

# 열차운영패턴에 따른 고속철도 병목구간 선로용량 산정 연구

## The study on the capacity calculation of high-speed rail bottleneck section according to the train operation pattern

손의영\*, 김형준\*<sup>†</sup>, 정의환\*\*

Eui Young Shon\*, Hyoung June Kim\*<sup>†</sup>, Eui Hwan Jeong\*\*

**Abstract** The purpose of this study was to improve high-speed train operation efficiency in accordance with railway development as well as opening of metropolitan high-speed railway. In this study, metropolitan high speed railway with Suseo Station was opened based on signal system of TVM430 of high-speed railway track capacity, and theoretical track capacity of high speed railway depending upon limitation on facilities of Pyeongtaek Branch (speed limit of turnout of 170km/h) was suggested, and train operation pattern consisted of two patterns, that is to say, skip stop and demand proportional stop to investigate train operation DIA depending upon operation pattern and to estimate minimum operation time interval and train capacity. This study was likely to help improve track distribution and train operation efficiency when multiple train operation companies of both high-speed train with Suseo Station and the one with Seoul(Yongsan) Station manage same railway line in the future.

**Keywords** : Train operation, High-speed railway, Bottleneck section, Track Capacity, Train service DIA

**초 록** 본 연구는 수도권 고속철도 개통에 따른 열차운영효율 향상을 목적으로 서울(용산)發 경부 및 호남 고속철도와 수서發 수도권 고속철도 열차가 평택분기점에서의 속도제한(170km/h)를 고려하여 신호체계인 TVM430 시스템을 기준으로 병목구간(평택분기점-오송역)의 이론적 선로용량 제시와 격역 및 수요비례 정차 2가지 유형의 열차운행패턴을 적용 열차운행 DIA 분석 및 각 열차운행패턴에 따른 최소운전시격 및 선로용량을 산정하였다. 본 연구 결과는 향후 수도권 고속철도 개통 시 복수의 운영회사가 동일 노선을 운영할 경우 선로배분 및 열차운영효율 향상에 기여할 것으로 기대 된다.

**주요어** : 열차운영, 고속철도, 병목구간, 선로용량, 열차운행 DIA

## 1. 서 론

본 연구는 고속철도 선로용량 산정을 위해 고속철도 신호체계인 TVM430 시스템의 열차설정이론을 기초로 열차 DIA(Diagram)을 분석하여 최소운전시격을 산정하고 검증을 통해 수서發 고속철도 개통 시 병목구간인 평택분기점-오송역 구간의 선로용량을 분석하기 위해 격역 및 수요비례 정차의 2가지 열차운행패턴에 따른 고속철도 선로용량을 분석하고자 한다.

† 교신저자: 서울시립대학교 도시과학대학원 교통공학과(issac\_june@naver.com)

\* 서울시립대학교 도시과학대학원 교통공학과

\*\* (주) 케이알티씨 토목사업본부 계획조사부

## 2. 본 론

### 2.1 고속철도 선로용량 산정

#### 2.1.1 고속철도 신호 TVM430 시스템에 의한 선로용량

TVM430시스템은 정지시퀀스에 의한 폐색의 수는 6개(300, 270, 230, 170, 000, RRR)이므로, 선형열차와 후속열차의 거리  $D$ 는  $D=(6*1500)+400=9400m$ 이며, 고속철도 평균운행속도 285km/h일때 열차 운전시격은 1분 59초이고 고속철도 노선의 상,하기울기 정도에 따라 폐색 구간이 차이가 있는 등 기술적 여유를 고려한 열차간 최소운전시격 3분 및 영업시간을 960분(16시간) 적용하여 선로용량을 산출하면 320회가 된다.

#### 2.1.2 수서發 고속철도 개통에 따른 선로용량

수서~평택 간 고속철도가 개통되면 수서~부산(목포, 광주)간 고속열차와 서울(용산)착발 고속열차가 모두 합류 운행되어 병목(bottleneck)구간이 형성되는 경부고속철도 평택~오송역 구간의 선로용량을 검토하고자 한다.

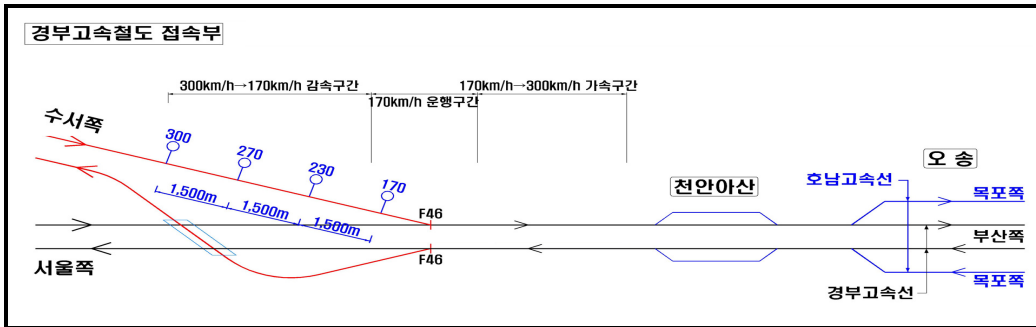


Fig. 1 Pyeongtaek junction and Osong section

수서發 고속열차는 경부고속철도와 합류 시 분기기 속도제한 170km/h로 속도가 감속 운행하고 열차가 170km/h에서 300km/h로 가속 시 운전시간은 약 171초가 소요된다. 이는 가속에 필요한 운행거리(11.160km)를 고속열차 평균 운행속도 285km/h로 운전 시 소요되는 141초 보다 약 30초 증가된 것으로 평택분기점-천안아산-오송역 간 최소운전시격은 3분 30초로 적용하고, 수서發 고속철도에 의한 고속철도 병목구간 평택분기점-천안아산-오송역구간 선로용량은 일일 영업시간 960분을 적용하면 편도 274회로 검토 된다.

### 2.2 열차운행패턴에 따른 선로용량 산정

고속열차 운행회수를 최대를 하기 위해서는 병목(bottleneck)구간인 경부고속선 평택분기점-오송역 간의 선로용량을 극대화하는 열차운영이 필요하며, 고속선의 선로용량 감소 방지를 위해서는 운행패턴을 최대한 동일하게 하여 표정속도를 높이는 등 세밀한 운행계획 수립이 필요하게 되는데, 본 연구에서는 병목구간에 위치한 천안아산역의 정차를 격역 및 수요비례 2가지 열차운행패턴을 적용하여 선로용량을 산정하였다.

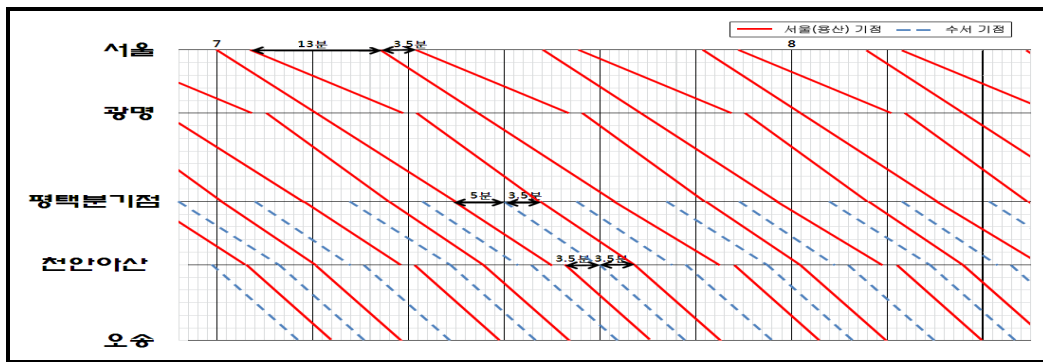
#### 2.2.1 격역 정차 운행

열차의 고밀도 운영을 위해 서울(용산)發 및 수서發 고속열차가 동일한 패턴으로 호남고속철도 정거장 및 수서-평택분기점간 신설되는 정거장을 격역으로 정차하는 운행패턴으로 적용하였으며, 서울역과 용산역 기점을 기준으로 경부선 2패턴, 호남선 2패턴 총 4패턴과 수서 기점을 기준으로 경부선 2패턴, 호남선 2패턴 총 4패턴이 운행하며, 각각의 4가지 패턴 열차는 평택분기점-오송 구간에 합류하게 되므로 총 8개의 열차패턴이 운행하여 오송역을 기점으로 경부선과 호남선으로 분리하여 운행하게 된다. 따라서 가장 밀도가 높은 평택분기점-오송역 구간의 열차운행시분을 분석하고 이 구간의 최소운전시격과 선로용량을 산정한다.

**Table 1** Running Time

Classification		Section	Minute	Note
Gyeongbu Line	Pattern 1	Seoul – Cheonan asan	35.0	
		Cheonan asan - Osong	9.0	Osong nonstop
	Pattern 2	Seoul – Gwangmyeong	16.0	
		Gwangmyeong – Osong	32.0	
	Pattern 3	Sose – Gije	17.0	
		Gije - Osong	17.0	
	Pattern 4	Sose - Dongtan	12.0	
		Dongtan - Cheonan asan	15.0	
Cheonan asan – Osong		9.0	Osong nonstop	
Honam Line	Pattern 5	Yongsan - Cheonan asan	34.0	
		Cheonan asan – Osong	9.0	Osong nonstop
	Pattern 6	Yongsan - Gwangmyeong	15.0	
		Gwangmyeong – Osong	32.0	
	Pattern 7	Sose – Gije	17.0	
		Gije - Osong	17.0	
	Pattern 8	Sose - Dongtan	12.0	
		Dongtan - Cheonan asan	15.0	
Cheonan asan – Osong		9.0	Osong nonstop	

서울(용산)發 열차는 현재 한국철도공사 KTX 열차운행시각표를 참고하여 각 구간별 열차운행 시분을 적용하였으며, 수서發 운전시분은 TPS(Train Performance Simulation)을 수행하여 KTX 열차 운행시분을 적용하고, 이를 기준으로 열차간 최소운전시격인 3.5분을 적용하여 열차 DIA(Diagram)를 작성하여 분석하였다.



**Fig. 2** Skip stop pattern DIA

Fig.2와 같이 수서發 4가지 운행패턴의 KTX열차는 평택분기점을 통해 경부선으로 진입하여 서울(용산)發 4가지 운행패턴의 KTX열차와 합류하게 되어, 평택분기점에서-천안아산역-오송역 구간에서 동시에 8가지 패턴이 운행하고, 오송역에서 경부선과 호남선으로 각 4가지 운행패턴이 분류되어 운행하게 된다. 따라서 가장 운행 밀도가 높은 천안아산역은 정차 - 통과 - 정차 - 통과 패턴으로 열차가 운행하게 되고, 경부선과 호남선을 운행하는 서울(용산)기점 및 수서기점의 8가지 운행패턴을 모두 고려하여 선로용량에서 언급한 최소운전시격 3.5분을 적용 열차운전 시격을 산정하였다. 천안아산역에서 정차 - 통과 패턴은 선행 KTX열차가 천안아산역에 1.5분 정차하고 후속으로 통과하는 KTX열차는 선행열차와 최소운전시격 3.5분을 적용하여 평택 분기점에서 5분 시격으로 서울(용산)기점과 수서기점의 열차가 운행되며, 천안역에서 통과 - 정차 패턴은 선행 KTX열차가 천안아산역을 통과하고 후속 KTX열차는 최소운전시격 3.5분 시격으로 운행하므로 평택 분기점에서 3.5분 시격으로 서울(용산)기점과 수서기점의 열차가 운행된다. 또한 서울기점 열차는 평택분기점에서 수서發 고속열차로 인해 13분과 3.5분 간격을 유지하며 출발하게 된다. 따라서 천안아산역 정차 - 통과 패턴 5분 시격과 천안아산역 통과 - 정차 패턴 3.5분 시격을 더하면 8.5분이 되며 이를 활용하면 평균 운전시격은 약 4.5분이 되는데, 이는 등속운행을 하는 단일열차 선로용량은 식(1)과 같게 된다.

$$N = \frac{f \times T}{h} \quad (1)$$

여기서, f는 선로이용률, T는 1일 운행시분으로(24\*60=1440분), 그리고 h는 최소운행시격(분)을 의미함. 단일열차 산정식의 f\*T는 일반적으로 영업시간 기준이며 960분으로 한다. 따라서 최소운전시격 4.5분 적용 시 서울(용산)기점 및 수서기점의 KTX열차가 격역 정차패턴으로 운행 시 선로용량을 계산하면 213회로 검토되어 고속철도 선로용량 274회보다 61회 감소되는 것으로 분석된다.

### 2.2.2 수요비례 정차운행 패턴

이 방법은 병목구간인 천안아산역의 정차회수는 수송수요와 비례하는 것으로 가정하여 아래 (2)식에 의해 정차회수를 산정하였으며, 고속열차 수송수요는 ‘고속철도 수도권 수해지역 확대방안 연구(2010.09.28 한국교통연구원 자료) 및 지체역 타당성 보고서’ 2026년의 내용을 발췌·인용하였으며, 호남고속철도 및 수도권 고속철도 구간의 정거장(수서, 동탄, 지체)의 현재 정차회수가 없어 현 경부선 528회 및 호남선 186회의 정차회수를 준용하였다.

$$N = \sum Ta \times \frac{Ds}{\sum Db} \quad (2)$$

여기서, N:정차회수, Ta:현재 총 정차회수, Db:각 정차역 총 수요의 합, Ds:s 정거장 수요

선로용량을 분석하기 위하여 상·하행 승차 및 하차 인원 중 최대인원의 수요를 식(2)에 대입하여 열차운행 밀도가 가장 높은 천안아산역의 경우 경부선 77회(서울發 45회, 수서發 32회) 호남선 54회(서울發 21회, 수서發 33회) 총 131회 정차하는 것으로 분석되었다. 열차운행 밀도가 가장 높은 천안아산역은 경부선 77회(서울發 45회, 수서發 32회) 호남선 54회(서울發 21회, 수서發 33회) 총 131회 정차하므로 천안아산역에 정차하는 열차의 최소운행시격은 약 7.5분으로 검토된다. 여기서 서울發 열차의 천안아산역 정차회수는 66회이며, 수서發 천안아산역 정차회수는 65회로 서울發 : 수서發 = 1 : 1 비율의 열차운행 패턴이 형성되며, 천안아산역 통과(무정차) 열차운행회수는 고속철도 선로용량 274회에서 천안아산역 정차 131회를 뺀 143회가 천안아산역 통과(무정차) 열차가 되어 천안아산역 정차열차와 통과(무정차) 차이는 12회이지만, 열차 비율을 천안아산역 정차 및 통과(무정차)열차 비율을 1:1로 가정하여 최소운전시격 산출을 위한 DIA를 검토하였다.

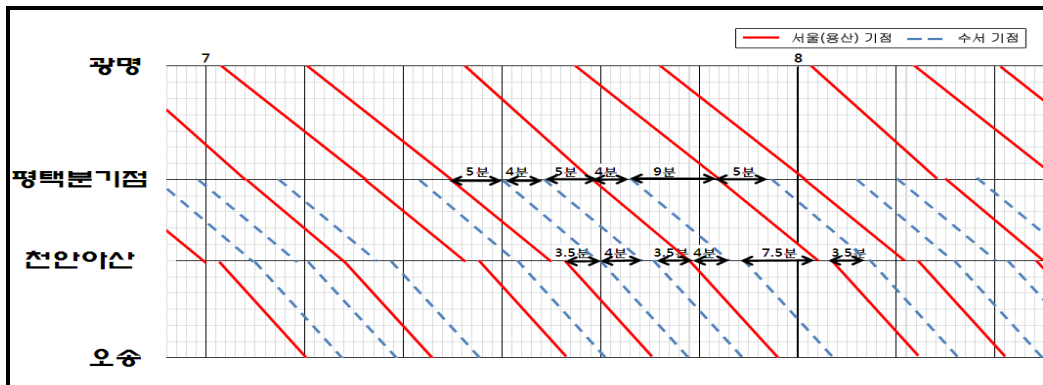


Fig. 3 Demand impoliteness pattern DIA

Fig.3과 같이 천안아산역에 정차하는 열차의 최소운전시격은 7.5분이며 천안아산역을 통과(무정차)하는 열차의 최소운전시격은 신호시스템 TVM430 적용시 수서發 열차가 경부고속철도에 합류 할 때의 최소운전시격인 3.5분을 적용할 수 있다. 서울(용산)發 열차와 수서發 열차 비율은 1:1이고 천안아산역 정차와 통과(무정차) 비율이 1:1일 경우 열차운행패턴은 천안아산역에 정차-통과-정차-통과 패턴과 통과-정차-정차-통과 패턴으로 이루어지고, 이때 천안아산역

의 정차시분 1.5분을 적용하면 평택분기점에서 서울發 열차와 수서發 열차가 합류 시 천안아산역에 정차-통과-정차-통과 패턴은 5분, 4분, 5분이며, 천안아산역에서 통과-정차-정차-통과 패턴은 4분, 9분, 5분의 간격으로 이루어진다. 따라서 최소운전시격은 약 5.5분이된다. 선로용량은 식(1)의 적용 시 174회가 검토되며 고속철도 선로용량 274회보다 100회 감소되며 격역 정차운행패턴보다 213회보다 39회 감소되는 것으로 분석된다.

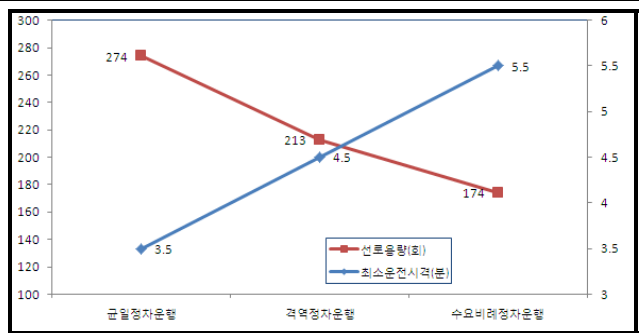
### 3. 결론

고속철도 신호체계인 TVM430시스템은 기술적으로 최소 3분 운전시격을 구현할 수 있으나, 수서發 고속철도가 경부고속철도 노선과의 분기기 접속에 따른 속도제한(170km/h)으로 최소운전시격은 3.5분으로 0.5분 증가되었으며, 영업시간 960분을 적용하면 선로용량은 274회가 분석되었지만, 향후 서울(용산)기점과 수서기점의 복수 운영회사가 열차운행회수를 많이 투입하여 선로배분을 극대화하기 위해서는 최소운전시격은 4.5분, 선로용량은 213회의 격역 정차 패턴으로 고밀도 열차운행 패턴을 적용 할 필요가 있다. 격역 정차 운행패턴의 장점으로는 이용객 입장에서 시발역 열차출발 시각을 표준화하기 때문에 혼란을 방지할 수 있고 종사원은 안내 효율화 및 부정확을 해소하고 정차역 패턴화로 기관사 착오에 의한 정차역 통과 사고를 최소화 할 것으로 본다. 수요에 비례한 열차운행패턴 적용은 병목구간인 천안아산역에 정차하는 열차 및 통과 열차의 최소운전시격을 적용한 경우 선로용량은 174회로 검토 되었다. 2026년 수송수요를 충족하는 열차운행회수는 121회로 본 연구에서 산정한 수요비례 정차 열차운행패턴 적용 시 선로 여유용량 53회가 발생하는 것을 알 수 있다.

**Table 2** The minimum running time and a track capacity

Classification	Equality stop	Skip stop	Demand impoliteness stop
The minimum running time	3.5 min	4.5 min	5.5 min
A track capacity	274 number of time	213 number of time	174 number of time

따라서 본 연구에서는 고속철도 선로용량을 신호체계 TVM430 시스템을 기준으로 수도권 고속철도 수서發 열차가 개통시 평택분기점에서 시설 제약으로 인한(분기기 속도제한 170km/h) 고속철도의 이론적 선로용량을 산정하였고, 격역 및 수요비례정차 2가지 열차운영패턴에 따른 최소운전시격을 열차운행 DIA로 분석·검증하여 선로용량을 산정하였다. 이렇게 산정된 선로용량은 이론적인 관련식을 근거로 산정하였기 때문에 열차 지연 및 승객 서비스를 고려한 열차운영 및 격역 정차와 수요기반 정차 패턴을 혼용한 열차운행패턴에 대한 연구 등 보다 정확하고 구체적인 분석이 필요하다.



**Fig. 4** The minimum running time and a track capacity

### 참고문헌

- [1] J.G. Chun, C.S. Chung, B.K Namkung (2012) Development of optimal train operation system in bottle-neck section according to the opening of high speed railway in seoul metropolitan area, Korea Railroad Research Institute Research Report.
- [2] S.M. Oh, H.L. Rho, Y.H Kim, S.H. Hong (2012) A comparative study on methods of assessing railroad trak capacity, Korea Railroad Research Institute Research Report.
- [3] S.M. Oh (2012) Survey on railway track capacity, Proceeding of The Korean Society for Railway - Spring Conference in 2012.

- [4] H.S. Ki, D.J. Park, J.B. Choi, J.S. Choo (2009) Estimating Line capacity Considering High-Speeding and Diversification of Trains, Journal of The Korean Society for Railway.
- [5] H.S. Ki (2008) Estimating Line capacity Considering High-Speeding and Diversification of Trains, Master Dissertation of University of Seoul.
- [6] S.H. Hong, S.M. OH, D.H. Kim, S.H. Kim (2002) Development of the Demand and Line Capacity Assignment System for the Conventional and High-Speed Line, Korea Railroad Research Institute Research Report.