

기존선 속도 향상을 위한 발리스를 이용하는 열차간격제어 기술에 대한 연구

백종현^{1*}, 이창구²

The Study on Train Separation Control Technology using Balise for Conventional Line Speed Up

Jong-Hyen Baek^{1*} and Chang-Goo Lee²

요 약 한국철도공사에서는 기존선의 신호시스템을 지상의 ATS 시스템에 의한 신호 현시에 따라 운전자가 제한속도 이내로 열차를 운전하던 방식에서 지상의 발리스로부터 이동권한을 전송받아 차상신호시스템(ATP)에서 Speed Profile을 생성하여 운전하는 Bombardier Transport사의 ATP 시스템으로 개량하고 있다. 한국철도기술연구원에서는 기존선의 속도 향상을 위해 틸팅열차를 개발하여 10만 km 주행시험 중이며, 중앙선에 투입이 가시화되고 있다. 이러한 틸팅열차를 ATP 시스템에 의해 운전할 때 곡선구간에서 현재 제한되어지고 있는 곡선부 통과 속도를 증속하는 것이 쉽지 않은 형편이다. 따라서 향후 ATP 시스템의 국산화 개발이 이루어질 것을 대비하여 선형적으로 ATP 시스템의 핵심 기술인 선형열차에 따른 후행열차의 안전제동모델 및 열차간격제어 기술을 연구 개발할 필요성이 있다. 본 논문에서는 이를 위하여 발리스를 이용하는 ATP 시스템의 안전제동모델 및 열차간격제어 기술을 개발하고 그 성능을 시뮬레이션 하였다.[1, 2]

Abstract KORAIL carries out an improvement project of railway signaling system for the conventional line from the existing method which permits a train to move within limited speed the ground signal of ATS(Automatic Train Stop) system. The proposed system makes possible that a train can be driven using a speed profile created by onboard signaling system(ATP) with the movement authority from ground balise. A driving test over 100,000km is being executed by developing a tilting train for the speed elevation on the conventional line. And, the introduction of the tilting train by ATP system to the Jung-ang line is expected. However, a speed elevation on a curved line section has a restriction. Therefore, research on safety braking model and train separation control technology for the localization of ATP system is required preferentially. In this paper, we presented a safety braking model of ATP system and a train separation control method that use ground balise as variable information provider, and executed a performance simulation.

Key Words : ATP(Automatic Train Protection). Train Control, Train Separation, Balise, Movement Authority

1. 서론

철도신호설비는 열차의 진행 여부, 주행 속도, 전방의 상태 등의 열차 운행 관련 정보에 따라 열차운행 진로를 제어함으로써 원활한 열차 운행을 확보하여 주는 설비이다.[1, 5].

그러므로 신호 기술은 열차의 정확하고 안전한 운행을 보장할 뿐만 아니라 수송효율을 향상시키는 핵심적인 기술이다. 특히 열차의 고속화, 고밀도화, 대량 수송에 따라 요구되는 고 레벨의 철도 관련 안전성, 신속성, 정확성, 정시성 등을 달성하기 위해서는 신호체계의 역할이 매우 중요하다.

본 논문은 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 ‘한국형 틸팅열차의 신뢰성 평가 및 운용기술개발 사업’의 결과물임.

¹한국철도기술연구원 열차제어통신연구실 선임연구원

²전북대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수

*교신저자: 백종현(jhbaek@krti.re.kr)

접수일 09년 01월 12일

수정일 09년 01월 30일

게재확정일 09년 02월 18일

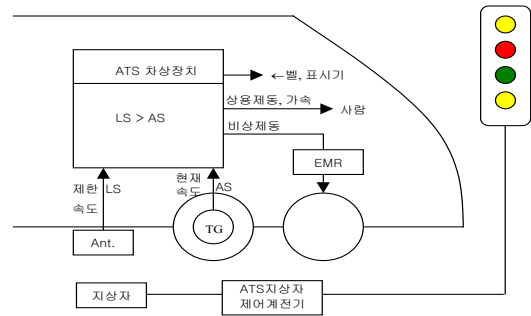
열차의 고밀도·고속화는 철도의 탄생 이후 지속적으로 추진되었으며, 대규모의 사업비가 소요되는 신규 고속선 건설과는 별도로 기존선에서의 열차의 운행 속도 향상을 통한 수송효율의 증가도 중요한 항목으로 제시되었다. 따라서 새로운 환경에 적합한 신호체계의 개발, 재정립, 최적화, 신호장치의 표준화 및 현대화(전자화) 그리고 안전성과 신뢰성 확보 등은 철도신호설비 개발의 주요 이슈가 되고 있다.

21세기에 진입하면서 유럽은 국가간의 여객 운송 수단인 철도 교통을 효율화하기 위해 관련 분야 기술 개발에 많은 투자를 실행 중에 있으며, 특히 국가간 열차 상호 운행이 가능한 신호 표준화 및 규격화를 1980년대 후반부터 ERTMS/ETCS(European Railroad Traffic Management System/European Train Control System)라는 이름하에 추진하였다. 국내에서도 기존선의 고속화를 위한 활동이 기존선 전철화 및 고속철도 연계 운행을 위한 시설물 정비 사업과 함께 병행하여 전개되고 있으며, 한국철도공사에서는 철도의 고속, 고밀도 운영을 대비하여 경부, 호남선구 고속 열차의 기존선 운행 구간 및 주요 간선 전철화 구간의 열차 운영 체계를 기존의 ATS 시스템에 의한 Speed step 지상신호방식에서 ATP 시스템에 의한 Distance to go 기능을 갖는 차상신호방식으로 최소의 시설 개량을 통해 건설함으로써 열차의 안전 및 운행 효율을 향상시키고 개량 및 유지보수 비용을 절감함으로써 철도 기술 발전 및 경영 개선을 목적으로 하는 차상신호시스템 구축사업을 2004년부터 추진하고 있다. 따라서 한국철도기술연구원에서 기존선의 열차 운행 속도 향상을 위해 개발하여 10만km 주행시험을 진행하고 있는 텀팅열차에도 한국철도공사에서 추진하고 있는 ATP 구축사업에 사용된 동일한 ATP 차상장치를 설치하여 시험할 예정이다. 그러나 이러한 ATP 시스템은 국내 자체 기술로 만들어진 제품이 아니기 때문에 텀팅열차의 특성에 따른 일부 기능 및 인터페이스의 변경이 불가능하다. 또한 향후 유지보수를 고려하더라도 ATP 시스템에 대한 국산화는 반드시 필요할 것이다. 본 논문에서는 이러한 ATP 시스템의 국산화에 앞서 Distance to go 기능의 핵심 요소인 안전제동모델을 수립하고 선형열차와의 효율적인 간격제어를 위한 열차간격제어기술에 대해 연구하여 시뮬레이션 하였다[1, 2, 6, 8, 9].

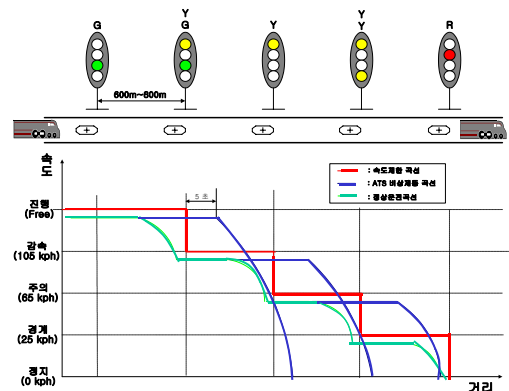
2. 기존 ATS 시스템 기술

ATS 시스템의 주요 원리는 기존의 선로변 신호 체계의 문제점이 주어질 때 벨 또는 경보 등으로 기관사에게

주의를 환기시켜 정상적인 열차 운영을 하도록 하며 만약 기관사가 일정 시간동안 제동 조작을 하지 않으면 강제적으로 제동을 인가하여 열차를 안전하게 정지시키는 역할을 한다. 따라서 열차의 안전 운영을 확보하기 위해서는 정확한 ATS 설비의 정상적인 기능 유지가 필수 조건으로 주어진다. ATS 장치는 선로에 설치된 지상자를 열차가 통과할 때 지상자는 관련 폐색 구간의 통과 속도 정보를 차량으로 전송한다. 그림 1의 정보전송도와 같이 열차는 기관차 하부에 설치되어 있는 차상 안테나가 응답함으로써 지상에서 송신된 정보를 수신한다. 수신된 정보는 ATS 차상장치에 의해 기관사에게 통보되거나 제동 체결 명령을 인가한다. 이러한 ATS 시스템은 1969년 경부선 구간에 처음 설치된 이후 1988년에 경부선 5현시차상속도조사식으로 개량하여 현재까지 사용하고 있으며 신호현시에 따른 속도제어곡선은 그림 2와 같다[2].



[그림 1] ATS 시스템의 정보전송도



[그림 2] ATS 시스템의 속도제어곡선

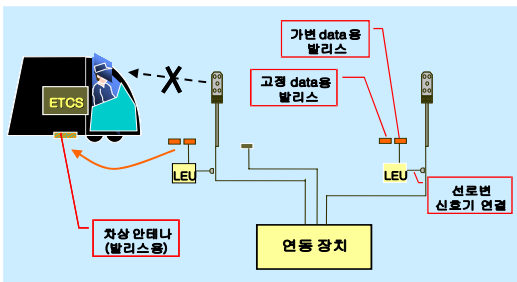
ATS 시스템에 있어서 안전 및 신뢰성의 가장 큰 문제점으로 고려되는 사항 중의 하나인 주파수 간섭 현상은 타 시스템과의 공용시에 매우 심각하다. ATS 시스템의 주파수 변환은 아날로그 방식에 의해 지상에서 차상으로

정보를 전송함에 따라 현재 사용하고 있는 주파수에 근접한 타 주파수의 유입 시에는 오동작을 유발하는 확률이 매우 크다. 또한 150km/h 이상의 속도로 운행하는 열차에 대한 지상-차상 응답은 신뢰성이 확보되지 않았다. 특히 ATS 시스템의 정보는 단지 과속도에 따른 열차 운행을 제한하기 위한 속도 정보만을 취급한다. 따라서 임시 속도제한, 유지보수 등의 특수한 선로변 조건이 발생할 경우, 신호 시스템에 의한 직접적인 프로그램이 불가능하여 비정상 상황에 대한 경보 및 통제는 지상에서 기관사에게 직접 통보해야 하기 때문에 이 경우 기관사의 판단에 따른 대응 방안이 절대적으로 열차 운행을 좌우하게 된다. 이러한 문제점들을 해소하기 위해 한국철도공사에서는 ATP 시스템에 의한 Distance to go 기능을 갖는 차상신호방식으로 개량사업을 추진하고 있다[2, 6, 8].

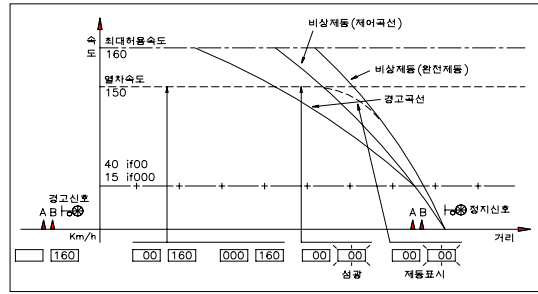
3. ATP 시스템 기술

차상신호방식과 지상신호방식의 가장 큰 차이점은 지상신호 현시 확인의 어려움에 대한 문제점이 차상신호방식을 사용할 경우에는 해결됨은 물론 속도 제어에 대한 안전성이 제공된다는 점이다. 한국철도공사에서 추진하고 있는 ETCS 레벨 1에 의한 ATP 구축사업은 ATS 시스템의 고장 발생 우려에 관한 문제점을 일시에 해소할 수 있으며 철도신호설비의 안전성과 신뢰성을 크게 향상시키고, 열차의 안전 운행을 보장함으로써 여객과 화물을 편안하고 신속하게 수송하여 대국민 서비스 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대되며 그림 3과 같이 설치된다[2, 6, 9].

이러한 차상신호방식에서는 Distance to go 기능을 사용한다. 이는 그림 4와 같이 제동 목표 거리를 차상컴퓨터에서 자동 계산하여 운행 속도를 제공하며, 현존하는 지상장치의 많은 개량 없이도 차상신호시스템에서 지상정보를 이용하여 열차속도의 향상을 실행할 수 있다.



[그림 3] ETCS 레벨 1 ATP 시스템[2, 9]



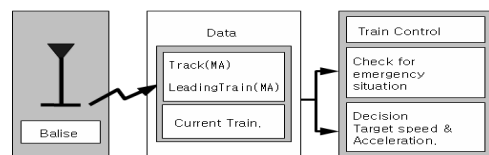
[그림 4] ATP 시스템의 속도제어곡선[2]

4. ATP 시스템의 틸팅열차 적용

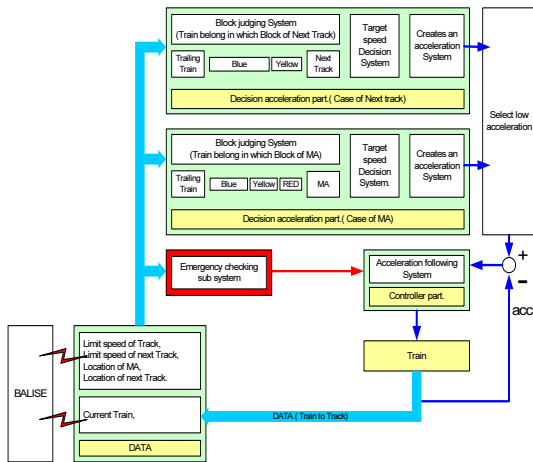
한국철도기술연구원에서는 기존선의 열차 운행 속도 향상을 위해 틸팅열차를 2006년 말 개발하였으며, 현재에는 10만km 주행시험을 진행하고 있다. 이러한 틸팅열차에도 한국철도공사에서 추진하고 있는 ATP 구축사업에서 사용되는 것과 동일한 ATP 차상장치를 설치하여 시험할 예정이다. 그러나 이러한 ATP 시스템은 국내 자체 기술로 만들어진 제품이 아니기 때문에 곡선구간에서의 증속이 가능하도록 구현된 틸팅열차의 특성을 발휘하기 어렵다. 즉, ATP 구간의 곡선제한속도는 국내규정에 의해 열차의 운행성능 및 제동성능에 관계없이 동일하고, 발리스에 저장되어 있어, 곡선구간에서 틸팅열차만 증속 운행하기 어렵다. 또한 일반적으로 유지보수에 소요되는 비용이 매년 시스템 구축비용의 10% 정도가 들어가는 철도의 특성상 향후 유지보수의 용이성 및 비용절감을 위해서라도 ATP 시스템에 대한 국산화는 반드시 필요할 것이다[2].

5. 열차간격제어 기술 개발

발리스를 이용하는 ATP 시스템의 열차간격제어 기술에서 가장 중요한 것은 이동권한에 따른 안전제동모델을 설정하는 것이다. 이러한 안전제동모델의 입력 파라미터가 어떠한 경로로 전송되는 지에 대한 정보전송 흐름도는 다음의 그림 5와 같이 설정할 수 있으며 이러한 정보전송 흐름도를 보다 자세하게 알고리즘으로 구현한 것은 그림 6에서 보여주고 있다[1].



[그림 5] ATP 시스템의 정보전송 흐름도



[그림 6] ATP 시스템의 열차간격제어 알고리즘[1]

이동권한에 따른 안전제동모델은 선행열차에 의한 안전제동모델과 선로제한속도에 의한 안전제동모델의 두 가지 요소로 구분할 수 있으나 실제 운행 시에 선로제한속도가 있는 구간에서는 이러한 두 가지를 합성하여 열차의 운전 곡선을 결정하여야 한다[1, 3, 4].

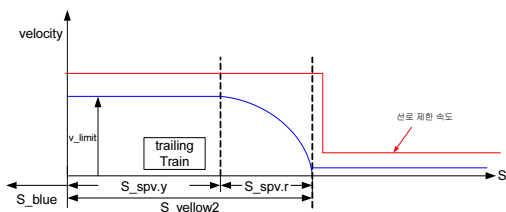
5.1 선로제한속도에 의한 안전제동모델

열차의 운행속도가 선로제한속도를 넘지 않도록 하기 위해 목표속도를 선로제한속도로 정하였다. 그림 7의 선로제한속도에 의한 안전제동모델에서 보여주는 바와 같이 열차가 진행하고자 하는 다음 선로의 제한속도와 남은 거리를 확인하고, 열차가 다음 선로의 황색구간에 침범했을 때 감속을 시작하도록 한다. 이때 황색구간 $S_{yellow2}$ 의 수식은 다음과 같다[1, 4].

$$S_{spv.y} = jerk_{in} + \sum_{extent=1}^{extent=n} \left[\frac{1}{2} \frac{v_{enter}^2 - v_{track.limit.velocity}^2}{-a_{spv}} \right] + jerk_{out} + v_{enter} T_{SB} \quad (1)$$

$$S_{spv.r} = \sum_{extent=1}^{extent=n} \left[\frac{1}{2} \frac{v_{enter}^2}{-a_{spv}} \right] (v_{enter} = v_{act}, \text{측정값}) \quad (2)$$

$$S_{yellow2} = S_{spv.y} + S_{spv.r} \quad (3)$$



[그림 7] 선로제한속도에 의한 안전제동모델

5.2 선행열차에 의한 안전제동모델

진행 중인 열차는 자신의 위치와 앞 열차의 위치에 따른 이동권한, 진행 중인 선로의 제한속도와 다음 진행할 선로의 제한속도 및 다음 선로까지의 거리 정보를 지상의 발리스를 통과할 때마다 전송받는다. 이러한 정보들을 이용하여 다음과 같은 안전운행계획을 수립하였다.

- 열차는 진행 중인 선로의 제한속도를 초과하여서는 아니 된다.
- 열차는 다음 진행 할 선로에 진입하기 전에 다음 선로의 제한속도까지 감속하여야 한다.
- 선행열차에 따른 이동권한에 대해 황색 블록에 진입하였다면 감속하여야 한다.

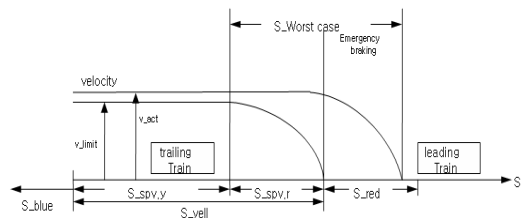
따라서 선행열차의 위치에 따른 이동권한에 의한 안전제동모델은 그림 8과 같으며, 절대 침범해서는 안 되는 적색구역, 감속을 하여야 하는 황색구역, 선행열차의 영향을 받지 않는 청색구역으로 진행 구간을 구분하고 진행 중인 열차는 해당되는 구역에 따라 적합하게 동작하도록 하여야 된다. 안전제동거리의 산출시 고려하여야 하는 사항들은 허용초과 속도, 열차 속도검지 오류, 시스템 반응시간 및 지연시간, 과속도 검지 시 비상제동 최대반응시간, 비상제동 감속율, 선로구배 및 곡선반경 등이다. 감시 제동거리 S_{spv} 는 ATP에 의해 감시되는 상태에서의 목표지점에 대한 상용제동거리이다. S_{spv} 는 황색폐색 최소길이의 연산에 필요한 최대 감시제동거리 $S_{spv.y}$ 와 적색폐색 최소길이의 연산에 필요한 최소 감시제동거리 $S_{spv.r}$ 로 구분하였다[1, 4].

$$S_{spv.y} = jerk_{in} + \frac{1}{2} \frac{v_{enter}^2 - v_{out}^2}{-a_{spv}} + jerk_{out} + v_{enter} T_{SB} \quad (v_{enter} = v_{act}, real) \quad (4)$$

$$S_{spv.r} = \frac{1}{2} \frac{v_{enter}^2}{-a_{spv}} \quad (v_{enter} = v_{limit}) \quad (5)$$

$$jerk_{in} + jerk_{out} = \frac{v_{enter} \times (-a_{spv})}{2jerk_{rate}} \quad (6)$$

$$jerk_{rate} = \max jerk \cdot 160 \quad (7)$$



[그림 8] 선행열차에 의한 안전제동모델

위 수식들로부터 폐색 끝에서 감시제동을 위반하지 않고 상용제동에 의한 충분한 감속이 이루어지도록 하기 위해 황색폐색에 대해 요구되는 최소 길이는 S_{yel} 다음과 같이 연산된다.

$$S_{yel} = S_{spv.y} + S_{spv.r} \quad (8)$$

목표속도는 선로제한속도와 선행열차에 의한 이동권 한에 따른 열차의 속도 중에서 작은 값이 되어야 한다. 여기서 선행열차의 영향을 받는다는 의미를 선행열차의 황색구역을 침범한 경우로 간주한다면 목표속도를 선행열차의 속도로 결정하고 감속을 행하게 한다. 따라서 선로제한속도에 영향을 받는 경우와는 달리 선행열차의 속도 및 열차의 감속능력에 의해 유지되어야 하는 거리(적색구간+속도에 따른 완충구간)가 결정되어야 한다. 이 거리는 열차의 길이와 감속능력에 따라 충분한 완충구간을 포함하여야 한다. 이러한 조건들을 반영하여 안전제동모델의 구역은 다음의 수식들 및 그림 9로 재정의 할 수 있다.

$$S_{spv.y1} = jerk_{in} + \sum_{extent=1}^{extent=n} \left[\frac{1}{2} \frac{v_{enter}^2 - v_{exit}^2}{-a_{spv}} \right] + jerk_{out} + v_{enter} T_{SB} \quad (9)$$

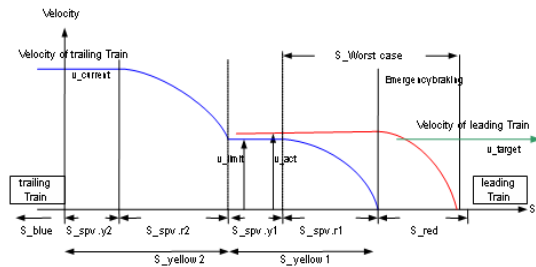
$$S_{spv.r1} = \sum_{extent=1}^{extent=n} \left[\frac{1}{2} \frac{v_{enter}^2}{-a_{spv}} \right] (v_{enter} = v_{target}) \quad (10)$$

$$S_{yellow1} = S_{spv.y1} + S_{spv.r1} \quad (11)$$

$$S_{spv.y2} = jerk_{in} + \sum_{extent=1}^{extent=n} \left[\frac{1}{2} \frac{v_{enter}^2 - v_{exit}^2}{-a_{spv}} \right] + jerk_{out} + v_{enter} T_{SB} \quad (12)$$

$$S_{spv.r2} = \sum_{extent=1}^{extent=n} \left[\frac{1}{2} \frac{v_{enter}^2}{-a_{spv}} \right] (v_{enter} = v_{current}, v_{exit} = v_{target}) \quad (13)$$

$$S_{yellow2} = S_{spv.y2} + S_{spv.r2} + S_{train length} \quad (14)$$



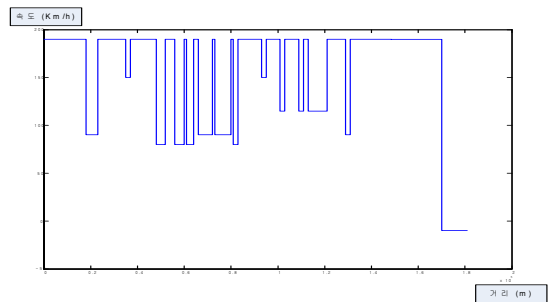
[그림 9] 개선된 선행열차에 의한 안전제동모델

$S_{yellow2}$ 에서 $S_{train length}$ 가 추가된 것은 $S_{yellow2}$ 구역은 어떤 의미에서 후행열차가 운행하는 구간이면서 또한 선행열차와의 거리를 조율하는 완충구간이라 할 수 있기 때문에 최소한 후행열차의 길이보다는 길어야 하기 때문이다[1, 4].

6. 시뮬레이션

6.1 시뮬레이션 조건

본 논문에서 연구된 열차간격제어 기술의 안전제동모델을 시뮬레이션하기 위해 대상으로 선정할 노선은 서울-시흥 구간이다. 이 구간은 KTX와 기존의 새마을호, 무궁화호, 화물열차 등이 복합적으로 운행되는 구간으로서 현재 한국철도의 대표적인 병목구간이기 때문이다. 시뮬레이션을 위해 적용된 서울-시흥 구간의 선로데이터에 대한 도식적 구조는 다음의 그림 10과 같다[1].

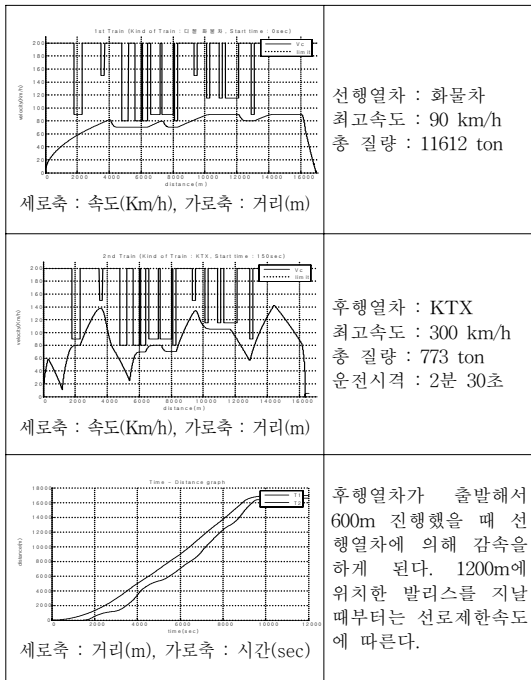


[그림 10] 서울-시흥 구간 선로데이터

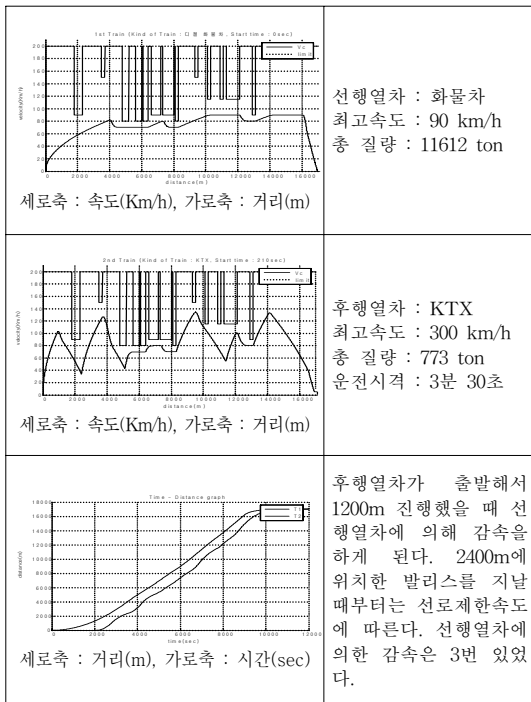
6.2 시뮬레이션 결과

<p>1st Train (Kind of Train : 무궁호, Start time : 0sec)</p>	<p>선행열차 : 무궁화 최고속도 : 110Km/h 총 질량 : 462 ton</p>
<p>2nd Train (Kind of Train : 새마을호, Start time : 150sec)</p>	<p>후행열차 : 새마을 최고속도 : 145Km/h 총 질량 : 404 ton 운전시격 : 2분 30초</p>
<p>Time - Distance graph</p>	<p>후행열차가 성능이 좋은 경우이지만 운행시격이 커서 영향을 받지 않는 결과를 보여준다. 선행열차와 2.5 km 정도의 거리를 유지하면서 진행한다.</p>

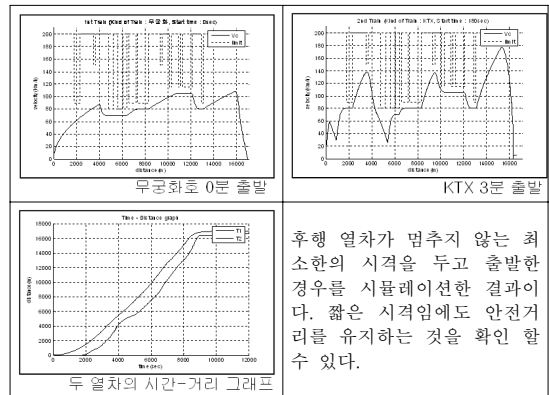
[그림 11] 시뮬레이션 결과 1



[그림 12] 시뮬레이션 결과 2

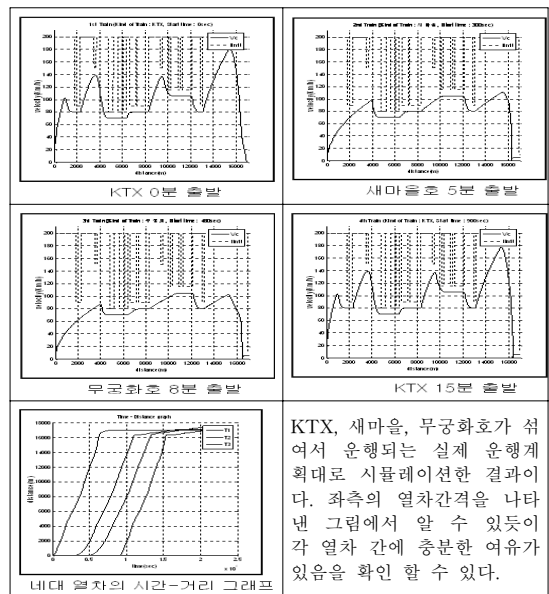


[그림 13] 시뮬레이션 결과 3



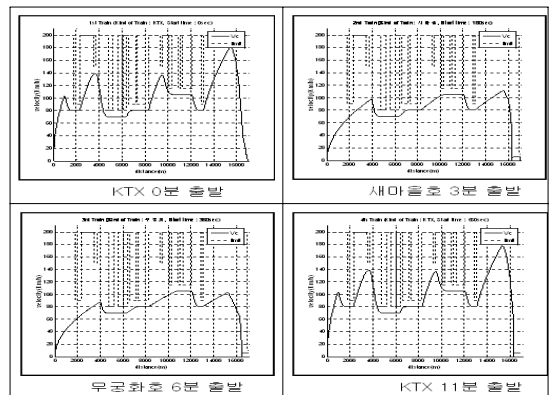
후행 열차가 멈추지 않는 최소한의 시격을 두고 출발한 경우를 시뮬레이션한 결과이다. 짧은 시격임에도 안전거리를 유지하는 것을 확인할 수 있다.

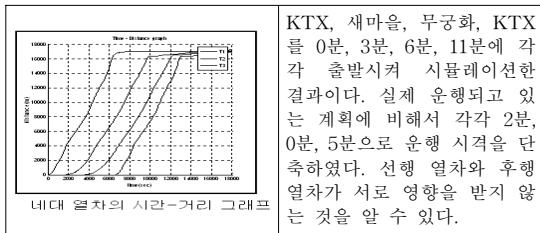
[그림 14] 시뮬레이션 결과 4



KTX, 새마을, 무궁화호가 섞여서 운행되는 실제 운행계획대로 시뮬레이션한 결과이다. 좌측의 열차간격을 나타낸 그림에서 알 수 있듯이 각 열차 간에 충분한 여유가 있음을 확인할 수 있다.

[그림 15] 시뮬레이션 결과 5





[그림 16] 시뮬레이션 결과 6

KTX, 새마을, 무궁화, KTX를 0분, 3분, 6분, 11분에 각각 출발시켜 시뮬레이션한 결과이다. 실제 운행되고 있는 계획에 비해서 각각 2분, 0분, 5분으로 운행 시격을 단축하였다. 선행 열차와 후행 열차가 서로 영향을 받지 않는 것을 알 수 있다.

7. 결론

6.2절의 시뮬레이션 결과에서와 같이 서울-시흥 구간을 대상으로 하여 본 논문에서 연구된 발리스를 이용하는 안전제동모형을 적용한 결과 선행열차에 대한 후행열차의 간격제어가 적합하게 이루어지는 것을 확인할 수 있었다. 서울-시흥 구간 열차 운행 시 선행열차가 후행열차보다 성능이 떨어지는(무궁화-KTX의 경우와 같이) 경우에도 두 열차가 서로에게 영향을 주지 않은 범위에서 최소 4분까지 운전시격을 단축시킬 수 있었다. 또한 서로에게 영향을 미치는 경우에도 후행열차가 순행하는(정지하지 않는) 범위에서 최소 3분까지 운전시격을 단축시킬 수 있었다. 그림 14부터 15까지의 결과는 현재 한국철도공사에서 서울-시흥 구간을 실제로 운행하는 시간표대로 열차를 출발시켜 시뮬레이션한 것으로 선행열차와 후행열차 사이에 충분한 여유가 있음을 확인할 수 있었고, 그림 16은 현재 운행되는 시간표보다 운행시격을 줄여 KTX, 새마을, 무궁화, KTX의 차례로 첫 열차가 출발한 후 3분, 6분, 11분 후에 각각 출발시켜 시뮬레이션한 결과로서 선행열차에 대해 후행열차가 아무런 영향 없이 진행되는 것을 알 수 있었다.

철도 전체적으로 볼 때 열차 운행의 안전을 책임지는 신호시스템 및 열차제어시스템의 역할은 가장 중요하지만, 기술적 또는 경제적인 문제로 인하여 국내에서는 그동안 개발을 소홀히 하여왔다. 따라서 국내의 도시철도 신호시스템은 세계 여러 회사의 제품 전시장을 방불케 하고 있을 뿐만 아니라, 국내 간선철도의 신호시스템 역시 스웨덴 Bombardier Transport의 ATP 시스템으로 개량하고 있기 때문에 향후 유지보수의 어려움 및 기술 종속의 문제가 예상되고, 이에 국산화 개발 압력이 점차 높아지고 있다. 본 논문에서는 이러한 배경을 바탕으로 하여 ATP 시스템의 국산화 개발을 추진할 때 요구되는 핵심적인 부분인 안전제동모형을 도출하고 열차간격제어 기술을 개발하였다. 본 논문에서 개발된 안전제동모형은 선행열차와 후행열차의 속도차를 비교적 간단한 식에 대입

해서 실시간으로 후행열차가 가져야 되는 가속도를 산출한다. 그에 따라 승차감에 영향을 주지 않고 안전하게 운행할 수 있을 것이다. 이러한 안전제동모형은 향후 ATP 시스템의 국산화 개발 시에 이를 응용하여 적용하는데 많은 도움이 될 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 이재호, 김용규, 백종현외(2005), “철도시스템 Smart 기술 연구” 한국철도기술연구원 2005년 기본연구사업 보고서, 차세대 Flexible 열차제어기술 분야. pp.5-23.
- [2] 김용규, 백종현(2007), “기존선 속도향상을 위한 신호보안체계 최적구축방안 연구” 한국철도기술연구원 철도기술연구개발사업(국토해양부) 최종연구보고서. pp.1-5.
- [3] 김승용, 이창구, 김용규, 백종현(2004), “이동 폐색구간 열차시스템에서 이동권한 설정 알고리즘” 2004년 대한전기학회 하계학술대회 논문집.
- [4] 백종현, 김용규(2007), “이동권한을 이용한 열차간격제어에 대한 연구” 2007년 대한전기학회 하계학술대회 논문집.
- [5] “철도신호용어편람” 철도청, 한국철도신호기술협회 용어편람. pp.210-211.
- [6] "Korea train transportation policy's course of MBS.", Ministry of Construction & Transportation (Korea).
- [7] SAMSUNG SDS, KORAIL "MBS example equipment construction Model of braking safety "
- [8] Y.G. Kim, "유럽 철도망 통합을 위한 ERTMS 프로젝트 추진 현황" Korea railroad research institute. 2001.5
- [9] ADTRANZ, ALCATEL, ALSTOM, ANSALDO SIGNAL, INVENSYS RAIL, SIEMENS "System Requirements Specification. ERTMS/ETCS - class1" Quic.2003.

백종현(Jong-Hyen Baek)

[정회원]



- 1995년 2월 : 전북대학교 제어계측공학과 학사.
- 1997년 2월 : 광주과학기술원 메카트로닉스공학과 석사.
- 1997년 1월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 열차제어통신연구실 선임연구원

<관심분야>

현대제어, 지능형시스템, 시스템엔지니어링

이 창 구(Changgoo Lee)

[정회원]



- 1981년 2월 : 전북대학교 전기공학과 학사.
- 1983년 3월 ~ 1991년 12월 : 한국전자통신연구원 선임연구원.
- 1991년 2월 : 전북대학교 전기공학과 박사
- 1992년 2월 ~ 현재 : 전북대학교 대학원 전자정보공학부 교수

<관심분야>

현대제어, 퍼지제어, 지능형시스템