에 사용되는 연동에 요구되는 시간 등은 실험을 통하여 국내 실정에 맞는 계수 값들이 도출되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 정주호, 철도의 선로용량계수에 관한 연구, 1995
2. 이종득, 철도공학, 1989
3. 철도전문대학, 「운전이론」, 1992
4. 철도청, 「열차운전시행규칙」, 1994
5. 철도청, 「선로용량산정」 1985
6. 西龜達夫, 「鐵道工學特論」, 1967
7. 天野光三, 「鐵道工學」, 1984
8. 久保田博, 「鐵道工學 handbook」, 1995
9. Johannes Dirmeier, *Leistungsfähigkeit von Eisenbahnstrecken*, 1996
10. Giger Paul Peter, *Wirtschaftlichkeit und Leistungsfähigkeit von Eisenbahnanlagen*, 1984
11. Deutsche Bahn, *Leistungsuntersuchungen von Eisenbahnbetriebsanlagen*, 1994
12. Carl D. Van Dyke, Liewellyn C. Davis, *Railroad Capacity Planning*, 1994