

MAS(Moving Autoblock System) 방법을 이용한 한국형 고속전철의 선로 효율 분석

정판규, 이재덕, 이주훈, 조창희, 김국헌, 김용주
한국전기연구소, 고속전철 T.F.T

Analysis of loading capacity of Korean High-Speed Train
by using MAS(Moving Autoblock System) method

P-G Jeong, J-D Lee, J-H Lee, C-H Cho, K-H Kim, Y-J Kim
High-Speed Railways T.F.T, Korea Electrotechnology Research Institute.

Abstract - A new block system - MAS (Moving Autoblock System) whose efficiency is higher than FAS(Fixed Autoblock System) in the loading capacity is required to accomodate the increasing transport volume. That MAS has higher efficiency has already been verified through various studies, especially in a line with different types of travelling trains. The efficiency of MAS for Korean high speed line with two different train model is analyzed by computer simulation. The results show that MAS is more efficient than FAS in the loading capacity.

1. 서 론

열차속도가 빨라지면서 안전 운행을 위해 자동 열차제어시스템이 도입되고 연동장치와 같은 안전설비들의 처리속도도 빨라지고 있으며 늘어나는 수송량을 대처하기 위해 자동블록 시스템의 블록 길이도 세밀화 되고 있는 추세이다. 주행 속도의 향상과 함께 수송량의 증가는 모든 철도 회사들의 공통된 목표이며 이를 달성하기 위한 방법은 크게 두 가지가 있다. 한가지 방법은 새로운 선로를 건설하는 것이며 다른 한 가지는 단위 시간당 열차의 수와 속도를 높임으로써 수송효율/loading capacity를 높이는 것이다.

이들 두 가지 방법은 서로 장단점이 존재하지만 특히 후자의 경우는 컴퓨터와 전자기술의 발전으로 소규모 비용과 시간이 투입되면 신호 시스템과 열차의 성능 향상을 쉽게 가져올 수 있어 더 경제적이다. 열차의 수송량은 열차의 속도와 밀도의 곱으로 표현할 수 있다. 열차의 속도나 밀도를 높임으로써 수송량을 늘리는 것이 가능하다는 것이다. 그러나 열차 속도를 올리는 것은 일반적으로 보다 긴 제동거리를 요구할 수도 있으며 또한 열차 상호 간의 최소 이격 거리를 늘려야 하는 문제를 야기할 수도 있다. 열차의 밀도를 올리기 위해서는 블록 section의 길이를 줄여야 하나 속도의 증가는 최소 블록의 길이를 제한하게 된다.

지금까지 일반적으로 사용되어온 FAS는 열차의 속도 등 여러 특성에 따라서 블록의 길이가 제한되고 또 고정되는 시스템이다. 따라서 열차의 속도 증가는 블록의 길이를 보다 길게 하여 열차 주행 간격을 줄이는, 즉 밀도를 높이는 것이 어려우며 더욱 비효율적인 운송 효율을 가질 수밖에 없다. 그러나 block 길이가 열차의 제원에 따라서 변하는 MAS는 FAS의 단점을 해결하여 열차의

밀도를 높일 수 있다. 본 논문에서는 고속 전철 시스템에서의 MAS의 효율성을 분석하기 위하여 서로 다른 제동거리를 가지는 두 종류의 열차편성에 대해서 MAS 특성을 분석해 보았다. 그리고 MAS의 분석 결과를 FAS와 비교하였다.

2. 한국형 고속전철의 Braking 능력의 분석

FAS와 MAS를 비교하기 위해서는 단위 열차의 주행 특성과 열차 상호간의 주행 특성을 분석해야 한다. 이를 위하여 본 논문에서는 한국형 고속전철과 경부고속전철을 이용하였다. 표 1은 경부고속전철(TGV-K)과 한국형 고속전철(KHST-20)의 제원 및 특성을 비교한 것이다 그리고 열차의 동특성을 시뮬레이션 하기 위해서는 열차의 추진력과 제동력을 분석해야 한다. 추진력과 제동력의 분석을 통하여 열차의 주행 특성 분석이 가능하며 이를 통하여 열차 상호간의 최소 시격 계산이 가능하게 된다. 다음의 두 열차는 상이한 추진력과 제동력^{(1),(2)}을 가진다. 이를 결정하는 가장 큰 요소는 역시 점착 계수이며 이 점착 계수에 따라서 최대 견인력과 제동력이 제한되게 된다. 견인력은 식(1)를 통하여 계산된다. 그림 1에 2가지 종류(KHST(Korean High Speed Train) TGV-K) 열차편성의 견인 곡선을 나타내었다.

$$F_{traction} = \mu W_{axis} \tag{1}$$

$F_{traction}$: train의 traction force [kN]
 μ : 점착계수(신간선 기준: $\mu = \frac{25}{100 + V}$)
 W_{axis} : 축중 하중(ton) (KHST-20: 18 × 17(t), TGV-K: 18 × 17(t))

표 1. 열차의 제원 및 특성 비교⁽³⁾

열차편성	TGV-K	KHST-20
차량수	20	20
열차중량(한차시) (ton)	782	780
총 길이 (m)	387.3	393.5
전동기수	12	16
출력/1대 [kW]	1,130	1,100
총출력 [kW]	13,560	17,600
최고운행속도 (km/h)	300	350
최고속도에서	at 300 km/h	at 350 km/h
견인력 (kN)	158.4	176.5
주행거할 [KN]	100.1	131.4
가속여력 (m/s ²)	0.073	0.056

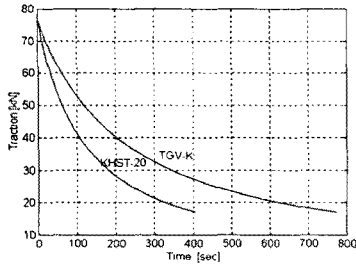


그림 1. 시간에 따른 Traction

수송량의 증가를 위해서는 빨리 최고 속도에 도달할 수 있는 traction 능력과 빠른 정차 능력이 필요로 한다. 그림 1은 각 열차가 출발 후 최고 속도에 도달 할 때까지 소비되는 시간과 그때의 견인력을 보여주는 것이다. 추진력 계산에 이어 그림 2는 두 열차 모델의 disk 제동력을 나타내었고 제동거리의 계산을 위해 다음의 식(3)을 이용하였다.

$$r_1 = 0.77\sqrt{(10 \times n \times W)} + 0.008 \times W \times V + (0.02225 + 0.00352 \times T) \times V^2 \quad (2)$$

r_1 : train의 속도에 따른 저항 방정식(naN)
 V : train의 속도(km/h)
 T : 객차의 수(KHST-20: 18, TGV-K: 18)
 W : train set의 전체 무게(KHST-20: 780 (t), TGV-K: 782 (t))
 n : 차륜축의 수(KHST-20: 52, TGV-K: 52)

$S = S_1 + S_2$ ($\because S_1$: 공주 거리, S_2 : 실 제동거리)

$$S = \frac{V}{3.6} t_1 + \frac{4.17 V^2}{K\mu + (r_1 + r_2 \pm r_3)} \quad (3)$$

K : 제동용 ($-\frac{P}{W}$), t_1 : 공주시간, μ : 제동계수
 r_1 : 주행저항(kg/t), r_2 : 곡선저항(kg/L)
 r_3 : 구배저항(kg/t), P : 브레이크 슈의 압력(kg)
 W : train 중량(t), V : train 속도(km/h)
 C : weather condition(쾌청할 때: 0.42, 우천일 때: 0.3, 보통: 0)

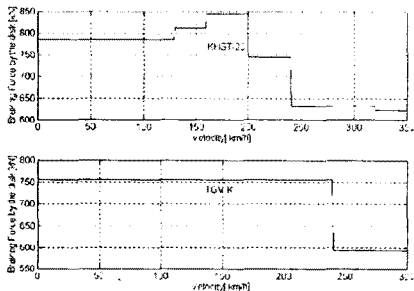
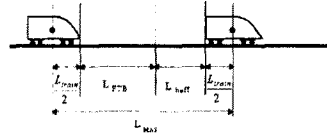


그림 2. 속도에 따른 제동 disk의 제동력

3. 한국형 고속전철의 FAS와 MAS의 비교

그림 3은 MAS를 나타낸 것이다. L_{FTB} 는 식(3)에 의해 후행 열차의 제동거리를 나타내며 열차의 속도와 특성에 따라서 그 길이가 가변된다. 그러나 FAS의 경우는 L_{FTB} 대신에 고정된 길이의 폐색구간을 가진다. 즉, MAS는 L_{FTB} 거리를 최소화함으로써 열차의 밀도를 높일 수 있다.



L_{FTB} : 뒤 따라 오는 train의 braking 거리
 L_{block} : 두 train 사이의 실제상의 안전거리 (buffering distance)

그림 3. MAS하에서의 train들 사이의 거리

FAS의 경우 서로 상이한 제동거리를 가진 열차 시스템으로 구성될 경우 폐색구간을 제동거리가 가장 긴 열차 시스템에 기준으로 설정하므로 비효율적인 블록 시스템이 된다. 이와 반대로 MAS는 주행하는 열차의 속도에 따라서 블록 section의 길이를 가변함으로써 많은 열차가 선로를 점유하게 하여 밀도를 높이고 또 수송량을 늘릴 수 있게 하는 시스템이다. 본 논문에서는 한국형 고속전철의 사양과 경부 고속전철의 사양을 이용하여 각각 제동거리가 다른 두 열차편성에 FAS와 MAS를 적용하여 그 특성을 알아보았다. FAS 시스템에서 block section을 계산하면 식(4)와 같다.

$$L_{\text{fiveaspect}}^P = L_{\text{normal}} + L_{\text{block}} + \frac{L_{\text{train}}}{2} + \frac{L_{\text{train}}}{2} \quad (4)$$

$L_{\text{fiveaspect}}^P$: 고속과 긴 braking 거리를 가진 승객 수송용
 L_{block} : block section 하나의 길이
 L_{normal} : normal braking distance

MAS의 block section를 구하는 식은 식 (4)의 L_{normal} 대신 열차에 따른 제동 거리가 대신한다. MAS의 효과를 분석하기 위해 TGV-K열차가 선행하고 KHST-20열차가 최소간격을 유지하면서 후행하는 경우를 그림 4에 나타내었다. 선로는 서울과 대전간 거리인 137.29Km고 45Km와 90Km지점에 건널목이 있다고 가정하여 이 지점의 속도를 180Km/h로 제한하여 주행 시뮬레이션을 하였으며 그림 5에 두 열차 사이의 거리차를 나타내었다.

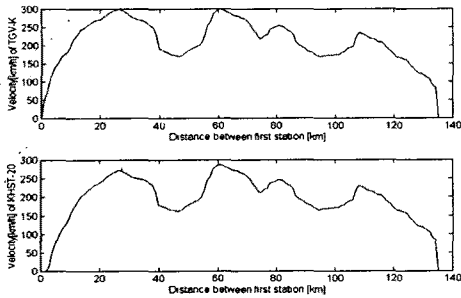


그림 4. 거리에 따른 속도의 변화
(한국형 고속전철(KHST-20), 경부고속전철(TGV-K))

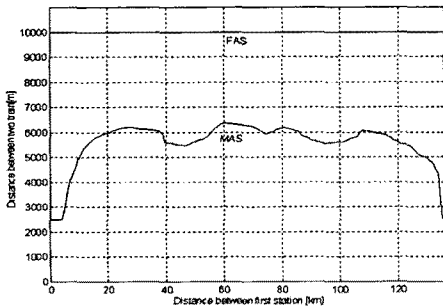


그림 5. 두 열차 사이의 거리

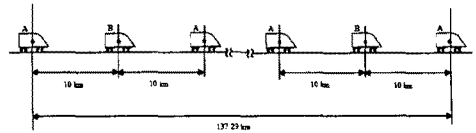
4. 시뮬레이션 결과 분석

TGV-K의 block 시스템은 제동거리, 공주거리, 완충거리, 열차 길이, 하나의 buffer 블록과 조기 경보 블록을 더한 1500m의 block들로 이루어진 6 aspect FAS 시스템이다. 즉 열차 상호간에는 최소 9000m의 상호 이격 거리를 가지고 운전된다. 이에 반해 KHST-20은 열차 상호간에 최소 10500m의 상호 이격 거리를 가진다. FAS시스템의 상호 이격 거리 선택 원리에 의해서 열차간의 상호 이격 거리는 10500m가 된다. MAS 시스템 이용한 상호 이격 거리는 2500m의 안전 거리를 포함한다. 그림 5에서 구할 수 있고 이는 5603m이다.

그림 6은 seven-aspect를 가지고 운행하는 FAS 블록 시스템에서의 열차배열들을 나타낸다. 그림 7은 분석한 MAS 블록 시스템에서의 열차배열들을 나타낸 것이다. Block carrying capacity 측면에서 그림 6과 그림 7에서 FAS와 MAS의 차이점을 명확하게 보여준다.

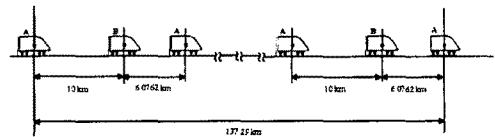
본 논문에서는 서울과 부산 구간 중 첫 번째 station까지의 구간만 고려하였고 이때의 구간 길이는 137.29km이다. 따라서 FAS의 경우에는 약 13편성의 열차들이 137.29km 상에 위치할 수 있으며 MAS의 경우에는 27의 열차편성들이 위치할 수 있다. MAS를 사용할 경우 선로 효율이 62% 증가된다. 물론 평탄 구간에서의 두 열차의 주행 속도가 최고 속도로 주어지고 또 정확한 속도 프로파일이 주어지면 그 효과는 줄어들 수 있겠지만

MAS 시스템의 적용효과는 클 것으로 기대된다.



$$L_{FAS} = 10500[m]$$

그림 6. FAS하에서의 block carrying capacity



$$L_{MAS} = 5603[m]$$

그림 7. MAS하에서의 block carrying capacity

5. 결론

두 가지 편성의 고속전철 모델에 대한 FAS와 MAS를 시뮬레이션을 통해서 분석해 보았다. 시뮬레이션에서는 단지 열차의 제동능력만을 고려하였으며, 속도가 보다 빠른 KHST-20이 TGV-K를 추적하도록 시뮬레이션을 하였다. 그 결과 MAS가 FAS보다 선로 효율 측면에서 62% 증가된 결과를 가진다는 것을 확인할 수 있었다.

FAS와 MAS에 대한 완전한 시뮬레이션이 이루어지기 위해서는 열차의 출발과 도착에 관련된 time scheduling 열차의 종류와 특성, 선로 조건들과 속도 프로파일, 구역에서의 정차 시간, 통신 시스템의 특성 등 여러 가지가 고려되어야 한다. 일반적으로 이러한 여러 요소들이 고려될 경우 FAS에 대한 MAS의 선로 효율은 약 30%가 될 것으로 예측된다.

[참고 문헌]

- [1] 한국전기연구소, "추진시스템 엔지니어링 기술개발", 2차년도 연구보고서, 1998, 10
- [2] 한국철도기술연구원, G7 고속전철 기술개발", 2차년도 연차 보고서, 1998, 7
- [3] 한국고속철도건설공단, "고속전철 핸드북", 1993, 2
- [4] Wang Xishi, "Analysis of moving autoblock system(MAS) and its computer simulation method: Computers in Railways", Research Report, Northern Jiaotong University, Beijing, pp.267-279, 1996